



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



FRANCIELLY GUIEIRO GOMES DE SOUSA

**DETERMINAÇÃO DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DA CULTURA E COEFICIENTE
DE CULTIVO DO LÚPULO EM DIFERENTES TEXTURAS DE SOLO**

BOTUCATU - SP
2021

FRANCIELLY GUIEIRO GOMES DE SOUSA

**DETERMINAÇÃO DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DA CULTURA E COEFICIENTE
DE CULTIVO DO LÚPULO EM DIFERENTES TEXTURAS DE SOLO**

Tese apresentada à Faculdade de Ciências
Agronômicas da Unesp – Campus de
Botucatu, para obtenção do título de doutora
em Agronomia (Irrigação e Drenagem).

Orientadora: Prof^a. Dra. Valéria Cristina R.
Sarnighausen
Coorientador: Prof. Dr. Enzo Dal Pai

BOTUCATU -SP
2021

S725d

Sousa, Francielly Guieiro Gomes de

Determinação da evapotranspiração da cultura e coeficiente de cultivo do lúpulo em diferentes textura de solo / Francielly Guieiro Gomes de Sousa. -- Botucatu, 2021

103 p. : il., tabs., fotos

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp),
Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu

Orientadora: Valéria Cristina Rodrigues Sarnighausen

Coorientador: Enzo Dal Pai

1. Demanda Hídrica. 2. Humulus lupulus. 3. Lisímetro de Lençol Freático Constante. 4. Indústria cervejeira. I. Título.

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

Essa ficha não pode ser modificada.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA TESE: DETERMINAÇÃO DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DA CULTURA E COEFICIENTE DE CULTIVO DO LÚPULO EM DIFERENTES TEXTURAS DE SOLO

AUTORA: FRANCIELLY GUIEIRO GOMES DE SOUSA

ORIENTADORA: VALERIA CRISTINA RODRIGUES SARNIGHAUSEN

COORIENTADOR: ENZO DAL PAI

COORIENTADORA: VALERIA CRISTINA RODRIGUES SARNIGHAUSEN

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

Prof.^a Dr.^a VALERIA CRISTINA RODRIGUES SARNIGHAUSEN (Participação Virtual)
Bioprocessos e Biotecnologia / Faculdade de Ciências Agrônômicas de Botucatu - UNESP



pl Prof. Dr. ALEXANDRE DAL PAI (Participação Virtual)
Bioprocessos e Biotecnologia / Faculdade de Ciências Agrônômicas de Botucatu - UNESP



pl Prof. Dr. HÉLIO GRASSI FILHO (Participação Virtual)
Ciência Florestal, Solos e Ambiente / Faculdade de Ciências Agrônômicas de Botucatu - UNESP



pl Profa.Dra. CRISTIANA ARAUJO SOARES (Participação Virtual)
Agricultura / Instituto de Educação, Ciências e Tecnologia do Maranhão



pl Prof. Dr. LEANDRO CAIXETA SALOMÃO (Participação Virtual)
Engenharia Agrícola / Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano



Botucatu, 24 de maio de 2021

Aos meus filhos José
Augusto e Renan, o qual
sempre me fez forte e
persistente, dedico.

AGRADECIMENTOS

A Deus por estar presente em todos os momentos da minha vida, onde busco força, esperança para tudo que faço;

A minha orientadora Valeria Cristina R. Sarnighausen pela dedicação, paciência e amizade;

Ao coorientador Enzo Dal Pai pelo apoio e ensinamentos;

A CAPES pelo auxílio com a bolsa de estudos;

A Hops Brasil e o Sr. Max Rafaelle, responsável por divulgar a cultura do lúpulo no país e pelas doações das mudas para o presente trabalho, o qual foi importante para o início da pesquisa no LUPAM;

A professora Elizabeth Orika Ono e seu orientado Andrew Kim, que disponibilizaram a ajudar com análise do IRGA;

Agradeço em especial aos Professores Dr. Alexandre Dal Pai e Dr. Sérgio Augusto Rodrigues pelo apoio e ensinamentos;

A todos os professores que contribuíram para meu aprendizado durante o doutorado;

A minha mãe Maria Aparecida pelo apoio;

Ao meu esposo Denis Augusto pela dedicação;

Aos meus filhos José Augusto e Renan que sempre que podia me acompanhava no experimento;

A minha tia Carmem Lúcia e meu avô João Pedrosa pela preocupação e por estar por perto quando precisei;

Em especial a amiga Marta Bortolotto pelo apoio, amizade e ajuda durante a montagem e realização do experimento;

A amiga Mara Rubia por estar sempre por perto quando precisei;

Aos amigos João de Jesus e Renan pela amizade e contribuição no experimento;

Aos técnicos dos laboratórios Gilberto e Israel pela amizade e ajuda na montagem do experimento;

A todos os demais familiares, amigos e colegas que contribuíram de alguma forma com meu conhecimento.

RESUMO

O lúpulo é uma cultura de alto valor comercial e elevado custo de produção. Mais de 90% do produto colhido é destinado à indústria cervejeira. O Brasil é um dos maiores produtores de cerveja do mundo, importando quase que a totalidade do lúpulo utilizado. Devido à grande demanda industrial e à expansão das cervejarias artesanais, alguns produtores, principalmente do Sul e Sudeste do país, vêm tentando introduzir a cultura do lúpulo em sua região. Universidades e Centros de Pesquisa, iniciaram estudos com a finalidade de tornar o país um produtor de lúpulo. Considerando a importância dos recursos hídricos nas atividades agrícolas, a demanda considerável de água pelos cultivares de lúpulo, relatada em países produtores, e a falta de informações do cultivo no Brasil, o objetivo deste trabalho foi determinar a evapotranspiração da cultura (ET_c) e coeficientes de cultivo (K_c) do variedade Cascade, cultivado em solos com diferentes texturas. O experimento foi desenvolvido no Departamento de Bioprocessos e Biotecnologia da Faculdade de Ciências Agrônomicas da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Campus de Botucatu, no período de 22 de setembro de 2018 a 27 de fevereiro de 2019, em ambiente protegido. O delineamento foi realizado em esquema experimental inteiramente casualizado, com três tratamentos (cultivo em solos argiloso, médio e arenoso), sendo 10 plantas por tratamento. Para determinar a ET_c , foram instalados lisímetros de lençol freático constante. O K_c foi calculado a partir da relação entre (ET_c) e a evapotranspiração de referência (ET_o) estimada pelo método de Penman - Monteith. As avaliações das plantas realizadas foram: diâmetro, massa fresca e seca, produtividade, trocas gasosas, eficiência do uso da água e teores de alfa e beta ácidos. Os resultados mostram que o cultivo em solo argiloso, devido a maior capacidade de retenção de água, obteve maior eficiência no uso da água (EUA) e melhor produtividade, apresentando demanda total evapotranspirativa de 1.294,23 mm, sendo que nos demais solos essa demanda foi de 1.347,25 mm para o solo médio e 1.247,71 mm no solo arenoso, durante os 159 dias do experimento. O coeficiente de cultivo variou consideravelmente nas três texturas de solo e principalmente entre as fases de desenvolvimento da planta, os valores encontrados nas fases inicial, crescimento rápido, crescimento médio e final foram, (1,4; 2,73; 2,16 e 1,09); (1,27; 2,31; 2,63 e 1,88) e (1,09; 2,31; 2,49 e 1,97) para os solos de

textura arenosa, média e argilosa, respectivamente. Plantas cultivadas em solo de textura média e argilosa apresentaram os maiores valores para alfa e beta ácidos.

Palavras Chave: Demanda hídrica, *Humulus lupulus*, Lisímetro de lençol freático constante, Indústria cervejeira.

ABSTRACT

Hops are a crop with high commercial and production value. Over 90% of the harvested product is destined for the beer industry. Brazil is one of the largest beer producers in the world, which imports almost all the hops used in the production of the product. Due to the great industrial demand and the expansion of craft breweries, some producers, mainly from the South and Southeast of Brazil, have been trying to introduce the culture in their region. However, not every planting is successful; with production yields recommended by countries have a tradition in production, due to climatic conditions, soil differences and adaptation of the plant and its varieties. Universities and Research Centers in Brazil are starting research to make the country a producer of hops to contribute to the economy. Considering the importance of water resources in agricultural activities, the considerable demand for water by hop cultivars, reported in producing countries, and the lack of information on crop cultivation in Brazil, the objective of this work was to determine the evapotranspiration of the crop (ET_c), cultivation coefficients (K_c) to develop the hop culture of the Cascade variety, grown in soils with different textures. The cultivation of hops was conducted at the Department of Bioprocesses and Biotechnology, School of Agricultural Science, São Paulo State University "Júlio de Mesquita Filho", Botucatu campus, from September 22, 2018, to February 27, 2019, in an environment cultivation. The design was carried out in a completely randomized experimental scheme, with 3 treatments (cultivation in clayey, medium and sandy soil), 10 plants per treatment. The K_c was calculated from the relationship between (ET_c) and the reference evapotranspiration (ET_o) estimated by the Penman-Monteith method. The evaluations of the plants carried out were: diameter, fresh and dry mass, productivity, gas exchange, water use efficiency and levels of alpha and beta acids. The results show that the cultivation in clayey soil, due to its greater capacity of water retention, obtained greater efficiency in the use of water (USA) and better productivity, presenting total evapotranspirative demand of 1,294.23 mm, being that the remaining soils demand was 1,347.25 mm for medium soil and 1247.71 mm for sandy soil, during the 159 days of the experiment. The cultivation coefficient varied considerably in the three soil textures and mainly between the stages of plant development, the values found in the initial, rapid growth, medium and final growth stages were (1,4; 2,73; 2,16 and 1.09); (1,27; 2,31; 2,63 and 1.88) and (1,09; 2,31;

2,49 and 1,97) for sandy, medium and clayey soils, respectively. Plants grown in medium and clayey soils showed the highest values for alpha and beta acids.

Keywords: Water Demand, *Humulus lupulus*, Lysimeter of constant groundwater, brewery.

.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Curva da capacidade de retenção de água para diferentes texturas de solo.....	27
Figura 2 – Curva generalizada do coeficiente de cultura.....	33
Figura 3 – Imagem de lisímetro de lençol freático.....	36
Figura 4 – Estrutura e condução do experimento.....	41
Figura 5 – Curvas de retenção da água no solo, gerada utilizando-se o modelo de Van Genuchten.....	44
Figura 6 – Croqui dos lisímetros utilizados para medir a evapotranspiração da cultura.....	46
Figura 7 – Etapas do processo de montagem dos lisímetros.....	47
Figura 8 - Sistema de irrigação utilizado no experimento.....	50
Figura 9 – Máximas, mínimas e médias de temperatura e umidade relativa do ar durante o período de condução do experimento, fora (a) e dentro da casa de vegetação (b).....	53
Figura 10 – Evapotranspiração da cultura do lúpulo em função das fases inicial (I), crescimento rápido (CR), crescimento médio (CM) e final (F).....	59
Figura 11 – Coeficientes de cultivo do lúpulo (K_c) determinado durante o experimento para as fases inicial (I), crescimento rápido (CR), crescimento médio (CM) e final (F).....	62
Figura 12 – Absorção de fósforo (P) pelos tecidos foliares do lúpulo.....	76
Figura 13 – Absorção de potássio (K) pelos tecidos foliares do lúpulo.....	77
Figura 14 – Absorção de magnésio (Mg) pelos tecidos foliares do lúpulo.....	78
Figura 15 – Absorção de enxofre (S) pelos tecidos foliares do lúpulo.....	79
Figura 16 – Absorção de boro (B) pelos tecidos foliares do lúpulo.....	79
Figura 17 – Absorção de manganês (Mn) pelos tecidos foliares do lúpulo.....	80
Figura 18 – Lâmina de irrigação aplicada nas três texturas de solo durante o experimento para as fases inicial (I), crescimento rápido (CR), crescimento médio (CM), final (F) do lúpulo.....	82
Figura 19 – Lâminas de irrigação totais para as três texturas de solo no cultivo do lúpulo.....	82
Figura 20 – Pragas encontradas durante o cultivo.....	91

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Composição média dos cones de lúpulo seco.....	25
Tabela 2 - Características físicas e químicas dos solos utilizados para cultivo do lúpulo.....	42
Tabela 3 - Parâmetros da equação de Van Genutchen para os três tipos de solo utilizado no experimento.....	44
Tabela 4 - Comprimento das fases de desenvolvimento do lúpulo.....	48
Tabela 5 - Duração de cada fase do lúpulo e número de dias que a temperatura alcançou valores maiores e menores que 30 °C dentro da casa de vegetação.....	55
Tabela 6 - Médias da Evapotranspiração da cultura do lúpulo em (mm) e o percentual de demanda hídrica para as três texturas de solos nas diferentes fases, inicial (I), crescimento rápido (CR), crescimento médio (CM) e final (F).....	57
Tabela 7 - Coeficiente da cultura (Kc) do lúpulo nos estádios inicial, médio e final de acordo com a FAO.....	62
Tabela 8 - Médias, desvio padrão, mediana, diâmetros máximo e mínimo (cm), massa fresca (g), massa seca (g) e produtividade das plantas cultivadas nos lisímetros (g/planta).....	65
Tabela 9 - Médias, desvio padrão, mediana, máximo e mínimo para diâmetro (cm), massa fresca (g), massa seca (g) e produtividade das plantas cultivadas fora dos lisímetros (g/planta).....	65
Tabela 10 - Médias, desvio padrão, mediana, máximo e mínimo para Taxa de assimilação de CO ₂ (A), condutância estomática (gs), concentração interna de CO ₂ (Ci), taxa de transpiração (E), eficiência do uso da água nas folhas (EUA) e eficiência de carboxilação (A/Ci) das plantas cultivadas nos lisímetros.....	68
Tabela 11 - Médias, desvio padrão, mediana, máximo e mínimo para Taxa de assimilação de CO ₂ (A), condutância estomática (gs), concentração interna de CO ₂ (Ci), taxa de transpiração (E), eficiência do uso da água nas folhas (EUA) e eficiência de carboxilação (A/Ci), produtividade das plantas cultivadas fora dos lisímetros.....	70

Tabela 12 - Médias desvio padrão, mediana, máximo e mínimo para os macronutrientes; Nitrogênio (N), Fósforo (P), Potássio (K), Cálcio (Ca), Magnésio (Mg) e Enxofre (S) nos tecidos foliares de lúpulo em plena formação de cones.....	73
Tabela 13 - Médias, desvio padrão, mediana, máximo e mínimo para os micronutrientes nos tecidos foliares de lúpulo em pleno florescimento e formação de cones.....	74
Tabela 14 - Concentração α ácido (%) β ácido (%) e HSI (hop. Storage Index) dos cones do lúpulo.....	84
Tabela 15 - Atributos do solo (S) arenoso, médio e argiloso após o cultivo do lúpulo.....	85
Tabela 16 - Micronutrientes do solo (S) arenoso, médio e argiloso após o cultivo do lúpulo.....	86

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	19
2	REVISÃO DA LITERATURA	22
2.1	Cultura do Lúpulo (<i>Humulus lupulus</i> L.)	22
2.2	Composição do lúpulo e o interesse do mercado	24
2.3	Textura, dinâmica da água e características físico-hídricas do solo	26
2.4	Relações solo-água-plantas e a necessidade hídrica da cultura	28
2.4.1	Evapotranspiração da cultura e evapotranspiração de referência.....	30
2.4.2	Coeficiente de Cultivo (Kc)	32
2.4.3	Método de Penman-Monteith para estimar a Evapotranspiração.....	33
2.5	Lisímetria	35
2.6	Manejo da Irrigação	36
2.7	Trocas gasosas	38
3	MATERIAL E MÉTODOS	40
3.1	Características locais e condução do experimento	40
3.2	Instalação dos lisímetros e obtenção da evapotranspiração da cultura	45
3.3	Determinações dos coeficientes de cultivo do lúpulo (Kc) e evapotranspiração de referência (ET_o)	48
3.4	Manejo da irrigação via lisímetro de lençol freático	49
3.5	Análises das plantas	51
3.6	Análise estatística	52
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	53
4.1	Evapotranspiração da cultura (ET_c)	56
4.2	Coeficiente de cultivo (Kc)	61
4.3	Diâmetro, massa fresca, massa seca e produtividade das plantas	64
4.4	Medidas de trocas gasosas	68
4.5	Teores de nutrientes nas folhas do lúpulo	71
4.6	Produtividade, Lâmina de irrigação e Eficiência do uso da água	81
4.7	Alfa ácido, beta ácido e HSI (<i>Hop Storage Index</i>) dos cones do lúpulo	84
4.8	Atributos dos solos após o cultivo do lúpulo	85
5	CONCLUSÕES	87
6	OBSERVAÇÕES: CONTROLE DA INCIDÊNCIAS DE PRAGAS NO CULTIVO IRRIGADO DE LÚPULO EM AMBIENTE PROTEGIDO	89
	REFERÊNCIAS	93

1 INTRODUÇÃO

O lúpulo é uma planta que apresenta grande importância na produção de cerveja. O sabor amargo e o aroma peculiar são devido à existência de resinas e óleos essenciais em sua composição, e por possuírem maiores quantidades dessas substâncias, somente as flores fêmeas são utilizadas na indústria cervejeira (BERNOTIENĖ; NIVINSKIENĖ; BUTKIENĖ, 2004).

No Brasil, os cultivares de lúpulo ainda estão em desenvolvimento, sendo que apenas pequenos produtores das regiões sul e sudeste se destacam atualmente¹. O Lúpulo é uma planta típica de regiões temperadas, do hemisfério norte, e há muito tempo afirma-se que seria impraticável o seu cultivo em regiões fora dos paralelos de 35 a 55 ° de latitude, devido às necessidades quanto à temperatura média em torno de 19 °C, demanda hídrica considerável, comparada com outras culturas, e fotoperíodo de 12 horas. Porém, devido à demanda do mercado, muitos produtores tem-se interessado pela cultura, que mostra-se promissora em diversas regiões do país.

A maior parte das regiões comerciais está localizada em latitudes entre 35 a 55° norte, tendo como maiores produtores Hallertau, na Alemanha, e Yakima Valley nos Estados Unidos da América (EUA), localizadas de 48 a 46° de latitude norte (DODDS, 2017). A cultura necessita de 1.800 a 2.000 horas de sol por ano, sendo de 1.300 a 1.500 horas no período vegetativo, o qual tem duração de 122 a 127 dias, o que daria em média 11,2 horas diárias de radiação solar, além de ser considerada planta do grupo C₃, necessitando de temperatura ideal entre 10 a 35 °C para realização de fotossíntese (RYBACEK, 1991).

Tem-se ainda que o lúpulo é uma planta que demanda grandes quantidades de água, sendo este um gargalo para o seu cultivo em termos de custo, visto que muitos dos cultivos conhecidos, no hemisfério norte, são irrigados (DOODS, 2017). A irrigação é uma prática importante que possibilitou o cultivo do lúpulo e aumentou a qualidade e a produção em novas regiões produtoras. A prática ainda ajuda a suprir outras necessidades fisiológicas que a cultura exige.

De acordo com o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento em 2019, o Brasil é um dos maiores produtores de cerveja do mundo, com produção média de 13 bilhões de litros por ano, o que corresponde a 2% do produto interno Bruto (PIB)

do país, gerando 2,7 milhões de empregos¹, destaca-se que praticamente 100% do lúpulo utilizado nas cervejarias são provenientes de importações dos Estados Unidos e da Alemanha. Sendo assim, tais fatos despertam o interesse pela produção de lúpulo nacional para contribuir com a economia do país.

Países como o Brasil, com grande potencial produtivo, tem disponibilidade de grandes variedades de solos, com diferentes texturas dentre outras características. Dessa forma, mostra-se um país promissor quanto à produção e à qualidade de várias culturas que antes eram consideradas inviáveis para o cultivo. Tal variabilidade de solos e climas podem ser uma vantagem para o desenvolvimento de diferentes cultivares de lúpulo. Pesquisas estão sendo realizadas com o intuito de identificação de novas variedades adaptadas aos diferentes manejos, diversidades de solo, clima e demanda de água.

A importância de se saber a necessidade hídrica da cultura é de grande relevância para se entender a resposta relacionada aos demais fatores do ciclo de produção e também quanto ao volume de água a ser utilizado em cada região de cultivo. Essa necessidade hídrica está condicionada não somente aos fatores do ciclo de produção, mas também pela demanda atmosférica local.

A medida ou estimativa da evapotranspiração da cultura é fundamental para saber a quantidade de água que a planta necessita para seu pleno desenvolvimento e produção. Sendo necessária para se realizar o manejo da irrigação e fornecer a quantidade de água necessária, sem que haja desperdício ou mesmo déficit hídrico.

A determinação precisa do fluxo de água no sistema de cultivo sendo importante para o manejo hidrológico, e o método considerado preciso é a estimativa da evapotranspiração padronizada pela FAO 56 (ALLEN et al.; 1998) o qual utiliza as variáveis climáticas locais, características de solo e área foliar da planta (LIBARDI et al., 2019).

A Evapotranspiração é a perda simultânea de água do solo por evaporação e de água da planta por transpiração. A evapotranspiração de referência (ET_o) está relacionada à demanda hídrica de uma superfície gramada padrão, frente às condições climáticas de um dado local, conforme o Boletim 56 da *Food and Agriculture Organization* (FAO) (ALLEN et al., 1998). A evapotranspiração da cultura (ET_c) refere-se à demanda hídrica de uma cultura específica, considerando suas

¹ <https://www.sindicerv.com.br/o-setor-em-numeros/>

características fisiológicas e morfológicas, representadas por seu coeficiente de cultivo (K_c).

Não há no Brasil estudos sobre a demanda hídrica do lúpulo, visto que o cultivo e a pesquisa são recentes e o referencial de informações é de países do hemisfério norte, onde há o cultivo comercial consolidado da espécie.

Em vista da falta de informação referente ao cultivo da planta no Brasil e da importância do conhecimento de sua demanda hídrica, o objetivo desse trabalho foi determinar a evapotranspiração da cultura (ET_c) e o coeficiente de cultivo (K_c) com vista ao desenvolvimento da cultura do lúpulo da variedade Cascade, cultivado em ambiente protegido, em solos com texturas argilosa, média e arenosa.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 Cultura do Lúpulo (*Humulus lupulus* L.)

O primeiro registro do cultivo de lúpulo data de 736 d.C., da região de Hallertau na Baviera/Alemanha. Desde então, a planta foi extensamente cultivada e utilizada para fabricação de cerveja nas regiões da Baviera, Eslovênia e Bohemia, entre os séculos IX e XII, sendo posteriormente cultivada e utilizada em outras regiões da Europa. Os emigrantes europeus, os quais migraram especialmente para América do Norte e Austrália, implantaram a cultura nestas regiões. Sabe-se que a planta chegou na América no Norte no início do Século XVII levados pelos ingleses (HORNSEY, 1999).

O lúpulo (*Humulus lupulus*) pertence à família Cannabinacea. Trata-se de uma planta trepadeira, dióica, e que portanto produz flores masculinas e femininas, e o período de florescimento é de julho a agosto por toda Europa e Ásia Ocidental (HORNSEY, 1999). Somente as flores femininas não fertilizadas são comercializadas por possuírem maior quantidade de substância de interesse econômico. As plantas masculinas são utilizadas para hibridação e desenvolvimento de novas variedades (DODDS, 2017).

As flores femininas são agrupadas em cachos, possuem uma vertebra com várias dobras fixando os pares de brácteas e bractéolas nos quais armazenam uma substância chamada lupulina (SILVA, 2005), sendo constituída por uma resina rica em ácidos alfa e beta (RUCKLE, 2006), os quais proporcionam o aroma e amargor da cerveja. A lupulina também apresenta em sua constituição os óleos essenciais, responsáveis pelo componente aromático das diversas cultivares, caracterizando o perfil aromático das cervejas (RODRIGUES et al, 2015).

As maiores regiões produtoras de lúpulo estão localizadas no Hemisfério Norte, entre as latitudes 30° e 55°, em áreas frias da América do Norte, Europa e Ásia. A cultura tem capacidade fotossintética maior em períodos de florescimento, sendo a temperatura ideal entre 10 a 35 °C (RYBACEK, 1991), e se desenvolve, de forma geral, em temperaturas entre 20 e 30°C (AQUINO et al., 2019).

Sendo uma planta herbácea perene, a parte vegetativa morre todos os anos no início do inverno, porém suas raízes continuam vivas em fase de dormência (BURGESS, 1964). Diante disso, considera-se que o inverno seja um fator

importante. Segundo Williams et al. (1961), a dormência do lúpulo ocorre em dois estádios, sendo o início da dormência, quando a planta não consegue novo crescimento; e ruptura da dormência que seria a remoção gradual da inibição do crescimento. Um resfriamento inadequado pode fazer com que a ruptura seja insuficiente, resultando em crescimento abaixo do esperado para planta na primavera.

Mesmo diante de grande demanda de informação em relação ao cultivo no país, alguns produtores brasileiros estão na tentativa de cultivar o lúpulo em pequena escala, e estão suscetíveis aos diversos desafios quanto ao processo de adaptação da planta ao clima e aos solos locais.

Os principais fatores a serem observados para que se alcance o sucesso da produção de lúpulo são: fotoperíodo, temperatura do ar, tipo de solo, abrigo do vento e disponibilidade de água. A latitude determina a duração do dia, e em partes os padrões de crescimento do dossel e tempo de floração, o que deve ser de no mínimo 11 horas. A maior parte das variedades apresentam maior viabilidade em fotoperíodo elevado 14 a 16 horas (DODDS, 2017), porém com a expansão da cultura do lúpulo para o hemisfério sul, acredita-se que algumas variedades possam adaptar-se em determinadas regiões, com latitudes diferentes da indicada.

Para o fator solo, segundo a literatura existente, o solo adequado para a cultura é o arenoso, com pH mínimo de 6,5, para que não haja interferência quanto à disponibilidade de nutrientes (NEVE, 1991). No entanto, Ferreira et al. (2019) afirmam que o lúpulo pode se adaptar a diversos tipos de solo, porém deve-se evitar terrenos encharcados com possibilidade de alagamento. Dessa forma, o desenvolvimento dessa cultura tem mostrado melhores resultados em solos profundos, de textura média, sem compactação, com boa disponibilidade de matéria orgânica e pH entre 6,0 e 6,5 (FERREIRA et al., 2019).

Sabe-se que a cultura tem raízes profundas, no entanto, a maior parte do sistema radicular responsável por absorver água e nutrientes está na superfície, e para se obter boa produtividade é necessário manter a umidade do solo adequada durante o período crítico de crescimento (DODDS, 2017).

Segundo levantamento da Associação Brasileira de produtores de lúpulo (Aprolúpulo) a área cultivada de lúpulo no Brasil são de aproximadamente 40

hectares², estando localizada nas regiões sul (Santa Catarina, Rio Grande do Sul e Paraná), sudeste (São Paulo, Rio de Janeiro e Minas Gerais) e centro oeste (Distrito Federal). As variedades implantadas são, 'Cascade', 'Centennial', 'Fuggle', 'Magnum', 'Hallertau', Northern Brewer' e Nugget'.

2.2 Composição do lúpulo e o interesse do mercado

De acordo com Almaguer et al. (2014), cerca de 97% da produção do lúpulo mundial destina-se às cervejarias. Na indústria mundial, o lúpulo está em fase de expansão, com destaque no setor artesanal, por fornecer sabor diferenciado às cervejas aromáticas, o que atrai os consumidores da bebida (DODDS, 2017). Nos últimos anos, os Estados Unidos ultrapassaram a Alemanha como o maior produtor mundial de lúpulo, com uma área de 23.532 ha, a maioria dos quais está centrado no estado de Washington e Oregon (INTERNATIONAL HOP GROWERS CONVENTION, 2017).

Pesquisa realizada pela empresa alemã Bath-Hass Group (2011) mostra que o Brasil é o terceiro maior produtor de cerveja do mundo, com uma média de 13 bilhões de litros ao ano, com produção abaixo apenas da China e dos Estados Unidos. Em se tratando do lúpulo como insumo, o Brasil chega a importar aproximadamente quatro mil toneladas de lúpulo por ano, o que gera um custo de R\$ 200 milhões de reais (ARAÚJO, 2016), destacando-se que o emprego deste insumo está vinculado à indústria cervejeira.

O lúpulo pode ser adquirido na forma de flores secas, pallets ou extrato. Sua classificação depende das características predominantes da variedade (Silva, 2005). Cada variedade disponibiliza de diferentes teores e essência na sua composição, as quais são classificadas de acordo com o sabor a ser adquirido na produção da bebida, como lúpulo de amargor, aroma e aroma/amargor, sendo assim as substâncias que mais interessam à indústria cervejeira são alfa e beta ácidos e óleos essenciais (PINTO, 2018).

A variedade Cascade, por exemplo, que foi obtida através da polinização da variedade inglesa Fuggle e da russa Serebrianka, representa 10% de todo lúpulo produzido nos Estados Unidos e com alto potencial produtivo, sendo em média de

² <https://www.canalrural.com.br/noticias/agricultura/ministerio-da-agricultura-cria-parceria-para-fomentar-cultivo-de-lupulo-no-brasil/>

2.465 kg/ha. Esta variedade possui caráter cítrico picante, os teores de alfa e beta ácidos variam de 4,5 a 7%, sendo essas características que propiciam o diferencial no sabor e na preferência do consumidor (SPÓSITO et al., 2019).

A Tabela 1 apresenta as composições médias das substâncias das variedades de lúpulo conhecidas.

Tabela 1 – Composição Média dos cones de lúpulo seco

Substância Composição – lúpulo secos ao ar (% m/m)*	
α ácido	2 – 17
β ácido	2 – 10
Proteínas	15
Aminoácidos	0,1
Água	8 – 12
Cinza	10
Polifenóis e taninos	3 – 6
Monossacarídeos	2
Pectina	2
Óleos essenciais	0,3 - 3 (v/m)**
Celulose, etc	40 – 50

*%(m/m) = massa de soluto/massa de solução; ** Rendimento = volume/massa.

Fonte: (Benitez et al., 1997)

Os iso-alfa-ácidos, resultado da isomerização térmica dos alfa-ácidos ou humulonas, constituem a fração quantitativa de grande importância do lúpulo na cerveja (MOIR, 1994). Essas substâncias são responsáveis pelo sabor amargo típico da bebida e suas concentrações variam de 15 partes por milhão (ppm), em cervejas americanas típicas, a aproximadamente 100 ppm, em cervejas inglesas consideradas de amargor intenso (KEUKELEIRE, 2000).

Além de fornecer o sabor amargo à cerveja, os iso-alfa-ácidos apresentam propriedades tensoativas, estabilizando a espuma da cerveja, protegendo contra microrganismos e inibindo o aumento de bactérias Gram-positivas, resistentes aos antibióticos (KEUKELEIRE, 2000).

O beta-ácido é relevante na produção de cerveja devido à alta atividade antimicrobiana, sendo importante na eliminação de microrganismo na estocagem da bebida, porém essa substância é sensível à oxidação, reação não desejada na cerveja, atuando como agente antioxidante (BOULTON, 2013). Por esse motivo, as garrafas de cor âmbar são as mais indicadas para o envase da bebida, pois impedem a entrada de luz, evitando o processo de oxidação da cerveja.

Em relação ao aroma, os lúpulos que contêm baixo teor de humulonas e lupulonas ($\leq 5\%$) são aptos a conceder aromas característicos e intensos devido a composição química dos seus óleos essenciais (PALMER, 2017), que são substâncias voláteis da planta de lúpulo, cujos teores estão entre 0,5 a 3% da massa seca dos cones, dependendo da variedade (ALMAGUER et al., 2014).

Os óleos essenciais proporcionam aromas e sabores para os diferentes tipos de cervejas, sendo amadeirado, floral, cítrico, frutado, especiarias, sulfuroso, picante, herbal, resinoso e terroso (BAMFORTH, 2010).

Esses compostos presentes no lúpulo podem degradar, podendo ser medidos antes da utilização na fabricação da cerveja, como a análise do Índice de Estocagem, chamada de *Hops Stability Index* (HSI), que é uma medida de degradação dos ácidos alfa e beta durante o armazenamento e manuseio inadequado (SIRRINI, 2018).

2.3 Textura, dinâmica da água e características físico-hídricas do solo

Os solos são oriundos de rochas e devido aos processos físicos, biológicos e químicos que proporcionaram sua decomposição durante eras geológicas, transformaram-se em material poroso. Os fatores que proporcionam as características peculiares dos solos são: material de origem, tempo geológico, topografia, organismos vivos e clima. A combinação desses fatores, diferentes de um lugar para outro, originam diversos tipos de solos (REICHARD;TIMM, 2012).

Partículas sólidas orgânicas e inorgânicas constituem os solos, os quais apresentam fases sólida, gasosa e líquida, tornando-se um sistema trifásico (AMARO FILHO et al., 2008). Os minerais que constituem a fase sólida, sendo partículas de vários tamanhos menores que 2 mm, são determinantes para estabelecer suas texturas. Estas por sua vez estão relacionadas à distribuição quantitativa dessas partículas sólidas quanto ao tamanho, o que proporciona uma característica importante para a identificação e classificação. A areia, silte e argila são as frações texturais que apresentam tamanhos diferentes. A fração granulométrica do solo indica, dentre os materiais citados, a predominância de uma fração ou outra (FERREIRA, 2010).

O solo pode ser caracterizado por meio das análises de perfis de fertilidade, perfil físico e pela classe pedológica, levando em consideração os aspectos agronômicos,

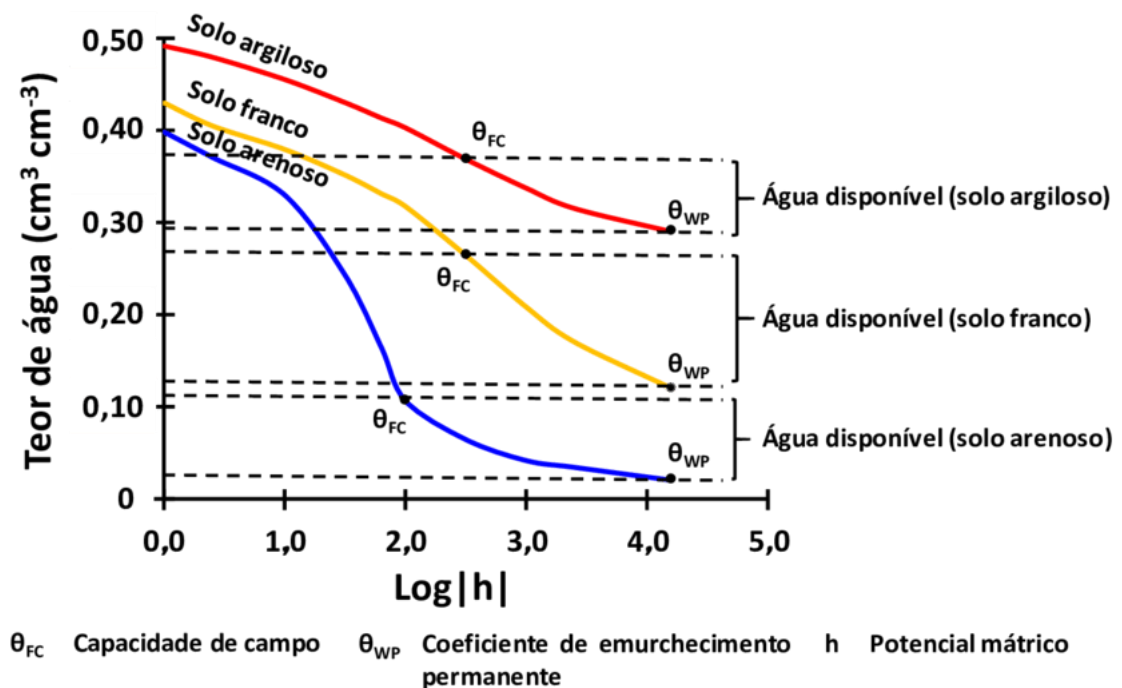
e também pode ser classificado quanto a sua capacidade para irrigação (ALBUQUERQUE; DURÃES, 2013).

Dessa forma, para realizar o manejo da irrigação são necessários conhecimentos de propriedades físicas e físico-hídrica do solo, sendo as principais: curva característica de água (da capacidade de campo ao ponto de murcha), densidade, condutividade hidráulica, composição textural, porosidade e a taxa de infiltração básica (COUTO; SANS, 2002).

Tanto a textura quanto a estrutura influenciam no espaço poroso e arranjo de partículas, características estas que afetarão as propriedades hídricas, como a curva característica de água, limites de água disponível e condutividade hidráulica (REICHARD, 1996).

A Figura 1 mostra a curva de retenção de água para as três texturas de solo, arenoso, médio e argiloso.

Figura 1 – Curva da capacidade de retenção de água para diferentes texturas de solo



Fonte: Ramos et al., (2016)

O fluxo de água do solo depende da gravidade, capilaridade e porosidade, fatores importantes para áreas agrícolas (AYARS et al., 2006). Silva et al., (2018)

avaliando o nível do lençol freático e o fluxo ascendente para o cultivo de batata, observou que o solo argiloso mostrou maior elevação do lençol freático decorrente das chuvas.

O solo de textura arenosa possui menor capacidade de retenção de água, menor volume de água disponível, tendo assim menores valores de capacidade de campo e de ponto de murcha permanente, e os solos argilosos apresentam maior capacidade de retenção de água, sendo que parte desta não está disponível para necessidades hídricas da planta. Já o solo de textura média é o que mais disponibiliza facilmente a água (RAMOS et al., 2016).

Para o solo arenoso normalmente existe uma faixa de transição da quantidade de água, onde é possível verificar uma redução na intensidade do movimento da água. Nesta faixa é possível determinar a capacidade de campo, já em solos de textura argilosa é difícil de perceber essa redução de fluxo e conseqüentemente a determinação da capacidade de campo (ALBUQUERQUE; DURÃES, 2013).

2.4 Relações solo-água-planta e a necessidade hídrica da cultura

Para se estabelecer as relações hídricas de uma planta e seu meio deve-se considerar todo o sistema solo-planta-atmosfera, no qual seus constituintes, ou fatores, são interligados e interdependentes. Cada um desses fatores possui características e funções diferentes, formando um sistema dinâmico. A planta, para seu desenvolvimento efetivo, depende tanto da disponibilidade de água no solo, quanto da demanda evaporativa frente às condições climáticas do local (BERGAMASCHI; BERGONCI, 2017).

Durante o ciclo vegetativo, o processo de evaporação mostra-se maior no início do desenvolvimento e diminui com o aumento da área foliar, apresentando aumento novamente com a senescência da planta. A transpiração aumenta com a área foliar e reduz no final do ciclo (BERGAMASCHI; BERGONCI, 2017).

Todas as atividades fisiológicas e de trocas de energia e matéria com o meio, realizadas pela planta, tem como finalidade a produção de biomassa. Esse processo depende da disponibilidade de água, a qual influencia na interceptação e absorção da radiação solar, assim como nas trocas gasosas. Isso ocorre pois tais processos dependem da turgidez e área foliar, além do conteúdo de clorofila, visto que está relacionada com absorção de nitrogênio transportada na planta pela transpiração.

Todos os processos citados são dependentes do fornecimento de recursos hídricos (BERGAMASCHI; BERGONCI, 2017).

As camadas de 0 a 40 cm de profundidade do solo correspondem à zona de maior captação de água e nutrientes, ideal para medir a umidade do solo e determinar o manejo da irrigação para essas profundidades (FILIPPOV, 1958; apud NAGLIČ, 2017). A planta consegue por volta de 3% da sua demanda hídrica em camadas mais profundas, entre 180 a 240 cm (MIDDLETON, 1963).

O lúpulo precisa de suprimento de água na sua fase inicial, e deve-se evitar o excesso, o que pode causar infestação de míldio e podridão das raízes. A fase mais crítica é quando ocorre a floração e o crescimento dos cones, na qual a planta necessita de maior quantidade de recursos hídrico, comparado com as demais fases, e a falta pode interferir significativamente na produção (EVANS, 2003; NAGLIČ, 2017).

Vale destacar que, devido ao alto potencial hídrico no período diurno, o lúpulo foi caracterizado como uma planta anidra, portanto trata-se de uma planta com reduzido controle sobre seu potencial hídrico o que permite consideráveis oscilações em relação ao transporte da água do solo à planta (Kolenc et al., 2014).

Devido à grande demanda hídrica, a irrigação na cultura do lúpulo vem tornando-se necessária, a fim de aumentar a produção e obter melhor qualidade do produto. A demanda hídrica do lúpulo varia muito com as condições climáticas e estação do ano. Em regiões de clima árido, o consumo hídrico encontra-se entre 700 a 800 mm durante a estação de crescimento (MAHAFFEE, 2009; BEATSON et al., 2009; TURNER et al., 2011), para países do hemisfério norte, cujas médias de temperaturas são menores quando comparadas ao Brasil.

Também na fase de crescimento, em Yakima Valley, Washington (EUA), é indicado que o consumo de água dos cultivares esteja entre 610 a 712 mm por ciclo (EVANS, 2003; MARCOS et al., 2011). Na região da Galícia, Espanha, a demanda relatada foi de 396 a 557 mm e em Portugal foi de aproximadamente 500 mm de água por ciclo (FANDIÑO et al., 2015; RODRIGUES; MORAIS; CASTRO, 2015).

O lúpulo é uma planta com raízes profundas, podendo chegar a mais de 2,4 m de profundidade. A maior parte do sistema radicular está localizada a 1,20 m na parte superior do solo, na qual deve-se apresentar umidade suficiente para o desenvolvimento da planta (DODDS, 2017).

De acordo com Middleton (1963) o lúpulo consome 50% da água armazenada nos primeiros 0,6 m da superfície do solo; 37% dos 0,6 a 1,3 m; 10% das profundidades de 1,3 a 1,8 m e apenas 3% das camadas mais profundas.

A irrigação deficiente e também o excesso de água podem danificar as raízes, causando peronospora (fungo causador do míldio) e podridão, no entanto os períodos críticos, de maiores demandas de água, são a floração e durante o crescimento dos cones (Evans, 2003).

2.4.1 Evapotranspiração da cultura e evapotranspiração de referência

Diversos são os métodos para determinar a evapotranspiração de culturas, podendo ser determinada por medidas diretas ou por modelos utilizando parâmetros meteorológicos. Nas medidas diretas são utilizados diversos tipos de lisímetros, além do método de balanço de água no solo; já os modelos consistem em equações empíricas e evaporímetros (PIVETTA et al., 2010).

A evapotranspiração é a perda de água para atmosfera, pelos processos de evaporação do solo e transpiração das plantas. A transpiração aumenta com o desenvolvimento da cultura, alcançando valores máximos no estágio de floração, quando as plantas atingem a maior cobertura foliar. A evapotranspiração acompanha os comportamentos da transpiração, sendo essa o componente de maior importância, uma vez que a evaporação do solo diminui com o desenvolvimento da cultura (SANTANA et al., 2011).

O processo de evapotranspiração acontece na presença de energia, chamado calor latente de vaporização, em função da temperatura da água; sendo que a 20 °C o calor latente de vaporização da água equivale a 2,45 MJ.kg⁻¹. Essa energia é fornecida pela radiação solar e uma pequena quantidade pela temperatura do ar circundante (CARVALHO; OLIVEIRA, 2012).

O processo de evaporação está relacionado às condições atmosféricas locais, como saturação do ar, velocidade do vento, radiação solar, temperatura, umidade relativa do ar, quantidade de água na superfície e o grau de sombreamento do dossel. Em relação à transpiração, os fatores determinantes são: retenção e movimentação da água no solo, níveis de aeração, salinidade da solução do solo, aspectos ambientais, característica da cultura e até mesmo práticas culturais (CARVALHO; OLIVEIRA, 2012).

Na transpiração, a água vai da planta para a atmosfera através dos estômatos, sob a forma de vapor, envolvendo uma contínua movimentação de água do solo para as raízes, das raízes até as folhas e finalmente para a atmosfera. A velocidade do fluxo de água no caule é variável; em condições normais, pode ficar entre 0,30 e 1,80 m h⁻¹ (BERNARDO, 2005).

O processo de transpiração pode acontecer em qualquer parte do organismo da planta, sendo que 90% ocorrem nas folhas e uma pequena quantidade de água é perdida em pequenas aberturas das cascas dos caules e ramos jovens. A transpiração ocasiona ascensão da seiva, resfriamento das folhas e aumenta a absorção de nutrientes. No entanto, esse processo pode também resultar em estresse hídrico e injúria por dessecação quando em condições de baixa umidade relativa, altas temperaturas e baixa umidade do solo (KERBAUY, 2013).

O Boletim 56 da FAO (ALLEN et al., 1998) estabelece conceitos referenciando a evapotranspiração de referência e da cultura. A evapotranspiração da cultura (ET_c) é caracterizada pela taxa de evapotranspiração de uma cultura qualquer em pleno estágio de desenvolvimento, sem restrição nutricional e hídrica (CARVALHO; OLIVEIRA, 2012). Para se determinar a ET_c é necessário que se conheça a evapotranspiração de referência (ET_o), a qual se refere às medições meteorológicas realizadas em uma área vegetada (SANTANA et al., 2011).

A ET_o pode ser determinada como a evapotranspiração que ocorre de uma cultura hipotética, que tem em média altura fixa de 0,12 m, albedo de 0,23, e resistência da cobertura do transporte de vapor d'água a 69 s m⁻¹, o qual caracteriza a evapotranspiração de um área gramada de forma uniforme, que esteja com desenvolvimento vigoroso, dando cobertura a superfície do solo com disponibilidade hídrica (PEREIRA et al., 1997).

No Boletim 24 da FAO (DOORENBOS; PRUITT, 1977) são apresentados quatro modelos de estimativa da evapotranspiração de referência (ET_o) a saber: balanço de radiação; tanque de evaporação, e os modelos de Blaney-Criddle e Penman - Monteith.

Outro parâmetro importante para o planejamento e conhecimento da necessidade de água para a planta é a determinação do coeficiente de cultivo (K_c). De acordo com Allen et al. (1998), a razão empírica entre a evapotranspiração da cultura (ET_c) e a evapotranspiração de referência (ET_o) estimada por fórmulas ou elementos da demanda evaporativa, determina o coeficiente de cultivo.

Fandino et al. (2015), com intuito de calibrar um modelo de equilíbrio de água no solo e determinar a transpiração e evaporação do lúpulo, relataram que a cobertura do solo influenciou evaporação, o que gerou uma variação de 19 a 32%, atingindo menor porcentagem quando a cobertura era maior. Além disso, os autores observaram que a transpiração da planta variou de 10 a 29%, contribuindo para o rendimento do lúpulo, sendo que, com maior transpiração obteve-se melhor produção, visto que esse processo auxilia na absorção de nutrientes pela planta.

2.4.2 Coeficiente de Cultivo (Kc)

O valor de Kc está relacionado com a evapotranspiração da cultura livre de doenças, com disponibilidade ótima de fertilidade do solo e água, podendo assim atingir seu potencial produtivo (ALBUQUERQUE; DURÕES, 2008).

O Kc sofre influência de indicadores biológicos como área foliar, estrutura da planta, cobertura vegetal, do solo e a transpiração (VILA NOVA, 2001); e fatores físicos, como o tipo de solo (BERGAMASCHI, 1999). Trata-se de um parâmetro que tem relação com os fatores fisiológicos e ambientais de cada cultura e até mesmo variando entre cultivares, sendo assim, está também relacionado às condições locais de cultivo.

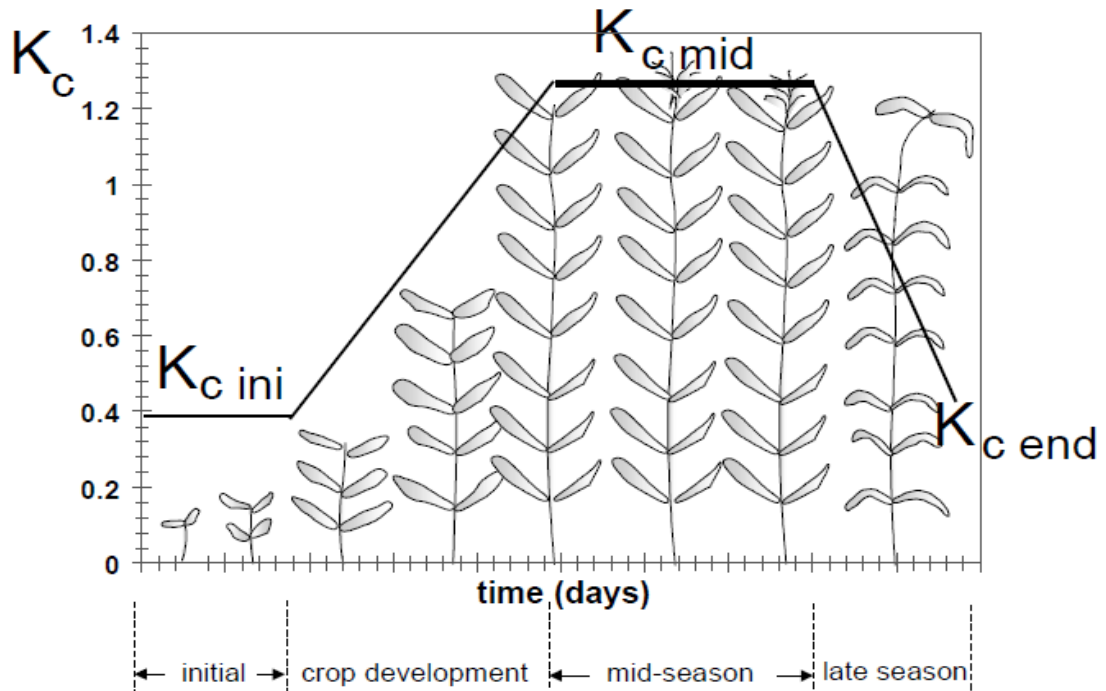
O Kc possui distribuição temporal durante o ciclo de crescimento, o qual constitui a curva de cultura (ALLEN et al., 1998). A ETo representa a demanda evapotranspirativa, estabelecida pelas condições climáticas, e o Kc demonstra a demanda de água pela planta, que pode ser estipulado para cada estágio de desenvolvimento (SEDIYAMA et al., 1998).

A diferença da ETo e ETc é identificada quanto as características do dossel da vegetação, cobertura do solo e na resistência aerodinâmica entre a cultura e a grama. O Kc é o fator que mostra essa distinção, devido à sua variação ao longo do ciclo, em que pode atingir valores maiores que 1 em fase de desenvolvimento (CARVALHO; OLIVEIRA, 2012).

O fator Kc funciona como uma agregação das diferenças físicas e fisiológicas entre a cultura e a definição de referência. Entretanto, a variação das condições atmosféricas é incorporada na estimativa da ETo, já o Kc predominantemente varia com as características específica da cultura e em relação as práticas de manejo aplicadas (ALLEN et al., 1998).

A Figura 2 mostra a curva do coeficiente de cultura (K_c), de acordo com a duração dos dias para as diferentes fases fenológica de uma cultura em geral.

Figura 2 – Curva generalizada do coeficiente de cultura



Fonte: FAO 56

De acordo com o boletim FAO 56, o lúpulo apresenta quatro fases fenológicas, sendo fase inicial, desenvolvimento, meio e final, com duração de 25, 40, 80 e 10 dias respectivamente. Os valores de K_c foram indicados de 0,3 na fase inicial, 1,05 na fase de crescimento médio e de 0,80 na final (ALLEN et al., 1998). Trabalho realizado por Fandinõ et al., (2015), com intuito de validar um modelo de balanço hídrico para o lúpulo e determinar a transpiração e evaporação, apresentou K_c s com valores de 0,69, 1,02 e 0,85, na sequência, para as fases inicial, intermediária e final.

2.4.3 Método de Penman-Monteith para estimar a Evapotranspiração

O método de Penman – Monteith (PM), apresentado no Boletim 56 da FAO, foi definido como método-padrão para estimar ETo , por se aproximar da evapotranspiração do padrão da grama nos locais analisados e mostrar maior

precisão quando comparado a outros métodos (XING et al., 2008; ALENCAR et al., 2015), mesmo considerando que, em algumas condições climáticas, pode ocorrer erros próximos a 30% (WIDMOSER, 2009; ALENCAR et al., 2015). Este método requer dados de radiação, temperatura do ar, umidade relativa do ar e velocidade do vento.

Entretanto, o uso do método de Penman – Monteith (PM) é restrito pela ausência de algumas variáveis para estimativa da evapotranspiração de referência. Allen et al. (1998) recomendam estimar os dados climáticos, como radiação, umidade relativa do ar e velocidade do vento, caso haja impossibilidade de obter medidas *in loco*. Medidas e análises do modelo foram realizados em diferentes países e climas para testar sua viabilidade.

No entanto, os valores de K_c apresentados pela literatura são empíricos e muitas vezes não adaptados ao local, fato esse é que as razões de ET para E_{To} dependem de interações não lineares de solo, condições atmosféricas, cultura e práticas de manejo de irrigação, pois tornam essenciais para plantações em linha, pomares e vinhedos que apresentam copas esparsas e alta variabilidade espacial de cobertura de vegetação e cobertura de solo (FARIAS et al., 2009).

A FAO, em posse do modelo indicado como padrão (PM), propôs características específicas para as culturas como referência hipotética, além disso, considera-se as condições físicas e a resistência aerodinâmica como fatores determinantes para a evapotranspiração de referência (E_{To}) (CARVALHO; OLIVEIRA, 2012).

A resistência da superfície está relacionada à resistência do fluxo de vapor através das aberturas dos estômatos da vegetação, da área foliar e superfície do solo. Sendo a resistência aerodinâmica referindo-se à resistência da vegetação no que se refere ao atrito existente entre a passagem do ar e a superfície vegetada. Entretanto, a resistência de superfície e as resistências aerodinâmicas são específicas da cultura (ALLEN et al., 1998).

Contudo, o método de Penman-Monteith é considerado de maior eficiência para determinar a evapotranspiração de referência, porém a dificuldade é que nem sempre estão disponíveis todas as variáveis climáticas necessária para a estimativa, sendo assim, seu uso acaba sendo limitado pela falta de medidas da radiação solar, por exemplo. Djaman et al. (2019), em um estudo no Novo México, com objetivo de avaliar a equação de PM sob dados climáticos limitados, observaram que quanto maior a falta de dados precisos, a E_{To} tendia a ser subestimada.

Apesar disso, esse é o método mais indicado, pois o fato de considerar a radiação solar como um de seus parâmetros faz com que o modelo seja eficiente em retratar as condições locais com maior precisão. Dessa forma, o método é utilizado para validação de outros. Unes et al., (2018) validaram uma rede neural artificial (ANN) comparando aos outros métodos tradicionais como o de Hargreaves-Samani e Turc, para estimar a evapotranspiração na Carolina do Sul (EUA), os autores utilizaram o modelo de Penman-Monteith para verificar a eficiência e viabilidade do modelo ANN, o qual mostrou melhor desempenho comparado aos outros.

2.5 Lisímetria

Os lisímetros são estruturas para medir a evapotranspiração, nas quais um determinado volume de solo vegetado é isolado, com intuito que as entradas e saídas de água sejam monitoradas e controladas. A partir desse sistema de controle, para obtenção de medidas precisas de evapotranspiração, as plantas inseridas no lisímetro devem ter as mesmas condições de cultivo que as demais ao seu redor (CARVALHO; OLIVEIRA, 2012).

Existem diferentes modelos de lisímetros, e sua escolha depende de alguns fatores, tais como clima, custo de construção, finalidade para qual vai ser utilizado, tipo de cultura a ser implantada e tecnologia aplicada para o funcionamento (CAMPECHE et al., 2011). Os lisímetros podem ser de drenagem, de pesagem e de lençol freático constante (ABOUKLED et al., 1986).

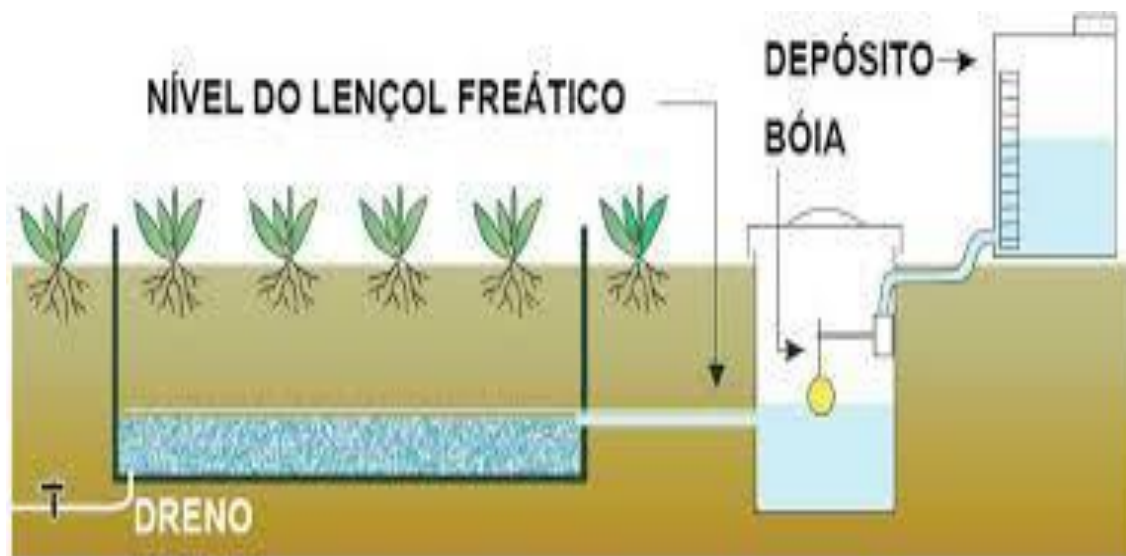
Lisímetros de drenagem são representados por reservatórios colocados no solo que estabelece a evapotranspiração da cultura, o qual é a água de irrigação aplicada menos a água de drenagem que sai. Estes tipos de lisímetros contêm um orifício embaixo do tanque, facilitando a saída do excesso de água, canalizada por um sistema de drenagem, que recolhe a água (BERNARDO; SOARES; MANTOVANI, 2008).

A técnica dos lisímetros de pesagem compreende medir a variação do peso de um bloco de solo, devido à entrada ou saída de água, por meio de uma célula de carga a qual monitora a dinâmica da água no solo. O equipamento que oferece a estimativa da evapotranspiração baseada em pesagem é usado em condições de campo para monitorar o desenvolvimento de culturas e obter o coeficiente de cultivo de interesse (POSS et al., 2004).

Howell et al. (1991) consideram que lisímetros de pesagem são os melhores equipamentos disponíveis para medir com exatidão a evapotranspiração de referência, como também para calibração de modelos. Com a introdução da microeletrônica, esse equipamento ganhou um novo impulso nas pesquisas agrometeorológicas (BARBOSA JUNIOR, 2009).

Os lisímetros de lençol freático constante são muito utilizados pela facilidade de manuseio, quando comparados aos demais tipos. Neste sistema, a evapotranspiração do cultivo de interesse é determinada pelo volume de água que sai do sistema de alimentação dos lisímetros (PEREIRA; ANGELOCCI; SENTELHAS, 2007), sendo os mais indicados para situações experimentais em ambiente protegido. A Figura 3 mostra o esquema de um lisímetro de lençol freático.

Figura 3 - Imagem de lisímetro de lençol freático



Fonte: (Varejão-Silva, 2006)

A alteração do volume do depósito de água é o mesmo consumido pelas plantas, acessível no lençol freático, visto que este último está isolado, sendo portanto as perdas compreendidas pela evapotranspiração das plantas.

2.6 Manejo da Irrigação

A água é um dos principais fatores responsáveis pelo desenvolvimento e produtividade das culturas, sendo assim, um fator limitante quanto a evolução da prática agrícola, caso o fornecimento de água seja incorreto. Desta forma, é de

suma importância a manutenção e conservação dos ecossistemas por meio da disponibilidade adequada de água (ANDRADE, 2012), sem que haja desperdício ou deficiência de disponibilidade às culturas.

Basso (2015) destacou a questão do consumo da água para as atividades agrícolas. Em vista da agricultura irrigada ter sido indicada como uma das causas do problema de racionamento de recursos hídricos, por utilizar 70% da demanda de água existente, o autor observa que “consumir” não seria o termo correto, pois a maior parte da água utilizada na agricultura faz parte do ciclo hidrológico.

A água utilizada para a irrigação representa em média de 15 a 25% do custo de produção da maioria das culturas irrigadas, porém, mesmo os produtores conhecendo as técnicas de manejo da irrigação e estando cientes quanto à necessidade do uso consciente da água, muitos não submetem as instalações de equipamentos para avaliar a demanda hídrica, sendo assim o alto custo pode ser causa de uma questão cultural e não financeira na maioria das vezes (ANTONINI, 2016), podendo assim causar desperdício, excesso de água ou até mesmo estresse hídrico na cultura.

O manejo da irrigação deve ser realizado com o objetivo de oferecer água suficiente às culturas para que não ocorra estresse hídrico, promovendo assim maior produtividade e qualidade do produto final (MARQUELLI et al., 2011). Além de melhorar as condições físicas e químicas do solo, a adequada disponibilidade de água diminui a incidência de pragas e doenças, e também reduz o custo de energia e de fertilizantes (ALBUQUERQUE, 2008). O excesso de água para a planta pode causar danos ao meio ambiente, desperdício de nutrientes, devido à lixiviação e consequentemente o elevado custo de produção.

Diferentes metodologias podem ser empregadas para o manejo da irrigação, conforme demanda agrometeorológica, características fisiológicas das plantas e em vista do balanço de água no solo, assim como a combinação dos métodos citados (CARVALHO; OLIVEIRA, 2012).

O método a ser utilizado depende da disponibilidade de equipamentos e de recursos financeiros da propriedade, frisando que existem metodologias economicamente viáveis e eficientes para estimar ou medir as necessidades hídricas das culturas, como o uso de lisímetros ou sensores de umidade do solo.

A necessidade de água do lúpulo cultivado no Brasil ainda está em estudo. Os produtores baseiam-se em relatos e estudos realizados de outros países para a

adoção dos sistemas de irrigação, porém é válido destacar que essas orientações de regiões distintas do Brasil, em termos de clima e tipo de solos, podem não apresentar o manejo de irrigação adequado para os produtores nacionais, devido a grande diferença em termos de condições atmosféricas e por consequência, disponibilidade hídrica.

Nas regiões de Yakima Valley nos Estados Unidos e Hallertau na Alemanha, maiores produtores de lúpulo, o uso de irrigação tornou-se indispensável devido aos períodos prolongados de seca (GRAF et al., 2019). Em Yakima Valley, os produtores utilizam dentre 610 a 712 mm de água por ano proveniente da irrigação (Evans, 2003).

2.7 Trocas gasosas

As trocas gasosas entre ambiente externo e plantas ocorrem através dos estômatos, mediadas por meio do influxo de CO_2 durante o processo fotossintético, quando ocorre também o efluxo de água, através da transpiração, sendo esse processo de entradas e saídas de água o principal mecanismo de controle das trocas nas plantas (SILVA et al., 2015). O estresse hídrico pode causar o fechamento dos estômatos impedindo ou reduzindo a condutância estomática, o que ocasiona a interrupção do processo descrito.

A fotossíntese é um processo fisiológico que ocorre nos tecidos clorofilados das plantas, responsável por fazer com que o vegetal adquira substâncias orgânicas através de substâncias inorgânicas (H_2O e CO_2), sendo portanto um processo de obtenção de energia utilizada pelas plantas por meio da luz solar (PES; ARENHARDT, 2015).

O *Infrared Gas Analyzer* (IRGA) é um analisador de gás por Infravermelho, que mede a taxa fotossintética das plantas ou folhas (LOPES; LIMA, 2015), sendo um equipamento utilizado para as avaliações das trocas gasosas das plantas e definição de perfis fisiológicos. Os principais parâmetros fisiológicos analisados são: taxa de assimilação de CO_2 (A), condutância estomática (gs), concentração interna de CO_2 (Ci), taxa de transpiração (E), eficiência do uso da água nas folhas (EUA) e eficiência de carboxilação (A/Ci).

A concentração interna nas plantas de CO_2 da atmosfera (C_i) é, em geral, de aproximadamente 0,036%, e quanto maior essa concentração, maiores serão as

atividades fotossintéticas, se não houver algum fator limitante (LOPES; LIMA, 2015). Conforme o aumento interno da pressão parcial de CO_2 há um aumento na taxa de oxigênio, o que também acarreta aumento da taxa fotossintética (CARVALHO, 2014).

O aumento nos valores de C_i ocorre a partir de um fechamento dos estômatos, sendo assim, a redução estomática seria o fator limitante da atividade fotossintética na planta. Dessa forma, quanto maior a abertura dos estômatos, maior será a difusão de CO_2 para a câmara subestomática (Nascimento, 2009).

Outro fator importante é a transpiração (E), que é a perda de água pelas plantas na forma de vapor, sendo que aproximadamente 95% da água absorvida pela planta é perdida pela transpiração, o qual utiliza apenas 5% para o seu desenvolvimento. A umidade e a temperatura são fatores que podem modificar a magnitude do gradiente do vapor de água entre a atmosfera e as folhas, interferindo na taxa de transpiração, no entanto transpiração em excesso pode resultar em perdas na produção (PIMENTA, 2013).

Tramontine et al., (2013), avaliando os principais mecanismos que potencializam o cultivo da videira, concluíram que a textura do solo influenciou significativamente nos parâmetros de trocas gasosas e no potencial de água nas folhas, e conseqüentemente na qualidade e produtividade dos frutos. Os mesmos autores constataram que o solo argiloso proporcionou melhores respostas, produzindo frutos com maior teor de açúcar e o consumo de água foi intermediário, quando comparado aos solos de textura mais arenosa. Isso é devido a maior capacidade de retenção hídrica do solo avaliado.

O uso eficiente da água está relacionado com o período de abertura dos estômatos, sendo que, enquanto a planta absorve CO_2 para a fotossíntese, a água é perdida por transpiração (CONCENÇO et al., 2007).

Outro parâmetro relacionado com a concentração de CO_2 é a carboxilação (A/C_i), a qual é influenciada pela enzima de rubisco, enzima de grande concentração nas plantas, sendo que quanto maior a concentração de CO_2 na atmosfera, maior será a carboxilação (ANDREWS; LORIMER, 1987).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Características locais e condução do experimento

O cultivo do lúpulo, da variedade Cascade, foi realizado na área experimental do Departamento de Bioprocessos e Biotecnologia da Faculdade de Ciências Agrônômicas da Universidade Estadual Paulista, Campus Botucatu, estado de São Paulo, com latitude de 22°51' S, e longitude 48°25' W e 762 m de altitude, segundo classificação de Köppen, o clima da região é do tipo "Cwa" subtropical úmido mesotérmico, com predominância de verão quente e úmido e inverno seco (DAL PAI, A et al., 2016; SILVA et al., 2017).

A condução do experimento se iniciou em 22 de setembro de 2018, com término em 27 de fevereiro de 2019, com duração de 159 dias.

As mudas de lúpulo (*Humulus lupulus*) da variedade Cascade foram cultivadas em um ambiente protegido o qual tinha as seguintes características: cobertura plástica de polietileno difusor (PEBD 150µm) e laterais fechadas com tela antiafídeo 50 mesh, teto formato em arco, com dimensões de 7 m de largura, 24 m de comprimento e pé direito de 2,5 m (Figura 4). Utilizou-se, para o cultivo das plantas, vasos plásticos com capacidade de 28 litros, para cada um dos tratamentos de três diferentes texturas de solos (arenoso, médio e argiloso).

Figura 4 – Estrutura e condução do experimento.



Fonte: Sousa (2021)

Os solos utilizados foram obtidos na mesma unidade universitária. Após a coleta espalhou-se os mesmos dentro do ambiente protegido para secagem ao ar. Três amostras diariamente foram submetidas a pesagem, até atingir peso constante para o preenchimento dos vasos, os quais foram preenchidos com 29 kg de solo seco cada. Amostras de solos foram encaminhadas para determinação das características físicas e químicas dos mesmos (Tabela 2).

A condução das plantas foi feita por meio de sisais suspensos por cabos de aço.

Tabela 2 - Características físicas e químicas dos solos utilizados para cultivo do Lúpulo

Areia		Argila		Silte		Textura do solo					
-----		-----		-----		Arenosa					
(g kg ⁻¹)		(g kg ⁻¹)		(g kg ⁻¹)							
861		91		48							
pH	M.O.	P _{resina}	Al ³⁺	H+AL	K	Ca	Mg	SB	CTC	V	S
CaCl ₂	g dm ⁻³	mg dm ⁻³			mmol _c dm ⁻³					%	mgdm ⁻³
5,6	13	107	0	16	1,5	31	10	42	58	73	8
B		Cu		Fe		Mn			Zn		
-----		-----		-----		-----			-----		
0,23		1,4		63		2,8			5,5		

Areia		Argila		Silte		Textura do solo					
-----		-----		-----		Médio					
(g kg ⁻¹)		(g kg ⁻¹)		(g kg ⁻¹)							
671		280		49							
pH	M.O.	P _{resina}	Al ³⁺	H+AL	K	Ca	Mg	SB	CTC	V	S
CaCl ₂	g dm ⁻³	mg dm ⁻³			mmol _c dm ⁻³					%	mgdm ⁻³
5,0	22	16	0	40	1,2	29	17	47	87	54	0
B		Cu		Fe		Mn			Zn		
-----		-----		-----		-----			-----		
0,20		0,4		39		0,6			0,3		

Areia		Argila		Silte		Textura do solo					
-----		-----		-----		Argiloso					
(g kg ⁻¹)		(g kg ⁻¹)		(g kg ⁻¹)							
486		390		124							
pH	M.O.	P _{resina}	Al ³⁺	H+AL	K	Ca	Mg	SB	CTC	V	S
CaCl ₂	g dm ⁻³	mg dm ⁻³			mmol _c dm ⁻³					%	mgdm ⁻³
4,0	25	5	18	72	0,5	6	2	8	79	10	9
B		Cu		Fe		Mn			Zn		
-----		-----		-----		-----			-----		
0,25		3,9		32		4,3			0,3		

Fonte: Laboratório de física de solo e Laboratório de fertilidade do solo, FCA, UNESP

O pH do solo foi corrigido para aproximadamente 7,0, três meses antes da implantação do experimento. A adubação foi realizada de acordo com o volume de solo no vaso, seguindo as recomendações de Dodds (2017) para a cultura do lúpulo, sendo 230, 100 e 40 kg ha⁻¹ de nitrogênio (N), potássio (K) e fósforo (P), respectivamente. Para a adubação de plantio utilizou-se as fontes ureia, KCl e P₂O₅ na proporção de 1,7; 2,55 e 5,8 gramas por vaso, respectivamente. Devido à falta de recomendação de adubação para diferentes texturas, utilizou-se a mesma quantidade de nutrientes para os três tratamentos.

Para melhor aproveitamento do nitrogênio, o adubo foi dividido quinzenalmente durante o ciclo, na forma de uréia, nitrato de cálcio ($\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$) e nitrato de potássio (KNO_3) a 3%. Ainda foram realizadas duas adubações foliares com micronutrientes durante o cultivo utilizando: ZnSO_4 (0,1%); MnSO_4 (0,2%); $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_5$ (0,2%) e H_3BO_3 (0,1%).

A textura tem grande influência no comportamento físico-hídrico e químico do solo, sendo assim, de acordo com Ferreira, (2010) no diagrama textural baseado no sistema Norte Americano de classificação do tamanho de partículas e adotado pela Sociedade Brasileira de Ciência do solo (SBCS), a proporção de areia, silte e argila (Tabela 2) classificou a textura de cada solo utilizado. Dessa forma, a Tabela 2 confirma a caracterização das texturas de solos estudados.

A caracterização físico-hídrica dos solos foi realizada determinando-se os pontos de umidade e tensão por meio do equipamento de placa de pressão de Richards, utilizando o modelo de Van Genuchten (1980) (Equação 1), que simula o comportamento da umidade do solo em função do potencial matricial do solo (kPa). Utilizando esses valores de umidade e tensões relacionadas e a partir do uso do software *Soil Water Retention curve* (SWRC), desenvolvido por Dourado Neto et al. (2000), foi possível obter o ajuste do modelo de Van Genuchten, para a obtenção da curva de retenção de água nos solos (Figura 5).

$$\theta = \theta_R + (\theta_S - \theta_R) * \left[\frac{1}{1 + (\alpha * \psi)^n} \right]^m \quad (1)$$

em que:

θ = Umidade volumétrica ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$);

ψ = Tensão de água no solo (kPa);

θ_S = Umidade de saturação ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$);

θ_R = Umidade residual ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$);

α = parâmetro empírico do modelo (cm^{-1});

n , m = parâmetros estimados para o ajuste da umidade volumétrica com o potencial matricial (adimensionais). Na Tabela 3 constam os valores para cada termo da equação de Van Genutchen.

Tabela 3 - Parâmetros da equação de Van Genuchten para os três tipos de solo utilizado no experimento

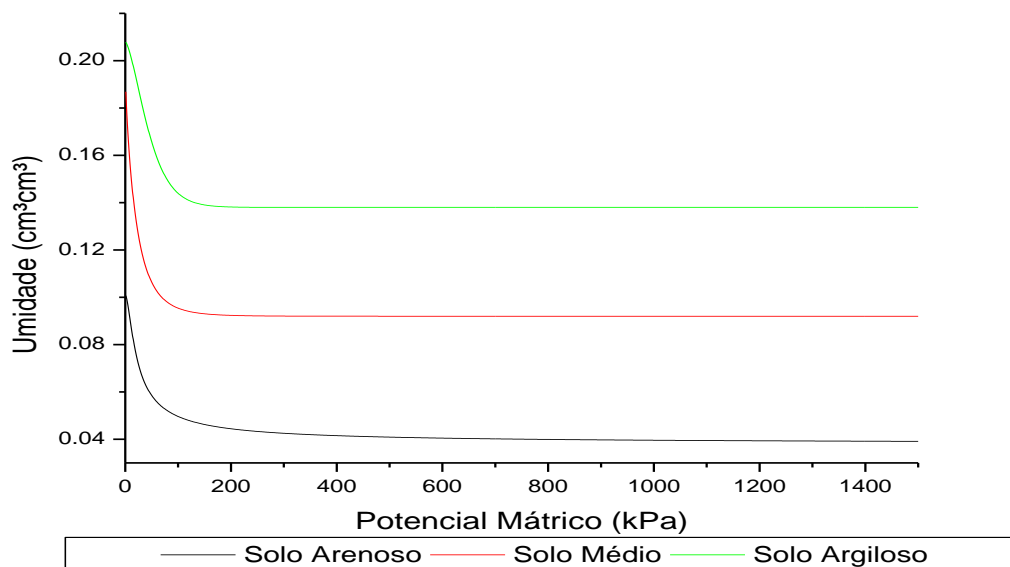
Parâmetros	Solo arenoso	Solo médio	Solo argiloso
θ_s	0,101	0,193	0,208
θ_R	0,038	0,092	0,138
A	0,006	0,004	0,004
n	1,745	0,904	1,500
m	0,661	10,129	12,608

Fonte: software SWRC (Soil Water Retention curve)

Foram utilizadas amostras deformadas dos solos para a determinação das curvas de retenção de água, no entanto o método foi utilizado para a acompanhamento dos dados da lisimetria, por uma questão de segurança, quanto à estabilidade das condições de umidade dos solos, caso houvesse alguma medida discrepante, que pudesse ser consequência de vazamentos e outros problemas experimentais.

Sendo assim, instalou-se tensiômetros nos vasos sob os lisímetros, e a tensão de água no solo foi medida diariamente com auxílio de um tensímetro digital marca Blumat® para validar as leituras feitas dos reservatórios, a fim de utilizar essa rotina como forma de acompanhar as leituras dos lisímetros. Os valores de potencial matricial foram analisados por meio da curva de retenção de água do solo (Figura 5).

Figura 5 - Curvas de retenção da água no solo, gerada utilizando-se o modelo de van Genuchten



A curva de retenção de água no solo é representada pelos potenciais matriciais, ou seja, a energia com que a água está retida no solo e a umidade relacionada em

cada ponto de tensão, o qual pode-se observar a diferença de capacidade de campo e água disponível entre as três texturas de solo analisadas.

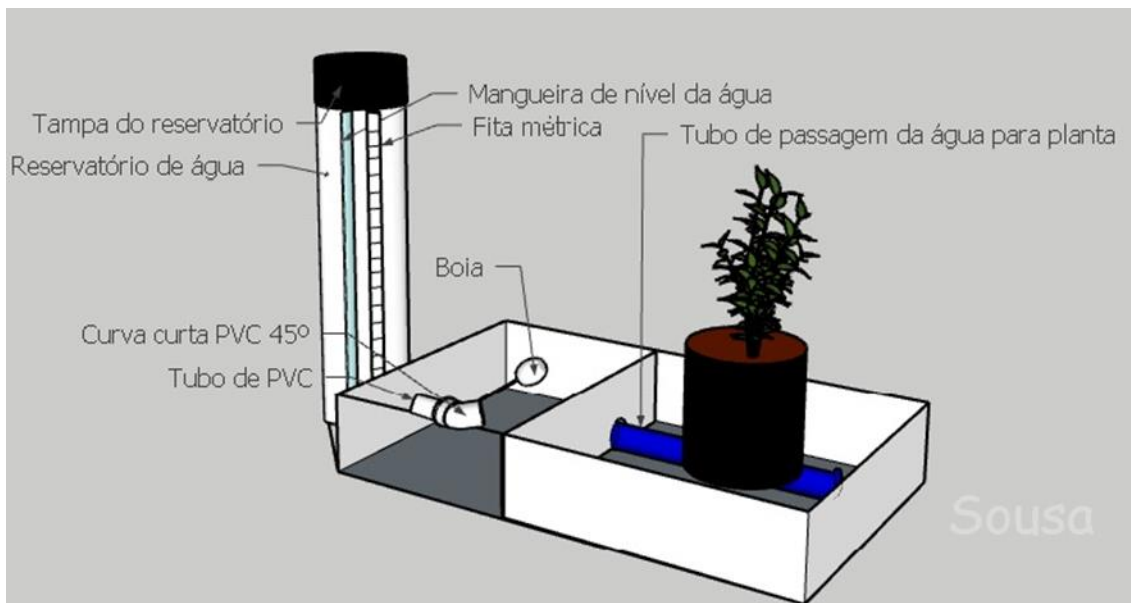
Para o experimento foi utilizado o delineamento inteiramente casualizado, sendo utilizados, como mencionado anteriormente, três tipos de solo quanto à textura (arenosa, média e argilosa) para preenchimento dos vasos e lisímetros. Foram utilizadas 10 plantas por tratamento, e três plantas de cada tratamento foram cultivadas sob um lisímetro de lençol freático.

3.2. Instalação dos lisímetros e obtenção da evapotranspiração da cultura

Para medir a evapotranspiração da cultura foram instalados nove lisímetros de lençol freático constante, sendo três para cada textura de solo utilizado no experimento. A estrutura do lisímetro era composta por uma caixa metálica com dimensões de 0,40 m de largura por 0,60 m de comprimento e altura de 0,14 m, contendo uma camada de 0,05 m de areia lavada, uma boia para controlar o nível da água na caixa e tubos e curvas de Policloreto de Vinila (PVC), para ligar a passagem da água entre os reservatórios e acesso a planta.

A caixa metálica era abastecida por um reservatório de água, graduado em milímetros, constituindo-se em um tubo de PVC, de 150 mm de diâmetro e altura de 0,80 m (Figura 6).

Figura 6 - Croqui dos lisímetros utilizados para medir a evapotranspiração da cultura



Os vasos foram enterrados em parte na areia, a uma profundidade de aproximadamente 0,05 m. Tendo como o objetivo medir a evapotranspiração da cultura, as caixas metálicas dos lisímetros foram vedadas por placas de isopor e, posteriormente para reforçar a vedação, foram cobertos por lonas, impedindo a evaporação da água por esta área.

Os reservatórios que abasteciam as caixas também foram fechados por plástico e tampa, ficando aberto somente para o abastecimento de água. A perda de água nos lisímetros acontecia apenas pela evaporação do solo contida nos vasos e pela transpiração das plantas. Testes frequentes para verificar possíveis vazamentos eram realizados a fim de evitar desperdício de água e dados duvidosos acerca do processo de evapotranspiração.

Para mensurar a evapotranspiração da cultura, as leituras dos lisímetros foram realizadas diariamente utilizando uma régua, sempre no mesmo horário, entre 8h e 8h30min. As leituras das medidas do nível da água, observadas na régua milimetrada de cada reservatório, foram aplicadas na equação 2 para calcular, por meio das relações de proporcionalidade entre os volumes dos reservatórios e dos vasos das plantas, a evapotranspiração diária da cultura (SANTOS et al., 2015).

$$ET_c = (LAT - LA) \times \left(\frac{DR}{DV}\right)^2 \quad (2)$$

Em que:

ETc = Evapotranspiração da cultura (mm);

LAT = Lâmina do dia anterior (mm);

LA = Lâmina atual (mm);

DR = Diâmetro do reservatório (mm);

DV = Diâmetro do vaso (mm).

Sendo os valores de DV e DR de 345 e 150 mm respectivamente. A Figura 7 mostra as etapas de montagem dos lisímetros, a saber: A - caixa metálica do lisímetro após a pintura e vedação das laterais com adesivo impermeável; B- lisímetro nivelado sob tijolos após ser preenchido com areia, sendo parte do vaso submerso a uma profundidade de 0,05 m; C- caixa metálica e o reservatório menor sendo vedado com placas de isopor; D- lisímetro pronto para medir a evapotranspiração, permitindo a evaporação da água somente pela área do vaso.

Figura 7 – Etapas do processo de montagem dos lisímetros



Fonte: Sousa (2021)

3.3 Determinações dos coeficientes de cultivo do lúpulo (Kc) e evapotranspiração de referência (ETo)

A determinação do coeficiente de cultivo (Kc) foi realizada a partir da relação entre evapotranspiração da cultura (ETc) e a evapotranspiração de referência (ETo) (Equação 3). Foi obtido o Kc para cada uma das fases fenológicas da planta, sendo em número de quatro, de acordo com a metodologia descrita por Doorenbos e Pruitt (1975). As fases foram: inicial (I), crescimento rápido (CR), crescimento médio (CM) e final (F).

$$Kc = \frac{ETc}{ETo} \quad (3)$$

Com base nas informações do manual 56 da FAO para Irrigação e Drenagem, determinou-se o tempo de duração de cada uma das quatro fases e o período total de crescimento para o lúpulo, sem distinção de variedade. O Kc do lúpulo foi estabelecido de acordo com essa duração para cada fase (Tabela 4).

Tabela 4- Comprimento das fases de desenvolvimento do lúpulo

Fases	Duração em dias
Inicial (I)	25
Crescimento rápido (CR)	40
Crescimento médio (CM)	80
Final (F)	10

Fonte: FAO/56

Para a determinação da evapotranspiração de referência (ETo) foi utilizado o modelo de Penman-Monteith (Equação 4). As variáveis meteorológicas de entrada do modelo foram obtidas por meio do banco de dados da Estação Meteorológica localizada próxima a casa de vegetação, nas dependências da Faculdade de Ciências Agrônomicas e consistiram de medidas diárias, com médias a cada 5 minutos, das variáveis meteorológicas externas ao ambiente protegido a fim de retratar a evapotranspiração do sistema solo-planta-atmosfera de referência (FAO-56).

$$ETo = \frac{0,408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T_{med} + 273} U_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0,34U_2)} \quad (4)$$

Em que:

R_n : saldo de radiação na superfície ($\text{MJ m}^{-2}\text{d}^{-1}$);

G = fluxo de calor no solo ($\text{MJ m}^{-2}\text{d}^{-1}$);

T_{med} = temperatura média do ar ($^{\circ}\text{C}$);

U_2 = velocidade do vento na altura de 2 m (m.s^{-1});

e_s = pressão de saturação de vapor (kPa);

e_a = pressão de vapor atual do ar (kPa);

$(e_s - e_a)$ = déficit de pressão de vapor (kPa);

Δ = declividade da curva de pressão de vapor de saturação ($\text{kPa } ^{\circ}\text{C}$);

γ = constante psicométrica ($\text{kPa } ^{\circ}\text{C}$).

Para caracterização microclimática do ambiente protegido foi instalada em seu interior uma Mini-Estação Meteorológica com as seguintes especificações: Saldo Radiômetro Modelo CNR1 Net Radiometer, da marca Kipp Zonen®, termohigrômetro tipo HMP45C, da marca Vaisala®, data logger CR 1000, da Campbell Scientific®.

3.4 Manejo da irrigação via lisímetro de lençol freático

O manejo da irrigação foi adotado com base na evapotranspiração diária da cultura, por meio das leituras dos lisímetros de lençol freático. O volume de água aplicado foi calculado por meio da média aritmética dos valores obtidos dos três lisímetros, para cada tratamento, obtendo-se assim três lâminas de irrigação (mm) de acordo com a necessidade de cada textura de solo (arenoso, médio e argiloso). Estes valores foram inseridos na Equação 2, mostrada anteriormente, para o cálculo da evapotranspiração diária.

As lâminas eram aplicadas com o intuito de repor a água consumida e verificada por meio da evapotranspiração da cultura do dia anterior. No entanto, por medidas paliativas, quando a lâmina de irrigação era maior, a mesma era fracionada duas vezes ao dia para as plantas cultivadas em solo arenoso, devido sua baixa capacidade de retenção de água.

O sistema de irrigação foi alimentado por um conjunto de motobomba de $\frac{1}{2}$ cv, conectado à uma caixa d'água de 300 litros, para conduzir a água até as plantas. O sistema de irrigação por gotejamento foi utilizado, com gotejadores do tipo

autocompensantes, modelo CNL, com vazão de 2 L h^{-1} , utilizando-se um emissor por planta, conectados nos vasos por microtubos (Figura 8).

Figura 8 – Sistema de irrigação utilizado no experimento



Fonte: Sousa (2021)

Para garantir o bom funcionamento do sistema de irrigação, fez-se o teste de uniformidade de distribuição (CUD), conforme a metodologia de Keller; Karmeli (1974). Obteve-se 98% de uniformidade e 0,97 de eficiência do sistema (E_f), estimada conforme equação recomendada por Wu (1997). Para realização do teste, foram utilizados coletores com capacidade de 300 mL, proveta e cronômetro para contabilizar o tempo. O Sistema ficou ligado por 50 minutos para avaliação, e os valores obtidos (volume de água coletados) foi aplicado nas equações 5 e 6.

$$CUD = \frac{q_{25}}{q} \quad (5)$$

Em que:

q_{25} = média de 25% das menores vazões coletadas (L h^{-1});

q = média das vazões coletadas (L h^{-1}).

$$E_f = \frac{q_{min}}{q} \quad (6)$$

Sendo que:

E_f = eficiência de aplicação do sistema (adimensional);

q_{\min} = vazão mínima ($L h^{-1}$).

3.5 Análises das plantas

Abaixo seguem os tipos de avaliações realizadas em relação às plantas e seus constituintes, assim como trocas gasosas e eficiência do uso da água. Dessa forma, tem-se as seguintes avaliações:

1. Fitomassa verde e seca: realizada após a última colheita, 160 dias após o transplântio. As plantas, de cada um dos tratamentos, foram cortadas rentes ao solo, identificadas devidamente e suas massas foram obtidas por meio do uso de uma balança analítica, colocadas, em seguida, em sacos de papel e transferidas para estufa a $65\text{ }^{\circ}\text{C}$ para serem secas até apresentarem massas constantes, seguindo metodologia proposta em Crusciol et al. (2005);

2. Teor de nutrientes nas folhas: análises foliares de macronutrientes e micronutrientes foram realizadas no laboratório do Departamento de Solos e Recursos Ambientais da Faculdade de Ciências Agrônômica da UNESP, após o aparecimento dos primeiros cones maduros, aos 90 dias após início do experimento, a coleta foi realizada fazendo-se amostras composta de todas as plantas avaliadas de cada tratamento, utilizando a metodologia recomendada por Malavolta et al., (1997).

3. Produção: as colheitas foram realizadas sempre que necessário, de acordo com a quantidade de cones maduros, contabilizando quatro colheitas durante o ciclo, seguidas da obtenção da massa total de cones por plantas;

4. Trocas gasosas: as medidas foram realizadas 62 dias após a estabilização dos lisímetros e início do experimento, utilizando-se o equipamento IRGA (*Infra Red Gas Analyser*), modelo LI-6400, da Li-Cor®, conforme disponibilidade da realização das medidas. As leituras foram feitas no período entre 7h30min e 8h30min da manhã. A taxa de absorção luminosa máxima determinou-se na hora da análise, foi de $1800\ \mu\text{mol m}^{-2}\ \text{s}^{-1}$. Analisou-se seis plantas de cada tratamento, sendo 3 dos lisímetro e três irrigadas, totalizando 18 plantas analisadas. Foram analisadas taxa de assimilação de CO_2 (A), condutância estomática (gs), concentração interna de CO_2 (Ci), taxa de transpiração (E), eficiência do uso da água nas folhas (EUA) e eficiência de carboxilação (A/Ci);

5. Eficiência do uso da água (EUA): determinou-se pela relação produtividade dos cones e lâmina de irrigação aplicada utilizando a Equação 7 a seguir (HEYDARI, 2014);

$$EUA = \frac{\text{Produtividade (kg.ha}^{-1}\text{)}}{\text{Lâmina aplicada (mm)}} \quad (7)$$

6. Alfa e beta ácidos e *Hop Storage Index* (HSI) dos cones do lúpulo: as análises foram realizadas utilizando o Princípio de Espectrofotometria e o Método ASBC HOPS 6 A, 8 e 12, realizadas pelo Laboratório Tecden de Porto Alegre-RS. A coleta dos cones para a análise ocorreu aos 142 dias após o início das avaliações de evapotranspiração.

3.6 Análise estatística

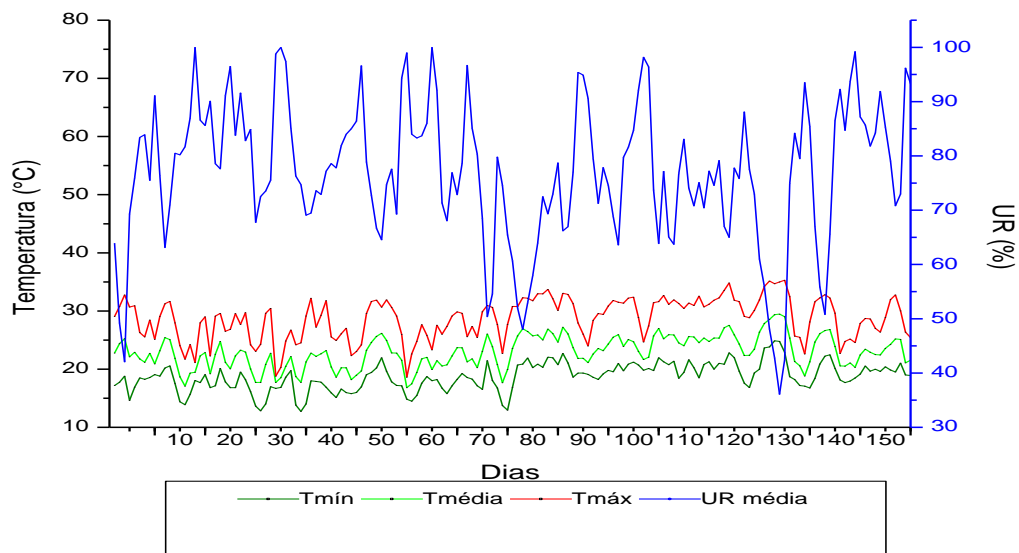
As análises estatísticas foram feitas com auxílio do software R, versão 3.6.2, para comparação entre os resultados obtidos para as análises mencionadas, frente às três diferentes texturas de solo. Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA), complementada pelo teste de comparação múltipla de Tukey a 5% de significância.

A normalidade e homocedasticidade dos resíduos foram avaliadas, considerando os testes de Shapiro Wilks e Bartlett, respectivamente. Quando não atendida as suposições básicas do modelo de análise de variância, optou-se por utilizar o procedimento não paramétrico de Kruskal-Wallis, complementado pelo teste de comparações múltiplas de Dunn. Esse método que foi desenvolvido por meio da modificação do teste t, realiza comparações múltiplas de todos os tratamentos, não realizando comparações dos tratamentos experimentais entre si (PONTES; CORRENTE, 2001).

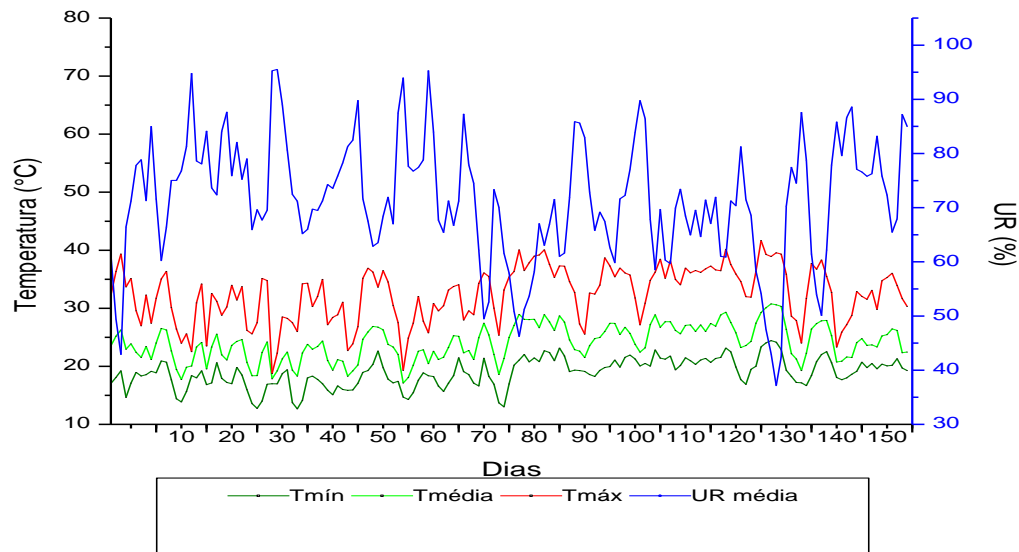
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ao longo do experimento, com duração de 159 dias (início em 22 de setembro de 2018 e finalizado em 27 de fevereiro de 2019), as temperaturas e umidades relativas do ar (máxima, mínima e média) foram monitoradas diariamente por duas estações meteorológicas, dentro e fora do ambiente protegido (Figura 9).

Figura 9 – Máximas, mínimas e médias de temperatura e umidade relativa do ar durante o período de condução do experimento, fora (a) e dentro da casa de vegetação (b)



(a)

**(b)**

As variações dos valores temperatura e de umidade relativa do ar do ambiente interno foram de 12,68 a 41,68 °C e 37,15 a 95,52%, respectivamente, enquanto para o ambiente externo as variações foram de 12,74 a 35,29 °C e 36,1 a 100% durante o ciclo. Pode-se observar que dentro do ambiente protegido alcançou-se as maiores temperaturas.

Em se tratando da cultura do lúpulo, em relação às regiões produtoras, a temperatura adequada para o desenvolvimento da planta está entre 20 e 30 °C (AQUINO et al., 2019), sendo esses valores relacionados às condições de cultivo do hemisfério norte. No local do presente experimento, os valores máximos de temperatura foram superiores ao indicado como adequado para a planta, o que pode ter acelerado o crescimento e florescimento das plantas, como o ocorrido durante o experimento.

Carvalho (2018) relata que para sobrevivência e desenvolvimento do lúpulo, a temperatura mínima ideal é de 8 °C, e a máxima não deve ser superior a 35 °C. Temperatura do ar muito alta pode prejudicar o sistema fisiológico da planta, podendo acelerar o ciclo e conseqüentemente inibir a biossíntese de beta e alfa-ácido (BAUERLE, 2019).

Em ambientes protegidos pode haver condições que favoreçam o estresse por excesso de calor nos dias de altas temperaturas, mesmo que as plantas sejam irrigadas adequadamente, visto que dentro do ambiente protegido a ventilação é

prejudicada e o acúmulo de umidade faz com que haja a diminuição da transpiração das plantas, conseqüentemente ocorrerá aumento da temperatura dos tecidos, o que equivale a afirmar que o vegetal está sob condição de déficit hídrico (BERGAMASCHI; BERGONCI, 2017).

A umidade relativa é influenciada pela temperatura do ar, assim como a pressão e a concentração de vapor de água, visto que a capacidade de retenção de água no ar circundante aumenta com a temperatura. Esses fatores influenciam o desenvolvimento das plantas, pois a temperatura e a umidade podem interferir quanto à concentração de vapor entre as folhas das plantas, e conseqüentemente, somado isso ao fator vento, há interferência quanto à transpiração (PIMENTA, 2013). Desse modo, as condições oferecidas às plantas dentro do ambiente protegido podem ser causas de estresse térmico. Na Tabela 5 são apresentados o número de dias, durante o ciclo analisado, em que a temperatura atingiu valores superiores e inferiores a temperatura considerada limite, de 30 °C.

Durante a fase inicial, em 64% dos dias a temperatura atingiu 30°C dentro do ambiente protegido, assim como, aproximadamente aos valores de 47,5% na fase de crescimento rápido, 87% na fase de crescimento médio, e 72% na fase final. Ao todo, ao longo do experimento, temperaturas superiores a 30°C estiveram presentes em 72% dos dias. Dessa forma, tem-se que o estudo foi conduzido em possíveis condições de estresse térmico.

Tabela 5- Duração de cada fase do lúpulo e número de dias que a temperatura alcançou valores maiores e menores que 30 °C dentro da casa de vegetação

Fases	Duração das fases (dias)	Temperatura > 30 °C (dias)	Temperatura < 30 °C (dias)
Inicial	25	16	9
Crescimento rápido	40	19	21
Crescimento médio	80	69	11
Final	14	10	4

Fonte: Autor

4.1 Evapotranspiração da cultura (ETc)

Deve-se ressaltar que os estudos sobre a disponibilidade de água e consumo pela planta são antigos, e observa-se que os estudos não se resumem em análises de solos e de plantas, mas sim em um sistema contínuo e complexo, composto por solo-planta-atmosfera, que demanda continuamente de pesquisa, principalmente em relação às culturas em expansão, como o lúpulo.

Sabe-se que o caminho da água até a planta possui uma trajetória, do solo até as raízes, seguido pela absorção pela planta e seu transporte até caules e folhas, considerando a evaporação pelos espaços intercelulares das folhas, a difusão de vapor das cutículas e estômatos e por fim, o movimento da atmosfera (REICHARDT; TIMM, 2012). Outro ponto importante é a textura do solo, sendo um dos fatores iniciais e determinantes para a dinâmica da água descrita.

Na Tabela 6 são apresentados os dados sobre a evapotranspiração da cultura e a percentagem da demanda hídrica nas suas diferentes fases fenológicas para as diferentes texturas de solos, utilizando as fases de referência da FAO 56, (ALLEN et al.; 1998): inicial (I), crescimento rápido (CR), crescimento médio (CM) e final (F), com duração média de 25, 40, 80 e 10 dias, respectivamente.

A fase de crescimento médio apresentou a maior demanda hídrica para os três tipos de solo, devido a maior duração da fase e formação de cones, sendo que para os solos argiloso, de textura média e arenoso, o equivalente foi de 64,3; 65,3 e 57,95%, respectivamente, do total do demanda de todo ciclo. Destaca-se ainda que durante esta fase, a temperatura de 30 °C foi superada na maior parte dos dias, como evidenciado na Tabela 6, o que pode ter proporcionado maior demanda evapotranspirativa das plantas.

Na fase inicial, como esperado, a demanda hídrica é a menor, considerando todo o ciclo, devido a menor área foliar da planta, assim como na fase final, onde a planta deveria entrar em senescência, que no caso do trabalho, mesmo reduzindo a demanda hídrica ficou evidente que o lúpulo não entrou em senescência. Durante o ciclo vegetativo, o processo de evaporação aumenta no início do desenvolvimento e diminui com o crescimento da área foliar, e na senescência da planta aumenta novamente, conseqüentemente a transpiração eleva com a área foliar e apresenta redução no final do ciclo (BERGAMASCHI; BERGONCI, 2017).

Tabela 6 - Médias da Evapotranspiração total da cultura do lúpulo em (mm) e o percentual de demanda hídrica para as três texturas de solos nas diferentes fases, inicial (I), crescimento rápido (CR), crescimento médio (CM) e final (F)

Fases	Dias	ETc Solo Argiloso	ETc Solo Médio	ETc Solo Arenoso
		----- (mm) -----		
I	25	86,84 (6,7%)	100,22 (7,4%)	113,92 (9,1%)
CR	40	291,40 (22,5%)	289,17 (21,5%)	334,77 (26,8%)
CM	80	832,17 (64,3%)	879,04 (65,2%)	722,73 (57,9%)
F	14	84,29 (6,5%)	78,81 (5,9%)	75,79 (6,1%)
Total	159	1.294,71	1.347,25	1.247,23

Na fase inicial e crescimento rápido, as plantas cultivadas em solo de textura arenosa tiveram maior evapotranspiração, comparado com os demais solos, invertendo essa demanda nas fases de crescimento médio e final, onde a demanda foi maior para o solo médio e argiloso, respectivamente. Fato esse pode ter ocorrido devido ao solo arenoso reter menos água, somado às condições de alta de temperatura no ambiente de cultivo, a planta pode ter passado por estresse térmico e hídrico e acelerado o ciclo.

Em geral, ocorreu alta demanda evapotranspirativa da cultura para os três tipos de solo, comparado com a informação dada por Mahafee (2009), que menciona ser de 700 a 800 mm de água a demanda hídrica do lúpulo na fase de crescimento para regiões de clima árido. Na região da Galícia, Espanha, a demanda relatada foi de 396 a 557 mm e em Portugal foi de aproximadamente 500 mm de água por ciclo (FANDIÑO et al., 2015; RODRIGUES; MORAIS; CASTRO, 2015. Yakima Valey, Washington (EUA), o consumo de água dos cultivares de lúpulo é referenciado estando entre 610 a 712 mm por ciclo (EVANS, 2003; MARCOS et al., 2011), valores estes abaixo dos valores presentes no experimento, sendo que a temperatura média destes países também são menores do que as médias presentes em países tropicais.

Deve-se salientar que as plantas foram cultivadas em lisímetro, ou seja, grande disponibilidade de água em tempo integral, fato este que facilita o processo de evapotranspiração por não haver déficit hídrico. Sendo assim, a condição

experimental pode ter favorecido a condição de evaporação potencial e consequentemente a evapotranspiração máxima da cultura.

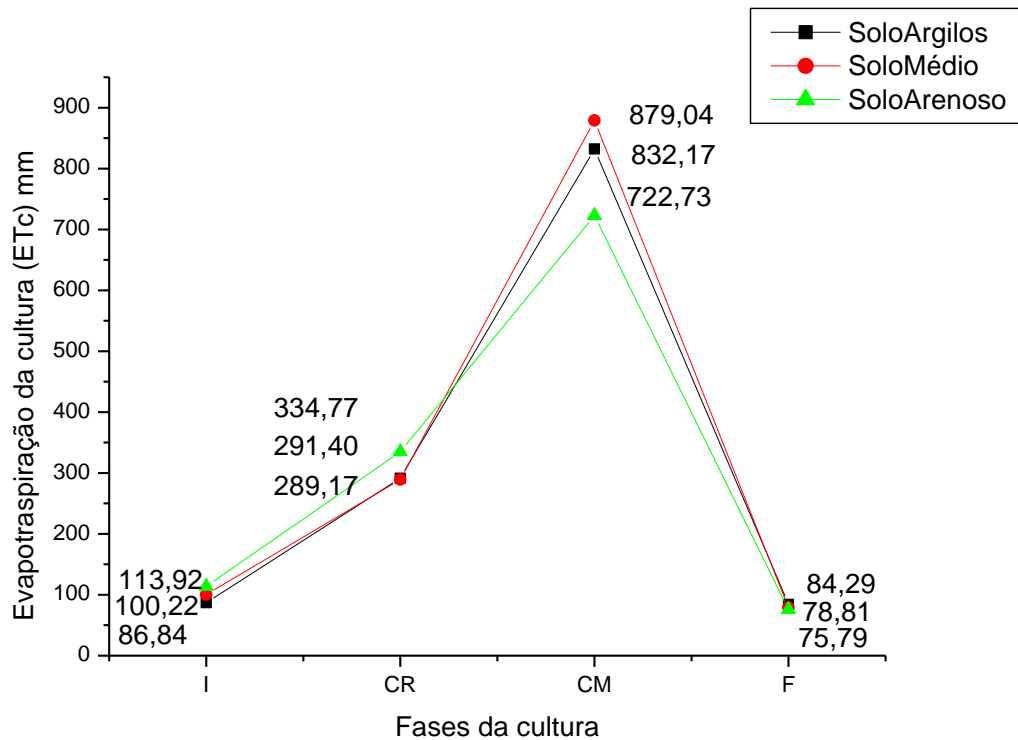
Nas fases de crescimento, somando os valores obtidos nas CR e CM (Tabela 6), e considerando como referência 800 mm (MAHAFEE, 2009), tem-se que nos solos argiloso, de textura média e arenoso a demanda hídrica foi superior em 61,9; 68,4 e 55,9 %, respectivamente. Isso se deve às altas temperaturas dentro do ambiente protegido e também da disponibilidade de água.

Considerando os 159 dias de cultivo e o total de evapotranspiração (mm), de cada planta, nos três tipos de solos argiloso, textura média e arenoso, tem-se que em média o consumo de água foi de 8,11; 8,47 e 7,84 mm de água por planta ao dia, respectivamente. Ou seja, para o solo argiloso foram utilizados 8,11 litros de água a cada m² por dia.

Em Hallertau, Alemanha, um estudo realizado por Beck et al. (2019) relacionado ao balanço hídrico do lúpulo, os autores observaram que a planta chegou a utilizar 11,2 mm de água por dia, sendo que o Kc calculado variou de 1,4 a 3,2.

Ressalta-se que o ambiente protegido é responsável por um incremento à temperatura do ar, em relação às condições externas, o que aumenta o potencial de evaporação e de transpiração da planta, quando ainda em condições de disponibilidade de água, em lisímetros. Na Figura 10 são apresentados dados sobre o comportamento da evapotranspiração em relação às fases da cultura.

Figura 10 – Evapotranspiração da cultura do lúpulo em função das fases, inicial (I), crescimento rápido (CR), crescimento médio (CM) e final (F)



Durante cada fase, as necessidades climáticas e hídricas se diferem, podendo aumentar ou diminuir a taxa de evapotranspiração da cultura. Além disso, nessas fases podem ocorrer variações durante o ciclo, que vão depender do manejo de cultivo e fatores ambientais. Os perfis dos comportamentos de demanda hídrica, nos diferentes solos segundo a Figura 10, mostraram-se similares, diferenciando em valores de evapotranspiração.

Rybacek et al (1980) e Mozny et al., (2009), que avaliaram o efeito das mudanças climática na produção do lúpulo, relataram que o aumento da temperatura ocasionou precocidade e encurtamento nas fases fenológicas da cultura. As condições térmicas influenciam diretamente no crescimento e desenvolvimento das plantas, sendo que temperaturas elevadas aceleram o metabolismo do vegetal, diferentes das baixas temperaturas que prolongam o ciclo (BERGAMASCHI; BERGONCI, 2017). Dessa forma, estudos sobre identificação das transições de fases fenológicas das plantas serão necessários para que se estabeleçam referenciais de cultivo na

região do hemisfério sul, entre outros fatores que possam interferir no desenvolvimento das plantas.

Vários são os fatores que podem interferir nas fases de desenvolvimento vegetal além da temperatura, assim como o manejo da água no solo, pH, genética (característica da própria planta) e fotoperíodo, sendo que a duração de cada fase depende das condições ambientais do local (PES; ARENHARDT, 2015).

Fandino et al. (2015), com objetivo de calibrar e validar um modelo de balanço de água no solo para o lúpulo durante 3 safras, observaram que o estágio fenológico da planta e sua duração variaram conforme a variabilidade das condições climáticas do local.

Guimarães (2020) avaliando o desempenho da cultura do lúpulo irrigado da variedade Cascade, em diferentes pH da água, constatou que a planta promoveu maior produtividade e taxa fotossintética em pH entre 6,5 a 7, e que faixas de diferentes valores de pH também podem influenciar quanto ao consumo de água.

A compreensão de como as plantas respondem aos fatores irá trazer benefícios para a expansão da cultura do lúpulo, permitindo a escolha dos locais e época adequada de plantio, otimizando a colheita e atendendo a necessidade do mercado (VAZ et al., 2013).

Durante o experimento, observou-se que, para o cultivo em solo arenoso, as plantas apresentaram crescimento vegetativo mais acelerado e maior quantidade de floração nas duas primeiras fases, o que contribuiu juntamente com o clima e as características do solo para maior evapotranspiração da cultura nessas fases.

No entanto, as plantas cultivadas em solo de textura média apresentaram maior evapotranspiração, isso deve-se ao fato dessas plantas terem apresentado melhor desenvolvimento da parte vegetativa. Em termos de menor uso da água, o solo arenoso sobressaiu aos demais, no entanto outras questões como produtividade, manejo e desenvolvimento da planta devem ser analisadas para verificação do solo mais adequado para o cultivo.

Os fatores edáficos do solo e climáticos podem causar grande impacto no desenvolvimento, crescimento, reprodução e sobrevivência do vegetal. Além disso, os fatores abióticos interferem uns nos outros, como por exemplo, o vento minimiza a temperatura devido ao resfriamento (TAIZ; ZEIGER, 2013), condição esta que não foi oferecida às plantas em estudo devido estarem em ambiente protegido.

O aumento da temperatura, excedendo a tolerada pela planta ao longo dos dias, causa alterações da evapotranspiração, afetando negativamente o desempenho de produção e impactando na produtividade e qualidade das culturas (MOZNY et al., 2009). No entanto esses fatores podem levar mudanças graduais da cultura em altitudes maiores, favorecendo modificações nas atividades dos organismos do solo, no regime hídrico, o que levaria alterações no processo e tecnologia de cultivo (HNILICKOVÁ et al., 2009; GLOSER et al., 2013).

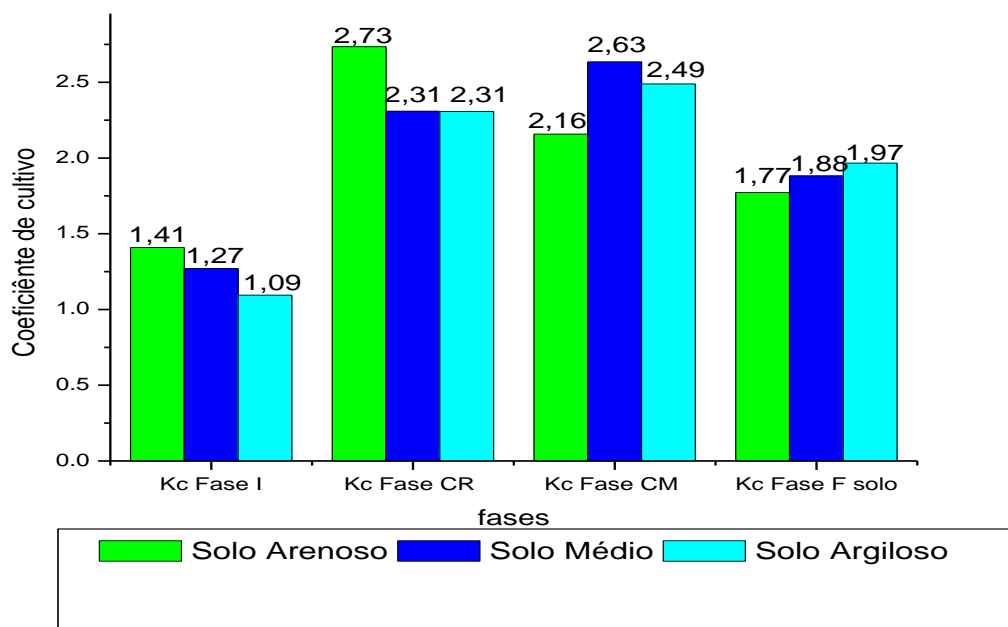
Naglic et al.(2017), em um trabalho que avalia métodos de gerenciamento da irrigação no lúpulo, relataram que o acréscimo de 1°C na temperatura média diária correspondeu a um aumento da evapotranspiração de 1,8 m³/ha, o que equivale a 0,18 mm de evapotranspiração.

Krofta et al. (2013) realizaram um trabalho na República Tcheca com o objetivo de comparar o fluxo da seiva com a perda de água estimada de acordo com o Modelo de Penman-Monteith. Os autores relataram que o maior consumo de água ocorreu na fase de formação de cones.

4.2 Coeficiente de cultivo (Kc)

Na Figura 11 pode ser visto que a variação do coeficiente de cultivo (Kc) foi maior entre as fases do que entre os diferentes tipos de solo. Outro ponto importante é que todos os valores de Kc foram maiores que 1, indicando que a cultura perde mais água do que a cultura de referência (FAO 56), isso em todas as suas fases fenológicas. Reichardt e Timm (2012) observaram também que ao analisar o Kc de algumas culturas, os coeficientes variaram mais entre os estágios de desenvolvimento do que entre culturas. Na Figura 11 estão representados os Kcs para as diferentes fases e texturas de solo.

Figura 11 – Coeficientes de cultivo do lúpulo (Kc) determinado durante o experimento para as fases inicial (I), crescimento rápido (CR), crescimento médio (CM) e final (F)



Analisando os Kcs de maneira geral, observa-se que o cultivo foi realizado em ambiente com condições climáticas totalmente diferentes da estudada pela FAO e o Kc final do cultivo, comparando com o Kc encontrado pela FAO (Tabela 7), percebe-se a discrepância entre os valores, mostrando que as plantas podem não ter entrado em período de senescência, por demandar maior quantidade de água na fase final.

Tabela 7 - Coeficiente da cultura (Kc) do lúpulo nos estádios inicial, médio e final de acordo com a FAO

Kc inicial	0,3
Kc médio	1,05
Kc Final	0,85

Fonte: FAO 56

A senescência é um processo importante de desenvolvimento que ocorre nas plantas principalmente em épocas de temperatura mais baixa e dias curtos, sendo eventos bioquímicos e citológicos que preparam a planta para reciclar nutrientes para o desenvolvimento futuro (TAIZ; ZEIGER, 2013). Com esse processo consequentemente ocorre a redução de atividades fisiológicas, como a reduzida

absorção de água devido a menor transpiração, porém isso não pode ser identificado no experimento presente.

Os valores de Kcs relacionados às demandas hídricas de diferentes localidades, mostram que os mesmos devem ser determinados para cada região de cultivo, devido às condições climáticas e de solo influenciarem nos processos de desenvolvimento das plantas.

O lúpulo, por exemplo, é típico das regiões temperadas do hemisfério norte, climas diferentes do Brasil e até o momento não se encontra nenhuma variedade comprovadamente ou referenciada cientificamente como adaptada às condições climáticas e de solo do país, sendo uma planta que necessita de condições para entrar em senescência e inverno mais rigoroso para entrar em dormência. Fatos esses necessários para o desenvolvimento, vigor e produção no ciclo seguinte.

Trabalho realizado por Graf et al. (2019) mostra a dificuldade do manejo da irrigação para a cultura do lúpulo, já que o monitoramento feito por sensor seria complicado devido a profundidade do sistema radicular. Ressaltam ainda que o manejo da cultura com base no conhecimento do Kc preconizado pela FAO, para cada fase fenológica, não condiz com as necessidades reais das plantas num dado local, visto que se trata-se de cultivares de locais diferentes, e portanto demandas hídricas diferentes. Neste trabalho os autores avaliaram a ETc e o Kc de um cultivar de lúpulo no sexto ano de produção em Hallertau, na Alemanha. Os autores encontraram ETc e Kc que variaram de (1,9 a 11,2 mm) e (0,8 a 3,2) respectivamente, valores estes condizentes com os obtidos no presente estudo.

Kisgeci (1974), na Voivodina, Servia, também em relação a um estudo para determinar o Kc de uma cultivar de lúpulo, apontou que a planta na fase inicial e na fase de crescimento dos cones apresentou valores de Kc de 1,2 e 2,1 respectivamente. Valores estes também superiores ao indicado pela FAO e também condizentes com os encontrados no presente estudo.

Engellard et al. (2011) alertaram que no desenvolvimento de novas variedades de lúpulo, com maiores área foliar e produtividade, a demanda de água também é maior, e o Kc determinado pela FAO não seria o indicado.

Fadino et al. (2015) realizaram uma pesquisa durante três anos, onde também determinou os valores de Kc nas fases inicial, média e final, e obtiveram os valores de 0,69, 1,02, 0,85 respectivamente. Outro dado importante é que 92% da evapotranspiração na fase de crescimento foi proveniente da transpiração da planta.

Esses valores foram diferentes dos encontrados no presente trabalho, onde os valores de K_c da fase inicial, de crescimento rápido, de crescimento médio e final variaram de 1,09 a 1,49; 2,31 a 2,73; 2,16 a 2,63; e 1,77 a 1,97, respectivamente, mostrando maior demanda hídrica.

Dessa forma, com base na literatura vigente, valores preconizados pela FAO, referentes a E_{Tc} e K_c da planta, não são condizentes com o identificados em diversos países, pois de fato as condições climáticas locais são determinantes quanto à demanda hídrica da planta, assim como tipo de solo. Vale ainda ressaltar que os valores indicados pela FAO não são vinculados a uma dada variedade e nem mesmo mencionado clima da região de análise.

A literatura acerca de demanda hídrica do lúpulo está em construção em diversas partes do mundo e estudos como o apresentado são cruciais para se estabelecer o referencial de evapotranspiração da planta.

4.3 Diâmetro, massa fresca, massa seca e produtividade das plantas

Apesar das condições climáticas do local não serem consideradas favoráveis à produção de lúpulo, conforme Aquino et al. (2019), os quais citam que a temperatura ideal para a cultura está entre 20 e 30°C, é importante mencionar que o experimento foi desenvolvido durante o primeiro ano da planta, analisando apenas o primeiro ciclo produtivo, e portanto pode-se considerar que as plantas não estejam ainda adaptadas às condições climáticas locais. Outro fato importante é que as plantas foram cultivadas em diferentes texturas de solo, tanto para as plantas cultivadas nos lisímetros quanto nas demais, em vasos (Tabelas 8 e 9).

Nas Tabelas 8 e 9 são apresentados os resultados acerca de massas frescas e secas e produtividade durante o experimento, para as plantas fora e sob os lisímetros, respectivamente.

Tabela 8 - Médias, desvio padrão, mediana, diâmetros máximo e mínimo (mm), massas fresca (g/planta) e seca (g/planta) e produtividade das plantas cultivadas nos lisímetros (g/planta)

Variáveis analisadas				
Tratamento	Diâmetro (mm)	Massa fresca (g/planta)	Massa seca (g/planta)	Produtividade (g/planta)
Solo arenoso	14,3 (3,1)	175,3 (38,7)	50,1 (9,8)	14,7 ^b (1,7)
	15,0 (11-17)	166,0 (141,9-217,8)	47,3 (41,9-60,9)	15 (12,9-16,2)
Solo médio	16,8 (2,9)	185,9 (28,9)	56,7 (7,8)	47,3 ^a (16,1)
	18,0 (13,5-19)	190,8 (154,9-212,0)	60,0 (46,7-60,3)	47 (31,3-63,5)
Solo argiloso	14,3 (3,4)	202,4 (32,7)	58,0 (7,9)	56,9 ^a (4,5)
	15,5 (10,5-17)	206,6 (167,9-232,8)	61,5 (48,9-63,7)	57 (52,4-61,4)
P-valor	0,562 ^{ns}	0,632 ^{ns}	0,539 ^{ns}	0,00413 [*]
C.V(%)	20,7	17,9	15,7	24,4

(ns) - não significativo, (*) - significativo ($p < 0,05$), C.V(%) – coeficiente de variação. Médias seguidas de letra diferentes minúscula na coluna, diferem entre si pelo teste de TuKey.

Tabela 9 - Médias, desvio padrão, mediana, máximo e mínimo para diâmetro (mm), massa fresca (g/planta), massa seca (g/planta) e produtividade das plantas cultivadas fora dos lisímetros (g/planta)

Variáveis analisadas				
Tratamento	Diâmetro (mm)	Massa fresca (g/planta)	Massa seca (g/planta)	Produtividade (g/planta)
Solo arenoso	12,17 (2,25)	159,56 (13,64)	48,29 (2,88)	38,02 ^b (11,43)
	12 (10-14,5)	158,37 (146,5-173,7)	47,4 (45,9-51,5)	38,58 (25,89-48,60)
Solo médio	14,83 (0,76)	193,44 (27,73)	56,7 (7,8)	36,97 ^b (7,34)
	15 (14-15,5)	187,02 (169,5-223,8)	60 (46,7-60,3)	38,44 (29-43,47)
Solo argiloso	13,67 (3,21)	179,64 (16,46)	58,0 (7,9)	59,28 ^a (4,03)
	15 (10-16)	186,09 (160,9-191,9)	61,5 (48,9-63,7)	59,83 (55-63)
Valor P.	0,42 ^{ns}	0,2 ^{ns}	0,204 ^{ns}	0,0262 [*]
C. V(%)	17,03	11,38	12,91	18,29

(ns) - não significativo, (*) - significativo ($p < 0,05$), C.V(%) – coeficiente de variação. Médias seguidas de letra diferentes minúscula na coluna, diferem entre si pelo teste de TuKey.

Com relação à produtividade, as plantas cultivadas tanto nos lisímetros quanto fora destes em condições de manejo da irrigação, apresentaram diferenças

estatisticamente significativas em relação ao tipo de solo, isso pode ser explicado pelo fato de que no solo argiloso, as plantas apresentaram melhor desempenho produtivo dentro e fora dos lisímetros, seguido pelo solo de textura média, quando comparadas com as plantas cultivadas no solo arenoso.

As plantas cultivadas em solo arenoso nos lisímetros obtiveram menor produtividade, 12,36% da produção total, representando 31,3% e 25,8% da produtividade dos solos de textura média e argiloso, respectivamente. No cultivo irrigado, fora dos lisímetros, a produtividade das plantas do solo arenoso aproximou-se das cultivadas em solos de textura média, o que pode estar relacionada à necessidade do manejo da irrigação diferenciado exigido pela cultura para diferentes tipos de solos, com atenção ao solo arenoso.

Nos lisímetros, apesar da disponibilidade contínua de água às plantas, por estarem em contato direto com o lençol freático do sistema, há que se considerar a dinâmica da água, a qual é distribuída no solo por capilaridade, em movimentos ascendentes. Os solos arenosos apresentam poros maiores e portanto menor resistência por atrito ao movimento ascendente da água, quando comparado aos solos com porosidades menores. Porém, o maior raio dos poros entre as partículas de areia ocasiona uma reduzida ascensão capilar (ALBUQUERQUE; DURÃES, 2013), o que acaba por não apresentar, em lisímetros, uma distribuição adequada de água, como ocorreu nas plantas que receberam água via irrigação, por gotejadores. Isso pode justificar a baixa produtividade das plantas cultivadas em solo arenoso e nos lisímetros, quando comparadas as cultivadas no mesmo solo e em regime de irrigação.

Taiz e Zeiger (2013) afirmam que as plantas quando submetidas ao excesso ou à deficiência de um fator abiótico, ocorre estresse fisiológico por não estarem adaptadas às condições climáticas e edáficas. Os autores ainda estimam que quando uma espécie é cultivada em condições diferentes de sua origem, a cultura produz apenas 22% do seu potencial genético.

As regiões produtoras de lúpulo consideram o seu potencial produtivo após a planta adulta, a partir do terceiro ano, que em média produz 2 kg por planta, por ciclo. Muitos produtores descartam a colheita do primeiro ciclo, devido à reduzida produtividade. Pois além de não compensar o investimento do processo de colheita e beneficiamento, as substâncias de interesse comercial como o alfa e beta ácidos,

além dos óleos essenciais, ainda não estão presentes na concentração requerida pela indústria cervejeira (DOODS, 2017).

Considerando a média de produção de 2 kg por planta, a produção presente no estudo para o cultivo fora dos lisímetros representou aproximadamente 1,85% do valor de referência para o solo de textura média, 2,96% para o solo de textura argilosa e 1,90% para solo arenoso em relação ao esperado para a produção, lembrando que trata-se do primeiro ano da planta.

Apesar das médias dos parâmetros massa fresca, massa seca e diâmetro não apresentarem diferenças estatísticas entre os tratamentos, observa-se que o solo de textura média produziu plantas com maiores diâmetros; e lúpulos cultivados em solo argiloso mostraram maior acúmulo de massas, o que pode estar relacionado com a retenção de água nesses solos, pois são maiores que do solo arenoso..

A textura do solo é responsável pela diferença da dinâmica da água e de nutrientes o que interfere na questão de desenvolvimento e crescimento das plantas.

A soja, por exemplo, se desenvolve em vários tipos de solos, a planta se adaptou às diversas regiões do país e pensava-se que a soja se desenvolveria melhor em solos argilosos, mas é percebido que em textura média e arenoso a cultura também atinge altas produtividades (Santos et al., 2008).

Não há trabalhos que evidenciam o solo mais propício para o lúpulo no Brasil. No exterior, fala-se em solos arenosos, mas em vista do clima, pode ser que a planta se desenvolva em solos que possuam maior capacidade de retenção de água em países tropicais como o Brasil. A aeração e o conteúdo de água do solo são fatores temporariamente variáveis que influenciam muito o solo e conseqüentemente a disponibilidade de nutrientes fornecido para planta (WEIL E BRADY 2017).

Os fatores edáficos relacionados às condições de solo, como ar, umidade, concentração de compostos minerais e orgânicos, juntamente com o clima, condutividade hidráulica, pH, capacidade de troca iônica, microfauna e microflora, interferem significativamente no crescimento, produção e até mesmo na sobrevivência das plantas por determinar a quantidade de água e nutrientes e ar para as mesma (TAIZ; ZEIGER, 2013).

O conhecimento dos fatores citados acima proporciona benefícios para a agricultura irrigada, principalmente quanto à economia para as culturas de altos custos de produção e maiores valores comerciais, como o lúpulo, proporcionando maior produtividade e qualidade. Slavik e Kopecky (1998), em pesquisa em que

comparam métodos de irrigação na cultura do lúpulo durante os anos de 1995 a 1997, observaram que o rendimento da matéria seca do lúpulo foi maior (3,1 t.ha⁻¹) quando comparado com o cultivo não irrigado.

4.4 Medidas de trocas gasosas

As médias de trocas gasosas estão relacionadas à disponibilidade de água para as plantas. As médias dos parâmetros das plantas cultivadas nos lisímetros não apresentaram diferenças estatísticas, no nível de significância de 5%, apenas para concentração interna de CO₂ (*C_i*) e eficiência de carboxilação (*A/C_i*) (Tabela 10).

Os solos nos lisímetros mantiveram-se na capacidade de campo diariamente, e mesmo assim obtiveram respostas distintas com relação às trocas gasosas para as diferentes texturas de solo.

Tabela 10 - Médias, desvio padrão, mediana, máximo e mínimo para Taxa de assimilação de CO₂ (*A*), condutância estomática (*g_s*), concentração interna de CO₂ (*C_i*), taxa de transpiração (*E*), eficiência do uso da água nas folhas (*EUA*) e eficiência de carboxilação (*A/C_i*) das plantas cultivadas nos lisímetros

Tratamentos	Variáveis analisadas		
	<i>A</i> ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	<i>g_s</i> ($\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	<i>C_i</i> ($\mu\text{mol mol}^{-1}$)
Solo arenoso	12,36 ^b (4,18)	0,19 ^b (0,07)	232,90 (56,73)
	10,46 ^a (9,46-17,17)	0,19 (0,11-0,26)	255,09 (168,43-275,18)
Solo médio	19,57 ^a (0,79)	0,33 ^a (0,04)	257,98 (58,58)
	19,98 (18,65-20,07)	0,33 (0,28-0,37)	276,22(192,45-305,27)
Solo argiloso	14,09 ^{ab} (2,22)	0,29 ^{ab} (0,04)	278,62 (39,98)
	15,22 (11,53-15,52)	0,30 (0,25-0,33)	297,16 (232,73-305,97)
Valor P.	0,0437	0,0428	0,592 ^{ns}
C. V(%)	18,1	19,56	20,44
	<i>E</i> ($\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	<i>EUA</i> ($\mu\text{mol CO}_2 (\text{mmol H}_2\text{O})^{-1}$)	<i>A/C_i</i>
Solo arenoso	1,49 ^b (0,07)	8,24 ^a (2,38)	0,05 (0,01)
	1,47 (1,43-1,56)	7,12 (6,62-10,97)	0,05 (0,04-0,06)

Solo médio	3,40 ^a (0,17)	5,77 ^{ab} (0,48)	0,08 (0,02)
	3,44 (3,21-3,54)	5,83 (5,26-6,22)	0,07 (0,06-0,10)
Solo argiloso	4,57 ^a (1,13)	3,24 ^b (1,12)	0,05 (0,0008)
	4,75 (3,37-5,60)	2,77 (2,42-4,52)	0,05 (0,49-0,05)
Valor P.	0,00353 [*]	0,0212 [*]	0,0847 ^{ns}
CV(%)	20,93	26,89	22,89

(ns) - não significativo, (*) - significativo ($p < 0,05$), C.V.(%) – coeficiente de variação. Médias seguidas de letra diferentes minúscula na coluna, diferem entre si pelo teste de TuKey.

Observa-se que as plantas cultivadas em solo de textura média e argilosa obtiveram maiores taxa de: assimilação de CO₂ (*A*), condutância estomática (*g_s*), taxa de transpiração (*E*), concentração interna de CO₂ (*C_i*) e conseqüentemente maior eficiência na carboxilação (*A/C_i*). Isso significa que essas plantas tiveram maior abertura dos estômatos, devido a maior disponibilidade de água para suas atividades fisiológicas. Entende-se que a absorção de carbono para a fotossíntese ocorre com a evolução dos estômatos e das folhas, proporcionando altas taxas de transpiração (PIMENTA, 2013).

Ainda na Tabela 9, os dados mostram que o solo de textura arenosa, mesmo mantendo-se na capacidade de campo, obteve o menor potencial de água disponível para a cultura, entre os tratamentos, devido ao menor teor dos parâmetros citados acima. Silva et al. (2015) explicam que os estômatos funcionam como dispositivos de trocas gasosas, e se ocorrer qualquer limitação hídrica acarretará no fechamento dos mesmos. Ressalta-se que a análise foi realizada no final da fase de crescimento rápido, aos 62 dias após início do experimento.

Nota-se que o solo arenoso propiciou o avanço, no tempo, do ciclo de desenvolvimento da planta, fato esse que pode ter contribuído à menor absorção de água nessa época. Isto resultou na maior eficiência do uso da água (EUA) das plantas cultivadas em solo arenoso, e deve-se ao fato de que pode ter ocorrido maior percentual de estômatos fechados, ocorrendo menor transpiração decorrente da menor disponibilidade de água para as plantas. Sendo assim, conseqüentemente a taxa de transpiração diminuiu elevando a EUA, em vista da relação da *A/E*.

Dessa forma, as respostas dos parâmetros analisados de trocas gasosas nos lisímetros evidencia que nem toda água retida no solo está disponível para absorção

das plantas, sendo que mesmo os solos mantendo a capacidade de campo, o aproveitamento e absorção diferiram de um solo para o outro, o que é justificado pela textura do solo, como citado anteriormente.

Na Tabela 11 são vistos os resultados da análise de trocas gasosas para as plantas irrigadas a partir do manejo da irrigação (cultivo fora dos lisímetros). Os resultados mostraram que nenhum parâmetro de trocas gasosas apresentou diferença estatística significativa entre os tratamentos, o que mostra a importância do manejo da irrigação, levando em consideração a necessidade de cada solo devido às suas características físico-hídrica.

Suprindo somente a quantidade de água que a planta necessita para seu pleno desenvolvimento, não ocorrendo déficit ou excesso de água, sendo que condições como estas podem acarretar problemas como doenças, apodrecimento de raízes e falta de oxigenação, o que refletirá nas atividades fisiológicas, no desenvolvimento e produtividade da cultura (CARVALHO; OLIVEIRA, 2012).

Tabela 11 - Médias, desvio padrão, mediana, máximo e mínimo para Taxa de assimilação de CO₂ (A), condutância estomática (g_s), concentração interna de CO₂ (C_i), taxa de transpiração (E), eficiência do uso da água nas folhas (EUA) e eficiência de carboxilação (A/C_i), produtividade das plantas cultivadas fora dos lisímetros

Tratamentos	Variáveis analisadas		
	A ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	g_s ($\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	C_i ($\mu\text{mol mol}^{-1}$)
Solo arenoso	14,62 (3,43)	0,25 (0,06)	292 (7,95)
	14,43 (11,29-18,13)	0,22 (0,20-0,31)	289,59 (285,53-300,87)
Solo médio	15,31 (0,26)	0,23 (0,02)	280,98 (1,15)
	15,24 (15,09-15,59)	0,22 (0,21-0,25)	281,59(279,65-281,68)
Solo argiloso	17,02 (7,04)	0,30 (0,11)	298,26 (30,22)
	19,30 (9,13-22,63)	0,25 (0,22-0,43)	306,34 (264,81-323,62)
Valor P.	0,805 ^{ns}	0,513 ^{ns}	0,531 ^{ns}
C. V(%)	28,88	29,02	6,21
	E ($\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	EUA (nas folhas) ($\mu\text{mol CO}_2 (\text{mmol H}_2\text{O})^{-1}$)	A/C_i
Solo arenoso	4,18 (0,87)	3,50(0,46)	0,05 (0,01)
	3,71 (3,64-5,18)	3,50 (3,04-3,96)	0,05 (0,04-0,06)

Solo médio	3,66 (1,03)	4,37(1,04)	0,05 (0,008)
	3,27 (2,89-4,83)	4,61 (3,23-5,26)	0,05 (0,05-0,06)
Solo argiloso	3,72 (0,19)	4,58(1,95)	0,06 (0,03)
	3,67 (3,56-3,93)	2,77 (2,48-6,35)	0,05 (0,03-0,07)
Valor P.	0,698 ^{ns}	0,591 ^{ns}	0,843 ^{ns}
CV(%)	20,35	31,45	30,76

(ns) - não significativo, (*) - significativo ($p < 0,05$), C.V(%) – coeficiente de variação. Médias seguidas de letra diferentes minúscula na coluna, diferem entre si pelo teste de TuKey.

A taxa de assimilação de CO_2 , nas duas condições de cultivo, lisímetro e cultivo fora do lisímetro submetido ao manejo da irrigação, variou de 9,13 a 22,63 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, resultado parecido encontrado por Kenny (2005) que avaliou a taxa fotossintética de 40 genótipos de lúpulo, originário dos países da ex Iugoslávia e América do Norte. O autor relata que a taxa fotossintética média foi de 16,2 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, variando entre 9 e 23,2 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$.

Souza et al. (2016) com intuito de caracterização fenológica da videira no Vale de São Francisco, obteve taxa de assimilação de CO_2 que variou de 11,06 a 13,95 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, observaram-se que os parâmetros fisiológicos alterou as características das plantas dependendo das condições climáticas da época.

Segundo o mesmo autor, comparando as análises de trocas gasosas, lisímetro e do cultivo irrigado, nota-se que para a EUA, as plantas cultivadas nos lisímetros, em solo arenoso, obtiveram maior eficiência, como encontrado neste trabalho. Já para o cultivo irrigado, o solo argiloso se sobressaiu nesse parâmetro, porém, sem diferença estatística. A justificativa destes resultados pode ser que o solo arenoso necessita de uma maior frequência de irrigação devido às suas características físico-hídricas, já que sua capacidade de retenção de água é menor, quando comparado aos demais tipos de solo.

4.5 Teores de nutrientes nas folhas do lúpulo

As plantas adquirem os nutrientes necessários para seu desenvolvimento e produção através da absorção, pelas raízes, dos elementos contidos na solução do solo, o que vai depender da existência ou da disponibilidade destes, somados ainda aos aspectos referentes à forma química contida no solo, capacidade de absorção

da planta, aeração do solo, condições climáticas locais e desenvolvimentos das raízes (RAIJ, 2017).

O lúpulo durante a fase de crescimento chega a consumir de 3 a 4 vezes mais nitrogênio, potássio, fósforo e cálcio do que os grãos, e a deficiência de manganês, cobre, boro, zinco e molibidênio retardam o desenvolvimento da cultura (DEMENTIEV et al., 2020). A absorção de nutrientes é influenciada pelo pH do solo, sendo o ideal de 5,6 a 7,0 (ALEXANDROV et al.,1991). A aplicação de N recomendada nos Estados Unidos varia de 67,3 a 336,3 Kg.ha⁻¹ (BROOKS; KELLER,1960; DARBY, 2011; apud SENSKE, 2020).

Em posse destas informações, nessa situação experimental, teve-se a oportunidade de avaliar a absorção dos nutrientes pelo lúpulo em diferentes texturas de solo sob as mesmas condições climáticas. Nas Tabelas 12 e 13 são apresentados os teores de macronutrientes e micronutrientes analisados nos tecidos foliares do lúpulo na fase de plena produção de flores e cones, o que ocorreu na fase de crescimento médio. Para os macronutrientes, observa-se a influência da textura dos solos na absorção destes nutrientes, com diferença estatística entre os tipos de solos quanto aos teores de fósforo, potássio, magnésio e enxofre.

Tabela 12 - Médias, desvio padrão, mediana, máximo e mínimo para os macronutrientes; Nitrogênio (N), Fósforo (P), Potássio (K), Cálcio (Ca), Magnésio (Mg) e Enxofre (S) nos tecidos foliares de lúpulo em plena formação de cones

Tratamentos	Variáveis analisadas		
	N (g kg ⁻¹)	P (g kg ⁻¹)	K (g kg ⁻¹)
Solo arenoso	12,17 (2,25)	2,07 ^a (0,29)	20,8 ^a (1,87)
	12 (10-14,5)	1,93 (1,86-2,40)	21,4 (18,7-22,3)
Solo médio	14,83 (0,76)	1,49 ^b (0,05)	14,03 ^b (0,84)
	15 (14-15,5)	1,49 (1,43-1,53)	13,6 (13,5-15,0)
Solo argiloso	13,66 (3,22)	1,74 ^{ab} (0,12)	15,67 ^b (0,81)
	15 (10-16)	1,73 (1,64-1,87)	15,3 (15,1-16,6)
Valor P.	0,42	0,02	0,002
C. V(%)	17,03	10,58	7,57
	Ca (g kg ⁻¹)	Mg (g kg ⁻¹)	S (g kg ⁻¹)
Solo arenoso	21,43 (1,40)	6,37 ^b (0,21)	1,13 ^b (0,08)
	21,0 (20,3-23)	6,3 (6,2-6,6)	1,13 (1,06-1,22)
Solo médio	21,50 (1,82)	13,97 ^a (1,33)	1,29 ^a (0,03)
	20,6 (20,3-23,6)	13,3 (13,1-15,5)	1,28 (1,27-1,33)
Solo argiloso	23,03 (1,10)	12,43 ^a (0,32)	1,32 ^a (0,05)
	22,5 (22,3-24,3)	12,3 (12,2-12,8)	1,30 (1,28-1,37)
Valor P.	0,38	0,005	0,02
CV(%)	6,70	7,32	4,66

O N não variou muito sua absorção entre as plantas cultivadas nas diferentes texturas de solo, quando comparadas aos demais nutrientes, sendo que as plantas cultivadas no solo de textura média obtiveram uma melhor absorção, sendo 14,83 g kg⁻¹. O N é o elemento de maior exigência pela planta, sendo constituintes das células como, proteínas, aminoácidos e ácidos nucleicos (TAIZ, 2013).

Embora as plantas cultivadas no solo arenoso tenham absorvido maiores quantidade de K, isso não fez com que obtivessem melhor produtividade do que as demais. Seria interessante estudos sobre o fator adubação relacionado com a química e textura do solo, para saber com melhor exatidão a necessidade de

adubação para cada caso, e dessa forma, reduzir o custo de produção com os nutrientes adicionados no solo e via foliar. Vale lembrar que a adubação adotada neste trabalho não variou para os tipos de solos e portanto tais resultados são importantes para destacar a importância de estudos específicos de nutrição da planta de lúpulo. Os nutrientes N, P e K são os de maior custo de produção para o produtor, sendo que são utilizados em maior proporção durante o cultivo, sendo portanto necessários estudos para identificar as dosagens adequadas ao longo do cultivo.

A disponibilidade de nutrientes para o crescimento e desenvolvimento das plantas tende a aumentar até atingir a zona adequada para a planta, após esse ponto ocorre somente o acúmulo nos tecidos foliares podendo causar toxidez na planta e conseqüentemente redução da produtividade (TAIZ, 2013).

As propriedades físicas do solo afetam o crescimento das raízes. Essas mudanças no tamanho e morfologia interna e externa das raízes devido às características físicas do solo poderão impedir da raiz explorar maior volume de solo e conseqüentemente provocar uma redução na disponibilidade e absorção de nutrientes e água, o que levaria baixa produtividade (BALIGAR, 2001).

Na Tabela 13 observam-se os teores dos micronutrientes analisados, elementos estes que a planta precisa em menor quantidade para seu desenvolvimento, porém necessários durante seu ciclo.

Tabela 13 - Médias, desvio padrão, mediana, máximo e mínimo para os micronutrientes nos tecidos foliares de lúpulo em pleno florescimento e formação de cones

Tratamentos	Variáveis analisadas		
	B (mg kg ⁻¹)	Cu (mg kg ⁻¹)	Fe (mg kg ⁻¹)
Solo arenoso	53,88 ^{ab} (11,47)	6,33 (0,57)	257 (24,97)
	59,83 (40,65-61,14)	6 (6-7)	265 (229-277)
Solo médio	42,95 ^b (1,98)	6,66 (2,08)	221 (14,64)
	41,80 (41,80-45,24)	6 (5-9)	224 (206-235)
Solo argiloso	62,35 ^a (4,71)	5,33 (0,58)	224 (16,17)
	61,14 (58,36-67,54)	5 (5-6)	227 (207-239)

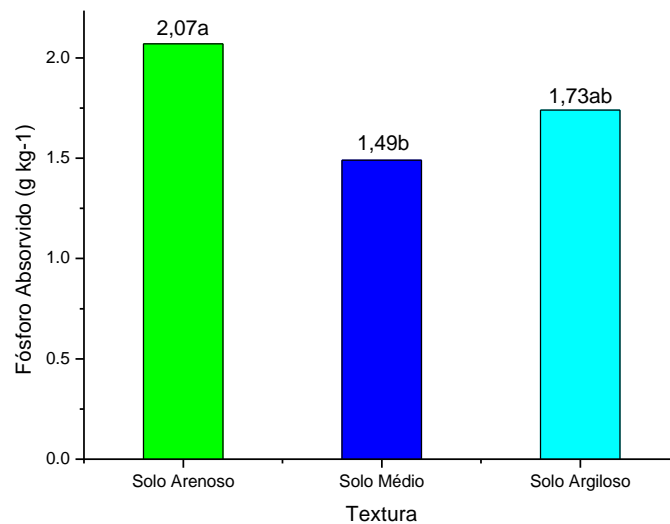
Valor P.	0,045	0,467	0,115
C. V(%)	13,66	21,12	8,17
	Mn	Zn	
	(mg kg⁻¹)	(mg kg⁻¹)	
Solo arenoso	221,33 ^a (67,89)	85,0 (16,09)	
	234 (148-282)	83(70-102)	
Solo médio	85 ^b (23,51)	80,66 (11,50)	
	84 (62-109)	81 (69-92)	
Solo argiloso	197 ^a (20,95)	95,33 (13,50)	
	202 (174-215)	95 (82-109)	
Valor P.	0,0178	0,458	
CV(%)	25,75	15,89	

Para os micronutrientes houve diferença estatisticamente significativas apenas em relação aos teores de boro e manganês. Sendo que as plantas cultivadas em solo argiloso e arenoso obtiveram maior absorção desses elementos.

A seguir são avaliadas as concentrações dos nutrientes e suas possíveis implicações:

Fósforo (P)

O fósforo foi aplicado na adubação de plantio, o qual teve maior absorção pelas plantas cultivadas em solo arenoso (Figura 12), com diferença estatística significativa em relação ao teor de absorção do solo de textura média. Isso se deve ao fato da maior disponibilidade desse nutriente já existente no solo arenoso. O P é um elemento que possui alta capacidade de adsorção pelo solo e baixa solubilidade. A situação de adsorção no solo muda com o tempo, ficando menos solúvel, diminuindo a eficiência do mesmo para as plantas (RAIJ, 2017).

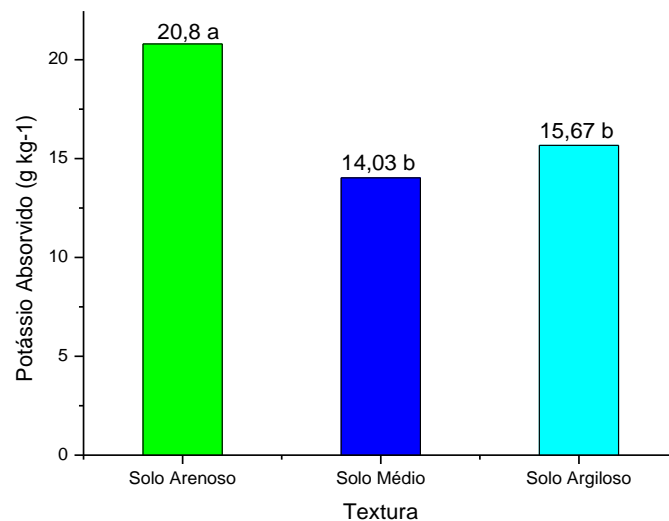
Figura 12 – Absorção de Fósforo (P) pelos tecidos foliares do lúpulo

Potássio (K)

O potássio e nitrogênio foram aplicados em parcelas e o solo arenoso proporcionou maior absorção pela planta. O K é um elemento absorvido do solo na forma K⁺ pelas plantas, sendo muito parecido com o fósforo, por depender da difusão para chegar na superfície das raízes, porém os sais de potássio possuem alta solubilidade e tem maior mobilidade quando comparado ao P, consequentemente provoca o rápido esgotamento pela planta (Raij, 1991).

A Figura 13 ilustra a absorção de potássio pelas folhas de lúpulo nos diferentes tipos de solos. As plantas cultivadas em solo arenoso apresentaram maior aproveitamento desse nutriente.

Figura 13 – Absorção de Potássio (K) pelos tecidos foliares do lúpulo



A disponibilidade do K para a planta está relacionada principalmente com o teor de umidade do solo, pois necessita da água para movimentação por difusão, sendo que a falta de drenagem, compactação e baixas temperatura reduz a absorção do K pelas raízes. No entanto, solo com alta capacidade de trocas de cátions (CTC) possui maior capacidade de suprimento e armazenamento de K para as plantas (LOPES, 1998)

As plantas cultivadas em solo arenoso tiveram maior acúmulo do nutriente nos tecidos foliares, o qual não refletiu na produtividade. Devido a essa maior absorção de K juntamente com alto acúmulo de Mn nos tecidos foliares, pode ter a possibilidade da ocorrência de sinergismo entre esses elementos. Afonso et al., (2020) observaram a mesma relação em uma plantação de lúpulo em diferentes solos, pois a medida que aumentou a absorção de K, também elevou a de Mn nas plantas.

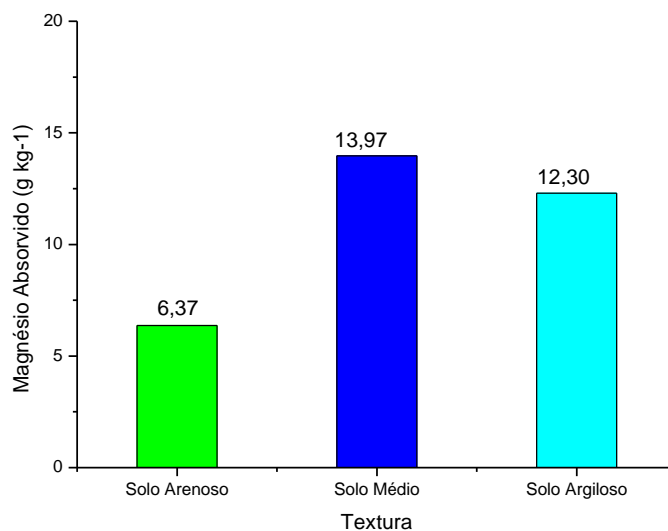
Magnésio (Mg)

O Magnésio atua na formação da clorofila sendo um elemento essencial para a estrutura do cloroplasto, constituindo-se em fator limitante na produtividade das plantas, e sua eficiência em absorção não depende somente do conteúdo do elemento no solo, mas também do antagonismo nas plantas e outros íons (YAN; HOU, 2018).

Li Yan et al. (2001) avaliaram a deficiência de Mg na realização de fotossíntese no cultivo de longan, planta frutífera nativa da china e da tailândia, e atualmente cultivada em alguns pomares no Brasil. Os autores observaram que a deficiência diminui a capacidade de absorção de luz e portanto de carboxilação. Na Figura 14 observa-se que as plantas cultivadas em solo de textura média e argiloso apresentaram maior disponibilidade de Mg quando comparados aos do solo de textura arenosa. Isso está de acordo com o observado em termos de produção, visto que as maiores produções, em g/planta, foram observadas nos dois tipos de solo, quando comparados ao solo arenoso.

Vários são os fatores que interferem na absorção de Mg, no entanto a resposta pode estar relacionada com a disponibilidade de água e textura do solo. A deficiência de magnésio nas plantas pode ser decorrente da baixa disponibilidade no solo, em consequência da lixiviação principalmente em solos arenosos e ácidos (XIE et al., 2020).

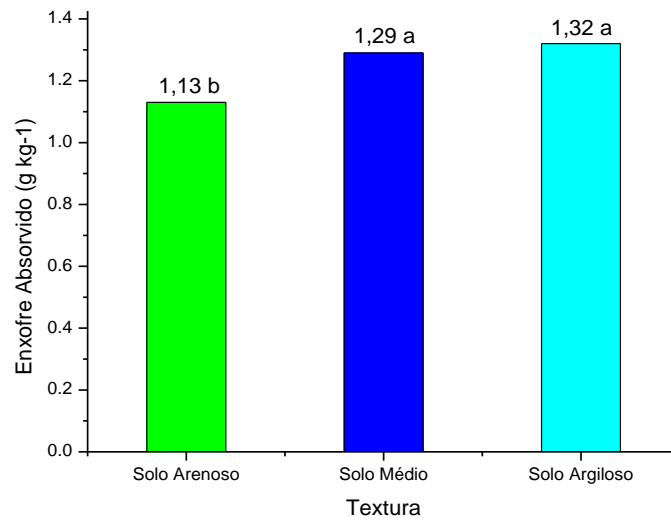
Figura 14 – Absorção de Magnésio (Mg) pelos tecidos foliares do lúpulo



Enxofre (S)

Segundo Raij (2017), os solos arenosos geralmente exigem maiores quantidades na aplicação de enxofre, devido à suscetibilidade de perdas por lixiviação. Na Figura 15 evidencia-se a menor absorção de enxofre pelo lúpulo em plantas cultivadas em solo arenoso. O solo argiloso teve melhor absorção do nutriente, resultado esse que pode estar relacionado com a maior capacidade de retenção de água no solo.

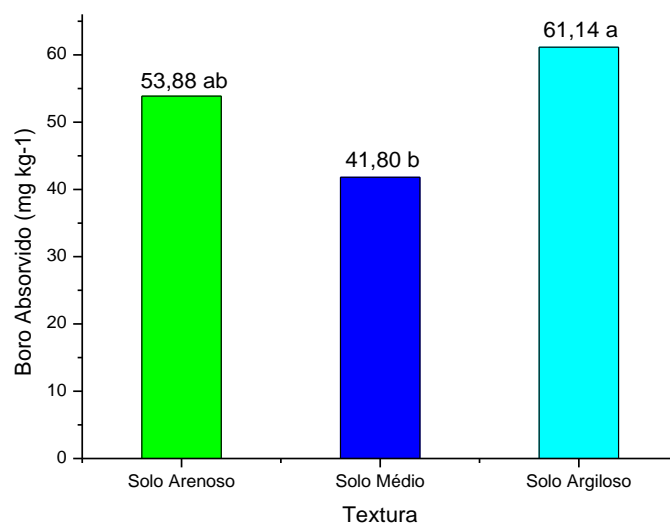
Figura 15 – Absorção de Enxofre (S) pelos tecidos foliares do lúpulo



Boro (B)

A disponibilidade de boro para as plantas é afetada principalmente pelo pH do solo, textura, matéria orgânica, mineralogia da argila e temperatura (GOLDBERG 1997). A Figura 16 ilustra a absorção de B para as plantas cultivadas em diferentes texturas de solo.

Figura 16 – Absorção de Boro (B) pelos tecidos foliares do lúpulo



Observa-se alto teor de boro e variabilidade entre tratamentos, isso se deve ao fato do nutriente ter baixa mobilidade e pela realização de adubação foliar nas

plantas com H_3BO_3 (0,1%). Mesmo respeitado o tempo de carência de coleta das folhas para análise, pode ser que houve interferência do tempo quanto ao teor de boro nos tecidos.

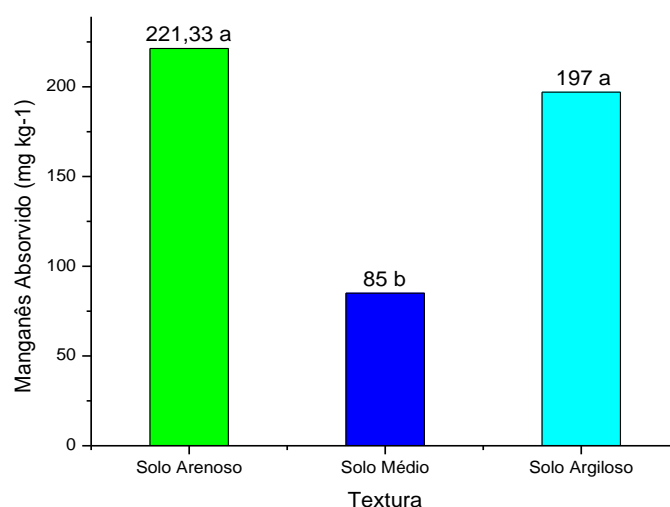
Manganês (Mn)

O Manganês é um elemento essencial para o crescimento das plantas, desempenha atividade importante na decomposição da matéria orgânica e reação redox (BERG et al., 2007)

A disponibilidade de Manganês para as plantas depende do tipo de solo, pH, umidade, temperatura e matéria orgânica (LU et al., 2020). A alta disponibilidade de Mn para as plantas pode inibir o crescimento e desenvolvimento causando toxicidade (YANG et al., 2008). Os sintomas de toxicidade de Mn em plantas podem variar de níveis nos tecidos foliares que variam de 200 mg kg^{-1} a mais 5000 mg kg^{-1} em plantas tolerantes (WEIL E BRADY 2017).

Na Figura (17) consta que a maior absorção de Mn nas plantas cultivadas foi observada em solo arenoso, comparando com os demais tipos de solo, fato esse que pode ter contribuído com a baixa produtividade e desenvolvimento do lúpulo nesse solo, como mostra a Tabela 6, referente à produtividade da planta.

Figura 17 – Absorção de Manganês (Mn) pelos tecidos foliares do lúpulo



Foi observado que, perante os três cultivos, o ciclo das plantas de solo arenoso foi menor do que os demais, pois a mesma apresentou necessidade de entrar em

senescência, visivelmente diminuiu drasticamente a floração e a parte aérea reduziu a área foliar. Além de baixo rendimento, porém as plantas apresentaram maior absorção de Mn. São sinais de toxicidade do Mn nas plantas a redução da biomassa e senescência foliar precoce por meio de distúrbios bioquímicos e danos ao sistema fotossintético (MILLALEO et al., 2019 apud AFONSO et al., 2020). Afonso et al. (2020) relataram, avaliando a relação dos atributos do solo em cultivos de lúpulo, a ocorrência de toxidez nas concentrações foliares de Mn acima de 200 mg kg^{-1} , pois resultaram plantas de baixo vigor. Dessa forma, isso pode ter ocorrido durante o presente trabalho.

4.6 Produtividade, Lâmina de irrigação e Eficiência do uso da água

Nas Figuras 18 e 19 são evidenciadas as lâminas de irrigação aplicadas em cada fase da cultura e a total durante todo o ciclo. As plantas do solo arenoso tiveram maior consumo na fase inicial e de crescimento rápido, diminuindo o consumo nas últimas duas fases. No entanto, foi observado que as plantas do solo arenoso aceleraram seu desenvolvimento em relação as plantas cultivadas nos demais solos, reduzindo sua produtividade na fase de crescimento médio e final e conseqüentemente diminuindo a absorção de água.

Devido às altas temperaturas dentro do ambiente protegido (Figura 7), não recomendado para a cultura do lúpulo, e sendo o solo arenoso com maior tendência de proporcionar maior fluxo de água e aeração, essas plantas responderam com maior intensidade ao estresse térmico, com a tendência de acelerar seu ciclo.

As plantas mesófitas, que requerem solos úmidos, sobrevivem em amplitude térmica estreita, mais ou menos $10 \text{ }^{\circ}\text{C}$ para que ocorra crescimento e desenvolvimento ótimo, caso contrário, acontecerão danos que vão depender da intensidade, flutuação térmica e duração do estresse (TAIZ; ZEIGER, 2013).

O lúpulo, no entanto, foi considerado uma planta anidra, devido a um grande potencial hídrico diário, sem controle quanto a este. Sendo assim, a planta diminui a transpiração quando reduz o teor de água no solo (KOLENC et al., 2014; NAGLIC; CUEJIC, 2017).

Na Figura 18 e 19 são mostradas as lâminas de irrigação para as diferentes fases da cultura e as lâminas totais respectivamente, das três texturas de solo.

Figura 18 – Lâmina de irrigação aplicada nas três texturas de solo durante o experimento para as fases inicial (I), crescimento rápido (CR), crescimento médio (CM) e final (F) do lúpulo

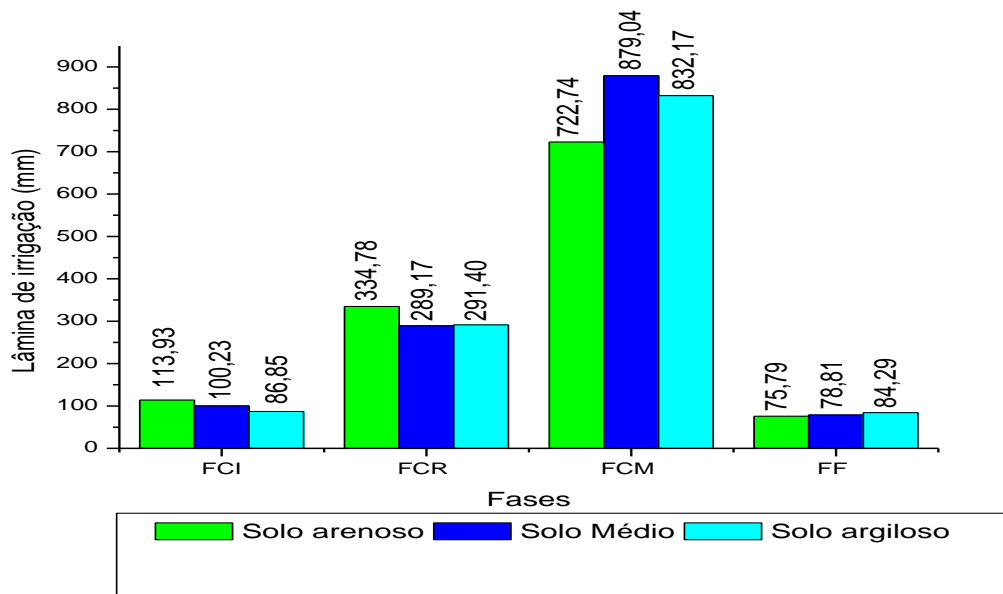
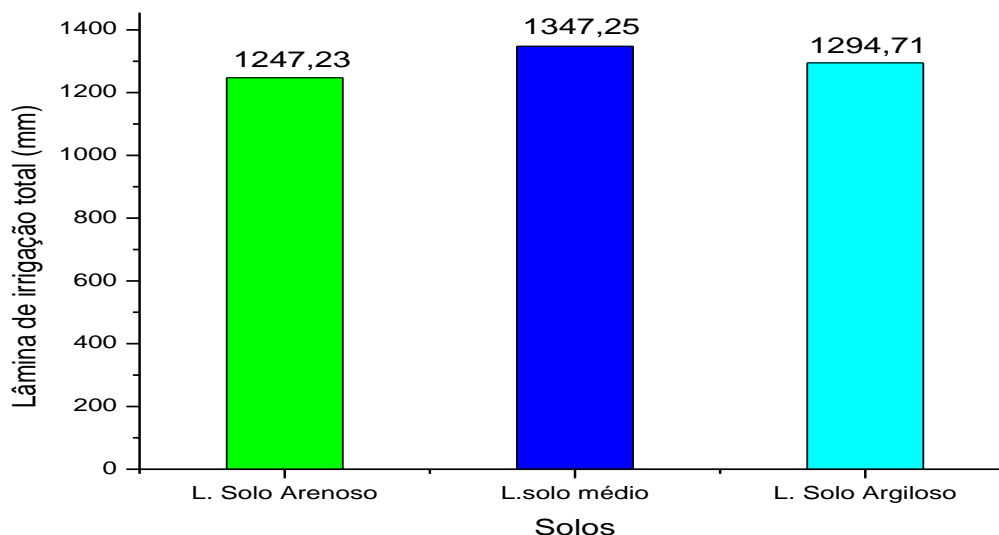


Figura 19 – Lâminas de irrigação totais para as três texturas de solo no cultivo do lúpulo



As plantas cultivadas em solo argiloso mostraram maior eficiência do uso da água (EUA) com relação as demais, alcançando $0,457 \text{ kg ha}^{-1}\text{mm}^{-1}$ de EUA, o qual consumiu uma lâmina de 1.294,71 mm, e produtividade $59,28 \text{ g/planta}$. Logo em seguida o solo de textura média e arenoso atingiram a EUA de 0,264 e $0,305 \text{ kg ha}^{-1}\text{mm}^{-1}$, os quais receberam lâminas de 1.347,25 e 1.247,23 mm atingindo

produtividade de 38,02 e 36,97 g/planta, respectivamente, resultado esses pode estar relacionada com o estresse térmico, ocasionando baixa produtividade.

Graf et al. (2019), avaliando o consumo de água do lúpulo da variedade Herkules, cultivada em solo arenoso, com o método baseado na transpiração determinada por medições de trocas gasosas, observaram que o consumo diário chegou a ser superior a 50 litros por planta em uma área de 5 m², ou seja, 10 L /m², sendo que o espaçamento entre plantas era de 1,6 x 3,2 m. Este resultado mostra que a lâmina de irrigação está em torno de 10 mm, valor próximo ao encontrado neste trabalho, em torno de 8 mm.

Mozny et al. (2009) relacionaram as mudanças climáticas progressivas com a diminuição de alfa ácidos no lúpulo, deixando entender que a cultura é vulnerável a essas alterações, indicando serem necessários estudos detalhado que determinem a necessidade hídrica, faixa de temperatura ideal para cada fase, tipo de solo e variedade, levando em consideração a localização de implantação, altitude e clima para definir o manejo de forma diferenciado.

Middleton (1963) descreve que o consumo de água depende mais da área foliar da planta em crescimento do que do clima da região. Porém, essas mudanças climáticas são fatores ambientais que vêm impactando consideravelmente no desenvolvimento e produção agrícola.

Graf et al. (2016), em estudo realizado na Alemanha, no estado da Baviera, afirmam que o excesso de água aplicado no lúpulo fez com que a planta atingisse um consumo aproximadamente de 50 litros por dia, por planta, e indicam que o manejo da irrigação via sensores de solo seria menos eficiente devido aos grandes volumes do sistema radicular. O fato da planta ser anidra, com grande potencial de absorção de água, e disponibilidade de água, faz com que o consumo seja grande, porém é importante identificar o mínimo necessário para manter o desenvolvimento da planta, produtividade e qualidade dos cones conforme demanda de mercado.

4.7 Alfa ácido, beta ácido e HSI (*Hop Storage Index*) dos cones do lúpulo.

A análise para determinação dos ácidos e HSI (*Hop Storage Index*), que é uma medida de degradação dos ácidos durante o processo de armazenamento, são parâmetros de maior importância para a indústria cervejeira. Na Tabela 14 são mostrados os valores desses parâmetros, em relação aos cones de lúpulo das plantas cultivados nas diferentes texturas de solo.

As plantas cultivadas em solo de textura média apresentaram a maior concentração de alfa-ácido. Para os parâmetros beta-ácidos e HSI, os valores são próximos para as três texturas de solos.

Tabela 14- Concentração α ácido (%) β ácido (%) e HSI (*Hop. Storage Index*) dos cones do lúpulo

Parâmetros	Solo Arenoso	Solo Médio	Solo Argiloso
α ácido	3,4	4,0	3,6
β ácido	1,3	1,5	1,6
HSI (<i>hop. Storage Index</i>)	0,22	0,23	0,23

Fonte: Laboratório Tecden

Os lúpulos cultivados nos três tipos de solo, apesar da baixa produtividade, comparando com a média dos produtores que é de 2 kg por planta, correspondem as características de qualidade exigidas pelas indústrias com relação ao HSI. Quanto menor o HSI, melhor a conservação do lúpulo. De acordo com Van Holle (2017), quando os níveis de HSI for inferiores a 0,30, há a indicação de que se trata de lúpulo de boa qualidade.

Analisando o teor de alfa ácido, o valor ainda está abaixo do esperado para a variedade Cascade, que é de 4,5 a 7%, o qual pertence ao grupo dos lúpulos aromáticos. Esse valor, inferior ao referenciado pela literatura, já era esperado devido ser o primeiro ano de cultivo, pois a planta é considerada apta para a produção na sua fase adulta, a partir do terceiro ano (DODDS, 2017).

De toda a composição do lúpulo, o que interessa à indústria são os alfa ácidos, beta ácido e óleos essenciais numa concentração de 2 a 16%, 2 a 10% e 0,5 a 2,0%, respectivamente (SENAI, 2014).

A quantidade de alfa ácido e beta ácido varia conforme alguns fatores como tipo de cultivar, fatores climáticos do local, técnica de cultivo, condições de secagem e

armazenamento (VERZELE et al., 1991). A variedade Cascade possui caráter cítrico picante, os teores de alfa e beta ácidos são entre 4,5 a 7%, sendo que essas características que propicia o diferencial no sabor e na preferência do consumidor (SPÓSITO et al., 2019).

No entanto, nas condições de cultivo, principalmente das altas temperatura e umidade do ar ambiente, as plantas podem ter apresentado sintomas de estresse térmico, por não estarem em condições climáticas exigidas para seu desenvolvimento. Isso pode ter interferido nos teores de alfa e beta ácido encontrados nas amostras. Srecec et al. (2008), em um estudo para analisar alfa ácido do lúpulo, relataram que a quantidade da substância diminuiu a medida que a planta sofreu estresse hídrico na época de floração e formação de cones, devido às altas temperaturas.

Sendo assim, mesmo em condições de possível estresse térmico, os teores de alfa ácidos estão próximos ao valor mínimo requerido pelo mercado.

4.8 Atributos dos solos após o cultivo do lúpulo

Os atributos do solo como, pH, matéria orgânica (MO) e os teores de nutrientes disponíveis influenciam diretamente no desenvolvimento da planta e na produtividade. Na tabela 15 e 16 pode-se observar esses atributos após o cultivo do lúpulo.

Tabela 15 - Atributos do solo (S) arenoso, médio e argiloso após o cultivo do lúpulo

Trat	pH	MO g/dm ³	P mg/dm ³	H+Al	K -----mmolc/dm ³ -----	Ca	Mg	SB	CTC	V%
S.Arenoso	5,6	18	256	21	8,76	29	6	44	64	68
S. Médio	6,2	32	76	26	4,09	47	26	77	103	75
S.Argiloso	5,9	22	52	24	4,40	29	28	76	100	76

Fonte: Laboratório de física de solo e Laboratório de fertilidade do solo, FCA, UNESP

Tabela 16 - Micronutrientes do solo (S) arenoso, médio e argiloso após o cultivo do lúpulo

Trat	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	-----mg dm ³ -----				
S.Arenoso	0,48	2,0	32	13,8	6,4
S. Médio	0,37	0,7	17	1,0	0,9
S.Argiloso	0,28	2,1	8	5,2	0,6

Fonte: Laboratório de física de solo e Laboratório de fertilidade do solo, FCA, UNESP

O solo arenoso mostra maior concentração de Mn e Fe, sendo que as plantas cultivadas desse solo obtiveram menor produtividade e acúmulo de massa seca que o solo argiloso. Afonso et al (2020), com objetivo de relacionar as propriedades do solo com vigor e produtividades do lúpulo, observaram que os solo que continham níveis excessivos de Mn e Fe foram predominantemente associados às plantas com baixo vigor e as cultivadas em solo ácidos influenciou negativamente no crescimento. Isso foi observado no presente trabalho.

5 CONCLUSÕES

A textura do solo influenciou consideravelmente quanto ao processo de Evapotranspiração da cultura do lúpulo e, conseqüentemente, as diferenças de demanda hídrica entre as fases fenológicas das plantas e no coeficiente de cultivo.

A cultura do lúpulo, nas condições climáticas do local do experimento, apresentou comportamentos fenológicos diferentes das regiões produtoras, principalmente pelo fato das plantas não terem entrado em senescência. Apesar deste trabalho utilizar as fases fenológicas preconizadas pela FAO, as plantas continuaram a consumir água no período em que era prevista a senescência das plantas.

O solo argiloso alcançou melhor produtividade e eficiência do uso da água. No entanto, é evidente a necessidade de manejo da irrigação diferenciado para cada textura, em vista da dinâmica da água no solo.

Apesar de ser o primeiro ciclo da cultura, as plantas apresentaram teores de alfa ácido próximo ao esperado e teores de beta ácido e valor de HSI dentro dos parâmetros exigido pela indústria cervejeira.

A absorção de nutrientes está relacionada com a textura e conseqüentemente com umidade e retenção da água no solo, sendo necessários estudos detalhados da necessidade nutricional do lúpulo para diferentes características de solo.

O manejo da irrigação e monitoramento climático são fatores de grande importância para manter a planta em condições favoráveis ao seu desenvolvimento. Em média, durante os 159 dias de cultivo do lúpulo, da variedade Cascade, em ambiente protegido, foram utilizadas em média lâminas diárias de 8,47; 8,11 e 7,84 mm para os solos de textura média, argiloso e arenoso, respectivamente.

A produtividade foi maior no solo de textura argilosa em termos de 37,7% superior em relação ao de menor produção, o solo arenoso.

Dessa forma, pelos teores de alfa e beta ácidos, pelas condições de estresse térmico presentes durante o experimento, e demais desafios durante o período, é possível afirmar que as plantas da variedade analisada suportaram o ambiente que lhes foram impostas e houve produtividade apesar de serem plantas do primeiro ano. Além disso, clima e solo são determinantes para identificação de manejo e possivelmente produtividade.

Sendo assim, evidencia-se que de fato a planta de lúpulo possui grande demanda hídrica, comparada as cultura de cana, café, milho e outras de manejo conhecido no Brasil.

Do presente estudo, além das conclusões citadas acima, evidencia-se que os estudos relacionados ao cultivo do lúpulo no Brasil estão em desenvolvimento, havendo muito a ser explorado para compor um referencial de cultivo e necessidades agronômicas da cultura.

6 OBSERVAÇÕES: CONTROLE DA INCIDÊNCIAS DE PRAGAS NO CULTIVO IRRIGADO DE LÚPULO EM AMBIENTE PROTEGIDO

O setor agrícola nacional, recentemente, mostrou interesse por pesquisa relacionado ao manejo adequado para o cultivo do lúpulo em diversas sub-áreas dentro da agronomia, sendo o controle de pragas um fator importante a ser estudado. Até o momento, as ferramentas disponíveis para o controle são os métodos naturais e biológicos.

No entanto, em culturas agrícolas, a ocorrência de insetos é influenciada por fatores meteorológicos como a temperatura, precipitação, insolação e umidade relativa do ar (GHINI et al., 2011), fatores estes difíceis de serem controlados, principalmente para cultivos em campo e ambientes protegidos. Portanto, durante o cultivo foram realizadas observações sobre incidência e manejo de pragas na cultura do lúpulo no ambiente protegido, com o intuito de divulgar as condições experimentais e informações que possam ser úteis à comunidade científica e rural.

Abaixo seguem os tipos de pragas presentes e manejos desenvolvidos ao longo do período experimental.

Lagarta rosca (*Agrotis ipsilon*): A lagarta apareceu no estágio de pleno desenvolvimento da cultura. As mais novas, na maioria das vezes, foram encontradas na área foliar onde se encontrava o caule mais fino e macio. Já as lagartas mais velhas desciam para se alimentar do caule próximo ao solo e ou até mesmo das raízes superficiais, danificando e comprometendo a produção de cones.

A lagarta rosca é proveniente de mariposas, com grande capacidade de postura de ovos, tem coloração parda acinzentado escuro e pode atingir o tamanho de 45 mm. Seu hábito é noturno, cortando as plântulas rente ao solo, e durante o dia abriga-se na superfície do solo (GALLO et al., 2002).

Pulgão (*Rhopalosiphum rufiabdominale*): O ataque de pulgão no lúpulo ocorreu na fase inicial de desenvolvimento da planta, observando-se a proliferação do pulgão de cor verde *Myzus persicae*. Os pulgões são insetos muito pequenos que variam da coloração amarelo-claro a verde escuro; sua proliferação é muito rápida e geralmente ataca brotos e folhas novas das plantas (GALLO et al., 2002). Por se alimentarem da seiva, ocasionam enfraquecimento e queda de produção. Além de

injetar uma toxina no vegetal durante a alimentação, ainda funcionam como vetor de vírus para mais de cem espécies de plantas (RAJABASKAR et al. 2013).

Ácaro rajado (*Tetranyus urticae*) - Ocorreu maior proliferação em época de menor umidade relativa do ar e maior temperatura dentro da casa de vegetação. O ácaro rajado varia da coloração verde amarelado a verde escura, vive na parte inferior das folhas em grande número e tecem teias para sua proteção; além da temperatura e umidade, fertilizantes nitrogenados propicia a proliferação (GALLO et al., 2002).

Os ataques severos de ácaros podem causar a seca e queda prematura das folhas, diminuindo a área foliar, afetando o desenvolvimento, a produtividade e podendo causar até mesmo a morte da planta (BACCI et al., 2007).

Cochonilhas (*Dactylopius coccus*): Os ataques ocorreram na fase de pleno desenvolvimento da planta. Algumas espécies de cochonilhas especialmente das famílias Coccidae, Diaspididae e Pseudococcidae estão entre as principais pragas que infestam plantas cultivadas em estufas (PILLAI, 2016). É um tipo de inseto que causa prejuízo na cultura devido a sucção da seiva, onde pode liberar uma secreção com açúcar aparecimento de fungos, no qual atrapalha a realização da fotossíntese. Consequentemente esse processo acaba alimentado as formigas, no qual protege a população de cochonilha. No lúpulo o aparecimento da cochonilha ocorreu na fase inicial da cultura. Na figura 22 estão ilustradas as pragas encontradas durante o ciclo do lúpulo.

Figura 20 – Pragas encontradas durante o cultivo



Lagarta rosca



Caule danificado pela lagarta rosca



Cochonilhas



Ácaro rajado construindo teia



Pulgão verde

Fotos: Sousa (2021)

As pragas são responsáveis por grande parte da perda de diversos produtos agrícolas, na maioria das vezes são controladas por produtos químicos, os defensivos agrícolas, que para serem utilizados é necessário o registro e liberação para determinada cultura. No Brasil não se encontram produtos liberados para a utilização na cultura do lúpulo, sendo assim, as alternativas para o produtor, até o momento, são medidas preventivas, controle cultural, biológico e orgânico natural.

Os controles culturais que podem ser aplicados para o cultivo do lúpulo são: aração do solo, destruição dos restos culturais atacados por pragas, poda, desbaste e uso de culturas que servem de armadilhas. O controle biológico pode ser adotado com o uso de insetos, como por exemplo a joaninha, que é predadora de pulgões e cochonilhas.

O manejo correto e o sistema de irrigação por gotejamento serviu como um controle e medidas para evitar algumas incidências de pragas, considerando que a planta recebeu a quantidade de água necessária para seu desenvolvimento e que foi molhado apenas o sistema radicular da cultura.

O óleo de Neen, inseticida orgânico natural, foi o produto mais utilizado para combater as pragas durante o cultivo do lúpulo. Este óleo é considerado um inseticida natural no controle de pulgões, cochonilhas, lagartas, ácaros, entre outras.

Como fungicida orgânico, foi utilizada a calda bordalesa que é a base de sulfato de cobre e cal virgem diluídos em água. Vale ressaltar que esses produtos utilizados apresentaram repostas positivas como preventivos no início da incidência das pragas.

REFERÊNCIAS

- Afonso, S.; Arrobas M. A.; Rodrigues, M. A. Soil and Plant Analyses to Diagnose Hop Fields Irregular Growth. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, p.1-15, 2020.
- ALBUQUERQUE, P. E.; DURÂES, F. O. M. **Uso e manejo da irrigação**. Brasília. 2 ed. Brasília, DF: Embrapa, 2013, 528 p.
- ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements. Rome: FAO, 1998(FAO. Irrigations and drainage paper, 56).
- ALENCAR, L. P.; SEDIYAMA, G. C.; MANTOVANI, E. C. Estimativa da evapotranspiração de referência (eto padrão fao), para minas gerais, na ausência de alguns dados climáticos. **Agrícola e Ambiental**, Jaboticabal, v. 35, n. 1, p. 39 – 50, 2015.
- ALEXANDROV, N. A.; KRYLOVA, M. I.; RUPOSHEV, A. R. **Hop**, 128p, 1991.
- ALMAGUER, C. et al. Humulus lupulus - a story that begs to be told. A review. **Journal of the Institute of Brewing**, v. 120, n. 4, p. 289–314, 2014.
- AMARO FILHO, J.; ASSIS JUNIOR, R. N.; MOTA, J. C. A. **Física do Solo: Conceitos e aplicações**. Fortaleza: Imprensa Universitária, 2008. 290 p.
- ANDRADE, I. P. S. **Manejo da Irrigação na Cultura da Figueira utilizando Balanço de Água no solo**. 2012. Dissertação (Mestrado em Agronomia/ Ciências do Solo) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Seropédica.
- ANDREWS, J. T & LORIMER, G. H. Rubisco: structure, mechanisms and prospects improviment. In Haleh, M. D & Boardman, N. K. (Eds) Biochemistry of plants. Academic Press New York 10:132-207, 1987.
- ANTONINI, J. Vantagens em se fazer o manejo da irrigação: estudo de casos in CAMARGO, D. C. Manejo da Irrigação: Como, Quando e Quanto Irrigar. Fortaleza: **INOVAGRI/IFCE**, 2016. 26p
- AQUINO, A. M; TEIXEIRA, A. J; ASSIS, R. L. **Referencial técnico de atratividade agropecuária – lúpulo**. Nova Friburgo - RJ, Embrapa, 2019, 65p
- ARAÚJO, N., Variedade brasileira de lúpulo é descoberta na Serra da Mantiqueira. 2016. Disponível em: <<http://g1.globo.com/economia/agronegocios/noticia/2016/05/variedade-brasileira-delupulo-e-descoberta-na-serra-da-mantiqueira.html>>. Acesso em 21 de abril de 2020.

AYARS, J.E., E.W. CHRISTEN, R.W. SOPPE, AND W.S. The resource potential of in-situ shallow ground water use in irrigated agriculture: **A review. Irrig. Sci.** n. 24, p. 147–160, 2006.

BACCI, L.; PICANÇO, M. C.; QUEIROZ, R. B.; SILVA, É. M. **Sistemas de tomada de decisão de controle dos principais grupos de ácaros e insetos praga em hortaliças no Brasil.** In: ZAMBOLIM, L.; LOPES, C. A.; PICANÇO, M. C.; COSTA, H. (Ed.). Manejo integrado de doenças e pragas: hortaliças. Viçosa: UFV, 2007. p. 423-462.

BALIGAR, V. C.; FAGERIA, N. K.; HE, Z. L. NUTRIENT USE EFFICIENCY IN PLANTS. *Communications in Soil Science and Plant analysis Neww York*, v. 32, p. 921 – 950, 2001.

BAMFORTH, W. C. **Beer is Proof God Loves Us, 1st ed., FT Press: Upper Saddle.** River, 2010

BARBOSA JUNIOR, C. R. **Evapotranspiração e sua medida por lisímetro de pesagem.** Departamento de Ciências Exatas Disciplina: Métodos Instrumentais de Análise Física do Ambiente Prof. Dr. Sergio Oliveira Moraes. Escola Superior de Agricultura “Luiz de queiroz” ESALQ – Piracicaba, 2009, 10p.

BARTH-HAAS GROUP. Beer Production Market Leaders and their Challengers in the Top 40 Countries in 2011. In http://www.barthhaasgroup.com/johbarth/images/pdfs/BARTH_Ergaenzungsbericht_MLR_2012.pdf, acessado em 20/03/2020.

BASSOI, L. H. **XXI Ciência para a vida Embrapa: agrossistemas e produção sustentável. - Portal Embrapa.** 2015 Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1019719/xxi-ciencia-para-a-vida-embrapa-agrossistemas-e-producao-sustentavel>>. Acesso em: 6 mar 2017.

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.

BENITEZ J., Foster A., De Keukeleire D., MOIR M., SHARPE F. R., VERHAGEN L. C., WETWOOD K. T. **Hops and hop products.** Hans Carl-Verlag. Nurnberg, Germany, 2017.

BERG, B.; STEFFEN, K. T.; CLAUGHERTY, C. M. Litter decomposition rate is dependent on litter Mn concentrations. **Biogeochemistry** n. 82, p. 29-39, 2007.

BERGAMASCHI, Homero et al. **Agrometeorologia aplicada á irrigação.** 2. ed. Porto Alegre: Editora da Universidade, 1999. 130p.

BERGAMASCHI, H.; BERGONCI, J. I. **As plantas e o clima: principio e aplicações**. Guaíba: Agrolivros, 2017, 352 p.

BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de Irrigação**. 8. ed. Viçosa: Editora UFV, 2008. 625 p.

BERNARDO, S. **Manual de Irrigação**. 7. Ed. Viçosa: Editora UFV, 2005, 611p.

BERNOTIENĖ, G.; NIVINSKIENĖ, O.; BUTKIENĖ, R.; MOCKUTĖ, D. Chemical composition of essential oils of hops (*Humulus lupulus* L .) growing wild in Aukštaitija. **Chemija**, Vilnius, n. 2, p. 31-36, 2004.

BOULTON, C. A. **Encyclopedia of Brewing**. [s.l.] John Wiley & Sons, 2013.

BROOKS, S. N.; KELLER, K. R. 1960. **Effect of time of applying nitrogen fertilizer on yield of hops**. *Agron.* 1:516–518, 1960.

BURGESS, A.H., **Hops, botany, cultivation and utilization**. ed. Polunin, N. Interscience Publishers, New York ,1964.

CAMPECHE, L. F. M. S.; NETTO, A. O. A.; SOUZA, I. F.; FACCIOLI, G. G.; SILVA, V. P. R.; AZEVEDO, P. V. Lisímetro de pesagem de grande porte. Parte I: Desenvolvimento e calibração. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande, v. 15, n. 5, p. 519-525, 2011.

CARVALHO, D. F.; OLIVEIRA, L. F. C. **Planejamento e manejo da água na agricultura irrigada**. Viçosa: Editora UFV, 2012. 239p.

CARVALHO, L. Fisiologia vegetal: Taxa de fotossíntese e problemas. Universidade Federal de Alagoas Campus Arapiraca, 2014. Disponível em: <https://docplayer.com.br/46662015-Taxa-de-fotossintese-e-problemas-luisa-carvalho.html>

ČEH B, ČREMOŽNIK B. Soil pH and hop (*Humulus lupulus*) yield related to liming material rate. **Hmeljarski Bilten**, Zalec, v. 22, p. 49–57, 2015.

CONCENÇO, G.; FERREIRA, E. A.; SILVA, A. A.; FERREIRA, F. A.; VIANA, R. G.; D'ANTONINO, L.; VARGAS, L.; FIALHO, C. M. T. Uso da água em biótipos de azevém (*Lolium multiflorum*) em condição de competição. *Planta Daninha*, v.25, n.3, p.449-455, 2007.

COUTO, L.; SANS, L. M. A. **Características físico-hídricas e disponibilidade de água no solo**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2002. (circular técnica, 21).

CRUSCIOL,C.A.C.;COTTICA,R.L.; LIMA, E.V.;ANDREOTTI, M.; MORO, E.; MARCON, E. Persistência de palhada e liberação de nutrientes do nabo forrageiro no plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.40, p.161-168, 2005.

DAL PAI, A.; ESCOBEDO, J. F.; DAL PAI, E.; OLIVEIRA, A. P.; SOARES, J. R.; CODATO, G. MEO shadowring method for measuring diffuse solar irradiance: Corrections based on sky cover. **Renewable Energy**, v.99, p.754-763, Dec., 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2016.07.026>.

DARBY, H. Fertility guidelines for hops in the Northeast. Univ. Vermont Ext. Bul,2011.

DEMENTIEV, D.; IVANOVA, I.; LEONTEVA V. Technology of hop cultivation in the Chuvash Republic. **Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V.** Rudnitskogo, Russia, easyChair Preprint no. 2735, 2020

DJAMAN, K.; O'NEILI, M.; BODIAN, L. D. A.; KOUDAHE, S. A. K.; LOMBARD, K. Evaluation of the Penman-Monteith and other 34 reference evapotranspiration equations under limited data in a semiarid dry climate. **Theoretical and Applied Climatology**, n. 137, p. 729-743, 2019.

DODDS, K. **Hops a guide for new growers**. Department of primary industries, Australian Government, 2017. Disponível em: <<http://www.dpi.nsw.gov.au>. Acesso em: 3 de janeiro. 2020.

DOORENBOS, J.; PRUITT, W.O. **Guidelines for predicting crop water requirements**. Rome: FAO, 1977. 179 p. (Irrigation and Drainage Paper, 24).

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). **Sci. Agric**. Piracicaba, V. 57, n. 1, p.191-192, 2000.

DURELLOA, R. S.; SILVAA, L. M.; BOGUSZ JR, S. Química do lúpulo. **Quim. Nova**, São Paulo, v. 42, n. 8, p. 900-919, 2019.

ENGELHARD, B.; KAMMHUBER, K.; LUTZ, A., LACHERMEIER, U.; BERGMEIER, M. Blattflächenentwicklung und Ertragsaufbau wichtiger Hopfensorten, Schriftenreihe der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft. Freising-Weihenstephan, V. 11, 2011.

EVANS, R. **Hop Management in Water-Short Periods**. 2003. Disponível em: . Acesso em: 28 out. 2019.

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.

FARIAS, S. O; IRMAK, S.; CUENCAS,R. H. **Special issue on evapotranspiration measurement and modeling**. Irrigation Science, v. 28, n. 1, p. 1-3, 2009.

FERREIRA, M. M. Caracterização física do solo in LIER, Q. J. V. **Física do Solo**. 1. Ed. Viçosa, MG, 2010, p. 3-27.

FILIPPOV L. A **Simplified Soil Moisture Method for the Determination of Irrigational Terms**. Naučine soobšenih i metodičeskie rabotni; 1958, 99-102.

GALLO, D.; NAKANO, O.; SILVEIRA NETO, S.; CARVALHO, R. P. L.; BATISTA, G. C.; BERTI FILHO, E.; PARRA, J. R. P.; ZUCCHI, R. A.; ALVES, S. B.; VENDRAMIN, J. D.; MARCHINI, L. C.; LOPES, J. R. S.; OMOTO, C. **Entomologia agrícola. Piracicaba**: FEALQ, 2002. 920 p.

GHINI, R.; HAMADA, E.; BETTIOL, W. (Orgs.) Impactos das mudanças climáticas sobre doenças de importantes culturas no Brasil. Jagua-u riúna: **Embrapa Meio Ambiente**. 356p. 2011.

GINGRICH, C. HART, J.; CHRISTENSEN N. (Hops fertilizer guide. In: OSU extension catalog. **Oregon State University, Extension Service**, 1994.

GLOSER, V.; BALÁZ, M.; JUPA, R.; KOROVETSKA, H.; SVOBODA, P. The response of humulus lupulus to drought: the contribution of structural and functional planttraits. In: III International Humulus Symposium. **Acta Hortic**, n. 1010, p. 149–154, 2013.

GOLDBERG, S. **Reactions of boron with soils. In Boron in soils and plants: Reviews**, ed. B. Dell, P. H. Brown, and R. W. Bell, 35–48. Dordrecht: Kluwer Academic, 1997.

GRAF, T. et al. A new approach for predicting the water balance of hops. **Acta horticulturae**, v. 1236, n. 10, 2019.

GUIMARÃES, J. J. **Comportamento do Lúpulo (Humulus Lupulus L.) em cultivo protegido submetido a irrigação com diferentes faixas de pH da água na região de Botucatu-SP**. 2020. 107 f. Dissertação: (Mestrado Agronomia – Irrigação e Drenagem) – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu-SP.

HEYDARI N. Water productivity in agriculture: challeges in concepts, terms and values. **Irrig. Drain.**, V. 63, p. 22-28, 2014

HNILICKOVÁ, H., HNILICKA, F., SVOBODA, P., KOREN, J. The impact of water deficiton selected physiological characteristics of juvenile hop plants (Humuluslupulus L.). **Cereal Res. Commun.** V. 37, 301–304, 2009.

HORNSEY, I. S. **Elaboración de cerveza**: microbiología, bioquímica y tecnología. Zaragoza: Acribia, 1999, 110 p.

HOWELL, T. A.; SCHNEIDER, A. D.; JENSEN, M. E. **History of lysimeter desing and use for evapotranspiration measurements**. In: ALLEN, R. G.; HOWELL, T. A.; PRUITT, W. O. et al. (Ed.) Lysimeter for evapotranspiration and environmental measurements. New York: American Society of Civil Engineers, 1991. p. 1-9.

INTERNATIONAL HOP GROWERS CONVENTION. Economic commission summary reports. Intl. Hop Growers Convention. Zalec, Slovenia, 2017.

KENNY, S.T. Photosynthetic measurements in hop (*Humulus* spp.). **Acta Horticulturae**, The Hague, n. 668, p. 241-248, 2005.

KELLER, J.; KARMELI, D. Trickle irrigation design parameters. **Transactions of the ASAE**, Saint Joseph, v. 17, n. 4, p. 678-684, 1974.

KERBAUY, G. B. **Fisiologia Vegetal**. 2 ed. Rio de Janeiro: Ed. Guanabara Koogan, 2013, 431p.

KEUKELEIRE, D. Fundamentals of beer and hop chemistry. University of Gent - Faculty of Pharmaceutical Sciences. **quimica nova**, Gent – Belgium, v. 23, p. 108 – 112, 2000.

KIŠGECI J. **Vodni režim biljaka hmelja u različitim uslovima navodnjavanja i mineralne ishrane**. Doktorska disertacija, Novi Sad; 1974.

KÖPPEN, W.; GEIGER, R. **Klimate der Erde**. Gotha. Verlag Justus Perthes. 1928. Wallmap, 150 x 200 cm.

KOLENC Z., ČERENAK A., VODNIK D. Kako hmelj (*Humulus lupulus* L.) uravnava vodno bilanco in se odziva na sušo How does hop (*Humulus lupulus* L.) regulate its water balance and respond to drought. **Hmeljarski bilten**. V. 21 p. 5-13, 2014.

KROFTA, K.; J. KUČERA, J.; URBAN, J. Transpiration – an Important Contribution to Overall Water Balance of the Hop Plantation. In: III International Humulus Symposium. **Acta Hort**, n. 110, p. 183-190, 2013.

LIBARDI, L. G. P.; FARIAA R. T.; DALRIA, A. B.; ROLIMB, G. S.; PALARETTIA, L. F.; COELHOA, A. P.; MARTINS I. P. Evapotranspiration and crop coefficient (Kc) of pre-sprouted sugarcane plantlets for greenhouse irrigation management. **Agricultural Water Management**, n. 2012, p. 306-316, 2019.

LU, H. L.; NKOH, J. N.; BISWASH, M. R.; HUA. H.; Li, G. D. J.; XU, R. K. Effects of surface charge and chemical forms of manganese(II) on rice roots on manganese absorption by different rice varieties. **Ecotoxicology and Environmental Safety** n. 207, p. 1-8, 2020.

MAHAFFEE W. ET AL. **Compendium of Hop Diseases and Pests**. APS, 2009, 93 p.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2. ed. Piracicaba: POTAFOS, 1997. 319 p.

MANTOVANI, E. C.; BERNARDO, S.; PALARETTI, L. F. **Irrigação: princípios e práticas**. Viçosa: UFV, 2006. 318 p.

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**. Galicia, ESP: Centro Investigaciones Agrarias de Mabegondo, 2011

MARQUELLI, W. A.; OLIVEIRA, A. S.; COELHO, E. F.; SOUSA, V. F. **Manejo da água de irrigação.** p. 157–232, 2011. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/913636/manejo-da-agua-de-irrigacao>>. Acesso em: 01 dezembro 2019

MEDEIROS, G. A.; ARRUDA, F. B.; SAKAI, E. Relações entre o coeficiente de cultura e cobertura vegetal do feijoeiro: erros envolvidos e análises para diferentes intervalos de tempo. **Acta Scientiarum**, v. 26, n. 4, p. 513-519, 2004.

MIDDLETON J.E. **Irrigation needs of hops. Washington Agricultural Experiment Stations, Institute o: Agricultural Sciences**, Washington State University, Stations, 1963 Circular 417.

MILLALEO R.; Alvear, M.; Aguilera, P.; Villagra, J. G.; Mora, M. L.; Alberdi, M.; Díaz, M. R. Mn toxicity differentially affects physiological and biochemical features in highbush blueberry (*Vaccinium corymbosum* L.) cultivars. **J Soil Sci Plant Nutr.**, n. 20, p. 795-805, 2019.

MOIR, M. **Hop Aromatic Compounds.** In European Brewery Convention Monograph XXII - EBC-Symposium on Hops,Zoeterwoude, The Netherlands, May/June 1994, Verlag Hans Carl, Nuremberg, Germany, 1994, pp. 165-180.

MORGAN, K. T.; PARSONS, L. R.; WHEATON, T. A. **Comparison of laboratory - and field - derived soil water retention curves for a fine sand soil using tensometric resistance and capacitance methods.** Plant and Soil, Dordrecht, v.234, n.2, p.153-157, 2001.

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, p. 913–919, 2009.

NAGLIC, B.; CVEJIC, R.; PINTAR, M.. Irrigation scheduling of hop (*Humulus lupulus* L.): A REVIEW. **Hmeljarski bilten**, Žalec, v. 24, p. 28-41, 2017.

NASCIMENTO, J. L. **Crescimento e assimilação de carbono em plantas jovens de Attalea funifera Mart. submetidas ao sombreamento e ao estresse hídrico.** 110 p. Dissertação Mestrado Universidade Estadual de Santa Cruz, Ilheus, 2009.

NEVE, R.A. **Hops.** Chapman and Hall, London, UK. 1991 266p.

PALMER, J. **How to brew: everything you need to know to brew great beer every time.** 4 th ed., Brewers Publications, 2017.

PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L. R.; SENTELHAS, P. C. **Meteorologia Agrícola. LCE 306.** Departamento de Ciências Exatas, ESALQ, Piracicaba, fev. 1997.

PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L. R.; SENTELHAS, P. C. **Meteorologia Agrícola. LCE 306.** Departamento de Ciências Exatas, ESALQ, Piracicaba, fev. 2007.

PES, L. Z.; ARENHARDT, M. H. **Fisiologia Vegetal.**Santa. Maria, RS: UFSM, 2015, 81 p.

PILLAI, K.G. Glasshouse, Greenhouse and Polyhouse Crops. In: Mani, M. & C. Shivaraju (Editors). **Mealybugs and their Management in Agricultural and Horticultural crops**. Springer, New Dheli, P. 621-628, 2016.

PIMENTA, J. A. **Relações Hídricas**. In: KERBAUY, G. B. Fisiologia Vegetal. 2 ed. Rio de Janeiro: Ed. Guanabara Koogan, 2013, cap. 1, p. 1 - 32.

PINTO, M.B.C. **Isomerização de ácidos amargos de lúpulo cascade cultivado no Brasil e seu desempenho durante a fermentação da cerveja**. 2018. 82 p. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos)- Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual deCampinas, Campinas, 2018.

PIVETTA, C. R.; HELDWEIN, A. B.; MALDANER, I. C.; RADONS, S. R.; TAZZO, I. F.; LUCAS, D. D. Evapotranspiração máxima do pimentão cultivado em estufa plástica em função de variáveis fenométricas e meteorológicas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.14, p.768-775, 2010.

PONTES, A. C. F.; CORRENTE, J. E. Comparações múltiplas não-paramétricas para o delineamento com um fator de classificação simples. **Rev. Mat. Estat.**, São Paulo, v.19, p. 179-197, 2001.

POSS, J. A.; RUSSELL, W. B.; SHOUSE, P. J.; AUSTIN, R. S.; GRATTAN,S. R.; GRIEVE, C. M.; LIETH, J. H.; ZENG, L. A volumetric lysimeter system (VLS): An alternative to weighing lysimeters for plant-water relations studies. **Computers and Electronics in Agriculture**, v.43, p.55-68, 2004.

RAIJ, B. V. Fertilidade do solo e manejo de nutrientes. 2 ed. Piracicaba: Internacional Plant Nutrition Institute, 2017 420 p.

RAIJ, B. V. Fertilidade de Solo e Adubação. 1 ed. Piracicaba: Ceres, Potafos, 1991, 343 p.

RAJABASKAR, D., Y. Wu, N.A. Bosque-Pérez, S.D. Eigenbrode. 2013. Dynamics of Myzus persicae (Sulzer) (Hemiptera: Aphididae) Arrestment by volatiles from Potato leafroll virus (Luteoviridae: Polerovirus) infected potato plants during disease progression. **Entomologia Experimentalis et Applicata**,148:172–181.

RAMOS, T. B.; PEREIRA, L. S.; GONÇALVES, M. C. **Características de retenção de água no solo para utilização na rega das culturas**. Instituto Nacional de Investigação Agrária e Veterinária, I. P, 2016.

REICHARD, K. **Dinâmica da matéria e da energia em ecossistemas**. 2 ed. Barueri, SP: Manoele, 1996. 505 p.

REICHARD, K.; TIMM, L. C. **Solo, planta e atmosfera**. 2 ed. Piracicaba: USP-ESALQ, 2012. 500 p.

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.

RUCKLE, L.; SENN, T. Hop acids as natural antibacterials can efficiently replace antibiotics in ethanol production. Betatec Hop Products, **Nureberg**, v. 7, n. 9, 2006. Disponível em: <http://www.betatechopproducts.com/literature/files/Hop_acids_natural_antibacterials.pdf>. Acesso em: 2 de janeiro. 2020.

RYBACEK, V. et al. **Hop Growing**. SZN Praha, 1980, 426 pp.

RYBACEK, V. **Biological bases of hop production**. In: **Hop production**. Amsterdam: Elsevier, 1991, cap.2, p. 104 – 105.

SANTANA, M. J.; PEREIRA, U. C.; BEIRIGO J. D. C.; SOUZA, S. S.; CAMPOS, T. M. VIEIRA, T. A. Coeficiente de cultura para o Tomateiro Irrigado. **Irriga**, Botucatu, v. 16, n. 1, p. 11-20, janeiro-março, 2011.

SANTOS, C. S.; MONTENEGRO, A. A. A.; RODRIGUES, R. A. S.; SANTOS, D. P.; MONTENEGRO, A. L. N. Construção, instalação e calibração de lisímetro de lençol freático de carga constante na região semiárida de Pernambuco. Fortaleza-CE, **Revista brasileira de agricultura irrigada**, v.9, n. 5, p. 292 – 299, 2015.

SANTOS, F. C.; NOVAIS, R. F. N.; NEVES, J. C. L.; FOLONI, J. M.; ALBUQUERQUE FILHO, M. R.; KER, J. C. Produtividade e aspectos nutricionais de plantas de soja cultivadas em solos de cerrado com diferentes texturas. **R. Bras. Ci. Solo**. Viçosa, n. 32, p. 2015-225, 2008.

SEDIYAMA, G.C.; RIBEIRO, A.; LEAL, B.G. **Relações clima-água-plantas**. In: FARIA, M.A.; SILVA, E.L.; VILELA, L.A.A.; SILVA, A.M. (Eds.) Manejo de irrigação. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 27., 1998, Lavras. Anais... Associação Brasileira de Engenharia Agrícola, 1998. p.46-85.

SENSKE, A. M. Optimization of N fertilization for hops (*Humulus lupulus*) in Iowa soils. 2020. Dissertação (Mestrado em Agronomia/ Horticulture) – Iowa State University Ames, Iowa.

SENAI-RJ. **Tecnologia cervejeira**. Rio de Janeiro, 2014. Disponível em: https://www.acervapetropolis.com.br/download/Tecnologia_Cervejeira.pdf

SILVA, F. G. et al. Trocas gasosas e fluorescência da clorofila em plantas de berinjela sob Lâminas de irrigação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 19, n. 10, p. 946-952, outubro 2015.

SILVA, J. B. A. **Cerveja**. In: VENTURINI, W. G. Filho. Tecnologia de bebidas. São Paulo: Edgar Blücher, 2005. Cap. 15 p. 353.

SILVA, M. B. P.; ESCOBEDO, J. F.; ROSSI, T. J.; SANTOS, C. M.; SILVA, S. H. M. G. Performance of the Angstrom-Prescott Model (A-P) and SVM and ANN techniques to estimate daily global solar irradiation in Botucatu/SP/Brazil. **Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics**., 160., p.11–23., Jul., 2017. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jastp.2017.04.001>.

SILVA, A. L. B. R.; ZOTARELLI, H. T. H. L.; MIGLIACCIO, K. W.; DUKES M. D. Soil Water Dynamics of Shallow Water Table Soils Cultivated With Potato Crop. **Advancing Critical Zone Science**, p. 1-15, 2018.

SIRRINE R. Understanding the importance of the Hop Storage Index. Michigan State University Extension, 2018. Disponível: <https://www.canr.msu.edu/news/understanding-the-importance-of-the-hop-storage-index>.

SLAVIK L., KOPECKY J. Influence of economical irrigation on the yield and quality of hops. **Rostlinna výroba**, Slovenská, v. 44 n. 7, p. 293-297, 1998.

SOUZA, E. R.; AMARO, A. C. E.; SANTOS, L. S.; ONO, E. O.; RODRIGUES, J. D. Fenologia e trocas gasosas da videira cv. Sweet Sunshine em clima semiárido. **Comunicata Scientiae**, Bom Jesus, v. 7, n. 3, p 319-333, 2016.

SPOSITO, M. B.; ISMAEL, R. V.; BARBOSA, C. M. A.; TAGLIAFERRO, A. L. **A Cultura do Lúpulo**, ESALQ/USP, 2019, 85p.

SRECEC S., KVATERNJAK I., KAUCIC D., SPOLJAR A., ERHATIC R. Influence of climatic conditions on accumulation of alpha-acids in hop cones. **Agriculturae Conspectus Scientificus**, v. 73, p. 161–166, 2008.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. 5. ed. Porto Alegre: Artmed, 2013. 918 p.

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.

TRAMONTINI, S.; LEEUWEN, C. V.; DOMEK, J. C.; IRVINE A. D.; BASTEAU, C.; VITALI, M.; SCHULZ O. M.; LOVISOLO, C. **Impact of soil texture and water availability on the hydraulic control of plant and grape-berry development**. **Plant soil**, n. 386, p. 215-230, 2013.

ÜNEŞ, F.; DOĞAN, S.; TAŞAR, B.; KAYA, Y. Z.; DEMIRCI M. The Evaluation and Comparison of Daily Reference Evapotranspiration with ANN and Empirical Methods. **Natural and Engineering Sciences**, v. 3, n. 3, p. 54-64, 2018.

VAN HOLLE, A. **The brewing value of hops**. **Hop and Brew School**. Yakima, WA, 2017.

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

VAREJÃO-SILVA, M. A. **Meteorologia e Climatologia**, Recife, 2006, 463p. Disponível em: https://icat.ufal.br/laboratorio/clima/data/uploads/pdf/METEOROLOGIA_E_CLIMATOLOGIA_VD2_Mar_2006.pdf.

VAZ, A. P. A.; SANTOS, H. P.; ZAIDAN, L. B. P. Floração. *In*: KERBAUY, G. B. **Fisiologia Vegetal**. 2. ed. Rio de Janeiro, 2013, p. 341-357.

VERZELE, M.; KEUKELEIRE, D. Chemistry and Analysis of Hop and Beer Bitter Acids, 1st ed., **Elsevier**, Amsterdam, 1991.

VILA NOVA, N. A. et al. **Estimativa do coeficiente de cultura do cafeeiro em função de variáveis climatológicas e fitotécnicas**. 2. ed. Vitória - Es: II Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil, 2001.

WEIL, R.R.; BRADY, N. C. **The nature and properties of soils**. Global Edition, London, 2017.

WIDMOSER, P. A. Discussion on an alternative to Penman–Monteith equation. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, n. 96, p. 711–721, 2009.

WILLIAMS I., R. J.; Coley-Smit JR. **Studies of the dormant phase of the hop (*Humulus lupulus* L.) Annual report for 1960**. Department of Hop Research, Wye College England, 1961, p. 48–58.

WU, I. P. An Assessment of hydraulic design of micro-irrigation systems. **Journal of Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 32, n. 3, p. 275 – 284, June 1997.

XIE, K.; ÇAKMAK, I.; WANG, S.; ZHANG, F.; GUO, S. Synergistic and antagonistic interactions between potassium and magnesium in higher plants. **The Crop Journal**, p. 1-7.

XING, Z.; CHOW, L.; MENG, F.R.; REES, H.W.; STEVENS, L.; MONTEITH, J., Validating evapotranspiration equations using Bowen Ratio in New Brunswick. Maritime Canada. **Sensors, Lausanne**, n. 8. p. 412–428, 2008.

YAN, B.; HOU, Y. Effect of Soil Magnesium on Plants. IOP Conf. Ser.: **Earth Environ. Sci**, n. 170, p. 1-8, 2018.

YANG, S. X. DENG, H.; LI, M. S. Manganese uptake and accumulation in a woody hyperaccumulator, *Schima superba*. **Plant Soil Environ**, n. 54, p. 441-446, 2008.