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

FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
UNESP | BOTUCATU

JOÃO DE JESUS GUIMARÃES

COMPORTAMENTO AGRONÔMICO DO LÚPULO (*Humulus lupulus* L.) SOB DIFERENTES NÍVEIS DE IRRIGAÇÃO E DE SISTEMAS DE CONDUÇÃO DOS RAMOS

Botucatu

2024

JOÃO DE JESUS GUIMARÃES

COMPORTAMENTO AGRONÔMICO DO LÚPULO (*Humulus lupulus* L.) SOB DIFERENTES NÍVEIS DE IRRIGAÇÃO E DE SISTEMAS DE CONDUÇÃO DOS RAMOS

Tese apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da Unesp Câmpus de Botucatu, para obtenção do título de Doutor em Engenharia Agrícola

Orientador: Rodrigo Máximo Sánchez Román

Coorientadora: Valéria Aparecida Modolo

Botucatu

2024

G963c

Guimarães, João de Jesus
Comportamento agronômico do lúpulo (Humulus lupulus L.) sob diferentes níveis de irrigação e de sistemas de condução dos ramos / João de Jesus Guimarães. -- Botucatu, 2024
203 p.

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Ciências Agronômicas, Botucatu
Orientador: Rodrigo Máximo Sánchez Román
Coorientadora: Valéria Aparecida Modolo

1. lupulicultura. 2. demanda hídrica. 3. manejo de irrigação. 4. tratos culturais. 5. cascade. I. Título.

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

Essa ficha não pode ser modificada.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Câmpus de Botucatu

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA TESE: COMPORTAMENTO AGRONÔMICO DO LÚPULO (Humulus lupulus L.) SOB DIFERENTES NÍVEIS DE IRRIGAÇÃO E DE SISTEMAS DE CONDUÇÃO DOS RAMOS

AUTOR: JOÃO DE JESUS GUIMARÃES
ORIENTADOR: RODRIGO MAXIMO SANCHEZ ROMAN
COORIENTADORA: VALÉRIA APARECIDA MODOLO

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Doutor em Engenharia Agrícola, pela Comissão Examinadora:

Prof. Dr. RODRIGO MAXIMO SANCHEZ ROMAN (Participaçao Virtual)
Engenharia Rural e Socioeconomia / Faculdade de Ciencias Agronomicas de Botucatu UNESP

Prof. Dr. LEANDRO CAIXETA SALOMÃO (Participaçao Virtual)
Engenharia Agrícola / Instituto Federal Goiano

Prof. Dr. CLEITON GREDSON SABIN BENETT (Participaçao Virtual)
Agronomia / Universidade Estadual de Goiás

Prof. Dr. FERNANDO BROETTO (Participaçao Virtual)
Quimica e Bioquimica / Instituto de Biociencias de Botucatu UNESP

Prof.ª Dr.ª AMANDA RITHIELI PEREIRA DOS SANTOS (Participaçao Virtual)
. / Universidade Federal do Pampa

Botucatu, 01 de março de 2024

Aos meus amados Pais,

João de Deus e Maria de Jesus,

dedico

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, a Deus pelo dom da vida, pela saúde, sabedoria, proteção e pelas oportunidades. E por nunca me deixar desanimar frente as dificuldades.

Aos meus queridos Pais pelo amor incondicional e pelos ensinamentos. Obrigado por serem os meus maiores incentivadores, sem o apoio e incentivo de vocês, eu jamais conseguiria chegar até aqui.

Aos meus queridos irmãos e toda a minha família pelo apoio.

A minha esposa Mara Lúcia Cruz de Souza Guimarães pela ajuda em todas as etapas deste trabalho, pelo companheirismo, carinho, amor, inspiração e por me apoiar em todas as minhas escolhas.

Ao Prof. Dr. Rodrigo Máximo Sánchez Román, pela orientação, ensinamentos, confiança e pelo exemplo de professor, orientador e de pessoa. Serei eternamente grato!

A Dra. Valéria Aparecida Modolo, pela importante contribuição na execução deste trabalho e pelos ensinamentos.

A Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (FCA/UNESP), Campus de Botucatu pela oportunidade de me capacitar, por proporcionar inúmeras experiencias, dentre tantas, poder compartilhar meu conhecimento e por permitir que meu sonho fosse realizado.

Ao corpo docente do Programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola pelo conhecimento transmitido e pela importante contribuição na minha formação acadêmica, profissional e pessoal.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPQ), pela concessão da bolsa de estudos e da taxa de bancada.

Ao Prof. Dr. Fernando Broetto por permitir realizar as análises fisiológicas no laboratório de bioquímica e pelo empréstimo dos equipamentos para as análises em campo. Muito obrigado, pois foi fundamental!

Ao Prof. Dr. João Carlos Cury Saad pelo conhecimento compartilhado, pelas oportunidades e por estar sempre disposto em ajudar o próximo.

Ao Ricardo Beolchi da Hops Brasil pela atenção, apoio e incentivo às pesquisas com a cultura do lúpulo, fornecendo mudas de altíssima qualidade e com preço especial.

A Start Hops Brasil pela ajuda no esclarecimento de dúvidas e pelo apoio e ensinamento.

A Naandanjain Brasil e a Tigre pela doação dos materiais de irrigação.

A Tatiane Cristovam Ferreira pela importante e valiosa ajuda nas análises laboratoriais e em campo, e acima de tudo, pelo carinho, amizade e orações.

Ao Caio Nascimento Fernandes pelos ensinamentos, companheirismo, pela colaboração na execução deste trabalho. Mas, acima de tudo, muito obrigado pela amizade.

Ao Rodrigo Vieira, colega de curso e amigo. Muito obrigado pelas oportunidades e por compartilhar toda a experiência e conhecimento.

Aos amigos Carlos Bauman e Alexandre Battazza pela amizade e por permitir compartilhar vários momentos de muita alegria. Vocês são especiais!

E a todos aqueles que contribuíram direta ou indiretamente neste trabalho e em toda a minha formação.

“Nós somos o que fazemos repetidamente. A excelência não é um feito, e sim, um hábito”.

DURANT, W. J. **The story of philosophy**.
Nova Iorque: Pocket Books, 1991.

RESUMO

A lupulicultura é uma prática agrícola responsável pelo cultivo de plantas femininas não polinizadas de lúpulo (*Humulus lupulus L*.) e pelo fornecimento de matéria prima (compostos biossintetizados) para a indústria alimentícia, farmacêutica, cosmética e têxtil. A qualidade da matéria prima está condicionada ao manejo, ou seja, exige-se um sistema de condução dos ramos e da planta, sistema de irrigação e manejo da irrigação. Neste contexto, objetivou-se com este trabalho avaliar o comportamento agronômico das plantas de lúpulo variedade (var.) Cascade em função de diferentes níveis de irrigação e sistemas de condução dos ramos. O trabalho foi conduzido em campo, em área experimental do Departamento de Engenharia Rural e Socioeconomia (DERS) da Faculdade de Ciências Agronômicas (FCA/UNESP), Campus Botucatu. O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados (DBC) com esquema fatorial 4 x 2, sendo quatro níveis de irrigação (NI): 80, 90, 100 e 110% da demanda evapotranspirométrica, e dois sistemas de condução dos ramos: sistema convencional de condução dos ramos (SCCR) e o sistema alternativo de condução dos ramos (SACR), ambos com 2,5 m de altura. Avaliou-se os parâmetros fisiológicos, biomassa, biométricos da planta e dos cones, produção e produtividade de cones, massa seca dos cones, qualidade dos compostos e produtividade da água para um ciclo de cultivo de plantas de lúpulo var. Cascade. O SACR associado ao NI100, sobretudo, ao NI90 promoveram melhores respostas fisiológicas e morfológicas, propiciando maior produção de cones e qualidade dos compostos. É possível reduzir 10% da reposição hídrica (NI90) quando se utiliza o SACR sem afetar os parâmetros fisiológicos, promovendo, desta forma, maior produtividade da água, produção de cones e qualidade dos compostos.

Palavras-chave: lupulicultura, cascade, demanda hídrica, manejo da irrigação, tratos culturais.

ABSTRACT

Hop cultivation is an agricultural practice responsible for growing unpollinated female hops plants (*Humulus lupulus* L.) and supplying raw materials (biosynthesized compounds) to the food, pharmaceutical, cosmetics, and textile industries. The quality of the raw material is dependent on its management it requires a system for guiding the branches and the plant, an irrigation system, and irrigation management. In this context, this study aimed to evaluate the agronomic behavior of Cascade hop plants as a function of different irrigation levels and branch management systems. The work was carried out in the field, in an experimental area of the Rural Engineering Department and Socioeconomics (REDS) of Faculdade de Ciências Agronômicas (FCA/UNESP), (FCA/UNESP), Botucatu campus. The experimental design used was a randomized block design (RBL) with a 4 x 2 factorial scheme, with four levels of irrigation LI: 80, 90, 100, and 110% of the evapotranspirometric demand and two systems for holding the branches: conventional system for holding the branches - CSHB and the alternative system for holding the branches - ASHB, both 2.5 m high. Physiological parameters, biomass, plant and cone biometrics, cone production and productivity, cone dry mass, compost quality, and water productivity were evaluated for a cultivation cycle of hop var plants. The ASHB associated with LI100, especially with LI90, promoted better physiological and morphological responses, providing greater cone production and compound quality. It is possible to reduce water replacement by 10% (LI90) when using ASHB without affecting physiological parameters, thus promoting greater water productivity, cone production, and compound quality.

Keywords: lupuliculture, cascade, water demand, irrigation management, cultural treatments.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Sistema de condução das plantas de lúpulo vertical utilizando apenas postes de madeira 37
Figura 2 – Sistema vertical com formato em “V” para condução dos ramos 37
Figura 3 – Sistema vertical simples para condução dos ramos 38
Figura 4 – Sistema fixo do tipo treliça alta em “V” (A) e treliça baixa (B) para condução dos ramos 39
Figura 5 - Sistema fixo do tipo treliça baixa para condução dos ramos com colheita mecanizada dos cones 40
Figura 6 – Sistema guarda-chuva para condução dos ramos 40
Figura 7 – Sistema guarda-chuva com outro layout para condução dos ramos 41
Figura 8 – Sistema latada para condução dos ramos 41
Figura 9 – Temperatura do ar (A) e umidade relativa do ar (B) durante o primeiro ciclo experimental 43
Figura 10 – Evapotranspiração de referência (A) e evapotranspiração da cultura (B) durante o primeiro ciclo experimental 44
Figura 11 – Precipitação durante o primeiro ciclo experimental 44
Figura 12 – Radiação global durante o primeiro ciclo experimental 45
Figura 13 – Estrutura alternativa (A), aplicação de calcário calcítico por m² de solo (B) e calcário aplicado em toda área experimental (C) 48
Figura 14 – Micro trator com enxadas rotativas do tipo Tobata (A), preparo inicial do solo (B) e solo finalizado (C) 49
Figura 15 – Gradagem do solo com grade intermediária (A e B) e enxada rotativa para o destorroamento e nivelamento do solo (C) 50
Figura 16 – Preparação dos camalhões nas linhas de cultivo 50
Figura 17 – Delineamento experimental em blocos casualizados com esquema fatorial 51
Figura 18 – Representação gráfica do coeficiente de cultivo (Kc) do Humulus lupulus L. 52
Figura 19 – Design do sistema convencional de condução dos ramos (SCCR) 53
Figura 20 – Design do sistema alternativo de condução dos ramos (SACR) 54
Figura 21 – Layout do sistema de irrigação localizada por gotejamento 55
Figura 22 – Distribuição espacial do sistema de irrigação localizada por gotejamento em campo 56
Figura 23 – Abertura da trincheira no centro do bulbo molhado para determinação da sua geometria 59
Figura 24 – (A) Diâmetro superficial (DS), (B) diâmetro molhado a cada 0,05 m de profundidade (DM) e diâmetro máximo (Dmáx.) e (C) profundidade máxima (Zmáx.) e profundidade do diâmetro máximo (ZDmáx.) 60
Figura 25 – Geometria média do bulbo molhado em Latossolo Vermelho 61
Figura 26 – Distribuição espacial dos emissores em campo 63
Figura 27 – Transplantio das mudas em Latossolo Vermelho Distrófico de textura argilosa 67

Figura 28 – Armadilha entomológica para captura de insetos voadores 70
Figura 29 – Agentes identificados nas plantas de lúpulo var. Cascade durante o primeiro ciclo experimental 71
Figura 30 – Mudas de lúpulo com sintomas de estresse térmico aos 7 DAT 74
Figura 31 – Cobertura do solo com matéria seca 74
Figura 32 – Mudas de lúpulo recuperadas do estresse abiótico e em pleno crescimento 76
Figura 33 – Sistema de condução e seus componentes 77
Figura 34 – Amarração barbante sisal natural no sistema de condução 77
Figura 35 – Plantas de lúpulo aos 30 DAT antes da poda (A) e plantas de lúpulo após a poda seletiva (B) 78
Figura 36 – Colheita de cones de lúpulo var. Cascade 79
Figura 37 – Cones de lúpulo var. Cascade 80
Figura 38 – Lupulina e glândulas secretoras de lúpulo var. Cascade 80
Figura 39 – Armazenamento a vácuo de cones lúpulo var. Cascade 81
Figura 40 – Avaliação do potencial hídrico foliar em plantas de lúpulo var. Cascade 83
Figura 41 – Folha de lúpulo var. Cascade totalmente desenvolvida utilizada nas avaliações fisiológicas 84
Figura 42 – Procedimento de corte e encubação dos discos foliares para determinação da massa túrgida do tecido foliar vegetal (MT) de plantas de lúpulo var. Cascade 84
Figura 43 – Discos foliares para determinação da perda de eletrólitos (PE) das plantas de lúpulo var. Cascade 85
Figura 44 – Discos foliares sob fervura para determinação da perda de eletrólitos (PE) das plantas de lúpulo var. Cascade 86
Figura 45 – Pigmentos fotossintéticos de plantas de lúpulo var. Cascade 87
Figura 46 – Avaliação das trocas gasosas com analisador de trocas gasosas (IRGA) em plantas de lúpulo var. Cascade 88
Figura 47 – Eficiência quântica fotoquímica efetiva do PSII (Fv'/Fm') das plantas de lúpulo var. Cascade em função dos sistemas de condução dos ramos aos 62 DAT 92
Figura 48 – Coeficiente de extinção não fotoquímica do PSII (NPQ) das plantas de lúpulo var. Cascade em função dos sistemas de condução dos ramos aos 62 DAT 92
Figura 49 – Interação entre os sistemas de condução dos ramos (A) e níveis de irrigação (B) para a taxa de assimilação de CO2 (A) das plantas de lúpulo var. Cascade aos 99 DAT 94
Figura 50 – Interação entre os sistemas de condução dos ramos e níveis de irrigação para a condutância estomática (Gs) das plantas de lúpulo var. Cascade aos 99 DAT 95
Figura 51 – Interação entre os sistemas de condução dos ramos e níveis de irrigação para a concentração interna de CO2 (Ci) das plantas de lúpulo var. Cascade aos 99 DAT 96

Figura 52 – Interação entre os sistemas de condução dos ramos e níveis de irrigação para a eficiência instantânea de carboxilação (EiC) das plantas de lúpulo var. Cascade aos 99 DAT 97
Figura 53 – Interação entre os sistemas de condução dos ramos e níveis de irrigação para a eficiência instantânea do uso da água (EUA) das plantas de lúpulo var. Cascade aos 99 DAT 97
Figura 54 – Interação entre sistemas de condução dos ramos e níveis de irrigação para a taxa de assimilação de CO_2 (A) das plantas de lúpulo var. Cascade aos 123 DAT 99
Figura 55 – Interação entre os diferentes sistemas de condução dos ramos (A) e níveis de irrigação (B) para a condutância estomática (Gs) das plantas de lúpulo var. Cascade aos 123 DAT 99
Figura 56 – Concentração interna de CO_2 na folha (Ci) das plantas de lúpulo var. Cascade em função dos diferentes níveis de irrigação aos 123 DAT .. 100
Figura 57 – Interação entre os sistemas de condução dos ramos e níveis de irrigação para a taxa de transpiração (E) das plantas de lúpulo var. Cascade aos 123 DAT 101
Figura 58 – Interação entre os sistemas de condução dos ramos e níveis de irrigação para a eficiência instantânea de carboxilação (EiC) das plantas de lúpulo var. Cascade aos 123 DAT 102
Figura 59 – Interação entre os sistemas de condução dos ramos e níveis de irrigação para a taxa de assimilação de CO_2 (A) das plantas de lúpulo var. Cascade aos 195 DAT 103
Figura 60 – Interação entre os sistemas de condução dos ramos e níveis de irrigação para a condutância estomática (Gs) das plantas de lúpulo var. Cascade aos 195 DAT 103
Figura 61 – Concentração interna de CO_2 (Ci) das plantas de lúpulo var. Cascade em função dos sistemas de condução dos ramos aos 195 DAT 104
Figura 62 – Interação entre os sistemas de condução dos ramos (A) e níveis de irrigação (B) para a taxa de transpiração (E) das plantas de lúpulo var. Cascade aos 195 DAT 105
Figura 63 – Interação entre os sistemas de condução dos ramos e níveis de irrigação para a eficiência instantânea de carboxilação (EiC) das plantas de lúpulo var. Cascade aos 195 DAT 105
Figura 64 – Taxa de assimilação de CO_2 (A) das plantas de lúpulo var. Cascade em função dos sistemas de condução (A) e níveis de irrigação (B) aos 213 DAT 106
Figura 65 – Concentração interna de CO_2 (Ci) das plantas de lúpulo var. Cascade em função dos níveis de irrigação aos 213 DAT 107
Figura 66 – Eficiência instantânea de carboxilação (EiC) das plantas de lúpulo var. Cascade em função dos sistemas de condução (A) e níveis de irrigação (B) aos 213 DAT 107
Figura 67 – Potencial hídrico foliar (Ψ) das plantas de lúpulo var. Cascade em função dos sistemas de condução dos ramos aos 62 DAT 108

Figura 68 – Perda de eletrólitos (PE) das plantas de lúpulo var. Cascade em função dos sistemas de condução dos ramos 62 DAT 109
Figura 69 – Potencial hídrico foliar (Ψ) das plantas de lúpulo var. Cascade em função dos níveis de irrigação aos 99 DAT 110
Figura 70 – Interação entre os sistemas de condução dos ramos e níveis de irrigação para o potencial hídrico foliar (Ψ) das plantas de lúpulo var. Cascade aos 123 DAT 111
Figura 71 – Potencial hídrico foliar (Ψ) das plantas de lúpulo var. Cascade em função dos sistemas de condução (A) e níveis de irrigação (B) aos 195 DAT 112
Figura 72 – Potencial hídrico foliar (Ψ) das plantas de lúpulo var. Cascade em função dos sistemas de condução (A) e níveis de irrigação (B) aos 213 DAT 112
Figura 73 – Conteúdo relativo de água (CRA) das plantas de lúpulo var. Cascade em função dos sistemas de condução dos ramos aos 99 DAT 113
Figura 74 – Interação entre os sistemas de condução dos ramos e níveis de irrigação para o conteúdo relativo de água (CRA) das plantas de lúpulo var. Cascade aos 195 DAT 114
Figura 75 – Conteúdo relativo de água (CRA) das plantas de lúpulo var. Cascade em função dos sistemas de condução dos ramos aos 213 DAT 115
Figura 76 – Perda de eletrólitos (PE) das plantas de lúpulo var. Cascade em função dos sistemas de condução (A) e níveis de irrigação (B) aos 99 DAT .. 116
Figura 77 – Perda de eletrólitos (PE) das plantas de lúpulo var. Cascade em função dos sistemas de condução (A) e níveis de irrigação (B) aos 195 DAT 116
Figura 78 – Interação entre os sistemas de condução dos ramos e níveis de irrigação para a perda de eletrólitos (PE) das plantas de lúpulo var. Cascade aos 213 DAT 117
Figura 79 – Teor de clorofila *a* (ClorA) das plantas de lúpulo var. Cascade em função dos sistemas de condução (A) e níveis de irrigação (B) aos 123 DAT 119
Figura 80 – Teor de clorofila *b* (ClorB) das plantas de lúpulo var. Cascade em função dos níveis de irrigação aos 123 DAT 119
Figura 81 – Clorofila *a* (ClorA) das plantas de lúpulo var. Cascade em função dos sistemas de condução dos ramos aos 213 DAT 120
Figura 82 – Clorofila *b* (ClorB) das plantas de lúpulo var. Cascade em função dos sistemas de condução dos ramos aos 213 DAT 120
Figura 83 – Interação entre os sistemas de condução dos ramos e níveis de irrigação para o diâmetro do caule (DC) das plantas de lúpulo var. Cascade aos 215 DAT 121
Figura 84 – Interação entre os sistemas de condução dos ramos e níveis de irrigação para a massa fresca da folha (MFF) das plantas de lúpulo var. Cascade aos 215 DAT 123
Figura 85 – Interação entre os sistemas de condução dos ramos e níveis de irrigação para a massa seca da folha (MSF) das plantas de lúpulo var. Cascade aos 215 DAT 123

Figura 86 – Interação entre os sistemas de condução dos ramos e níveis de irrigação para a massa fresca do caule (MFC) das plantas de lúpulo var. Cascade aos 215 DAT 124
Figura 87 – Interação entre os sistemas de condução dos ramos e níveis de irrigação para a massa seca do caule (MSC) das plantas de lúpulo var. Cascade aos 215 DAT 125
Figura 88 – Interação entre os sistemas de condução dos ramos e níveis de irrigação para a biomassa seca total (BST) das plantas de lúpulo var. Cascade aos 215 DAT 126
Figura 89 – Massa fresca de dez cones (MF10) das plantas de lúpulo var. Cascade em função dos níveis de irrigação.....127
Figura 90 – Interação entre os sistemas de condução dos ramos e níveis de irrigação para a produção de cones (P) das plantas de lúpulo var. Cascade 128
Figura 91 – Interação entre os sistemas de condução dos ramos e níveis de irrigação para a massa seca do cone (MScone) das plantas de lúpulo var. Cascade 128
Figura 92 – Interação entre os sistemas de condução dos ramos e níveis de irrigação para a produtividade de cones (Y) das plantas de lúpulo var. Cascade 129
Figura 93 – Teor de alfa ácido (α ácido) das plantas de lúpulo var. Cascade em função dos sistemas de condução (A) e níveis de irrigação (B).....130
Figura 94 – Teor de alfa ácido (β ácido) das plantas de lúpulo var. Cascade em função dos níveis de irrigação.....130
Figura 95 – Interação entre os sistemas de condução dos ramos e níveis de irrigação para o índice de armazenamento de lúpulo (HSI) das plantas de lúpulo var. Cascade.....131
Figura 96 – Interação entre os sistemas de condução dos ramos e níveis de irrigação para a produtividade da água (PAC) das plantas de lúpulo var. Cascade 132
Figura 97 – Temperatura mínima do ar (Tmín), Temperatura máxima do ar (Tmáx), temperatura basal inferior (Tb) e graus dias acumulados (GDA) 133
Figura 98 – Graus dias acumulados (GDA) para cada fase de desenvolvimento do lúpulo (*Humulus lupulus* L.) var. Cascade 133

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Valores de p, F calculado e dos coeficientes de variação experimental para as trocas gasosas e fluorescência da clorofila das plantas de lúpulo var. Cascade em função dos sistemas de condução dos ramos aos 62 DAT 91
Tabela 2 – Valores de p, F calculado e dos coeficientes de variação experimental para as trocas gasosas das plantas de lúpulo var. Cascade em função dos níveis de irrigação e sistemas de condução dos ramos aos 99 DAT.93
Tabela 3 – Valores de p, F calculado e dos coeficientes de variação experimental para as trocas gasosas das plantas de lúpulo var. Cascade em função dos níveis de irrigação e sistemas de condução dos ramos aos 123 DAT 98
Tabela 4 – Valores de p, F calculado e dos coeficientes de variação experimental para as trocas gasosas das plantas de lúpulo var. Cascade em função dos níveis de irrigação e sistemas de condução dos ramos aos 195 DAT 102
Tabela 5 – Valores de p, F calculado e dos coeficientes de variação experimental para as trocas gasosas das plantas de lúpulo var. Cascade em função dos níveis de irrigação e sistemas de condução dos ramos aos 213 DAT 106
Tabela 6 – Valores de p, F calculado e dos coeficientes de variação experimental para os parâmetros fisiológicos das plantas de lúpulo var. Cascade em função dos sistemas de condução dos ramos aos 62 DAT.....108
Tabela 7 – Valores de p, F calculado e dos coeficientes de variação experimental para o potencial hídrico foliar (Ψ) das plantas de lúpulo var. Cascade em função dos níveis de irrigação e sistemas de condução dos ramos.....109
Tabela 8 – Valores de p, F calculado e dos coeficientes de variação experimental para o conteúdo relativo de água (CRA) das plantas de lúpulo var. Cascade em função dos níveis de irrigação e sistemas de condução dos ramos 113
Tabela 9 – Valores de p, F calculado e dos coeficientes de variação experimental para a perda de eletrólitos (PE) das plantas de lúpulo var. Cascade em função dos níveis de irrigação e sistemas de condução dos ramos.....115
Tabela 10 – Valores de p, F calculado e dos coeficientes de variação experimental para o teor de pigmentos fotossintéticos das plantas de lúpulo var. Cascade em função de diferentes níveis de irrigação e sistemas de condução dos ramos 118
Tabela 11 – Valores de p, F calculado e dos coeficientes de variação experimental para os parâmetros biométricos das plantas de lúpulo var. Cascade em função de diferentes níveis de irrigação e sistemas de condução dos ramos aos 215 DAT.....121
Tabela 12 – Valores de p, F calculado e dos coeficientes de variação experimental para os parâmetros de biomassa das plantas de lúpulo var. Cascade em

função de diferentes níveis de irrigação e sistemas de condução dos ramos aos 215 DAT 122
Tabela 13 – Valores de p, F calculado e dos coeficientes de variação experimental para os parâmetros biométricos do cone das plantas de lúpulo var. Cascade em função de diferentes níveis de irrigação e sistemas de condução dos ramos..... 126
Tabela 14 – Valores de p, F calculado e dos coeficientes de variação experimental para os parâmetros de produção do cone das plantas de lúpulo var. Cascade em função de diferentes níveis de irrigação e sistemas de condução dos ramos..... 127
Tabela 15 – Valores de p, F calculado e dos coeficientes de variação experimental para os teores dos compostos presente nos cones das plantas de lúpulo var. Cascade em função de diferentes níveis de irrigação e sistemas de condução dos ramos..... 129
Tabela 16 – Valores de p, F calculado e dos coeficientes de variação experimental para a produtividade da água (PAC) das plantas de lúpulo var. Cascade em função de diferentes níveis de irrigação e sistemas de condução dos ramos..... 131

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 25
2 REVISÃO DE LITERATURA 27
2.1 Aspectos gerais da cultura do lúpulo (*Humulus lupulus* L.) 27
2.2 Manejo da irrigação com base na demanda evapotranspirométrica 31
2.3 Demanda hídrica e manejo da irrigação na cultura do lúpulo 33
2.4 Sistemas de condução dos ramos 36
3 MATERIAL E MÉTODOS 43
3.1 Localização da área experimental 43
3.2 Clima do local 43
3.2.1 Parâmetros agrometeorológicos 43
3.3 Solo 45
3.3.1 Atributos físicos e químicos 45
3.3.2 Correção da acidez do solo 46
3.3.3 Preparo mecanizado do solo 49
3.4 Delineamento experimental 51
3.5 Descrição dos tratamentos 51
3.5.1 Níveis de irrigação 51
3.5.2 Sistemas de condução dos ramos 53
3.6 Sistema de irrigação 54
3.6.1 Distribuição espacial dos componentes 54
3.6.2 Avaliação da uniformidade 56
3.6.3 Geometria do bulbo molhado 58
3.6.4 Número de emissores por planta 62
3.6.4 Distribuição espacial das hastes gotejadoras 63
3.6.5 Razão de lixiviação 63
3.7 Manejo da irrigação 65
3.8 Determinação de Graus Dia (GD) Acumulados (GDA) 66
3.9 Condução experimental 67
3.9.1 Transplantio das mudas 67
3.9.2 Adubação 67
3.9.3 Manejo fitossanitário 69

3.9.4 Ações mitigadoras de estresses abióticos 74
3.9.5 Instalação dos sistemas de condução dos ramos..... 76
3.9.6 Poda seletiva dos ramos..... 78
3.9.7 Condução das plantas nos sistemas de condução 78
3.9.8 Início dos tratamentos..... 79
3.9.9 Colheita..... 79
3.10. Parâmetros avaliados..... 82
3.10.1 Biométricos 82
3.10.2 Biomassa..... 82
3.10.3 Fisiológicos..... 83
3.10.4 Biometria dos cones..... 89
3.10.5 Produção de cones..... 89
3.10.6 Produtividade de cones 89
3.10.7 Produtividade de água da cultura 89
3.10.8 Compostos químicos nos cones..... 89
3.11 Análise estatística..... 90
4 RESULTADOS 91
5 DISCUSSÃO..... 134
6 CONCLUSÕES..... 146
REFERÊNCIAS 147
APÊNDICES..... 165

1 INTRODUÇÃO

A lupulicultura é uma prática agrícola direcionada para a produção de plantas femininas não polinizadas de lúpulo (*Humulus lupulus* L.). O lúpulo é uma espécie vegetal originária de climas temperados do Hemisfério Norte e se caracteriza como herbácea, trepadeira, dióica e perene que produz inflorescências, comumente conhecidas de cones quando maduros.

Na base dos cones, glândulas produzem lupulina, um pó de coloração amarela, no qual ocorre a biossintetização de metabólitos secundários, como resinas e óleos essenciais ricos em terpenos, os quais são utilizados como matéria prima, sobretudo para a produção de cerveja e para utilização na indústria farmacêutica e cosmética conferindo aroma, amargor e ação sedativa, antioxidante, antidiurética, anti-inflamatória, antibacteriana, anticancerígenas, antiviral, entre outras.

Por ser uma planta trepadeira que pode atingir uma altura de até dez metros (Rybáček,1991; Bocquet *et al*., 2018), torna-se necessário a utilização de um sistema de sustentação e condução, de modo que propicie a incidência de luz e radiação, e ofereça condições para que a planta possa se desenvolver (Aquino *et al*., 2019; Spósito *et al*., 2019; Marceddu; Carrubba; Sarno, 2020).

Os sistemas de condução são diversificados e apresentam design e características especificas. Dentre os sistemas, destacam-se o vertical fixo com formato de “V” (Neve, 1991) e o simples (Marcos *et al*., 2011), treliça alta em “V” e treliça baixa (Hoerner; Rabak, 1940), guarda-chuva (Hough *et al*., 1982; Fagherazzi *et al*., 2018a) e o latada (Fagherazzi *et al*., 2018a).

O sistema mais utilizado na lupulicultura é a treliça alta em “V” com altura de 5 e 6 m, para variedades com menor e alto vigor vegetativo, respectivamente (Dodds, 2017; Brasil, 2022). No entanto, apresenta custo inicial de instalação por hectare de aproximadamente R$188.000,00 reais (Kretzer, 2021 *apud* Righi; Bitencourt, 2022b; Brasil, 2022), grande demanda de mão de obra na instalação, nos tratos culturais e na colheita, além disso, requer grande quantidade de água e nutrientes para o estabelecimento das plantas (Marceddu; Carrubba; Sarno, 2020).

Além do sistema de condução, a irrigação é técnica imprescindível para o cultivo de lúpulo, sobretudo em regiões de pouca precipitação pluviométrica e nos períodos de maior necessidade hídrica. Essa técnica é utilizada praticamente em todas as áreas de cultivo, pois possibilita que a cultura se desenvolva melhor, e ainda, pode

reduzir os efeitos de estresse hídrico e promover o aumento da produtividade de cones e da qualidade dos compostos.

Para que a irrigação seja eficiente é necessário considerar alguns fatores, como o clima da região, textura do solo, capacidade de retenção de água, profundidade efetiva do sistema radicular, variedade, estádio de desenvolvimento e a idade da planta (Beatson *et al*., 2009; Cancela *et al*., 2017; Naglič; Cvejić; Pintar, 2017; Jackson; Single; Scoggins, 2019; Guimarães, 2021; Potopova *et al*., 2022). Através destes fatores será possível quantificar a necessidade hídrica da cultura em cada estádio de desenvolvimento, bem como, o momento oportuno e a lâmina necessária a ser aplicada. Com isso, evitará umidade excessiva, percolação profunda de água, lixiviação de nutrientes e doenças na zona radicular.

Neste contexto, torna-se necessário a introdução de novas estratégias de manejo da irrigação para determinar a demanda hídrica nas diferentes fases fenológicas, pois estudos têm comprovado que o manejo da irrigação aumenta a produtividade de cones (Fardiño *et al*., 2015; Naglič; Cvejić; Pintar, 2017) e a qualidade dos compostos, principalmente alfa e beta ácidos (Kišgec, 1974; Nakawuka *et al*., 2017). Além disso, o desenvolvimento de sistemas de condução mais práticos, econômicos e eficientes que facilitem os tratos culturais sem afetar os processos fisiológicos da planta, a produtividade e qualidade dos cones.

Rossini *et al*. (2021) destacam a importância de se realizar trabalhos com a cultura do lúpulo com o objetivo de investigar os aspectos agronômicos e novas práticas de manejo, como por exemplo, manejo da irrigação e sistemas de condução dos ramos.

Diante do exposto, objetivou-se com este trabalho avaliar o comportamento agronômico das plantas de lúpulo variedade (var.) Cascade em função do manejo da irrigação com base na demanda evapotranspirométrica e dois sistemas de condução dos ramos na região de Botucatu, São Paulo, Brasil.

A hipótese central é que a redução da reposição hídrica (nível de irrigação) pode causar estresse hídrico favorecendo a produção metabólitos secundários e aumentar a produção de cones. Além disso, a utilização de um sistema de condução dos ramos que possibilite a condução dos ramos no sentido horizontal pode favorecer a interceptação e captação de luz e radiação solar, aumentando a produção de cones. Assim, a interação destes dois fatores pode contribuir para o aumento da qualidade e produção de cones de lúpulo.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Aspectos gerais da cultura do lúpulo (*Humulus lupulus* L.)

O lúpulo é uma espécie vegetal que compõe o reino *Magnoliophyta*, classe Magnoliopsida, ordem *Urticales* e *Rosales*, família *Cannabaceae* e aos gêneros *Cannabis* e *Humulus* (Neve, 1991; Rodolfi, 2016; Spósito *et al*., 2019; Nascimento *et al*., 2020).

O gênero Humulus se divide em três espécies, H. *japonicus*, H. *yunnamensis* e H. *lupulus*, contudo, as duas primeiras não são cultivadas comercialmente, em virtude da exigência de altitudes elevadas e latitude abaixo de 25° N. Já a H. *lupulus* representa a maior parte do lúpulo comercial cultivado em todo o mundo devido a suas características agronômicas, adaptabilidade as diversas regiões geográficas, qualidade dos compostos e dos diversos benefícios para a indústria alimentícia, farmacêutica/medicinal e cosmética (Marcos *et al*., 2011; Dodds, 2017; Alves, 2018; Donner *et al*., 2020).

A espécie *Humulus lupulus* L., conhecida como lúpulo comum é oriunda das regiões de clima temperado do Hemisfério Norte com latitude acima de 32° (Wample; Farrar, 1983; Revilla; Martínez, 2002; Ling; Zhang, 2019). Essa espécie caracteriza-se como uma planta trepadeira, perene, herbácea, dióica, anemófila, rizomatosa que produz flores (inflorescências) que quando maduras são conhecidas como cones (Small, 1978; Neve, 1991; Marcos *et al*., 2011; Getty; Townsend; Detweiler, 2015; Spósito *et al*., 2019; Donner *et al*., 2020; Mafakheri *et al*., 2020).

O lúpulo é uma planta constituída por quatro sistemas de órgãos, dois subterrâneos que são as raízes adventícias e rizomas, sendo estes permanentes e profundos, e outros dois acima do solo, os vegetativos e generativos que se dividem em ramos herbáceos, folhas e inflorescências (Rybáček,1991; Hieronymus, 2020).

As raízes são responsáveis pela fixação da planta no solo e absorção de água e nutrientes, crescem no sentido vertical e horizontal podendo atingir comprimentos de até 1,5 e 2,0 metros, respectivamente (Neve, 1991; Rybáček,1991; De Keukeleire *et al*., 1999). Em função desses aspectos, solos de textura arenosa, profundos, bem drenados, com acúmulo de matéria orgânica, pH de 6,5 e com boa fertilidade favorecem o crescimento das raízes, bem como potencializa o desenvolvimento da

planta (De Keukeleire *et al*., 1999; Dodds, 2017; Lahnel; Fagherazzi, 2019; Silva *et al*., 2019a).

Os rizomas, de modo geral, são definidos como caules subterrâneos, pois apresentam gemas que darão origem a novos brotos e raízes, além disso, se desenvolvem próximo da superfície do solo (coroa) e o principal, são responsáveis pelo armazenamento de carboidratos que irão alimentar e garantir a sobrevivência da planta na fase de dormência, por esse motivo, é considerado um dos principais órgãos da planta (Neve, 1991; Getty; Townsend; Detweiler, 2015; Dodds, 2017; Spósito *et al*., 2019).

A parte aérea, em razão da sua característica trepadeira, os ramos apresentam tricomas que são pêlos aderentes que auxiliam no entrelaçamento e fixação junto aos sistemas de condução e tutoramento (Neve, 1991; Aquino *et al*., 2019, Brasil, 2022). O ramo principal origina-se das brotações situadas abaixo da superfície do solo (coroa), cresce verticalmente podendo atingir altura de oito a dez metros, podendo crescer até 0,30 m por dia (Rybáček,1991; Dodds, 2017; Bocquet *et al*., 2018; Hieronymus, 2020), e quando as plantas estão totalmente desenvolvidas são denominados de caule, tendo as seguintes características, diâmetro maior em relação aos demais, peludo, oco, coloração verde ou violeta, seção hexagonal e cresce no sentido dextrógiro, ou seja, horário (Marcos *et al*., 2011).

As folhas surgem das estípulas (nós) presentes nos ramos, dispõe de uma cor esverdeada com três, cinco ou até sete lóbulos, margens serrilhadas, são ásperas e, glândulas para a produção de óleos e resinas (Spósito *et al*., 2019).

As inflorescências podem ser masculinas ou femininas, ou seja, uma mesma planta não é capaz de produzir as duas, por isso, se caracteriza como uma planta dióica (Spósito *et al*., 2019). Desta forma, as masculinas formam-se em panículas organizadas em cachos e apresentam glândulas de lupulina, em menor quantidade (Marcos *et al*., 2011).

As inflorescências femininas são o maior interesse para produção agrícola, originam-se nos ramos laterais, não são polinizadas, apresentam um eixo principal (ráquis), estruturas estipulares (pétalas), tricomas glandulares, conhecidas por glândulas de lupulina, em grande quantidade, e são responsáveis pela produção dos compostos de interesse comercial (Almaguer *et al*., 2014; Alves, 2018; Spósito *et al*., 2019) e, quando maduras são denominadas estróbilos, mas comercialmente de cones (Gargani *et al*., 2017; Getty, 2019; Mackinnon *et al*., 2020).

Os compostos são produzidos nas tricomas glandulares presentes na base das inflorescências femininas (Neve, 1991; Moir, 2000; Patzak *et al*., 2015; Spósito *et al*., 2019). Nesse processo, ocorre a secreção de um pó de coloração amarelo que é denominado de lupulina, e a partir disso, as glândulas biossintetizam, como também, armazenam em abundância vários compostos voláteis (Verzele; De Keukeleire, 1991; Almaguer *et al*., 2014; Durello, 2019).

Os compostos voláteis biossintetizados derivam vários metabólitos secundários, dentre eles: resinas totais, óleos essenciais, monossacarídeos, proteínas, polifenóis, pectinas, aminoácidos, lipídios, ceras, esteroides e celulose (Verzele; De Keukeleire, 1991; Almaguer *et al*., 2014; Kobus-Cisowska *et al*., 2019; Silva, 2019b; Hieronymus, 2020).

Os metabólitos são divididos em três grupos: alfa e beta-ácidos (resinas) amargos derivados de humulonas e lupulonas, respectivamente; flavonóides prenilados, com predominância do xanthohumol e desmetilxanthumol; e os terpenos (óleos essenciais), como o mirceno, humoleno, cariofleno e farneseno (Farag *et al*., 2012; Farag; Wessjohann, 2013; Almaguer *et al*., 2014; Ting; Ryder, 2017; Bocquet *et al*., 2018; Durello, 2019; Mccallum *et al*., 2019; Silva, 2019b; Almeida *et al*., 2020).

As inflorescências (cones) do lúpulo caracterizam-se como a parte mais importante, sendo amplamente utilizadas na indústria, em virtude dos compostos aromáticos (Alonso-Esteban *et al*., 2019; Lafontaine *et al*., 2019; Afonso, 2021; Righi *et al*., 2022a). Aproximadamente, 97% da produção de lúpulo é destinada à produção de cerveja, pois as resinas e os óleos essenciais promovem cor, amargor, aroma e sabor a diversos tipos de cervejas (Almaguer *et al*., 2014; Inui *et al*., 2017; Pinto, 2018; Agehara, 2020; Salfer *et al*., 2020; Tronina; Popło´Nsk; Bartma´Nska, 2020).

Embora grande parte da produção seja destinada a produção de cerveja, os compostos também são utilizados na medicina, indústria cosmética e têxtil, culinária e alimentação animal (Karabin *et al*., 2016; Donner *et al*., 2020; Santos; Sousa, 2022).

Na medicina, o lúpulo é utilizado como planta medicinal a mais de dois mil anos (BRASIL, 2022). Em meados do século XVIII, as inflorescências eram utilizadas para o preenchimento de travesseiros, e vendidos como produto homeopático para insônia (Hieronymus, 2020; Brasil, 2022). Além disso, o lúpulo é utilizado no tratamento de doenças crônicas e pulmonares, distúrbios emocionais, diabetes, enxaqueca. insônia, lepra, menopausa e até mesmo do câncer graças a ação antioxidante, antidiuréticas, anti-inflamatória, antibacteriana, anticancerígenas, antiviral e sedativas (Zanoli;

Zavatti, 2008; Juanez, 2012; Aghamiri *et al*., 2015; Karabin *et al*., 2016; Inui *et al*., 2017; Keskin *et al*., 2019; Lin *et al*., 2019; Spósito *et al*., 2019; Iniguez; Zhu, 2020; Lou *et al*., 2020; Silva *et al*., 2020; Carbone; Gervasi, 2022).

Os brotos e as folhas jovens podem ser utilizados na gastronomia *in natura,* cozidos ou em conserva. Os brotos, por sua vez, apresentam amargor característico, fazendo lembrar o aspargo (Almaguer *et al*., 2014, Hieronymus, 2020; Brasil, 2022).

O extrato da flor do lúpulo tem ação antimicrobiana, antitranspirante, antiacne e clareadora, por isso, tem-se utilizado na indústria cosmética para a fabricação de cremes hidratantes para a pele, condicionadores e sprays capilares, sabonetes, desodorantes, fragrâncias e creme dental com ação clareadora (Lillan; Becker, 2016; Weber *et al*., 2019; Korpelainen; Pietiläinen, 2021; Pereira; Santos; Souza, 2022).

Na indústria têxtil, é relatado a utilização do caule como matéria prima para a fabricação de panos e cestos (Santos; Sousa, 2022). Além disso, constatou-se que as flores de lúpulo podem ser uma alternativa eficaz no processo de tintura de tecidos de algodão e na proteção contra raios ultravioleta (Thakker; Sun, 2022).

Os antibióticos são amplamente utilizados na saúde e produção animal para o tratamento/controle de infecções gastrointestinais, redução de distúrbios intestinais e, como fonte promotora de crescimento. Estes, por sua vez, podem ser utilizados na alimentação e na suplementação, contribuído significativamente para o aumento da produção animal (Hernadez-Patlan *et al*., 2023). Entretanto, o uso excessivo tem contribuído para a eminente aceleração da resistência antimicrobiana (RAM) de bactérias em seres humanos e animais (Haulisah *et al*., 2021).

De acordo com a Organização Mundial de Saúde (OMS), a resistência antimicrobiana (RAM) pode estar relacionada pelo uso excessivo de antibióticos em animais que são utilizados para a produção animal, sendo, desta forma, uma das principais ameaças globais à saúde pública (WHO, 2021; Martínez *et al*., 2023; Kariuki *et al*., 2023). Assim, torna-se interessante a utilização de produtos naturais com característica antibiótica para substituição dos antibióticos convencionais na saúde e produção animal (Klotz; Macadam; Flythe, 2023).

O lúpulo produz vários metabólitos secundários, os quais podem melhorar a saúde, o rendimento e a qualidade dos animais (Öztürk; Gülümser, 2023). De acordo com Guimarães (2020), o lúpulo é utilizado na alimentação de caprinos, bovinos e de aves em virtude da ação antibiótica dos beta-ácidos.

Estudos demostraram eficácia da adição de lúpulo na alimentação de frangos, sendo observado melhoria das propriedades nutricionais da carne de frango de corte (Zawadzki *et al*., 2018), na saúde intestinal e no desempenho produtivo (Bortoluzzi *et al*., 2014). Em bovinos, a suplementação com lúpulo na fase de crescimento e terminação de novilhos confinados promoveu ganho médio diário de peso 6% superior que os do tratamento controle (Wang *et al*., 2010), promoveu inibição de bactérias ruminais, redução da produção de amônia e metano, principalmente em bovinos em fase de terminação (Flythe *et al*., 2017). Além disso, o lúpulo se mostrou promissor na inibição e combate da tuberculose bovina (Blaxland; Tomás; Baillie, 2022). Já em caprinos, observou-se redução da produção de amônia por bactérias ruminais (Flythe *et al*., 2015).

2.2 Manejo da irrigação com base na demanda evapotranspirométrica

O manejo da irrigação se fundamenta nas considerações sobre o momento apropriado para realizar a irrigação e na quantidade adequada de água a ser aplicada (Rodrigues, 2021; Wanyama; Bwambale, 2023). Esse gerenciamento deve ser executado com o objetivo de fornecer às plantas a quantidade de água necessária para evitar o estresse hídrico, seja pelo excesso ou pela falta de água, promovendo assim maior produtividade e melhor qualidade da produção (Saccon, 2018).

Algumas condições essenciais, devem ser cumpridas para assegurar o êxito no manejo. Estas incluem: assegurar que as plantas mantenham a transpiração em níveis compatíveis com seu potencial máximo; estabelecer uma tensão de água no solo que facilite a absorção pelas plantas; e garantir que a reposição de água no solo ocorra na mesma proporção e intensidade em que é perdida através da evapotranspiração (Bernardo, Soares; Mantovani, 2019),

Para implementar qualquer método de manejo eficiente, é essencial compreender as interações entre solo-água-planta-atmosfera-homem. Esses processos que controlam o ciclo da água nas plantas levaram ao desenvolvimento de métodos de manejo, visando monitorar o conteúdo de água no sistema, sendo eles: manejo baseado na atmosfera, no solo e na planta (Gu *et al*., 2017; Incrocci *et al*., 2020; El-Nashar; Elyamany, 2023).

O manejo de irrigação via atmosfera se baseia na evapotranspiração (transpiração pelas plantas mais a evaporação do solo) durante um determinado tempo, a qual é

expressa em valores totais, médios ou diários em volume por unidade de área ou lâmina de água. Deste modo, a evapotranspiração juntamente com a precipitação, são as duas principais variáveis a serem consideradas no manejo da irrigação via atmosfera (Allen *et al*., 1998).

A evapotranspiração depende principalmente da quantidade de energia solar que chega à superfície do solo, uma vez que este processo envolve um consumo de energia (Bernardo; Soares; Mantovani, 2019). Além disso, a evapotranspiração está sujeita a influências de outras variáveis climáticas e condições específicas, como a presença de vegetação, o tamanho da área vegetada e o suprimento de água pelo solo, estabelecendo-se algumas particularidades no processo de evapotranspiração, as quais são classificadas com base em suas características. As quais incluem: evapotranspiração potencial ou de referência (ETo), a evapotranspiração real e a evapotranspiração da cultura (ETc) (Pereira; Angelocci; Sentelhas, 2007).

A ETo corresponde à demanda hídrica em uma região, ou seja, está estritamente ligada às condições climáticas específicas do local. A ETo se refere a quantidade de água evapotranspirada por uma cultura hipotética de baixo porte (12 cm), com um coeficiente de reflexão (albedo) de 0,23 e uma resistência de superfície de 70 s/m (Mantovani; Bernardo; Palaretti, 2013).

Diversas equações empíricas foram desenvolvidas para calcular a ETo (Braga *et al*., 2023), no entanto, para fins de cálculos para irrigação, deve-se aplicar modelos que possam determinar a ETo em base diária. Deste modo, o modelo proposto por Penman-Monteith (Allen *et al*., 1998) apresentada na Equação 1, se destaca como a abordagem mais recomendada e amplamente utilizada.

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

Onde ETo é a evapotranspiração de referência (mm dia^{-1}), Rn é radiação líquida na superfície da cultura (MJ m^{-2} dia^{-1}), G é o fluxo de calor no solo (MJ m^{-2} dia^{-1}), T é a temperatura média do ar a dois metros de altura (ºC), u_2 é a velocidade do vento a 2 metros de altura (m s^{-1}), e_s é a pressão de vapor de saturação (kPa), e_a é a pressão de vapor real (kPa), (es – ea) é o déficit de saturação de vapor (kPa), Δ é a inclinação da curva de pressão de vapor (kPa °C^{-1}) e γ é a constante psicométrica (kPa °C^{-1}).

Para determinar a quantidade de água a ser aplicada é necessário a obtenção de medidas diretas referente a algumas variáveis climáticas para o cálculo da ETo e em

seguida, estimar indiretamente a evapotranspiração da cultura (ETc) (Reichardt; Tim, 2012; Gomes, 2013), a qual pode ser obtida pela multiplicação da evapotranspiração de referência por um coeficiente cultura (Kc). Vale ressaltar que a ETc pode ser determinada de forma direta por meio de lisimetros, no entanto devido aos custos de implantação e sua operação, os lisimetros são utilizados com mais frequência em pesquisas experimentais (Sousa, 2021).

O Kc é um coeficiente específico para cada cultura, relaciona os parâmetros fisiológicos e o local de cultivo, apresenta variações quanto as espécies e cultivares e as diferentes fases fenológicas e pode ser utilizado para ajustar a necessidade hídrica de acordo com as fases de crescimento de cada cultura (Sousa, 2021).

Os valores de Kc são obtidos por meio de pesquisas sendo disponibilizados para diversas espécies, levando em consideração suas fases fenológicas (Allen *et al*., 1998).

2.3 Demanda hídrica e manejo da irrigação na cultura do lúpulo

A demanda hídrica de uma cultura corresponde à quantidade de água evaporada do solo, transpirada pela planta e incorporada à biomassa vegetal (Gomes, 2013). Isto significa que a medida com que a planta se desenvolve, a biomassa, a área foliar e a transpiração aumentam e, consequentemente, ocorre maior necessidade de reposição de água (Middleton, 1963; Jackson; Siegle; Scoggins, 2019; Barreto, 2022).

O período de maior demanda das plantas de lúpulo ocorre durante o crescimento dos ramos herbáceos, florescimento, maturação dos cones, produção e acúmulo dos compostos, correspondendo até 80% da demanda hídrica total ao longo do ciclo (Middleton, 1963; Neve, 1991; Evans, 2003; De Keukeleire *et al*., 2007; Turner *et al*., 2011), sobretudo, durante a floração e desenvolvimento dos cones (Rybáček,1991; Rossini *et al*., 2021).

A demanda hídrica em regiões de clima árido pode variar de 700 a 800 mm ciclo^{-1} (Beatson *et al*., 2009; Turner *et al*., 2011), no Vale Yakima, estado de Washington (EUA) de 393 a 983 mm ciclo^{-1} (Evans, 2003), na Espanha, em solos de textura franco ou franco argilosa é de aproximadamente 500 mm ciclo^{-1} (Marcos *et al*., 2011), em Portugal varia de 120 a 500 mm ciclo^{-1} (Alves, 2018) e no Brasil, em solo de textura franco arenosa pode variar de 687 a 712 mm ciclo^{-1} em função de diferentes faixas de pH da água de irrigação (Guimarães, 2020), e solos de textura argilosa, média e

arenosa a demanda é de 1.294,71, 1347,25 e 1247,23 mm ciclo^{-1}, respectivamente (Sousa, 2021).

A produção de cones e a biossintetização dos compostos tem relação direta com a quantidade de água ofertada para a cultura (Naglič; Cvejić; Pintar, 2017). Desta forma, a ocorrência de estresse abióticos podem influenciar negativamente o desenvolvimento da cultura do lúpulo, bem como, a floração, a formação de cones, pode causar maturação precoce e ainda, reduzir à produção de cones e biossintetização de metabólitos secundários (compostos), por exemplo, o alfa-ácido (Fardiño *et al*., 2015; Jackson; Siegle; Scoggins, 2019; Rossini *et al*., 2021; Marceddu, Carrubba; Sarno, 2022).

A biossíntese de metabólitos secundários das plantas de lúpulo e as concentrações de compostos nos cones são sensíveis as condições de estresses físicos, dentre eles, o hídrico, térmico e a salinidade (Jackson; Siegle; Scoggins, 2019; Marceddu, Carrubba; Sarno, 2022). Entretanto, o grau, a intensidade, a duração e o período das condições de estresse podem afetar o acúmulo e a concentração de metabólitos secundários (Sousa; Sousa, 2017). Ramakrishna e Ravishankar (2011) relatam que plantas submetidas a estresses acumulam mais metabólitos secundários.

Em condições de estresse hídrico ocorre o aumento de metabólitos secundários (terpenos e flavonóides) em espécies vegetais herbáceas, arbustivas e aromáticas, inclusive, as medicinais (Sousa; Sousa, 2017; Yadav *et al*., 2021). Nakawuka *et al*. (2017), observaram que não houve diferença significativa dos teores de alfa e beta ácidos quando realizaram irrigações com diferentes níveis (60, 80 e 100%) do déficit de umidade do solo, corroborando com tais informações.

Para atender a necessidade hídrica, reduzir os potenciais efeitos de estresses hídricos, aumentar a produtividade e melhorar a qualidade dos compostos, o emprego da irrigação se torna fundamental na maioria das áreas de cultivo de lúpulo (Turner *et al*., 2011), sobretudo quando a distribuição pluviométrica na região não é suficiente para atender a necessidade hídrica nas fases de maior demanda (Dodds, 2017; Afonso; Arrobas; Rodrigues, 2021; Gonçalves *et al*., 2023).

O fornecimento de água via sistema de irrigação passou a ser utilizado nas áreas de cultivo desde o século XIX (Neve, 1991), se tornando imprescindível para a produção e qualidade do lúpulo e dos compostos no Vale Yakima, Estado de Washington (Wample; Ferrar, 1983; Zepp; Smith; Hardwood, 1995). Donner *et al*., (2020), observaram correlação positiva entre a irrigação e a produtividade de cones,

e ainda redução da temperatura do ar e os efeitos negativos dela sob a biossíntese de alfa-ácido.

A frequência da irrigação e o volume total de água necessário para atender a demanda hídrica da cultura é variável, ou seja, depende de fatores como clima da região, estação do ano, textura do solo, capacidade de retenção de água no solo, variedade, estádio de desenvolvimento e idade da planta (Beatson *et al*., 2009; Jackson; Siegle; Scoggins, 2019; Guimarães, 2020; Potopová *et al*., 2022).

Segundo Middleton (1963), cerca de 50% da água que é absorvida pelas raízes das plantas de lúpulo ocorre na camada de 0 a 0,60 m. Todavia, em solos de textura arenosa e com baixa capacidade de retenção de água a irrigação deve ser realizada com maior frequência e com menor volume de água para não acarretar a lixiviação de nutrientes e poluição do lençol freático. Por outro lado, em solos de textura argilosa e com maior capacidade de retenção a irrigação pode ser realizada com menor frequência e com maior volume de água, embora, se não houver critério, pode ocorrer aparecimento de fungos e doenças fúngicas, por exemplo, podridão radicular (Beatson *et al*., 2009; Jackson; Siegle; Scoggins, 2019). Portanto, na lupulicultura é imprescindível a realização do manejo da irrigação, sobretudo no que concerne a textura do solo, umidade, lixiviação e percolação profunda de água e nutrientes e a doenças no sistema radicular (Evans, 2003; Dodds, 2017; Jackson; Siegle; Scoggins, 2019).

O manejo da irrigação é uma prática de fornecimento de água de forma eficaz e eficiente no momento e na quantidade requerida pela cultura. Beatson *et al*. (2009) ressaltam a necessidade de se realizar o manejo, pois a irrigação em excesso ou sem critério pode resultar no aparecimento de doenças e lixiviação de nitratos.

O manejo da irrigação pode ser realizado com base nos atributos do solo, planta e atmosfera (Gu *et al*., 2017; Incrocci *et al*., 2020). Cancela *et al*. (2017) e Naglič, Cvejić e Pintar (2017) destacam a importância dessa prática, mas enfatizam a necessidade de estudos para quantificar a necessidade hídrica durante as fases fenológicas em função da idade e variedade cultivada e qual é a base/ferramentas mais adequada para a lupulicultura.

Na cultura do lúpulo tem-se empregado o manejo via solo através de instrumentos para o monitoramento do teor de umidade, como sonda de nêutrons (Nakawuka *et al*., 2017), TDR - *Time Domain Reflectometry* (Naglič; Cvejić; Pintar, 2016; Alves, 2018; Jackson; Siegle; Scoggins, 2019), tensiômetro de punção (Jackson; Siegle; Scoggins,

2019; Guimarães, 2020) e sensor matricial granular – GMS (Jackson; Siegle; Scoggins, 2019). E, o manejo via atmosfera, sendo utilizado o balanço hídrico (Fandiño *et al*., 2015; Carvalho *et al*., 2018) e a estimativa da evapotranspiração (Alves, 2018; Sousa, 2021).

Fardiño *et al*. (2015) concluíram que o manejo da irrigação favorece a transpiração da cultura e por consequência, aumenta a produtividade de cones. Naglič, Cvejić e Pintar (2017) relatam aumento da produtividade de cones em 22% e do teor de alfa ácido quando se utiliza irrigação associada ao manejo semanal através do balanço hídrico. Kišgec (1974) observou efeito positivo do manejo via solo (monitoramento da umidade do solo na camada de 0 a 0,60 m de profundidade) sobre o teor de alfa ácido.

2.4 Sistemas de condução dos ramos

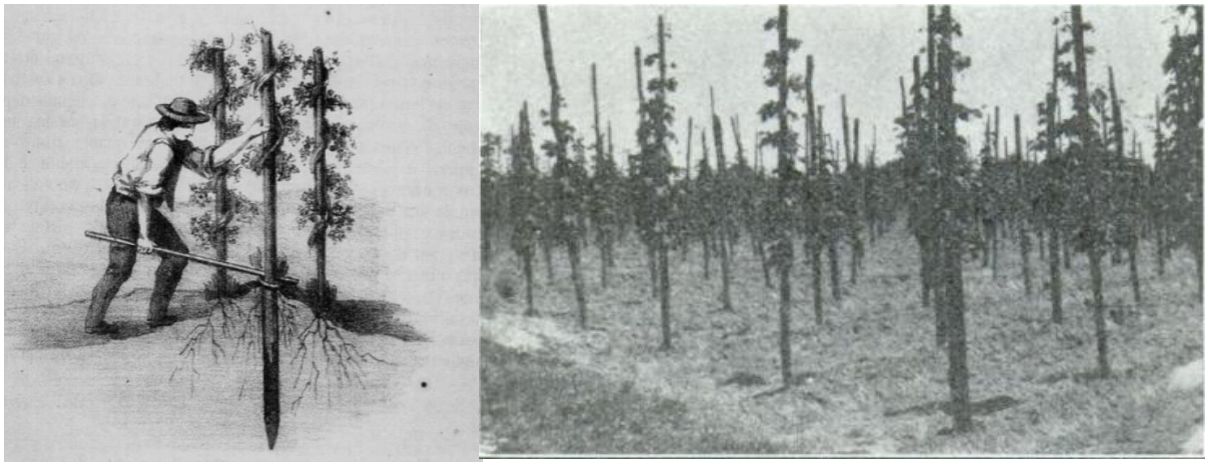
O lúpulo é uma planta trepadeira, sendo assim, é cultivada por meio de estruturas de suporte, sustentação e condução dos ramos (Brasil, 2022; Marques *et al*., 2023). As estruturas, comumente conhecidas por sistemas de condução devem propiciar a escalada dos ramos, crescimento e sustentação da planta, incidência de luz que é muito importante para a formação das inflorescências e possibilitar os tratos culturais (Spósito *et al*., 2019; Marceddu; Carrubba; Sarno, 2020).

Os sistemas de condução apresentam design diversificados, mas devem oferecer condições para que a planta se desenvolva e complete o seu ciclo. A escolha do sistema dependerá de vários fatores, como: altura, espaçamento entre plantas e entre linhas, número de plantas, topografia, variedade, mão de obra, tipo de colheita manual ou mecanizada, conhecimento técnico e investimento (Dodds, 2017; Brasil, 2022).

Neve (1991) traz a descrição de Reynolde Scot em 1576, talvez a mais antiga sobre sistema de condução e cultivo de lúpulo, onde os lupulicultores ingleses utilizavam em cada planta um ou mais postes de madeira com aproximadamente cinco metros de altura para que a planta pudesse subir e se desenvolver (Figura 1). Para aumentar a durabilidade, no período da colheita dos cones, os postes eram retirados e armazenados até o início do ciclo seguinte. Hoerner; Rabak (1940) confirmam a utilização deste sistema para cultivo de lúpulo (Figura 1), mas destacam que foi este amplamente descontinuado pelos lupulicultores. Provavelmente por conta do custo e mão de obra, já que para cada planta ao menos um poste de madeira era utilizado e

durante a colheita os postes eram removidos e armazenados até o início do próximo ciclo de cultivo.

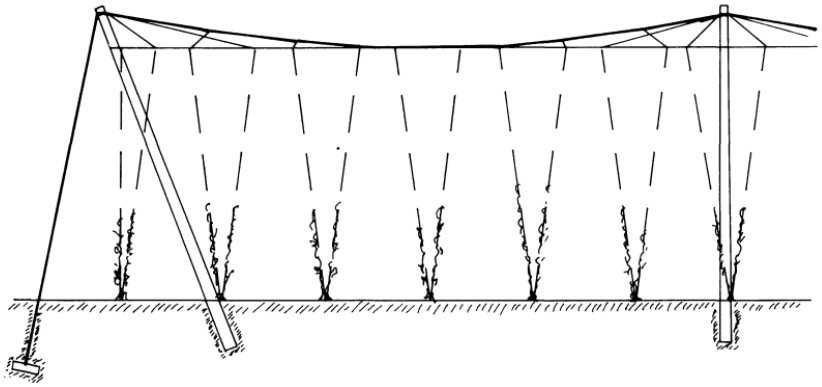
Figura 1 – Sistema de condução das plantas de lúpulo vertical utilizando apenas postes de madeira



Fonte: ESCM (2023) e Hoerner e Rebak (1940, p. 12).

No final do século XIX passou-se a utilizar uma estrutura vertical fixa com formato de “V” (Figura 2) de sete a oito metros de altura composta por postes de madeira, fios de arame e corda de coco (Neve, 1991). Além do sistema vertical fixo com formato em “V”, existe ainda o simples (Figura 3) que é constituído pelos mesmos materiais do formato em “V”, entretanto, utiliza-se apenas uma corda por planta (Marcos *et al*., 2011). Ambos os sistemas são fixos, ou seja, no período de colheita, retira-se apenas as plantas e o sisal.

Figura 2 – Sistema vertical com formato em “V” para condução dos ramos



Fonte: Neve (1940, p. 13).

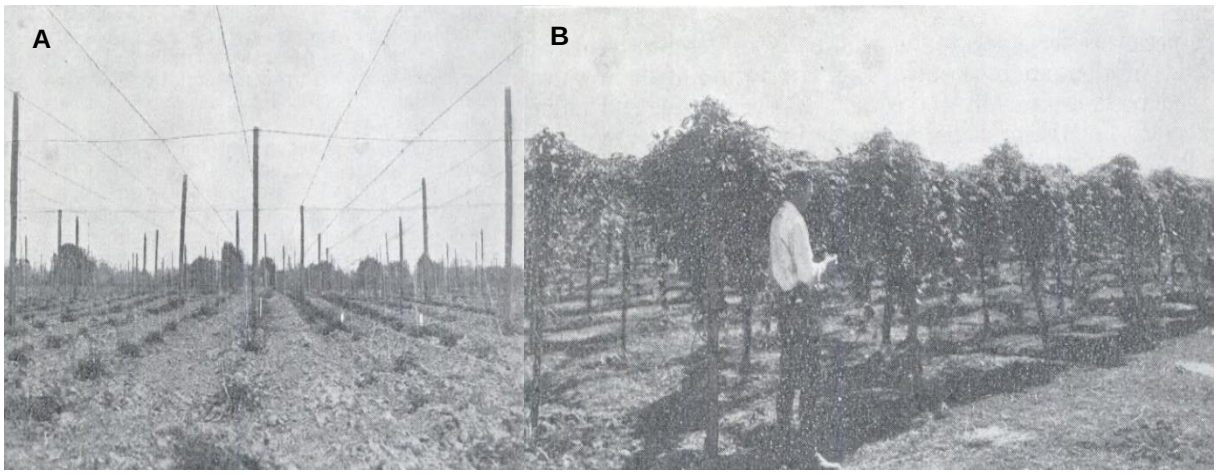
Figura 3 – Sistema vertical simples para condução dos ramos

Fonte: Jackson; Siegle; Scoggins (2019, p. 1).

Os postes de madeira instalados nas extremidades são levemente inclinados e ancorados para promover maior estabilidade da estrutura, os demais (parte interna) são espaçados a cada seis plantas ou dependendo da variedade (3,5 a 5,0 m). Já os fios de arames são fixados nos postes servindo como meio de sustentação para as cordas, sendo duas por planta formando um “V”, estas são fixadas nos fios de arame e em um gancho de metal cravado no solo próximo da planta para que a planta consiga subir e se desenvolver (Neve, 1991; Dodds, 2017).

Hoerner e Rabak (1940), descrevem outros dois sistemas fixos de condução denominados de treliças alta em “V” (Figura 4A) e treliça baixa (Figura 4B). Estes, também são constituídos por postes de madeira, na ocasião, pau-brasil, cedro vermelho ou pinho, fios de arame e corda de algodão. Para ambos se recomenda três a quatro brotos por planta, devendo ainda, realizar o entrelaçamento dos brotos no fio no sentido horário (De Keukeleire *et al*., 1999; Marcos *et al*., 2011).

Figura 4 – Sistema fixo do tipo treliça alta em “V” (A) e treliça baixa (B) para condução dos ramos



Fonte: Hoerner e Rebak (1940, p. 13).

Na treliça alta em “V” os postes são de aproximadamente dez metros, sendo utilizadas duas cordas por planta, enquanto na treliça baixa os postes podem variar de 2,5 a 4,0 metros e apenas uma corda por planta. Os fios são distribuídos sobre e perpendicularmente as linhas de plantio formando uma malha. Já os postes são espaçados a cada seis ou sete plantas, os situados nas extremidades são de 10 a 15 cm de diâmetro e tratados com creosoto para prevenir o apodrecimento (Hoerner; Rabak, 1940).

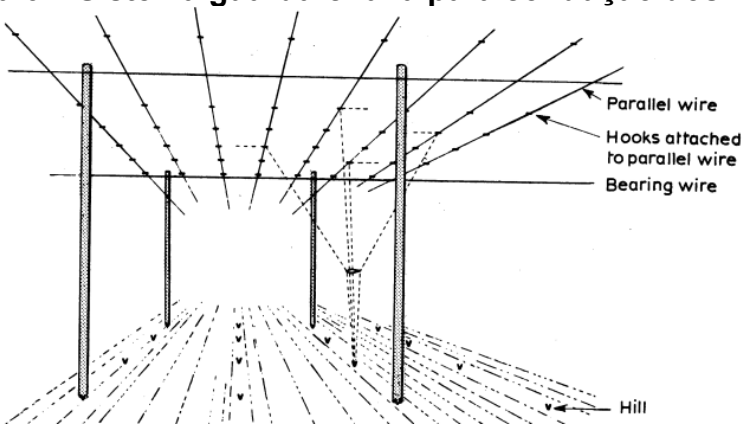
O sistema de treliça baixa reduz a necessidade de treinamento dos brotos e ramos, proporciona maior comodidade na realização dos tratos culturais (por exemplo, pulverização e adubação foliar), colheita manual ou mecanizada dos cones com máquinas especificas e projetadas (Figura 5), redução de mão de obra, principalmente em relação aos postes de madeira, menor demanda de água e cultivo mais sustentável (Neve, 1991; De Keukeleire *et al*., 1999; Turner *et al*., 2011). Desta forma, esse sistema se torna atraente e viável, até mesmo em regiões de baixa precipitação pluviométrica e restrição hídrica (Marceddu; Carrubba; Sarno, 2020).

Figura 5 - Sistema fixo do tipo treliça baixa para condução dos ramos com colheita mecanizada dos cones

Fonte: Neve (1991, p. 68).

O sistema guarda-chuva, descrito por Hough *et al*. (1982), dispõe de uma estrutura semelhante a treliça, contudo, utiliza-se postes de madeira, fios de arame e quatro cordas por planta para conduzir os ramos (Figura 6).

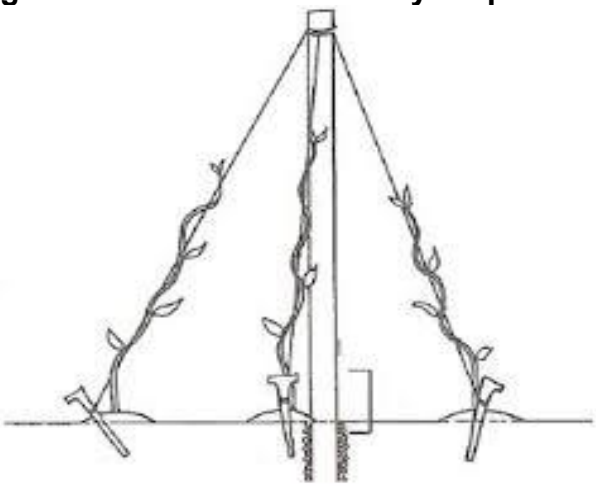
Figura 6 – Sistema guarda-chuva para condução dos ramos



Fonte: Hough *et al*. (1982, p. 394).

Fagherazzi *et al*. (2018a) descrevem outro layout para o sistema guarda-chuva (Figura 7). O sistema é composto por um poste de madeira de aproximadamente cinco metros de altura e fio sisal para a condução da planta. O sisal fica disposto em um raio de dois metros do poste, respeitando um espaçamento de um metro entre plantas, 12 plantas podem ser utilizadas neste sistema. Entretanto, este sistema é passivo de sombreamento, o que pode interferir no desenvolvimento das plantas.

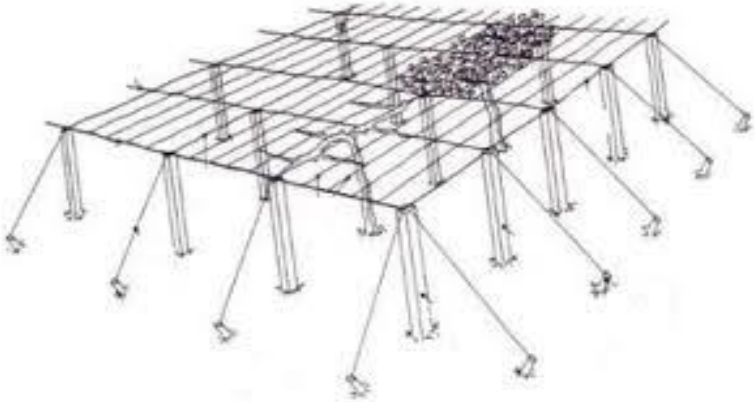
Figura 7 – Sistema guarda-chuva com outro layout para condução dos ramos



Fonte: Fisher e Fisher (1998) *apud* Fagherazzi *et al*. (2018a, p. 1).

O sistema latada é um sistema composto por postes de madeira e fios de arame que são distribuídos de forma semelhante ao sistema treliça (Figura 8). A altura do sistema varia de 2,0 a 2,5 metros e permite uma densidade de 1250 plantas por hectare, sendo indicado para a utilização em áreas com declividade e promove o crescimento horizontal da planta (Fagherazzi *et al*., 2018). O custo de implantação deste sistema é de aproximadamente R$147.000,00 reais por ha (Kretzer, 2021 *apud* Righi; Bitencourt, 2022b; Brasil, 2022).

Figura 8 – Sistema latada para condução dos ramos



Fonte: EMBRAPA (2003) *apud* Fagherazzi *et al*. (2018, p. 1).

O sistema de condução mais utilizado no mundo pelos lupulicultores é a treliça alta em “V” (Figura 4A) por maximizar os rendimentos e possibilitar a mecanização (Dodds, 2017; Brasil, 2022).

No Brasil, os produtores têm adotado esse tipo de sistema com altura de 5 m para variedades com menor vigor e 6 m para variedades de alto vigor vegetativo (BRASIL, 2022). Contudo, apresenta custo elevado por ha, aproximadamente R$188.000,00 reais (Kretzer, 2021 *apud* Righi; Bitencourt, 2022b; Brasil, 2022), grande demanda de

mão de obra na instalação, nos tratos culturais e na colheita, além disso, exigem grande quantidade de água e nutrientes para o estabelecimento das plantas (Marceddu; Carrubba; Sarno, 2020).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Localização da área experimental

A pesquisa foi conduzida em área experimental a campo, localizada no Departamento de Engenharia Rural (DER) da Faculdade de Ciências Agronômicas (FCA/UNESP), Campus Botucatu, município de Botucatu, estado de São Paulo, Brasil com coordenadas geográficas 22°51'9,89"S e 48°25'49,33"O e altitude de 784 metros. O transplantio das mudas foi realizado no dia 12 de agosto de 2021 e a finalização do ciclo ocorreu no dia 14 de abril de 2022, totalizando 240 dias.

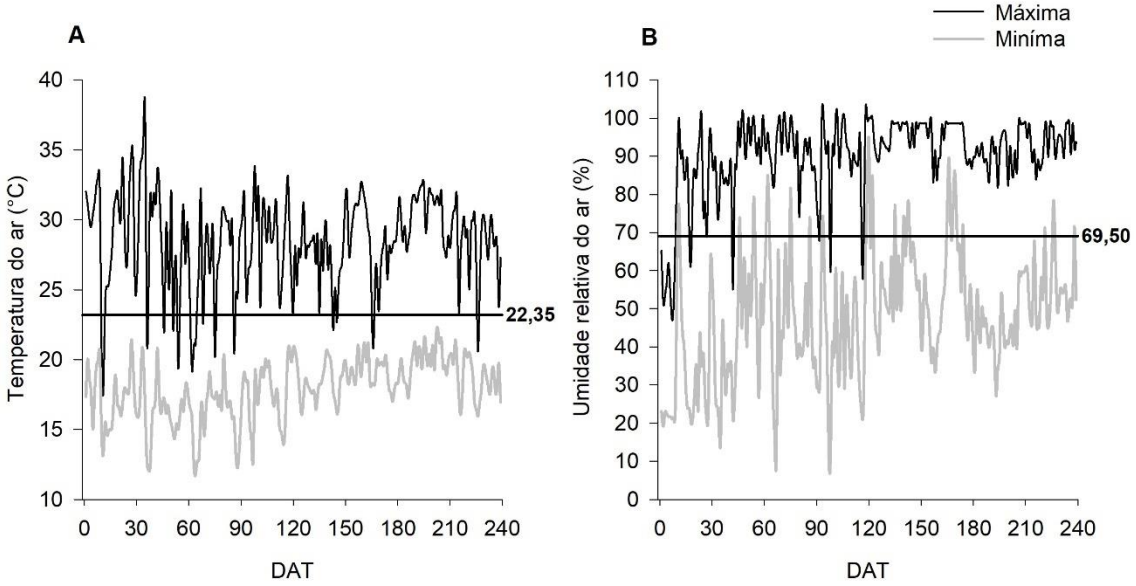
3.2 Clima do local

O clima do local segundo Franco *et al*. (2023) é do tipo Aw com verão quente e úmido e inverno frio e seco, com temperatura máxima de 23,80°C no mês de fevereiro, umidade relativa e precipitação máxima no mês de janeiro, com 75,76% e 310,37 mm, respectivamente.

3.2.1 Parâmetros agrometeorológicos

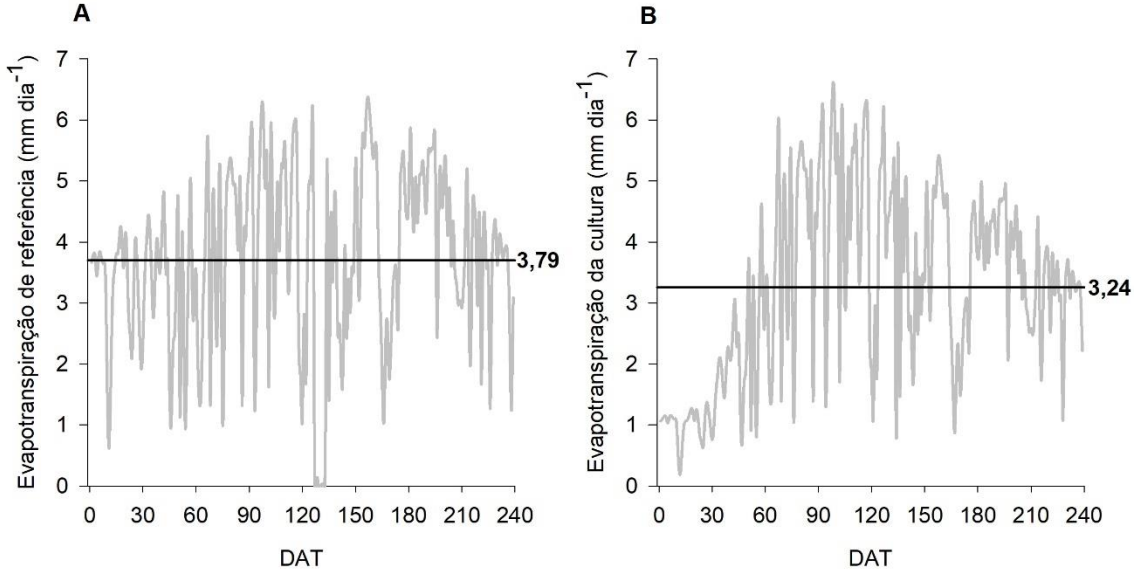
A temperatura do ar (Figura 9A) registrou máxima de 37,44°C aos 35 dias após o transplantio (DAT), mínima de 11,84°C aos 64 DAT e a média de 22,35°C. Já a umidade relativa do ar (Figura 9B) máxima de 100%, registrada em 19 dias ao logo do ciclo, a mínima registrada aos 98 DAT de 11,50% e a média de 69,50%.

Figura 9 – Temperatura do ar (A) e umidade relativa do ar (B) durante o primeiro ciclo experimental



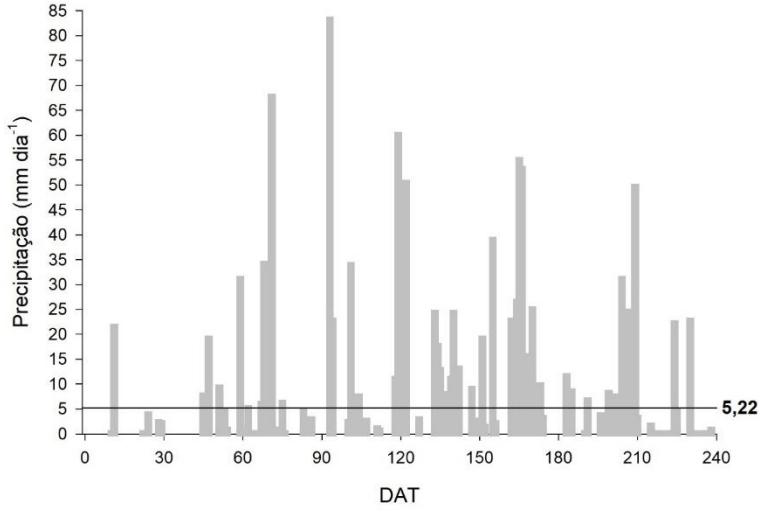
A evapotranspiração de referência (ETo) apresentada na Figura 10A registrou máxima de 6,38 mm dia^{-1} aos 158 DAT, mínima de 0,64 mm dia^{-1} aos 12 DAT, média de 3,79 mm dia^{-1} e acumulada de 915,90 mm. Enquanto a evapotranspiração da cultura (ETc) (Figura 10B) apresentou uma máxima de 6,51 mm dia^{-1} registrada aos 98 DAT, mínima de 0,19 mm dia^{-1} registrada aos 12 DAT, média de 3,24 mm dia^{-1} e acumulada no ciclo de 778,16 mm.

Figura 10 – Evapotranspiração de referência (A) e evapotranspiração da cultura (B) durante o primeiro ciclo experimental



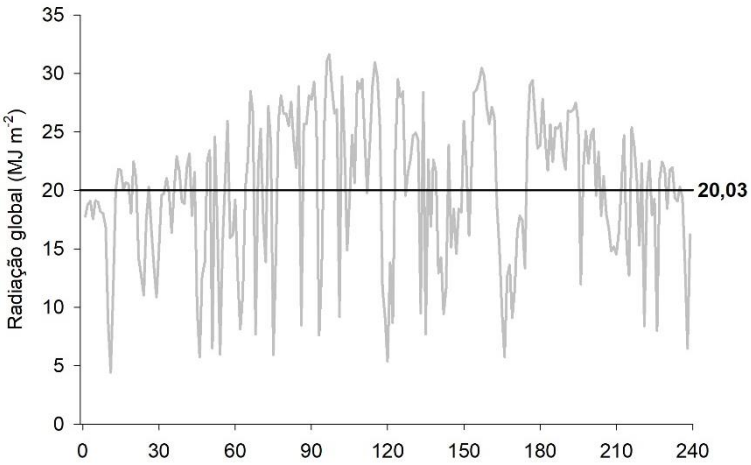
A precipitação pluviométrica (Figura 11) média registrada foi de 5,22 mm dia^{-1}, a acumulada foi de 1.250 mm, sendo o período de maior precipitação entre os 162 e 174 DAT com acumulado de 249,79 mm.

Figura 11 – Precipitação durante o primeiro ciclo experimental



A radiação global (Figura 12) mínima foi registrada aos 11 DAT com 4,42 MJ m^{-2}, máxima aos 97 DAT com 31,65 MJ m^{-2}, a média de 20,03 MJ m^{-2} e a acumulada de 4.954,98 MJ m^{-2}.

Figura 12 – Radiação global durante o primeiro ciclo experimental



3.3 Solo

3.3.1 Atributos físicos e químicos

Para a determinação dos atributos, oito amostras deformadas de solo foram coletadas na área experimental, com auxílio de um trado holandês, sendo quatro amostras na profundidade de 0 a 0,15 m e quatro na profundidade de 0,15 a 0,30 m.

As amostras foram acomodadas e misturadas em bandejas de plástico formando duas amostras compostas (uma para cada profundidade), e posteriormente, encaminhadas para o Laboratório de Análises Agrícolas e Ambientais (AGRILAB), situado na cidade de Botucatu, estado de São Paulo, Brasil para determinação dos atributos físicos e químicos seguindo as metodologias propostas pela EMBRAPA (2011) e por Raij *et al*. (2001), respectivamente.

3.3.3.1 Atributos físicos

Os atributos físicos apresentados no Quadro 1, foram determinados apenas para o primeiro ciclo experimental. Segundo a nomenclatura do Sistema Brasileiro de Classificação do Solo – SBCS (EMBRAPA, 2018), o solo da área experimental é caracterizado como um Latossolo Vermelho Distrófico de textura argilosa.

Quadro 1 – Atributos físicos do Latossolo Vermelho Distrófico em duas profundidades (Z)

Z (m)	Fração			Textura do solo
	Areia Total	Argila	Silte	
	g/kg			
1	432	429	139	Argilosa
2	417	454	129	

Em que: Z – profundidade; 1 – 0 a 0,15 m; 2 – 0,15 a 0,30 m.
Fonte: AGRILAB - Laboratório de Análises Agrícolas e Ambientais, Botucatu - SP.

3.3.3.2 Atributos químicos

Os atributos químicos (Quadro 2) foram determinados para se verificar a necessidade ou não de correção da acidez do solo, sendo verificada a necessidade.

Quadro 2 – Atributos químicos do Latossolo Vermelho Distrófico de textura argilosa em duas profundidades (Z) antes da correção da acidez

Z	pH	M.O	P_{resina}	Al^{3+}	H+Al	K	Ca	Mg	SB	CTC	V%	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
m	$CaCl_2$	g dm^3	mg dm^3	---------- mmolc dm^3 ----------							%	---------- mg dm^3 ----------					
1	4,7	27	15	4	53	2,3	29	12	43	97	45	33	0,52	5,5	55	14,1	2,6
2	4,5	20	8	4	62	0,9	23	9	32	94	34	29	0,48	5,5	56	10,8	2,2

Em que: Z – profundidade; 1 – 0 a 0,15 m; 2 – 0,15 a 0,20 m; pH – potencial hidrogeniônico; MO – matéria orgânica; Presina – extrator de fósforo; Al3+ - acidez trocável; H+Al – acidez potencial; K – potássio; Ca – cálcio; Mg – magnésio; SB – soma de bases; CTC – capacidade de troca cátions; V – saturação por bases; S – enxofre; B – boro; Cu – cobre; Fe – ferro; Mn – manganês e Zn – zinco.
Fonte: AGRILAB - Laboratório de Análises Agrícolas e Ambientais, Botucatu - SP.

Segundo Spósito *et al*. (2019), o pH do solo nas áreas brasileiras com cultivo de lúpulo se encontra da faixa de 4,5 a 5,5, sendo necessário corrigir/elevar o pH. Conforme observado nas análises dos atributos químicos, os valores de pH corroboram com os autores supracitados. Todavia, a faixa de pH ideal para o cultivo e desenvolvimento das plantas de lúpulo é de 6,0 a 6,5 (Marcos *et al*., 2011; Aquino *et al*., 2019).

A saturação por bases (V%) é outro atributo que deve ser considerado pelos lupulicultores, sendo o ideal para a cultura do lúpulo de 70% (Spósito *et al*., 2019). O V% indica, de forma geral, a fertilidade do solo podendo ainda, ser utilizado na nomenclatura de classificação dos solos, sendo os solos eutróficos aqueles que apresentam V% ≥ 50 e são classificados como férteis, enquanto os solos distróficos apresentam V% < 50 são classificados como pouco férteis (Ronquim, 2010).

3.3.2 Correção da acidez do solo

A correção do solo foi realizada apenas para o primeiro ciclo, tendo em vista que os valores de pH e especialmente, o V% estavam abaixo do recomendado por Marcos

et al. (2011) e Spósito *et al*. (2019). Desta forma, utilizou-se o método da calagem, o qual consiste na aplicação de um corretivo (calcário calcítico, magnesiano ou dolomítico) para promover a correção do pH. neutralização do alumínio (Al^{3+}), elevação do V% e dos teores de cálcio (Ca) e/ou magnésio (Mg), aumento na capacidade de troca catiônica (CTC) e na melhor disponibilidade de nutrientes (macro e micro) para a cultura.

Para a cultura do lúpulo, quando o teor de Ca é inferior a 50 mmolc dm^3, recomenda-se a utilização de corretivo à base de Ca (Gingrich; Hart; Christensen, 2000; Hãpi Research, 2019). Conforme observado na análise dos atributos químicos do primeiro ciclo, o teor de Ca nas duas camadas estudadas foi inferior a 50 mmolc dm^3, desta forma, utilizou-se o calcário calcítico, pois em sua formulação ocorre predominância de óxido de cálcio (CaO). As especificações do calcário estão apresentadas no Quadro 3.

Quadro 3– Características do calcário calcítico para correção de um Latossolo Vermelho Distrófico de textura argilosa

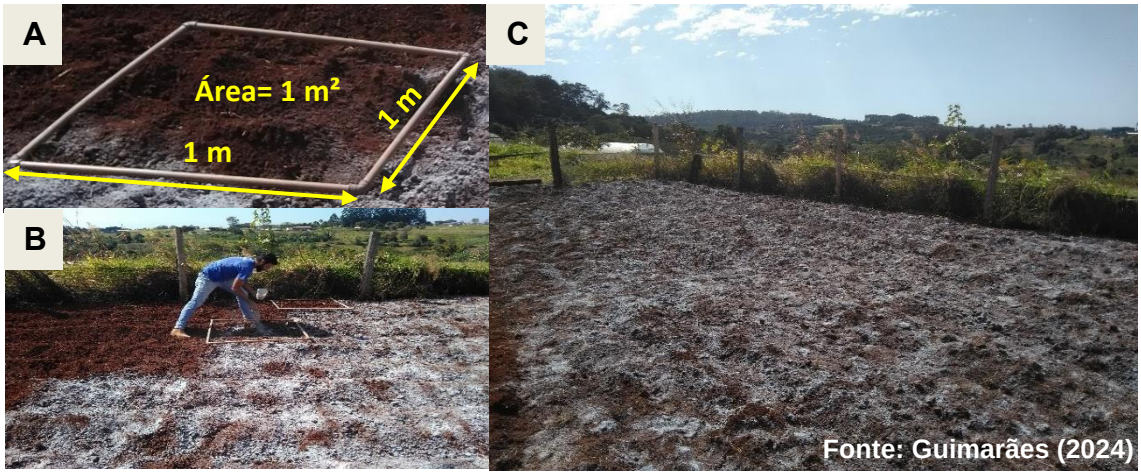
Características	Porcentagem (%)
Soma de óxidos	51,50
Óxido de cálcio (CaO)	47,00
Óxido de magnésio (MgO)	4,50
P.R.	94,50
P.R.N.T.	88,00
Peneira ABNI 10	100,00
Peneira ABNI 20	96,00
Peneira ABNI 50	87,00

Em que: P.R. – poder de neutralização; P.R.N.T. – poder relativo de neutralização do alumínio.

Fonte: HORICAL.

O calcário calcítico foi aplicado por metro quadrado (m^2) de solo com o auxílio de um *becker* de plástico com capacidade volumétrica de 0,5 litros e de uma estrutura confeccionada a partir de tubo PVC com dimensões de 1 x 1 m (Figura 13).

Figura 13 – Estrutura alternativa (A), aplicação de calcário calcítico por m² de solo (B) e calcário aplicado em toda área experimental (C)



Para a determinação da quantidade de calcário a ser aplicada na área considerando para incorporação a camada de 0 a 0,30 m de profundidade utilizou-se a Equação 2 (Quaggio; Raij, 2022).

$$\mu_c = \frac{CTC \times (V_2 - V_1) \times F}{10 \times PRNT} \quad (2)$$

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

A quantidade de calcário aplicada foi de 275,56 g m^{-2} o que equivale 2,76 ton ha^{-1} corroborando com Spósito *et al*. (2019). Posteriormente a aplicação do calcário, o solo foi revolvido com o auxílio de uma picareta e de um enxadão e foi mantido em repouso por 13 meses para propiciar reação do corretivo.

Observa-se no Quadro 4 que ocorreu a elevação do pH para a faixa recomendada, principalmente na camada de 0 a 0,15 m de profundidade fazendo com que ocorra maior disponibilidade de nutrientes, houve ainda, neutralização total do Al^{3+}. Além disso, houve elevação do teor de Ca, especialmente na camada de 0 a 0,20 m de profundidade e do V%, que chegou a 82%, percentual acima do que é recomendado para a cultura.

Quadro 4 – Atributos químicos do Latossolo Vermelho Distrófico de textura argilosa em duas profundidades (Z) após a correção da acidez

Z	pH	M.O	P_{resina}	Al^{3+}	H+Al	K	Ca	Mg	SB	CTC	V%	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
m	$CaCl_2$	g dm^3	mg dm^3	---------- mmolc dm^3 ----------							%	---------- mg dm^3 ----------					
1	6,0	23	13	0	20	0,9	70	20	91	111	82	7	0,18	2,7	10	5	0,6
2	5,3	20	4	0	24	0,42	29	13	43	66	64	13	0,22	2,8	14	5	0,2

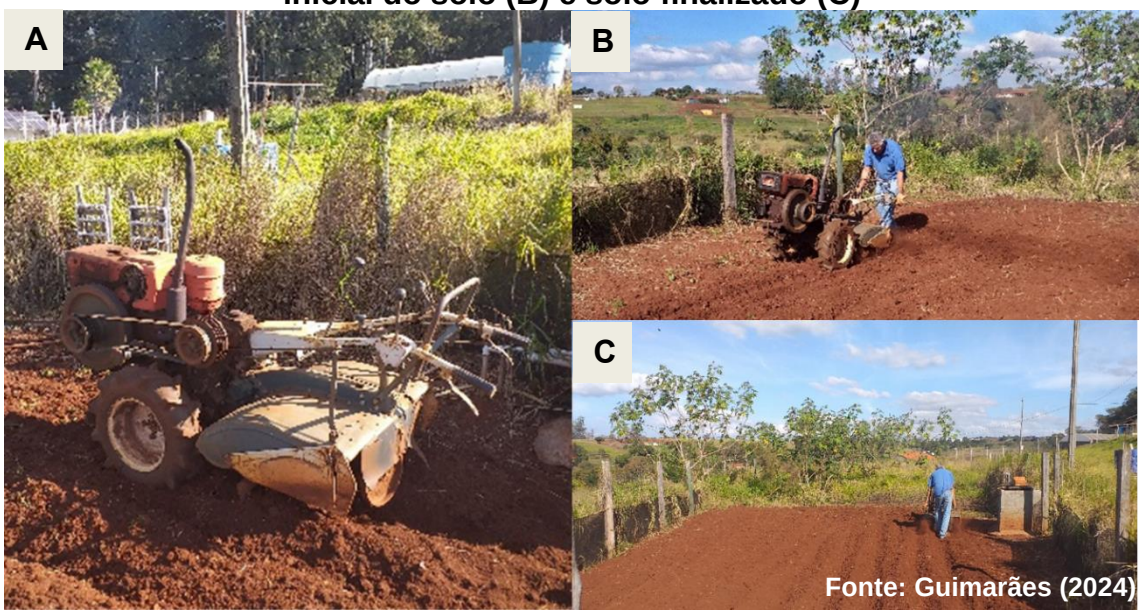
Em que: pH – potencial hidrogeniônico; MO – matéria orgânica; Presina – extrator de fósforo; Al3+ - acidez trocável; H+Al – acidez potencial; K – potássio; Ca – cálcio; Mg – magnésio; SB – soma de bases; CTC – capacidade de troca cátions; V – saturação por bases; S – enxofre; B – boro; Cu – cobre; Fe – ferro; Mn – manganês e Zn – zinco.

Fonte: AGRILAB - Laboratório de Análises Agrícolas e Ambientais, Botucatu - SP.

3.3.3 Preparo mecanizado do solo

O preparo solo foi realizado em duas etapas: aração e gradagem mecanizada da camada de 0 a 0,30 m de profundidade. Na primeira etapa, utilizou-se um micro trator com enxadas rotativas do tipo Tobata para o revolvimento do solo e incorporação de matéria seca presente na superfície (Figura 14). Nesta etapa, o procedimento foi realizado duas vezes, pois o solo na camada de interesse se encontrava bastante compactada.

Figura 14 – Micro trator com enxadas rotativas do tipo Tobata (A), preparo inicial do solo (B) e solo finalizado (C)



Na segunda etapa, realizou-se a gradagem para o revolvimento e destorroamento do solo. Esse procedimento foi realizado três vezes na área com o auxílio de uma grade intermediária (Figura 15A e 15B) e para remover os torrões restantes e nivelamento do solo utilizou-se a enxada rotativa (Figura 15C), ambas acopladas ao sistema de tração e hidráulico do trator.

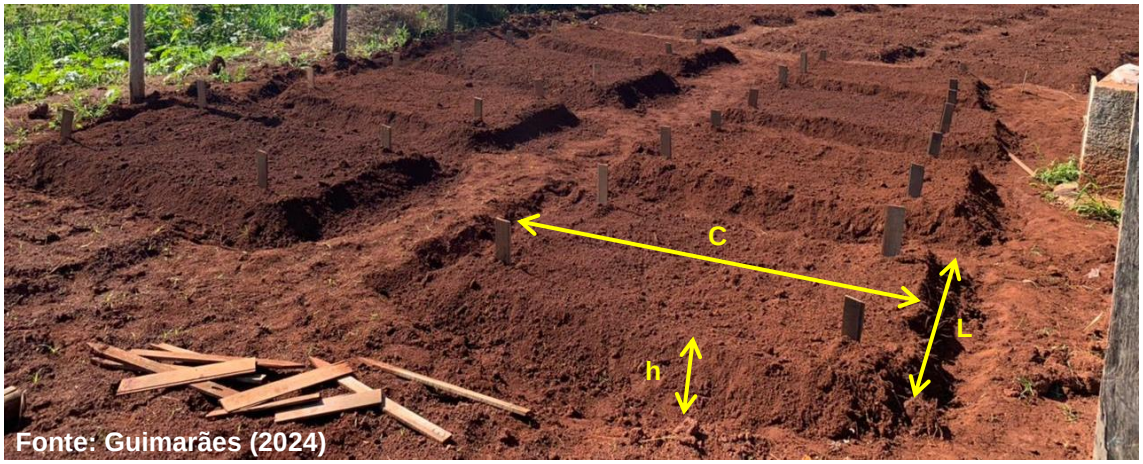
Figura 15 – Gradagem do solo com grade intermediária (A e B) e enxada rotativa para o destorroamento e nivelamento do solo (C)

3.3.3.1 Preparação de camalhão na linha de cultivo

O camalhão é uma técnica de manejo bastante utilizada pelos lupulicultores, principalmente, em regiões planas e com textura argilosa. Essa técnica melhora a drenagem e aeração do solo, desenvolvimento radicular, absorção de nutrientes e reduz o apodrecimento das raízes e rizomas (BRASIL, 2022).

Os camalhões (Figura 16) foram preparados manualmente com auxílio de enxada, enxadão e rastelo. As dimensões adotadas foram de 2,0 m de comprimento (C), 1,50 m de largura (L) e 0,25 m de altura (h), com carreador entre camalhão de 0,50 m para locomoção na área.

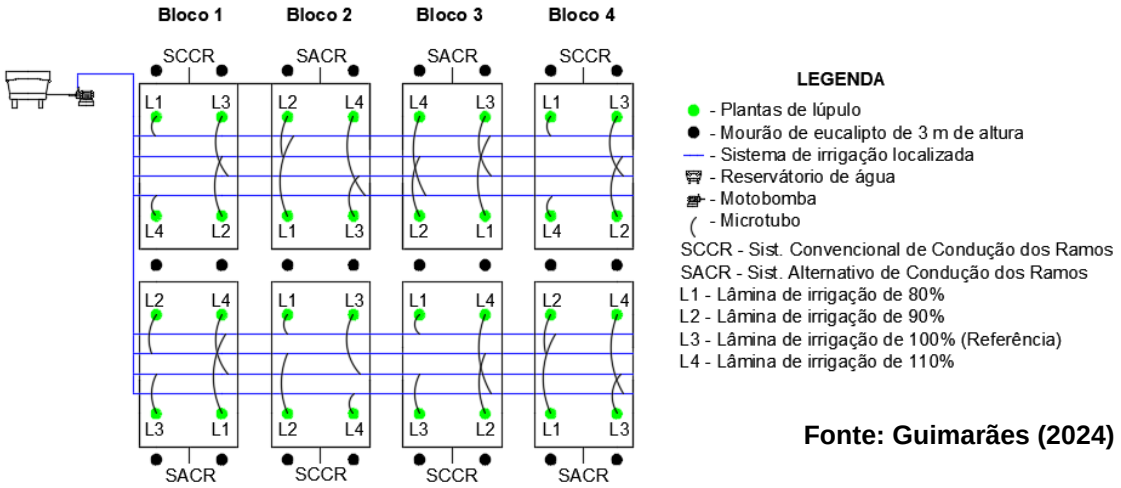
Figura 16 – Preparação dos camalhões nas linhas de cultivo



3.4 Delineamento experimental

O delineamento experimental adotado foi em blocos casualizados (DBC) em esquema fatorial 4x2, sendo quatro níveis de irrigação (80, 90, 100 e 110% da demanda evapotranspirométrica da cultura) e dois sistemas de condução dos ramos (sistema convencional de condução dos ramos – SCCR e o sistema alternativo de condução dos ramos – SACR), totalizando oito tratamentos, com quatro repetições (cada planta de lúpulo representa uma repetição) (Figura 17).

Figura 17 – Delineamento experimental em blocos casualizados com esquema fatorial



Fonte: Guimarães (2024)

3.5 Descrição dos tratamentos

3.5.1 Níveis de irrigação

Os níveis de irrigação (NI) foram determinados com base na demanda evapotranspirométrica da cultura do lúpulo (ETc). Para isso, utilizou-se dados diários de evapotranspiração de referência (ETo) fornecidos pela estação meteorológica da Fazenda Lageado – FCA/UNESP, Câmpus de Botucatu, a qual está localizada a aproximadamente 645 m da área experimental, cujas coordenadas geográficas são 22°50'50,49"S e 48°25'54,12"O e altitude de 792 metros. A ETo fornecida pela estação utiliza a equação de Penman-Monteith (Equação 1) e, os coeficientes de cultivo (Kc) sugeridos por Allen *et al*. (1998).

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

Onde ETo é a evapotranspiração de referência (mm dia^{-1}), Rn é radiação líquida na superfície da cultura (MJ m^{-2} dia^{-1}), G é o fluxo de calor no solo (MJ m^{-2} dia^{-1}), T é a

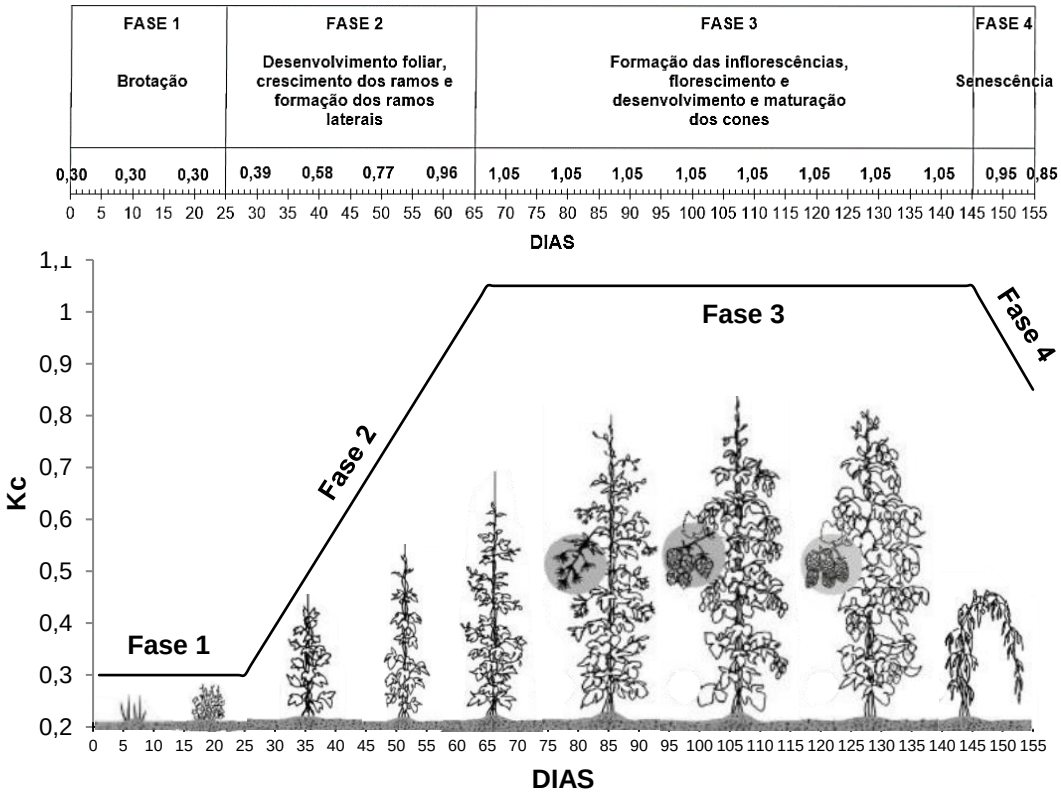
temperatura média do ar a dois metros de altura (ºC), u_2 é a velocidade do vento a 2 metros de altura (m s^{-1}), e_s é a pressão de vapor de saturação (kPa), e_a é a pressão de vapor real (kPa), (es – ea) é o déficit de saturação de vapor (kPa), Δ é a inclinação da curva de pressão de vapor (kPa °C^{-1}) e γ é a constante psicométrica (kPa °C^{-1}).

A estimativa da demanda evapotranspirométrica (ETc) foi calculada através da Equação 3. Os valores de coeficiente de cultivo (Kc), as fases fenológicas, bem como a duração de cada fase encontram-se na Figura 18.

$$ETc = ETo * Kc \quad (3)$$

Onde ETc é a evapotranspiração da cultura (mm dia^{-1}), ETo é a evapotranspiração de referência (mm dia^{-1}) e Kc é o coeficiente de cultivo específico para cada cultura (adimensional).

Figura 18 – Representação gráfica do coeficiente de cultivo (Kc) do *Humulus lupulus* L.



Fonte: ALLEN *et al*. (1998); SPÓSITO *et al*. (2019) adaptado por GUIMARÃES (2024)

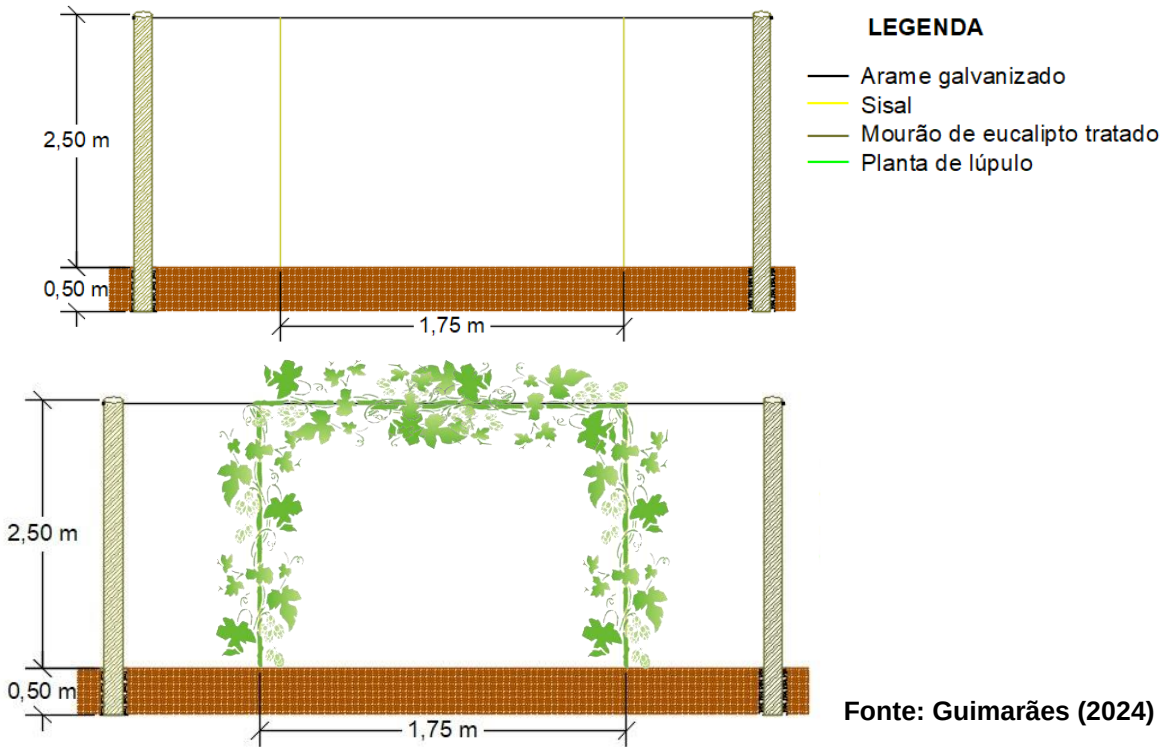
Segundo Allen *et al*. (1998) a duração do ciclo da cultura é de 155 dias, aproximadamente seis meses. Entretanto, para as condições locais e experimentais a duração do ciclo de cultivo foi superior ao informado pela literatura, sendo o ciclo finalizado com 240 dias, ou seja, 85 dias a mais.

A diferença observada quanto a duração dos ciclos pode estar associada as condições experimentais e climáticas locais, pois as informações de Kc utilizadas são do estado de Idaho, Estados Unidos, condições diferentes das locais. Devido a isto, no primeiro ciclo foi fixado, a partir dos 155 dias após o transplantio (DAT), o valor de Kc de 0,85 para a realização do manejo da irrigação até o encerramento do ciclo.

3.5.2 Sistemas de condução dos ramos

O sistema convencional de condução dos ramos (SCCR) foi constituído por mourões de eucalipto tratado com 2,50 metros de altura e diâmetro de 0,12 m instalados nas extremidades das parcelas experimentais, um fio de arame galvanizado n°12 com diâmetro de 2,77 mm fixado nos mourões, catraca metálica para esticar o arame e barbante sisal natural com diâmetro de 4 mm fixado no arame e próximo da planta (Figura 19).

Figura 19 – Design do sistema convencional de condução dos ramos (SCCR)

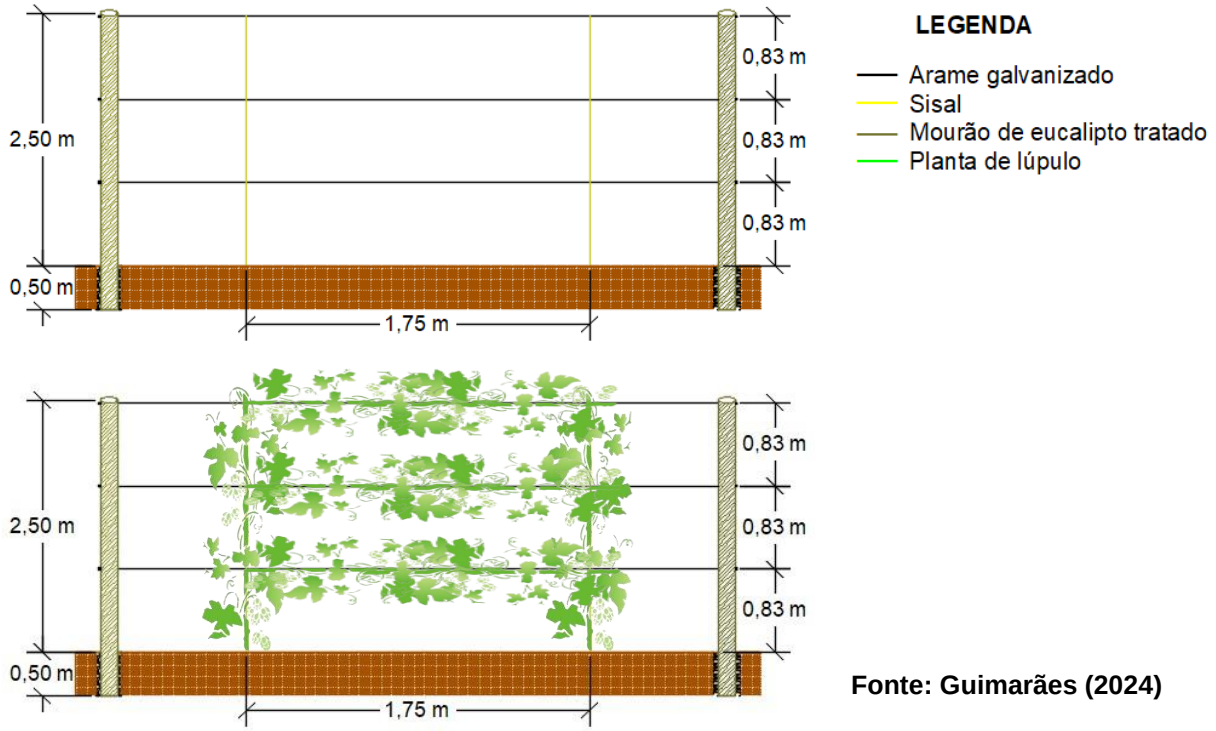


Fonte: Guimarães (2024)

O sistema alternativo de condução dos ramos (SACR), também foi constituído por mourões de eucalipto com 2,50 m de altura instalados nas extremidades das parcelas experimentais, três fios de arame galvanizado n°12 com diâmetro de 2,77 mm espaçados à 0.83 m para a condução dos ramos da planta no sentido horizontal,

barbante sisal natural com diâmetro de 4 mm fixado no fio de arame superior e próximo da planta (Figura 20).

Figura 20 – Design do sistema alternativo de condução dos ramos (SACR)



Fonte: Guimarães (2024)

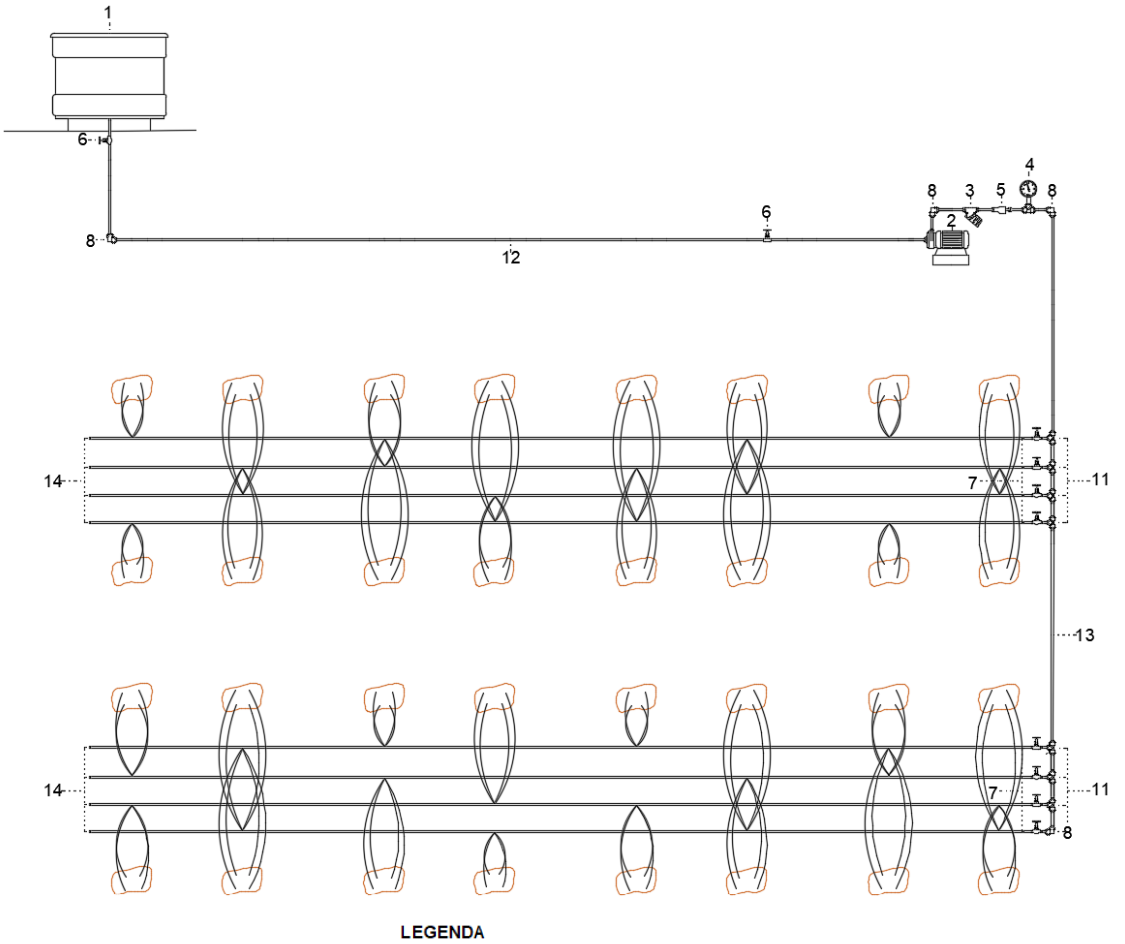
3.6 Sistema de irrigação

3.6.1 Distribuição espacial dos componentes

O método utilizado para a irrigação da cultura foi a localizada por gotejamento (Figura 21 e 22). O sistema de irrigação foi constituído por um reservatório de água de polietileno com capacidade volumétrica de 500 litros; dois registros de esfera, sendo um na saída do reservatório e outro na linha de recalque (LR) para controle do fluxo de água; uma motobomba periférica SOMAR SCHUZ modelo SHP-25 com potência de 0,5 HP, rotação de 3400 rpm, pressão máxima 25 mca e vazão máxima 2,1 m^3 h^{-1}; um filtro plástico mini de discos NaanDanJain modelo MPD10 para filtragem da água; um manômetro com glicerina Petroisa classe B com pressão máxima de aferimento de 100 mca para aferição da pressão na saída da motobomba; uma válvula reguladora de pressão Senninger modelo BSPT com faixa de vazão 454 - 4543 L h^{-1} e pressão de entrada de 96,50 mca, resultando em uma pressão de saída para o sistema de 15 mca; uma linha de recalque e uma linha principal, ambas de Policloreto de Vinila (PVC) com diâmetro nominal (DN) de 25 mm e pressão nominal (PN) de 40

mca; oito linhas laterais de Polietileno Linear de Baixa Densidade (PELBD) com DN de 16 mm e pressão nominal (PN) de 30 mca; oito registros com DN de 25 mm para 16 mm; 32 conectores do tipo Manifold com quatro saídas e vazão em cada saída de 2 L h^{-1}; 32 gotejadores NaanDanJain modelo ClickTif HD autocompensante e antidrenante (CNL) com vazão de 8 L h^{-1} e faixa de operação de 10 a 40 mca; microtubo para gotejador NaanDanJain modelo ClickTif HD com DN de 5,5 mm; 128 hastes sem labirinto; oito final de linha para tubo PELBD com DN de 16 mm; conexões do tipo curva de 90° soldável e roscável, Tê com bolsa roscável e soldável, ambas de PVC e DN de 25 mm.

Figura 21 – Layout do sistema de irrigação localizada por gotejamento

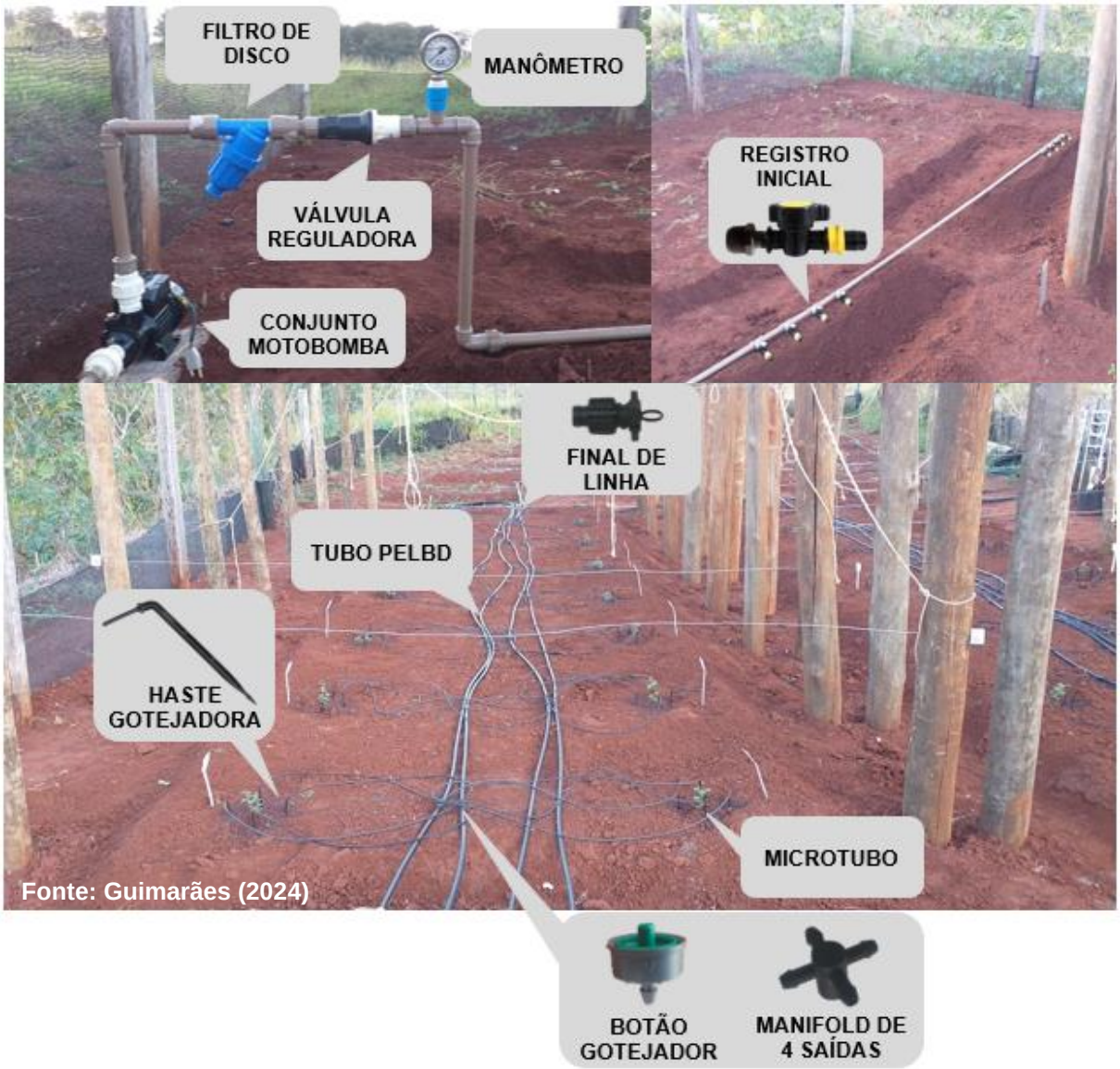


LEGENDA

1 - Reservatório de água com capacidade volumétrica de 1000 L
2 - Conjunto motobomba com 0,5 hp de potência
3 - Filtro de tela de 120 mesh
4 - Manômetro
5 - Válvula reguladora de pressão
6 - Registro de esfera soldável DN 25 mm
7 - Registro para tubo PELBD DN 25 mm
8 - Curva de 90° soldável de PVC DN 25 mm
9 - Curva de 90° soldável com bolsa roscável de PVC DN 25 mm
10 - Tê soldavel de PVC DN 25 mm
11 - Tê soldável com bolsa roscável de PVC DN 25 mm
12 - Linha de recalque de PVC PN 40 DN 25 mm
13 - Linha principal de PVC PN 40 DN 25 mm
14 - Linha lateral de PELBD PN 30 DN 16 mm + botão gotejador ClickTif HD autocompensante e antidrenante (CNL) vazão de 8 L h-1 e pressão de serviço de 12 mca + manifold com 4 saídas + microtubo com DN 5,5 mm + final de linha.

Fonte: Guimarães (2024)

Figura 22 – Distribuição espacial do sistema de irrigação localizada por gotejamento em campo



Fonte: Guimarães (2024)

3.6.2 Avaliação da uniformidade

A avaliação foi realizada logo após a instalação do sistema de irrigação por meio da coleta do volume aplicado (V_a) pelos emissores (gotejadores). Para a avaliação utilizou-se uma proveta graduada em mililitro (mL), um cronômetro e 128 *becker* de plástico com capacidade volumétrica de 1 litro cada. Os *becker* foram distribuídos ao longo das linhas laterais de irrigação (LL), sendo quatro para cada emissor. O tempo de operação estabelecido para a coleta foi de 15 minutos, sendo realizadas três repetições na avaliação.

O volume coletado (V_c) em cada *becker* foi mensurado com o auxílio da proveta graduada, e os dados coletados foram transcritos para uma planilha eletrônica no formato xlsx através do *software* Microsoft Excel®. Para determinar a vazão dos

emissores (Q em L h^{-1}), utilizou-se o método volumétrico (Equação 4) descrito por Salomão (2008).

$$Q = \left[\frac{\left(\frac{V_c}{1000}\right)}{\left(\frac{T}{60}\right)}\right] \quad (4)$$

Em que Q é a vazão (L h^{-1}), V_c é o volume coletado (mL) e T é o Tempo de operação do sistema (minutos).

Para determinar a uniformidade da distribuição da água em um sistema de irrigação é necessário utilizar coeficientes. De acordo com Bernardo *et al*. (2019), os coeficientes amplamente utilizados para este fim são o Coeficiente de Uniformidade de Distribuição (CUD) e Coeficiente de Uniformidade Estatístico (CUE). Tais coeficientes expressam a variabilidade da lâmina de irrigação aplicada em uma unidade de área.

O Coeficiente de Uniformidade de Distribuição (CUD) proposto por Keller e Karmeli (1974) foi determinado pela Equação 5.

$$CUD = 100 \,.\, \frac{q_{25\%}}{q_m} \quad (5)$$

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

Por fim, o Coeficiente de Uniformidade Estatístico (CUE) proposto Wilcox e Swailes (1947) foi determinado pela Equação 6.

$$CUE = 100 \,.\, \left(1 - \frac{S}{\overline{X}}\right) \quad (6)$$

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

Além dos coeficientes citados anteriormente, foi determinado o coeficiente de variação de fabricação do emissor (C_v), a uniformidade de emissão (EU) e o coeficiente de uniformidade (CU).

Segundo Solomon (1979), o C_v é um dos parâmetros que influenciam a uniformidade de um sistema de irrigação, sendo assim, não deve ser negligenciado pelo irrigante e/ou profissionais técnicos. Ademais, o C_v geralmente é fornecido pelo fabricante, podendo ser encontrado no catálogo ou ainda, pode ser determinado através da Equação 7 desenvolvida pelo autor supracitado.

$$C_v = \frac{S_q}{\bar{q}} \quad (7)$$

Onde C_v é o Coeficiente de Variação de fabricação (decimal), S_q é o desvio padrão da vazão de uma amostra (L h^{-1}) e $\bar{q}$ é a vazão média da mesma amostra (L h^{-1}).

A uniformidade de emissão (EU) proposta por Keller e Karmeli (1974) expressa a variação da vazão dos emissores (gotejadores) em função das variações das vazões, sendo está determinada pela Equação 8.

$$UE = 100 \cdot \left(\frac{q_{min}}{\bar{q}}\right) \quad (8)$$

Onde UE é a Uniformidade de Emissão (%), q_{min} é a vazão mínima coletada (L h^{-1}) e $\bar{q}$ é a vazão média coletada (L h^{-1}).

O coeficiente de uniformidade (CU) determinado pela Equação 9 foi proposto por Keller e Karmeli (1974). Trata-se de um coeficiente que expressa as variações da uniformidade em função dos fatores construtivos e hidráulicos, sendo importante para o dimensionamento hidráulico e na avaliação e integridade do sistema de irrigação.

$$CU = \left(\left(1 - \frac{1{,}27 \cdot C_v}{\sqrt{e}}\right) \cdot \frac{q_{ns}}{q_a}\right) \cdot 100 \quad (9)$$

Onde CU é o Coeficiente de Uniformidade (%), C_v é o Coeficiente de Variação de fabricação (decimal), e é o número de emissores por planta, q_{ns} é a vazão mínima (L h^{-1}) e q_a é a vazão média (L h^{-1}).

Os resultados da avaliação da uniformidade do sistema de irrigação utilizado, bem como a classificação dos coeficientes utilizados estão apresentados no Quadro 5, os quais foram classificados como excelentes.

Quadro 5 – Coeficientes de uniformidade obtidos no teste em campo e sua classificação de acordo com a literatura

Coeficiente	Valor obtido	Classificação	Autor
CUD	96,86	Excelente	Merrian e Keller (1978)
CUE	96,90	Excelente	Frizzone (2012)
C_v	0,03	Excelente	Solomon (1979)
EU	92,00	Excelente	Keller e Karmeli (1974)
CU	97,00	Excelente	

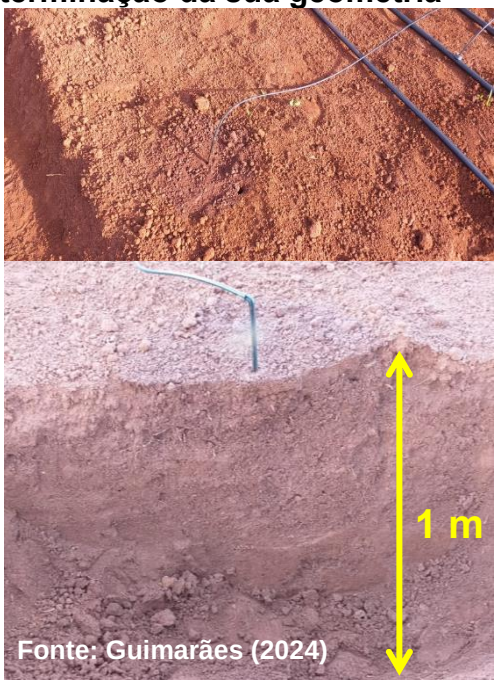
Fonte: Autor (2024).

3.6.3 Geometria do bulbo molhado

A geometria do bulbo molhado foi determinada em campo pelo método da trincheira (Battam; Sutton; Boughton, 2003; Maia *et al*., 2010). Esse método consiste

na abertura de uma trincheira no centro do bulbo molhado, abaixo do gotejador após o cessamento da irrigação (Figura 23).

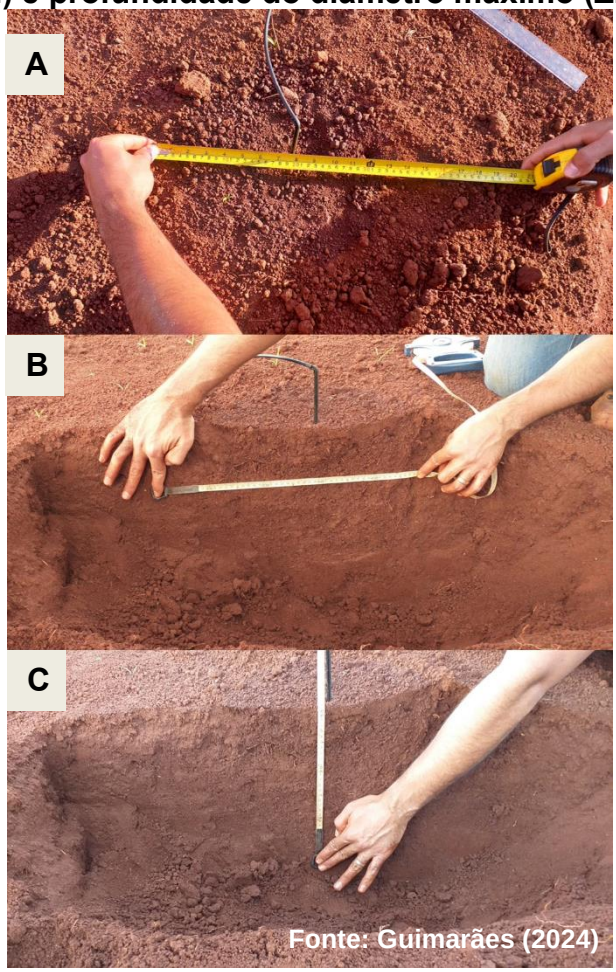
Figura 23 – Abertura da trincheira no centro do bulbo molhado para determinação da sua geometria



O emissor utilizado foi do Tipo botão modelo ClickTif HD autocompensante e antidrenante com vazão de 2 L h^{-1} e pressão de serviço de 10 a 40 mca. O tempo de irrigação estabelecido foi de 45 minutos e após uma hora do cessamento da irrigação foram abertas três trincheiras com o auxílio de um enxadão em três pontos da área experimental. Cada trincheira apresentou 1,20 m de comprimento e 1,0 m de profundidade.

Os parâmetros medidos do bulbo molhado foram o diâmetro superficial (Ds) (Figura 24A), diâmetro a cada 0,05 m de profundidade (DM) e diâmetro máximo ($D_{máx.}$) (Figura 24B), e profundidade máxima ($Z_{máx.}$) e profundidade do diâmetro máximo ($ZD_{máx}$) (Figura 24C). Os respectivos parâmetros foram medidos com o auxílio de uma trena metálica e de uma fita métrica, ambas graduadas em mm (mm) e estão apresentados no Quadro 6.

Figura 24 – (A) Diâmetro superficial (DS), (B) diâmetro molhado a cada 0,05 m de profundidade (DM) e diâmetro máximo (Dmáx.) e (C) profundidade máxima (Zmáx.) e profundidade do diâmetro máximo (ZDmáx.)



Quadro 6 – Parâmetros para determinação da geometria do bulbo molhado em Latossolo Vermelho Distrófico de textura argilosa utilizando o método da trincheira

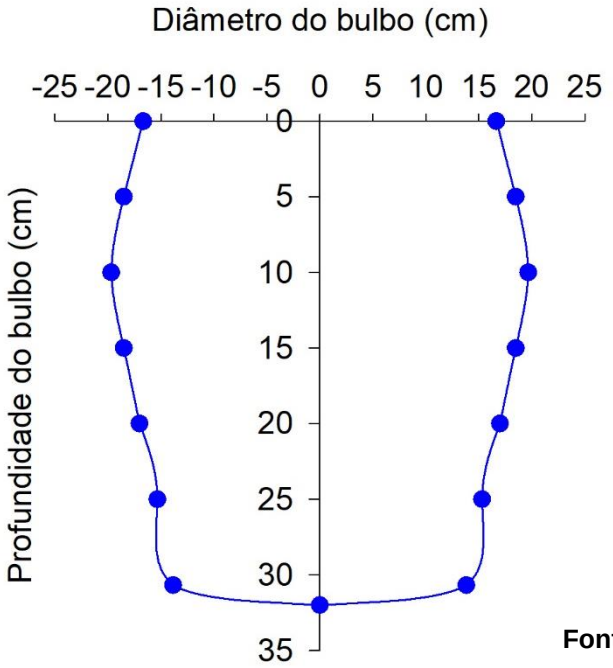
Trincheira 1		Trincheira 2		Trincheira 3		Média	
Z	DM	Z	DM	Z	DM	Z	DM
---------- cm ----------							
5	0,34	5	0,40	5	0,37	5	0,37
10	0,40	10	0,36	10	0,42	10	0,39
15	0,39	15	0,33	15	0,39	15	0,37
20	0,37	20	0,30	20	0,35	20	0,34
25	0,34	25	0,25	25	0,33	25	0,30
30	0,32	30	0,22	30	0,29	30	0,27
DS	0,33	DS	0,33	DS	0,34	DS	0,33
$D_{máx.}$	0,40	$D_{máx.}$	0,40	$D_{máx.}$	0,42	$D_{máx.}$	0,41
$Z_{máx.}$	0,30	$Z_{máx.}$	0,29	$Z_{máx.}$	0,33	$Z_{máx.}$	0,31
$ZD_{máx.}$	0,10	$ZD_{máx.}$	0,10	$ZD_{máx.}$	0,10	$ZD_{máx.}$	0,10

Em que: Z – profundidade; DM – diâmetro do bulbo molhado a cada 5 cm de profundidade; DS – diâmetro superficial do bulbo; $D_{máx.}$ diâmetro máximo do bulbo; $Z_{máx.}$ – profundidade máxima; $ZD_{máx.}$ – profundidade do diâmetro máximo.

Fonte: Autor (2024).

Para fins de cálculo adotou-se os valores médios obtidos no teste de campo, sendo assim, para o solo estudado a profundidade máxima do bulbo ($ZD_{máx.}$) foi de 0,31 m, o diâmetro máximo ($D_{máx.}$) de 0,41 m estando localizado a uma profundidade de 0,10 m (Figura 25).

Figura 25 – Geometria média do bulbo molhado em Latossolo Vermelho



Fonte: Guimarães (2024)

O conhecimento da geometria do bulbo molhado permite conhecer as dimensões e o volume de solo molhado, além disso, torna-se uma ferramenta para otimização do uso da água (redução da percolação profunda da água), determinação do número de emissores por planta, projeto hidráulico do sistema e manejo da água de irrigação.

A textura do solo é um dos fatores que influencia a geometria do bulbo molhado. Solos com textura argilosa apresentam grande quantidade de microporos e uma menor taxa de infiltração básica da água (TIB), sendo assim, a formação do bulbo molhado é principalmente na horizontal, corroborando com os resultados obtido no teste de campo. Além disso, quando a vazão do emissor é constante, a variação do bulbo não é significativa no tempo, mas quando o tempo de irrigação é muito grande o bulbo tende a se desenvolver em profundidade resultando na percolação da água, ou seja, perdas de água e/ou nutrientes (Pizarro, 1996).

3.6.4 Número de emissores por planta

O número de emissores por planta (NEP) foi determinado a partir do cálculo da área molhada mínima (AM_{min}) e da área molhada determinada em campo (AM). Isto significa que a AM deve ser maior ou igual a AM_{min} para que o NEP seja escolhido corretamente.

A área molhada mínima (AM_{min}) estimada pela Equação 10 considera a área ocupada pela planta (Sp x Sf) e a percentagem da área molhada (P). Segundo Bernardo *et al*. (2019), a P deve ser superior a 33% em regiões de clima árido e 20% em regiões de clima úmido. A região de Botucatu de acordo com Franco *et al*. (2023) apresenta verão quente e úmido e inverno frio e seco, assim, para efeito de cálculo da AM_{min} a P adotada foi de 22,5%.

$$AM_{mín} = Sp \times Sl \times P \quad (10)$$

Onde AM_{min} é a área molhada mínima (m²), Sp é o espaçamento entre plantas (m), Sl é o espaçamento entre linhas de plantio (m) e P é a percentagem de área molhada (decimal).

A área molhada determinada em campo (AM) foi dada pela Equação 11 e o número de emissores por planta (NEP) pela Equação 12.

$$AM = \frac{\pi \times D_{máx.}^{2}}{4} \quad (11)$$

Onde AM é a área molhada determinada em campo (m²), $D_{máx.}$ é o diâmetro máximo médio na horizontal do bulbo molhado (m) obtido no teste de geometria.

$$NEP = AM \times NE \quad (12)$$

Onde NEP é número de emissores por planta, NE é o número de emissores utilizados no teste de geometria do bulbo.

Após os cálculos, tem-se os seguintes resultados:

- Área ocupada pela planta (Sp x Sf): 1,75 x 1,20 = 2,10 m²;
- AM_{min}: 0,473 m²;
- AM: 0,130 m²;
- NEP: 4;
- AM com 4 emissores: 0,520 m², portanto AM > AM_{min}.

Assim, foram definidos quatro emissores por planta.

3.6.4 Distribuição espacial das hastes gotejadoras

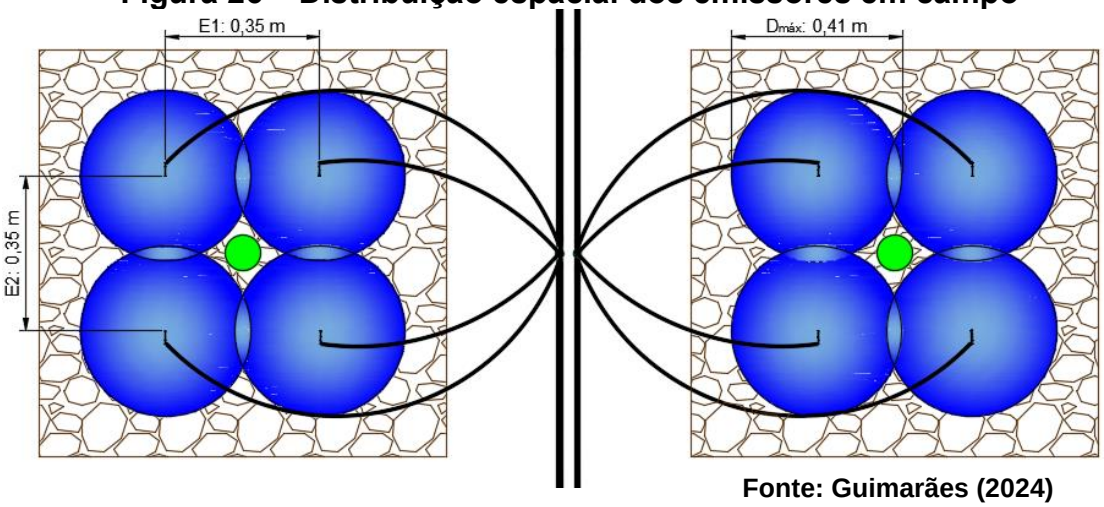
Para a distribuição das hastes gotejadoras considerou-se o raio molhado ($\frac{D_{máx.}}{2}$) de 0,205 m obtido a partir do teste de campo e uma sobreposição dos bulbos de 30%, a qual foi calculada pela Equação 13.

$$Se = r \times (2 - a) \quad (13)$$

Onde Se é espaçamento entre emissores (m), r é o raio molhado (m) e a é a sobreposição desejada (decimal).

A sobreposição deve estar entre 15 e 30%, pois valores abaixo de 15% podem formar barreiras de solo seco e causar acúmulo de sais. Deste modo, o espaçamento entre as hastes na horizontal (E1) e na vertical (E2) para atender a sobreposição foi de 0,35 m (Figura 26).

Figura 26 – Distribuição espacial dos emissores em campo



Fonte: Guimarães (2024)

3.6.5 Razão de lixiviação

A razão de lixiviação (RL) especialmente utilizada em sistema de irrigação de alta frequência e baixa intensidade é dada pela relação entre a lâmina de água necessária para lixiviar os sais, ou seja, controlar a condutividade elétrica e a lâmina líquida.

Para a determinação da RL cinco amostras de solo na profundidade de 0 a 0,30 m em diferentes pontos da área experimental as quais foram coletadas com o auxílio de um trado holandês, e uma amostra de água coletada diretamente do reservatório que armazena a água para a irrigação. As amostras foram encaminhadas para Departamento de Ciências Químicas e Biológicas do Instituto de Biociências (IB/UNESP), Câmpus de Botucatu para a determinação da condutividade elétrica da água e do extrato saturado do solo.

A amostra de água foi transferida para um *becker* com capacidade volumétrica de 100 mL e posteriormente, determinou-se a condutividade elétrica da água de irrigação (CE_i) com o auxílio de um condutivímetro portátil digital da marca AKSO modelo AK51. O valor obtido para a CE_i foi de 0,05 mS cm^{-1}.

A condutividade elétrica do extrato saturado do solo (CE_e) foi determinada conforme a metodologia proposta pela EMBRAPA (2017). Para tal, utilizou-se 150 g de solo de cada amostra e água deionizada. As amostras foram acomodadas em *becker* de plástico com capacidade volumétrica de 250 mL e um volume inicial de 50 mL de água deionizada foi adicionado. Em seguida, a massa (solo + água deionizada) foi misturada com o auxílio de uma espátula de aço, sendo ainda adicionado pouco a pouco aproximadamente 10 mL de água deionizada para que a massa saturada atingisse a textura recomenda (brilhante ou espelhante e não absorvesse mais água).

A massa de solo obtida foi mantida em repouso constante por 12 horas e após o término do repouso, foi determinado a porcentagem de saturação (PS) para cada amostra de solo. Posteriormente, a massa de solo foi transferida para um funil Bucker contendo papel filtro e adaptado a um Kitassato e a uma bomba de vácuo para a obtenção do líquido filtrado. Por fim, aferiu-se a condutividade elétrica do líquido filtrado (extrato saturado) com o auxílio do condutivímetro portátil (modelo citado anteriormente).

Segundo Bernardo *et al*. (2019) a RL para sistemas de alta frequência e baixa intensidade (localizada por gotejamento) é dada pela Equação 14. No Quadro 7 são apresentados os resultados para as cinco amostras coletadas, sendo considerado para fins de cálculos perda por percolação ou lixiviação (K) o valor médio da RL de 0,13.

$$RL = \frac{CE_i}{2 \times CE_e} \tag{14}$$

Onde RL é a razão de lixiviação de sais (adimensional), CE_i é a condutividade elétrica da água de irrigação (mS cm^{-1}) e CE_e é a condutividade do extrato saturado do solo (mS cm^{-1}).

Quadro 7 – Porcentagem de saturação (PS), condutividade elétrica do extrato saturado do solo (CEe) e a razão de lixiviação (RL) em Latossolo Vermelho Distrófico de textura argilosa

Amostra	PS (%)	CE_e (mS cm^{-1})	RL (adimensional)
1	41,33	0,20	0,13
2	40,67	0,17	0,15
3	40,67	0,18	0,14
4	42,00	0,20	0,13
5	40,00	0,19	0,13
Média	**40,93**	**0,19**	**0,13**

Fonte: Autor (2024).

3.7 Manejo da irrigação

O manejo da irrigação foi realizado com base nos atributos atmosféricos com o objetivo de repor a demanda evapotranspirométrica das plantas de lúpulo do dia anterior. Para isso, utilizou-se dados diários de evapotranspiração de referência (ETo) e precipitação (P) fornecidos pela estação meteorológica da Fazenda Lageado – FCA/UNESP, Câmpus de Botucatu.

Para o cálculo da demanda evapotranspirométrica da cultura (ETc), lâmina bruta (LB), tempo de aplicação de água (T_{ap}) e o volume de água a ser aplicado por planta (V_{ap}) utilizou-se as Equações 15, 16, 17, 18, 19 e 20 apresentadas a seguir.

$$ETc = ETo * Kc \tag{15}$$

Onde ETc é a evapotranspiração da cultura (mm dia^{-1}), ETo é a evapotranspiração de referência (mm dia^{-1}) e Kc é o coeficiente de cultivo que é específico para cada cultura (adimensional).

Para o cálculo da lâmina adicional considera-se as perdas por percolação (Equação 16) e as perdas por lixiviação (Equação 17), sendo para fins posteriores utilizar o maior valor de K para estimar a lâmina bruta de irrigação (LB).

$$K = (1 - CU) \tag{16}$$

Onde K é a perda por percolação (adimensional) e CU é o Coeficiente de Uniformidade (%).

- K é igual a 0,03.

$$K = RL \tag{17}$$

Onde K é a perda por lixiviação (adimensional) e RL é a razão de lixiviação de sais (adimensional).

- K é igual a 0,13. Para tal, considerou-se o valor médio da RL (Quadro 7).

Assim, foi considerado o valor da perda de lixiviação de sais (K =0,13) para o cálculo da lâmina adicional.

$$LB = \left(\frac{ETc}{1 - K} \cdot NI\right) - P \tag{18}$$

Onde LB é a lâmina bruta (mm dia^{-1}), K é a perda de lixiviação de sais (adimensional), NI é o nível de irrigação (adimensional) e P é a precipitação (mm).

$$T_{ap} = \frac{LB \cdot AM}{N \cdot q} \cdot 60 \tag{19}$$

Onde T_{ap} é o tempo de aplicação de água (minutos), AM é a área molhada pelos emissores (m²), N é o número de emissores por planta (adimensional) e q é a vazão do emissor (L h^{-1}).

$$V_{ap} = LB \cdot AM \tag{20}$$

Onde V_{ap} é o volume de água aplicado por planta (L planta^{-1}) e AM é a área molhada pelos emissores (m²).

3.8 Determinação de Graus Dia (GD) Acumulados (GDA)

O método utilizado para a determinação do GD foi o proposto por Ometto (1981) (Equação 21), o qual estabelece a condição para utilização temperatura basal inferior (Tb) menor que a temperatura mínima do ar (Tmín).

$$GD = \left(\frac{Tmín - Tmáx}{2}\right) - Tb \tag{21}$$

Onde GD é os graus dia (°C), Tmín é a temperatura mínima do ar do dia (°C), Tmáx é a temperatura máxima do ar do dia (°C) e Tb é a temperatura basal inferior da cultura (°C).

A Tb utilizada foi de 5,80°C, estabelecida para a cultura do lúpulo var. Cascade em clima tropical brasileiro (Barreto e Pilau, 2023).

Os graus dias acumulado (GDA) foi calculado pela Equação 22, sendo obtido no final do ciclo o valor de 4.169,93°C, podendo ser observado detalhadamente na Figura 26.

$$GDA= \sum_{i=1}^{n} GD_{i,j} \quad (22)$$

Onde GDA é os graus dia acumulado (°C) e GD é os graus dias (°C) no período i=1 até n=240 dias durante o ciclo j da cultura do lúpulo.

3.9 Condução experimental

O presente estudo foi desenvolvido em condições de campo, em área experimental do Departamento de Engenharia Rural da Faculdade de Ciências Agronômicas (FCA/UNESP), Câmpus de Botucatu.

3.9.1 Transplantio das mudas

O transplantio das mudas de lúpulo foi realizado em covas com 0,30 m de diâmetro e profundidade e espaçamento entre linhas de 1,75 m e entre plantas de 1,25 m no dia 12 de agosto de 2021. Cada cova recebeu uma muda acompanhada da adubação de base (transplantio) conforme recomendação e das quatro estacas gotejadoras (Figura 27).

Figura 27 – Transplantio das mudas em Latossolo Vermelho Distrófico de textura argilosa

3.9.2 Adubação

A adubação seguiu as recomendações de Gingrich, Hart, Christensen (2000) e da HÃPI RESEARCH (2019). O fósforo (P) foi aplicado nas covas 30 dias antes do transplantio das mudas devido à baixa mobilidade no solo. Utilizou-se 50% de

nitrogênio (N) e potássio (K) no transplantio e 50% na cobertura (C) aplicado de forma parcelada a cada 30 dias, bem como, 100% de fósforo (P), boro (B) e zinco (Zn) no transplantio (T).

A aplicação dos nutrientes foi realizada manualmente. Desta forma, foi realizado a conversão da quantidade a ser aplicada de quilograma por hectare (kg ha^{-1}) para grama por planta (g $planta^{-1}$) considerando o número de plantas por hectare (NP) espaçamento entre plantas (Sp) e entre linhas (Sl), o número de plantas por cova (n) e a recomendação (R) (Equação 23 e 24).

$$NP = \frac{10000}{Sp \cdot Sl} \tag{23}$$

Onde NP é o número de plantas por hectare (adimensional), Sp é o espaçamento entre plantas (m) e Sl é o espaçamento entre linhas de plantio (m). O valor de 10000 corresponde a conversão de hectare (ha) para metro quadrado (m²): 1 ha= 10000 m²,

$$Q_{nutr} = \left(\frac{RN \cdot n}{NP}\right) \cdot 1000 \tag{24}$$

Onde Q_{nutr} é a quantidade de nutriente (g $planta^{-1}$), RN é a recomendação nutricional (kg ha^{-1}), n é o número de plantas por cova (planta) e NP é o número de plantas por hectare (planta ha^{-1}). O valor de 1000 corresponde a conversão de kg para g.

No transplantio os nutrientes foram misturados em um recipiente com aproximadamente 300 grama de solo e aplicados nas covas. Já na cobertura os nutrientes foram aplicados em sulcos com profundidade de 0,15 m ao redor das plantas. A descrição da adubação do primeiro ciclo está apresentada no Quadro 8.

Quadro 8 – Descrição dos nutrientes, doses e aplicações utilizados na adubação do primeiro ciclo de cultivo

Nutriente	Fonte		Dosagem		N° de aplicações e dose (g $planta^{-1}$)					
	-	% do nutriente	kg ha^{-1}	g $planta^{-1}$	T	1	2	3	4	5
Nitrogênio (N)	Uréia	45% de N	85,00	37,40	18,70	3,74	3,74	3,74	3,74	3,74
Fósforo (P)	Super Fosfato Simples	18% de P	70,00	77,0	77,0	-	-	-	-	-
Potássio (K)	Cloreto de Potássio	60% de K_2O	150,00	49,50	24,75	4,95	4,95	4,95	4,95	4,95
Boro (B)	Ácido Bórico	17% de B	1,50	1,75	1,75	-	-	-	-	-
Zinco (Zn)	Sulfato de Zinco	20% de Zn	4,00	3,96	3,96	-	-	-	-	-

Sendo: T – transplantio das mudas.
Fonte: Autor (2024).

3.9.3 Manejo fitossanitário

No Brasil ainda não existe produtos registrados para o manejo e controle de doenças, fungos, vírus e o ataque de insetos na cultura do lúpulo, o que se torna um problema grave podendo prejudicar o crescimento, desenvolvimento e produção das plantas de lúpulo. A alternativa encontrada pelos produtores e pesquisadores é o monitoramento diário e controle preventivo à base de produtos naturais, por exemplo, o óleo de Neem (Guimarães, 2020). Entretanto, a ação lenta destes produtos pode inviabilizar o seu uso, sobretudo quando existe grande infestação na área de cultivo.

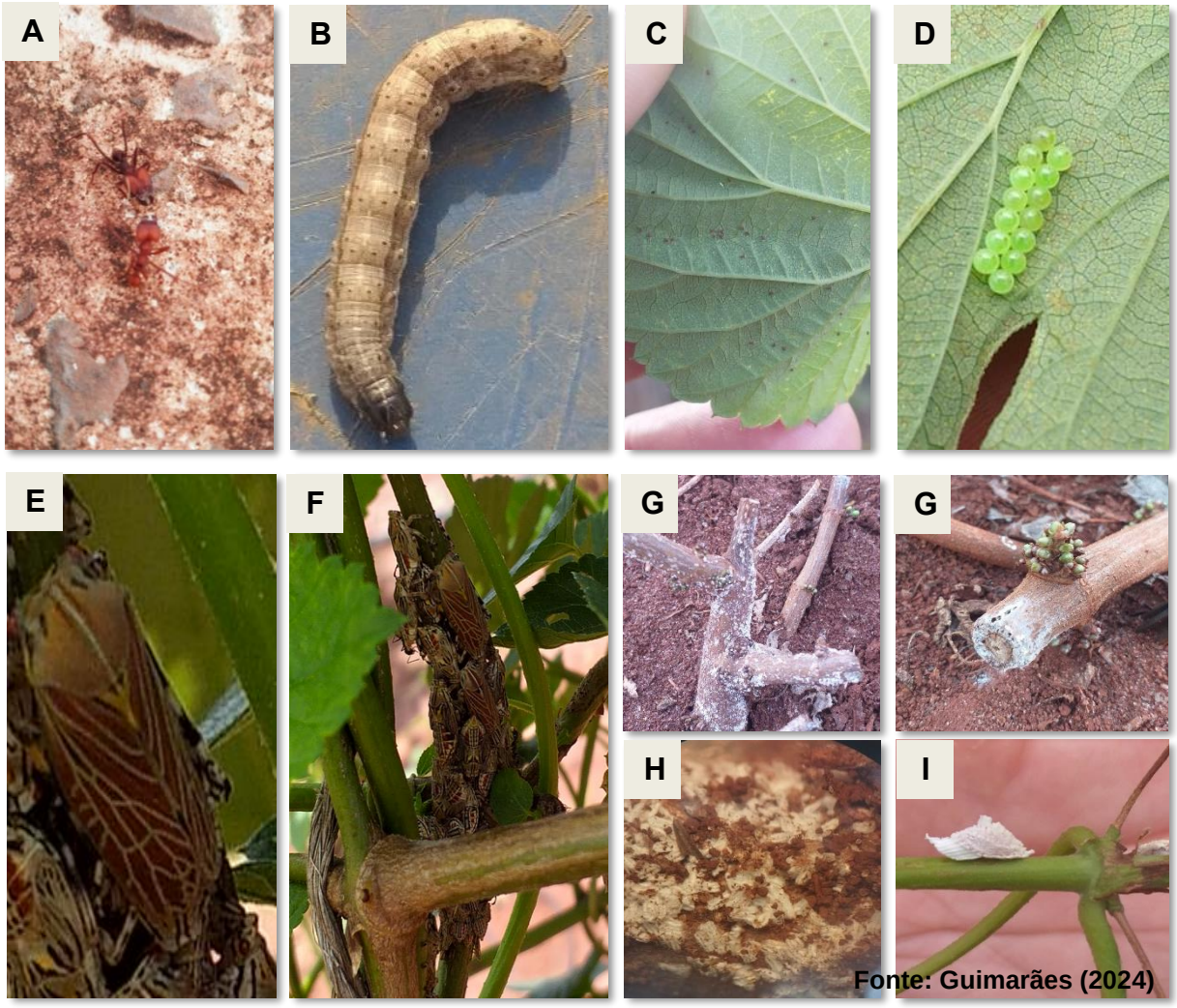
O monitoramento foi realizado diariamente com o auxílio de uma lupa controle, sendo monitorado a parte superior e inferior das folhas, caule e ramos. Já o controle preventivo iniciou-se aos 15 dias após o transplantio (DAT) das mudas com aplicação de óleo de Neem. As aplicações foram realizadas quinzenalmente, sempre as 18 horas para evitar queima das folhas por conta da temperatura e incidência da luz solar, perda do produto por evaporação, além disso, para aumentar o tempo de vida das gotas e maior possibilidade de o óleo alcançar o alvo biológico. Utilizou-se nas aplicações um pulverizador costal de acionamento manual e dosagem de 1,5 mL por litro de água conforme recomendação de Guimarães (2020).

Além das aplicações, utilizou-se por um período de 15 dias armadilha entomológica para captura de insetos voadores. Na ocasião, foi capturada a mariposa que é componente principal do ciclo de desenvolvimento da *Spodoptera frugiperda*, comumente conhecida por lagarta do cartucho, uma das principais pragas que atacam as plantas de lúpulo. Essa estratégia de manejo é simples, barata e eficiente, pois é possível identificar os insetos capturados e a partir disso, tomar decisões para o controle, se necessário. As armadilhas foram instaladas nos fios de arame galvanizado dos sistemas de condução (Figura 28).

Figura 28 – Armadilha entomológica para captura de insetos voadores

Embora o controle preventivo seja a principal alternativa utilizada pelos lupulicultores e pesquisadores, nesta pesquisa adotou-se o controle químico por conta da variedade, incidência e danos causados pelos agentes: formigas-cortadeiras (*Acromyrmex landolti*), vaquinha verde amarela (*Diabrotica speciosa*), lagarta do cartucho (*Spodoptera frugiperda*), ácaro rajado (*Tetranychus urticae*), percevejo verde (*Nezara viridula*), cigarrinha do pênduculo ou cigarrinha das frutíferas (*Aethalion reticulatum*), cochonilha escama farinha (*Pinnaspis aspidistrae*) e podridão de esclerotinia (*Sclerotinia sclerotiorum*) (Figura 29).

Figura 29 – Agentes identificados nas plantas de lúpulo var. Cascade durante o primeiro ciclo experimental



LEGENDA:

A- Formigas cortadeiras
B- Lagarta do cartucho
C- Ácaro rajado na parte inferior das folhas
D- Ovos de percevejo verde na parte inferior das folhas
E- Cigarrinha do pênduculo
F- Infestação de cigarrinha do pênduculo no caule
G- Colonização de cochonilha escama de farinha no caule
H- Colonização de cochonilha escama de farinha no caule vista através do microscópio
I- Cochonilha escama de farinha na fase adulta

Como mencionado, ainda não há produtos registrados para a cultura do lúpulo. Mas, como houve a necessidade de controle químico, adotou-se um manejo próprio, o qual foi dividido em duas etapas.

Inicialmente, foi realizado um levantamento na literatura e, junto a pesquisadores para identificar os produtos mais utilizados para cada um dos agentes. Após o levantamento e identificação iniciou-se a primeira etapa com os testes para definir a melhor dose, sendo adotado como tratamentos: referência (recomendação para a

cultura da uva e citros conforme a bula), uma dose abaixo e outra acima da recomendada. O objetivo principal dos testes foi verificar se ocorreria fitotoxidade nas plantas. Não havendo, realizou-se a aplicação nas plantas do delineamento experimental. Ressalta-se que, caso mais de uma dose não apresentasse fitotoxidade a dose escolhida foi a menor.

A segunda etapa teve como objetivo o controle parcial ou total dos agentes. Desta forma, realizaram-se as aplicações com a dose definida na primeira etapa para cada um dos agentes. As aplicações foram realizadas com auxílio de um pulverizador costal de acionamento manual, respeitando todas as orientações do produto. A síntese do manejo fitossanitário adotado está apresentada no Quadro 9.

Quadro 9 – Descrição do manejo fitossanitário adotado durante a condução do ciclo de cultivo

PRAGA		INFORMAÇÕES DO PRODUTO						APLICAÇÃO	
Nome comum	**Nome científico**	**Classe**	**P.A.**	**C**	**Ação**	**Dose**	**F.AP.**	**Época**	**Fase Fenológica**
Formiga Saúva	*Atta spp*	Formicida	Sulfluramida	3 g kg^{-1}	Ingestão	1 pct em 5 m²	Lanço	Quinzenalmente	
		Inseticida/ Cupinicida	Fipronil	800 g kg^{-1}	Contato e Ingestão	1 g L água	30 mL por formigueiro	Mensalmente	
Vaquinha verde-amarela	*Diabrotica speciosa*	Inseticida	Metomil	215 g L^{-1}	Contato e Sistêmico	0,33 mL L água	Pulverização Terrestre	33 DAT	Desenvolvimento
Lagarta do cartucho	*Spodoptera frugiperda*	Inseticida	Metomil	215 g L^{-1}	Contato e Sistêmico	0,33 mL L água	Pulverização Terrestre	33 DAT	Desenvolvimento
Ácaro rajado	*Tetranychus urticae*	Inseticida/ Acaricida	Abamectina	18 g L^{-1}	Contato e Ingestão	0,30 mL L água	Pulverização Terrestre	168 DAT	Média/Final
Percevejo verde	*Nezara viridula*	Inseticida/Acaricida/ Nematicida	Abamectina	18 g L^{-1}	Contato e Ingestão	0,50 mL L água	Pulverização Terrestre	182 DAT	Média/Final
Cigarrinha do pênduculo	*Aethalion reticulatum*	Inseticida/Acaricida/ Nematicida	Abamectina	18 g L^{-1}	Contato e Ingestão	0,50 mL L água	Pulverização Terrestre	215 DAT	Média/Final
Cochonilha escama farinha	*Pinnaspis aspidistrae*	Adjuvante/Espalhante/ Inseticida/Acaricida	Óleo Mineral	756 g L^{-1}	Contato e Sistêmico	0,50 mL L água	Pulverização Terrestre	215 DAT	Média/Final

Sendo: P.A – princípio ativo, C – concentração, F.AP. – forma de aplicação e DAT – dias após o transplantio.
Fonte: Autor (2024).

3.9.4 Ações mitigadoras de estresses abióticos

3.9.4.1 Cobertura do solo

A cobertura do solo utilizada foi matéria seca proveniente da poda dos gramados do departamento de Engenharia Rural e Socioeconomia (DERS) da FCA/UNESP. Aos sete dias após o transplantio (DAT) as mudas apresentaram sintomas de estresse (Figura 30) que pode estar associado a adaptação das mudas ao ambiente, bem como, a temperatura do ar e do solo o que pode ter levado as plantas ao estresse térmico. A matéria seca foi disposta em uma área equivalente a 0,50 m² da área ocupada por cada planta (Figura 31).

Figura 30 – Mudas de lúpulo com sintomas de estresse térmico aos 7 DAT

Figura 31 – Cobertura do solo com matéria seca

3.9.4.2 Fertilizante organomineral

O fertilizante organomineral foi aplicado via foliar para auxiliar na recuperação das plantas aos estresses abióticos. A composição de macro e micronutrientes e carbono orgânico auxilia na recuperação e aumenta a resistência das plantas às condições climáticas e até mesmo experimentais.

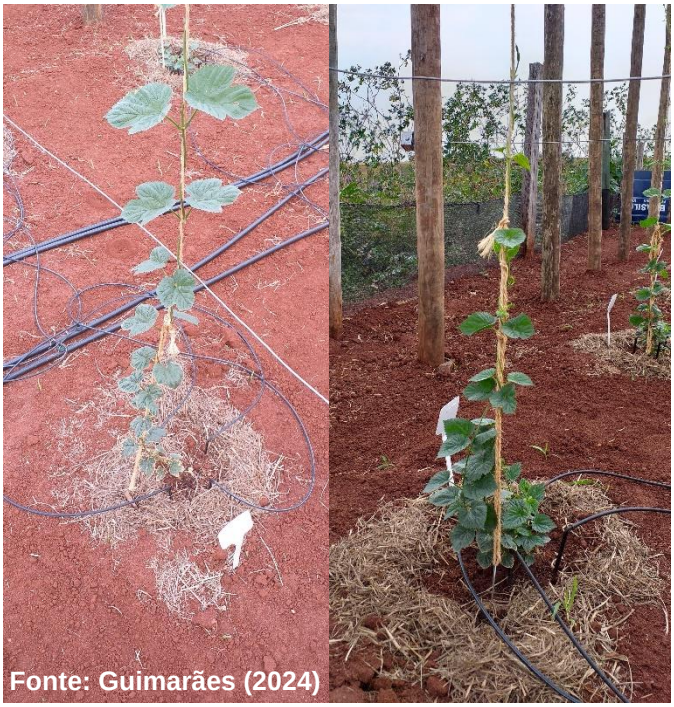
As aplicações foram realizadas com o auxílio de um pulverizador costal de acionamento manual. A composição do fertilizante, bem como a dosagem recomendada pelo fabricante para mudas e as épocas de aplicação estão apresentados no Quadro 10 e na Figura 32 é possível observar as mudas já recuperadas e em pleno crescimento após aplicação do fertilizante.

Quadro 10 – Composição do fertilizante organomineral, dosagem recomendada e épocas de aplicação

Elemento	**%**
Boro (B)	0,20
Cálcio (Ca)	1,00
Cobre (Cu)	0,20
Carbono Orgânico (C.O)	6,00
Enxofre (S)	0,80
Fósforo (P_2O_5)	8,00
Magnésio (Mg)	0,50
Manganês (Mn)	0,60
Nitrogênio (N)	5,00
Potássio (K_2O)	5,00
Zinco (Zn)	1,00
DOSE RECOMENDADA	
mL em 100 L	**mL por Litro**
50	0,50
ÉPOCA DE APLICAÇÃO	
DAT	**Fase**
15 e 22	Inicial

Sendo: DAT – dias após o transplantio.
Fonte: Guimarães (2024).

Figura 32 – Mudas de lúpulo recuperadas do estresse abiótico e em pleno crescimento



3.9.5 Instalação dos sistemas de condução dos ramos

Os sistemas de condução foram compostos de mourões de eucalipto tratado com diâmetro e comprimento de 0,12 m e 3,0 m, respectivamente, arame galvanizado n° 12 com 2,77 mm de espessura, catraca metálica para esticar arame liso e barbante sisal natural com 4 mm de espessura (Figura 33).

Para a instalação dos mourões de eucalipto utilizou-se uma cavadeira manual para a perfuração do solo (covas). As covas apresentaram 0,40 m de diâmetro e 0,50 m de profundidade e foram preenchidas com solo e brita n° 4 com granulometria de 50 a 76 mm para garantir maior fixação dos mourões. O arame galvanizado foi instalado nos mourões conforme os tratamentos (um fio para o sistema convencional de condução dos ramos - SCCR e três para o sistema alternativo de condução dos ramos - SACR). Para tal, foi utilizado uma furadeira elétrica adaptada com broca 1/4 para perfuração dos mourões e para manter os fios de arame esticado utilizou-se uma catraca metálica. Por fim, o barbante sisal foi amarrado no fio de arame superior e no ponto de apoio feito com madeira e arame, instalado a 0,20 m de profundidade e próximo da planta (Figura 34).

Figura 33 – Sistema de condução e seus componentes

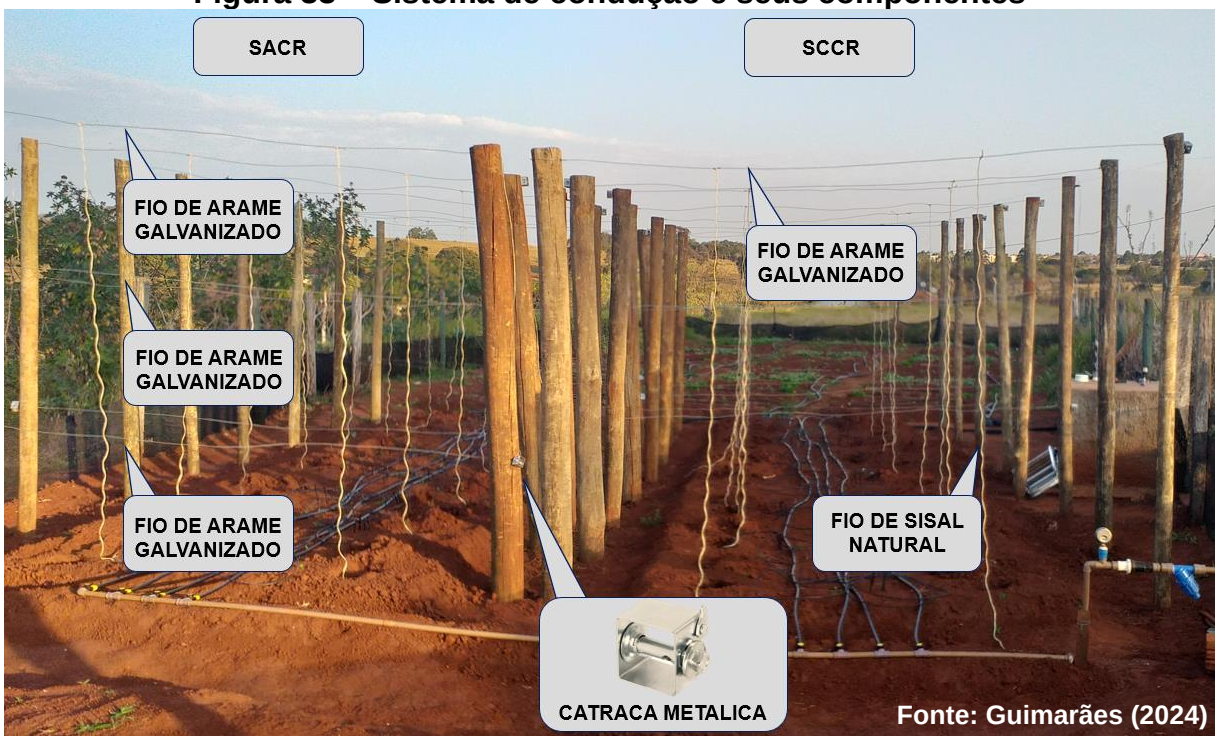


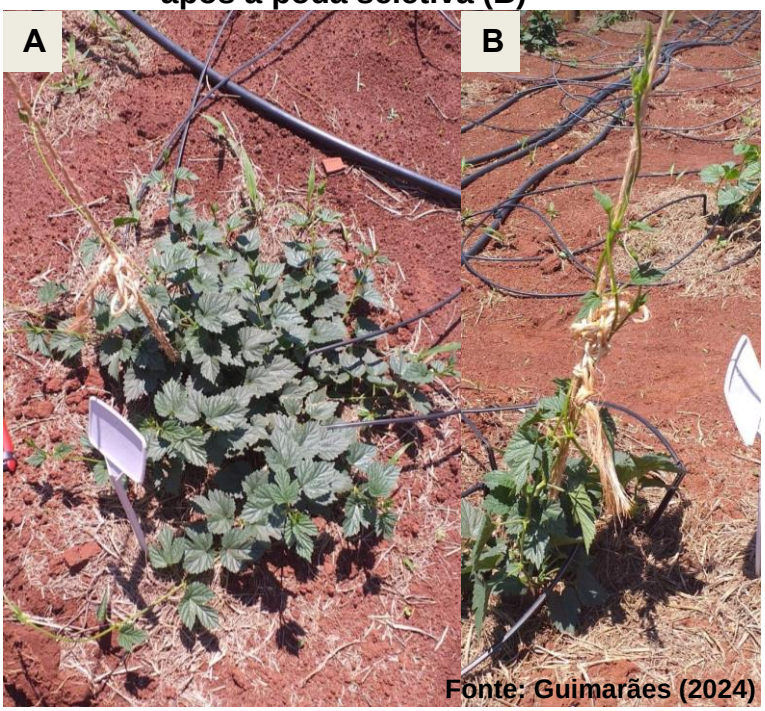
Figura 34 – Amarração barbante sisal natural no sistema de condução

3.9.6 Poda seletiva dos ramos

A poda seletiva foi realizada aos 30 dias após o transplantio (DAT) com o auxílio de uma tesoura de poda devidamente esterilizada, mantendo três brotos por planta para condução (Figura 35) conforme sugerido por De Keukeleire *et al*. (1999), Jackson; Siegle e Scoggins (2019) e Ferreira *et al*. (2022).

Posterior à poda utilizou-se uma pasta selante cicatrizante para impermeabilização dos cortes e proteção contra doenças. Durante todo o ciclo foi realizada a poda das novas brotações, mantendo-se apenas os três brotos selecionados na poda seletiva.

Figura 35 – Plantas de lúpulo aos 30 DAT antes da poda (A) e plantas de lúpulo após a poda seletiva (B)



Fonte: Guimarães (2024)

3.9.7 Condução das plantas nos sistemas de condução

Na lupulicultura a técnica utilizada para a condução dos ramos na fase inicial de crescimento se chama treinamento dos brotos. Assim, após a poda seletiva, realizou-se o treinamento dos brotos, no sentido horário pelo sisal.

No SCCR os três brotos foram conduzidos simultaneamente, enquanto no SACR, à medida que os brotos foram crescendo, realizou-se a condução em cada fio de arame. Lembrando que a altura entre os fios foi de 0,83 m, ou seja, atingindo essa altura os brotos foram direcionados para o fio de arame.

3.9.8 Início dos tratamentos

Os tratamentos com os níveis de irrigação iniciaram-se aos 64 dias após o transplantio (DAT) quando as plantas já estavam estabelecidas e em pleno desenvolvimento. Deste modo, durante os primeiros 64 dias foi adotado como manejo da irrigação o nível de 100% da demanda evapotranspirométrica da cultura (ETc). Já os tratamentos envolvendo os sistemas de condução iniciaram-se após a poda seletiva dos brotos, aos 31 DAT.

3.9.9 Colheita

A colheita foi realizada manualmente aos 96, 124, 146, 157, 162, 169, 196, 216 e 239 dias após o transplantio (DAT), totalizando nove colheitas durante o primeiro ciclo de cultivo (Figura 36). Os parâmetros que definem o momento de colheita são: coloração verde clara, textura de “papel”, aroma característico da cultura, especialmente quando o cone é retirado da planta e presença de lupulina (Figura 37 e 38). Posterior a colheita, os cones foram analisados e encaminhados para secagem e armazenamento.

Figura 36 – Colheita de cones de lúpulo var. Cascade

Fonte: Guimarães (2024)

Figura 37 – Cones de lúpulo var. Cascade

Figura 38 – Lupulina e glândulas secretoras de lúpulo var. Cascade

3.9.10 Secagem e armazenamento dos cones

A secagem dos cones foi realizada em estufa de circulação forçada de ar sob temperatura constante de 45°C por um período de 48 horas com o objetivo de reduzir a umidade e não causar deterioração dos compostos característicos do lúpulo. Após secagem, os cones foram embalados a vácuo (Figura 39) com auxílio de uma seladora de alimentos (Vacuum Sealer, modelo Z) e armazenados em refrigerador para conservação e posterior análise dos compostos.

Figura 39 – Armazenamento a vácuo de cones lúpulo var. Cascade

Fonte: Guimarães (2024)

3.10. Parâmetros avaliados

3.10.1 Biométricos

3.10.1.1 Comprimento máximo da planta (CMP)

O comprimento máximo da planta (CMP) foi determinada aos 241 dias após o transplantio (DAT) com auxílio de uma trena metálica Starrett modelo TS34-5ME graduada em milímetros (mm). Inicialmente foi realizado o corte do caule a 0,10 m de altura em relação ao solo e em seguida, mensurada a AP, partindo do ponto de corte até a inserção da última folha.

3.10.1.2 Diâmetro do caule

O diâmetro do caule (DC) foi determinado aos 241 dias após o transplantio (DAT) com auxílio de um paquímetro digital MTX modelo 316119 com resolução de 0,01 mm e graduado em milímetros (mm). Para padronização o DC foi mensurado 0,05 m acima do ponto de corte do caule.

3.10.2 Biomassa

3.10.2.1 Massa fresca e seca da folha e do caule

A massa fresca da folha (MFF) e do caule (MFC) foram determinadas aos 241 dias após o transplantio (DAT) a partir da separação e pesagem das folhas e do caule em balança SHIMADZU (Modelo AX200) com precisão de 0,0001 g. Posterior à pesagem, as partes (folhas e caule) foram armazenadas em papel Kraft e encaminhadas para o Laboratório de Qualidade da Água (FCA/UNESP) para secagem em estufa de circulação forçada de ar sob temperatura de 65°C por um período de 48 horas até atingirem massa constante. Ao final da secagem, as partes foram novamente pesadas para determinação da massa seca da folha (MSF) e do caule (MSC).

3.10.2.2 Biomassa seca total da planta

A biomassa seca total da planta (BST) foi determinada aos 241 dias após o transplantio (DAT) a partir da soma da MSF e MSC.

3.10.3 Fisiológicos

3.10.2.1 Potencial hídrico foliar

O potencial hídrico foliar (Ψ) foi avaliado aos 62, 99, 123, 195 e 213 dias após o transplantio (DAT) com auxílio da câmara de pressão de *Scholander* SAPS II (System Analysis of Plant Stress) modelo 3115.

As avaliações foram realizadas na antemanhã (5 horas da manhã) para expressar a condição real do status hídrico das plantas de lúpulo, pois neste período a planta não está realizando efetivamente suas atividades fisiológicas devido à ausência de luz e radiação. Para a determinação do Ψ foi coletada uma folha, totalmente desenvolvida, por planta preservando o pecíolo. Em seguida, realizou-se um corte no pecíolo, inserção da folha na câmara e aplicação de pressão (em bar) até a liberação da seiva do xilema (Figura 40).

Figura 40 – Avaliação do potencial hídrico foliar em plantas de lúpulo var. Cascade

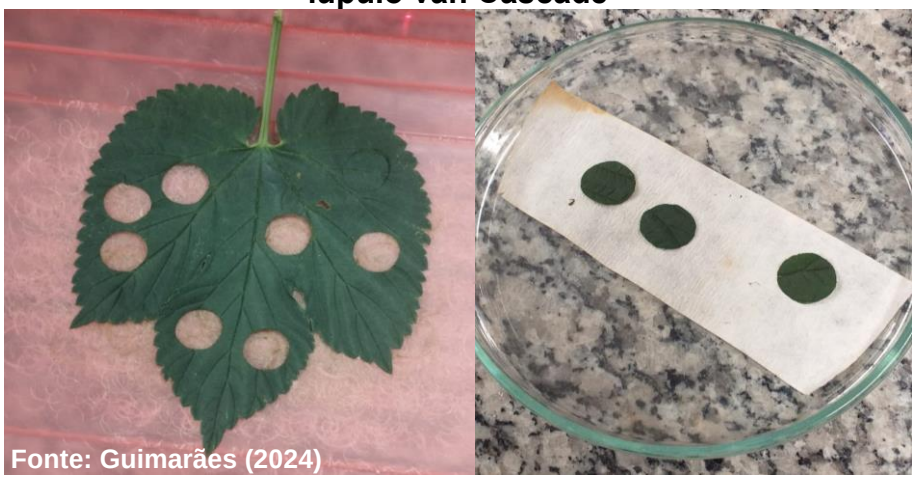
3.10.2.2 Conteúdo relativo de água

O conteúdo relativo de água (CRA) foi avaliado aos 62, 99, 123, 195 e 213 dias após o transplantio (DAT), sendo coletado uma folha, totalmente desenvolvida, por planta (Figura 41). As folhas coletadas foram armazenadas em papel Kraft e encaminhadas para o Departamento de Ciências Químicas e Biológicas do Instituto de Biociências (IB/UNESP), Câmpus de Botucatu para posterior determinação conforme a metodologia de Barr; Weatherley (1962).

Figura 41 – Folha de lúpulo var. Cascade totalmente desenvolvida utilizada nas avaliações fisiológicas

Inicialmente foi determinada a massa fresca do tecido foliar vegetal (MF). Para isso, três discos foliares com 0,69 cm² de diâmetro foram cortados, pesados em balança digital de precisão SHIMADZU modelo AX200 com precisão de 0,0001 g e mantidos em água destilada e em incubação por um período de seis horas para determinação da massa túrgida do tecido foliar vegetal (MT) (Figura 42). Por fim, determinou-se a massa seca do tecido foliar vegetal (MS), em que os discos foliares foram mantidos em estufa de circulação de ar forçada a 65ºC por um período de 24 horas e pesados em balança de precisão.

Figura 42 – Procedimento de corte e encubação dos discos foliares para determinação da massa túrgida do tecido foliar vegetal (MT) de plantas de lúpulo var. Cascade



O CRA foi determinado pela Equação 25 que expressa a relação das massas (MF, MT e MS) do tecido foliar vegetal.

$$CRA = \left[\left(\frac{MF - MS}{MT - MS}\right)\right] . 100 \quad (25)$$

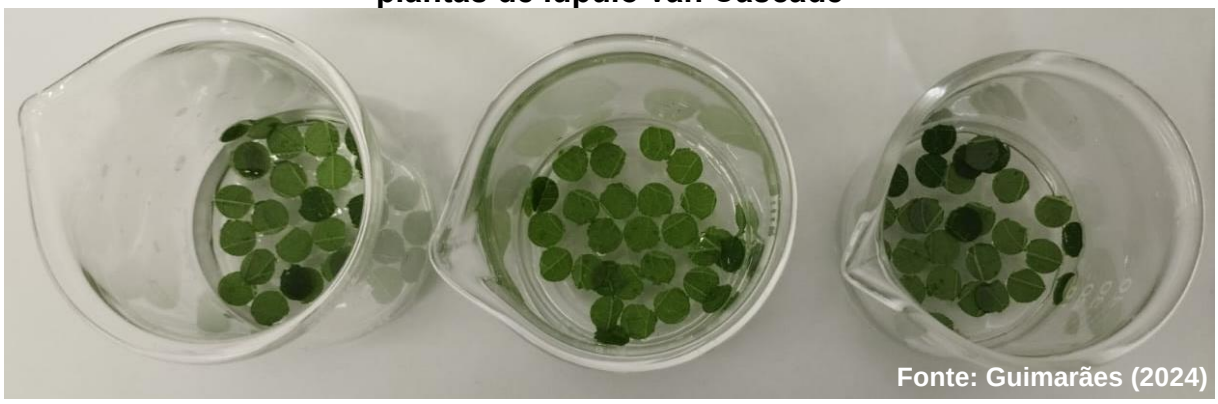
Onde CRA é o conteúdo relativo de água (%), MF é a massa fresca do tecido foliar vegetal (g), MT é a massa túrgida do tecido foliar vegetal (g) e MS é a massa seca do tecido foliar vegetal (g).

3.10.2.3 Perda de eletrólitos

A perda de eletrólitos (PE) foi avaliada aos 62, 99, 123, 195 e 213 dias após o transplantio (DAT), sendo coletado uma folha, totalmente desenvolvida, por planta. As folhas coletadas foram armazenadas em papel Kraft e encaminhadas para o Departamento de Ciências Químicas e Biológicas do Instituto de Biociências (IB/UNESP), Câmpus de Botucatu.

A metodologia utilizada para determinação da PE foi a de Lafuente *et al*. (1991). Desta forma, para cada planta, 30 discos foliares com diâmetro de 2 mm foram cortados e acondicionados em um *becker* com solução de 10 mL de manitol a 0,3 molar (Figura 43).

Figura 43 – Discos foliares para determinação da perda de eletrólitos (PE) das plantas de lúpulo var. Cascade



Os discos foliares + solução foram mantidos em agitação por um período de 24 horas e, após esse período com auxílio de um condutivímetro digital portátil AKSO modelo AK51 foi aferido a condutividade elétrica (C1). Os *beckers* (discos + solução) foram pesados em balança digital de precisão SHIMADZU modelo AX200 com precisão de 0,0001 g e mantidos sob fervura em agitador magnético com aquecimento por um período de 10 minutos (Figura 44).

Figura 44 – Discos foliares sob fervura para determinação da perda de eletrólitos (PE) das plantas de lúpulo var. Cascade

Fonte: Guimarães (2024)

Após fervura, os *beckers* (discos + solução) foram pesados em balança de precisão, reposto o volume perdido com água destilada e mantidos sob agitação por um período de 10 minutos. Ao final, foi aferida a condutividade elétrica (C2) e determinado a PE pela Equação 26.

$$PE = \frac{C1}{C2} \cdot 100 \qquad (26)$$

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

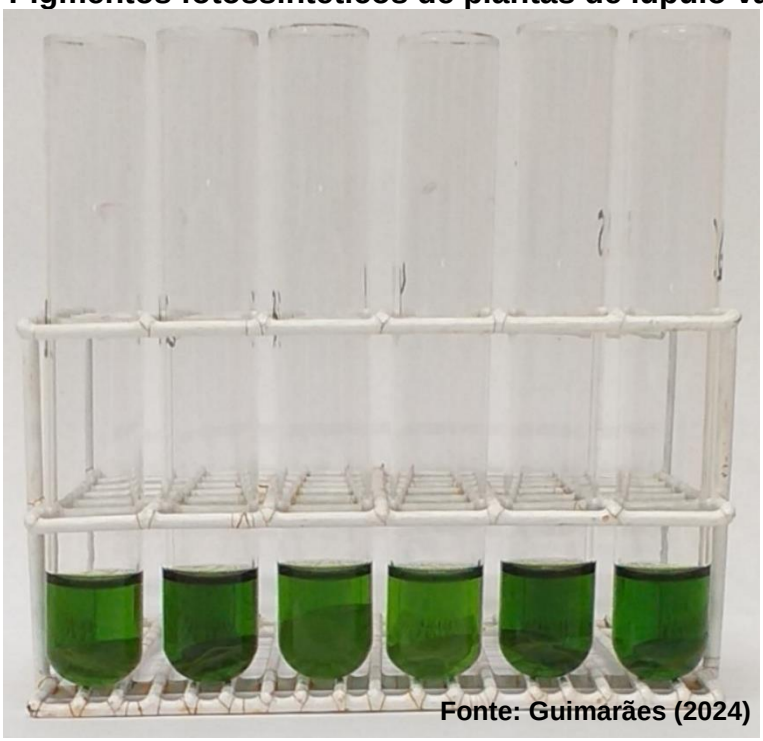
3.10.2.4 Pigmentos fotossintéticos

Os pigmentos fotossintéticos: clorofila *a* (ClorA), clorofila *b* (ClorB) e carotenoides totais (CT) foram avaliados aos 62, 99, 123, 195 e 213 dias após o transplantio (DAT), sendo coletada uma folha, totalmente desenvolvida, por planta. As folhas coletadas foram armazenadas em papel Kraft e encaminhadas para o Departamento de Ciências Químicas e Biológicas do Instituto de Biociências (IB/UNESP), Câmpus de Botucatu.

A metodologia utilizada para a determinação dos pigmentos foliares foi a proposta por Hiscox e Israelstam (1979). Para cada planta, quatro discos foliares, dois para cada tubo, com 2 cm de diâmetro foram cortados e acomodados em tubos de ensaio com 1 mL de solução de dimetilformamida (DMF). Os tubos foram cobertos com papel

alumínio e mantidos em local sem incidência de luz por um período de 24 horas para a extração dos pigmentos. Após as 24 horas com o auxílio de espectrofotômetro SHIMADZU modelo UVmini-1240 utilizando os comprimentos de ondas de 480 nm (absorbância A), 646,8 nm (absorbância B) e 663,8 nm (absorbância C) foi determinado a densidade ótica (D.O.) da solução (DMF + pigmentos) (Figura 45).

Figura 45 – Pigmentos fotossintéticos de plantas de lúpulo var. Cascade



Fonte: Guimarães (2024)

A partir das leituras no espectrofotômetro e das Equações 27, 28 e 29 foram determinados os pigmentos foliares ClorA, ClorB e Carot., respectivamente.

$$\text{ClorA} = (12 \,.\, \text{absorbância C}) - (3{,}11 \,.\, \text{absorbância B}) \quad (27)$$

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

$$\text{ClorB} = (20{,}78 \,.\, \text{absorbância B}) - (4{,}88 \,.\, \text{absorbância C}) \quad (28)$$

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

$$CT = \frac{(1000 \,.\, \text{absorbância A}) - (1{,}12 \,.\, \text{ClorA}) - (34{,}07 \,.\, \text{ClorB})}{245} \quad (29)$$

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

3.10.2.5 Trocas gasosas e fluorescência da clorofila

As trocas gasosas foram avaliadas aos 62, 99, 123, 195 e 213 dias após o transplantio (DAT) e a fluorescência da clorofila aos 62 DAT, ambas com auxílio de um analisador infravermelho de gases (IRGA) LI-COR modelo LI-6400 Portable Photosynthesis System.

Para a avaliação da fluorescência de clorofila cobriu-se a folha com papel Kraft por um período de 30 minutos. Posteriormente, o analisador juntamente com a folha foi coberto com tecido TNT de cor preto, de modo, que não houvesse incidência de luz, assim, realizou-se a avaliação.

As avaliações de trocas gasosas foram realizadas no período da manhã (entre 9 e 11 horas), sendo escolhido uma folha, totalmente desenvolvida, por planta (Figura 46). Além disso, foi utilizado o valor de 1600 µmol m^{-2} s^{-1} que corresponde taxa máxima de absorção luminosa, ou seja, a taxa fotossintética máxima que a planta de lúpulo exerce (Guimarães *et al*., 2021).

Figura 46 – Avaliação das trocas gasosas com analisador de trocas gasosas (IRGA) em plantas de lúpulo var. Cascade

3.10.4 Biometria dos cones

As avaliações foram realizadas em todas as colheitas (96, 124, 146, 157, 162, 169, 196, 216 e 239 DAT), sendo avaliado o comprimento médio (L_{cone}), diâmetro médio (D_{cone}) e a massa fresca média (MF10) de dez cones. Para isso, foram selecionados aleatoriamente dez cones por planta e com o auxílio de um paquímetro digital MTX modelo 316119 com resolução de 0,01 mm e graduado em mm e de uma balança digital de precisão SHIMADZU modelo AX200 com precisão de 0,0001 g determinou-se o L_{cone}, D_{cone} e a MF10, respectivamente.

3.10.5 Produção de cones

A produção de cones (P) expressa em gramas por planta (g planta^{-1}) foi determinada pela soma da massa fresca dos cones de todas as colheitas para cada uma das plantas.

3.10.6 Produtividade de cones

A produtividade de cones (Y), expressa em quilograma por hectare (kg ha^{-1}) foi determinada pela multiplicação da produção (P) pelo número de plantas por hectare (NP). O NP foi determinado pela Equação 24.

3.10.7 Produtividade de água da cultura

A produtividade da água da cultura (PAC) foi estimada pela Equação 30 que expressa a relação entre a produtividade de cones por unidade de área (Y) e a lâmina aplicada.

$$PAC = \frac{Y}{LB} \tag{30}$$

Onde PAC é a produtividade da água da cultura (kg mm^{-1}), Y é a produção por unidade de área (kg ha^{-1}) e LB é a lâmina bruta (mm).

3.10.8 Compostos químicos nos cones

Os compostos (alfa e beta ácido) e do índice de degradação (HSI – Hop Storage Index) foram determinados em triplicatas seguindo os protocolos ASBC HOPS 4, 6 e 12 propostos pela American Society of Brewing Chemist (ASBC). Para tal, 32 amostras contendo 50 g de lúpulo seco cada, foram encaminhadas para o Laboratório

da Cerveja, situado estado de Minas Gerais. Os resultados das amostras apresentaram coeficiente de variação inferior a 5%.

3.11. Análise estatística

Os dados coletados foram tabulados e submetidos a análise de variância através da ANOVA. Para tal, adotou-se duas hipóteses: H0 – hipótese nula ($p<0,05$), as médias não diferem entre si; Ha – hipótese alternativa ($p\geq0,05$), as médias diferem entre si.

Posteriormente, verificou-se a normalidade por meio dos testes de Shapiro-Wilk, Kolmogorov-Smirnov e Anderson-Darling, a homocedasticidade através dos testes de Bartlett, Levene e Brown-Forsythe e a aditividade.

Para a normalidade e homocedasticidade assumiu-se duas hipóteses: H0 – distribuição normal dos dados e variâncias iguais a zero ($p\geq0,05$) e Ha – dados não seguem distribuição normal e as variâncias são diferentes de zero ($p<0,05$). Para a aditividade, as hipóteses foram: H0 – dados são aditivos, ou seja, não há interação significativa entre os tratamentos e os blocos ($p\geq0,05$) e Ha – dados não são aditivos, ou seja, há interação significativa entre os tratamentos e os blocos ($p<0,05$).

Quando se rejeitou a hipótese nula (H0), os dados via ANOVA foram submetidos a análise de regressão polinomial: linear, quadrática e/ou cúbica. O critério adotado para a escolha do modelo polinomial foi quando os coeficientes (b0, b1 e/ou b2) foram significativos ($p<0,05$).

Todas as análises estatísticas foram realizadas com o auxílio do software R Studio, versão 4.1.3 (R Core Team, 2022) e para melhor interpretação dos resultados, figuras (gráficos) foram elaboradas através do software SigmaPlot®, versão 14 (SYSTAT SOFTWARE, 2019).

4 RESULTADOS

A média, o desvio padrão, resumo da análise de variância (ANOVA), desdobramento da interação dos fatores (NI x SC) e o ajuste dos modelos polinomiais de regressão estão apresentados nos Apêndices 1 a 55.

Os parâmetros das trocas gasosas e fluorescência da clorofila aos 62 dias após o transplantio (DAT) estão apresentados na Tabela 1. Notou-se que houve diferença significativa apenas para a eficiência quântica fotoquímica efetiva do PSII (Fv'/Fm') e para o coeficiente de extinção não fotoquímica do PSII (NPQ).

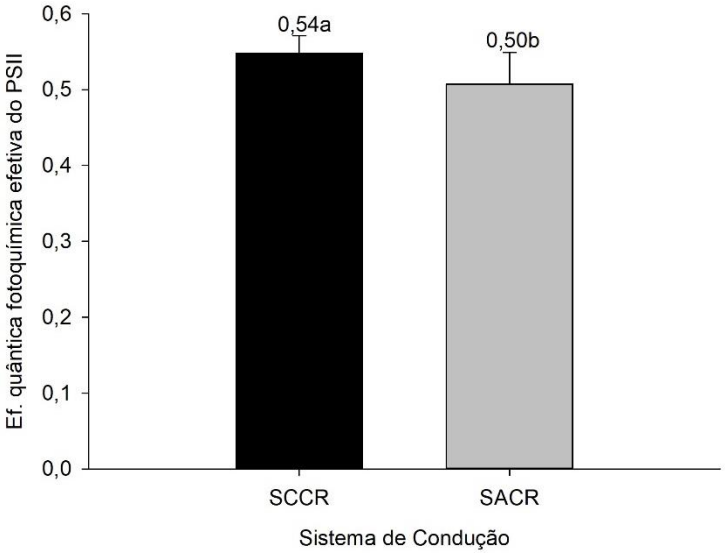
Tabela 1 – Valores de p, F calculado e dos coeficientes de variação experimental para as trocas gasosas e fluorescência da clorofila das plantas de lúpulo var. Cascade em função dos sistemas de condução dos ramos aos 62 DAT

Parâmetro	F_{calc}	*p-valor*	C.V. (%)
A	0,75	$0,402^{ns}$	10,78
Gs	0,02	$0,868^{ns}$	12,57
Ci	3,00	$0,110^{ns}$	4,57
E	0,62	$0,446^{ns}$	14,91
EiC	2,69	$0,128^{ns}$	15,46
EUA	2,78	$0,123^{ns}$	19,73
Fv/Fm	0,07	$0,782^{ns}$	5,64
Fv'/Fm'	5,20	0,043*	6,80
qP	0,00	$0,923^{ns}$	12,75
NPQ	9,84	0,009*	25,00
ETR	1,51	$0,244^{ns}$	12,39

Sendo: A – taxa de assimilação de CO_2, Gs – condutância estomática, Ci – concentração interna de CO_2, E – taxa de transpiração, EiC – eficiência instantânea de carboxilação, EUA – eficiência instantânea do uso da água, Fv/Fm – rendimento quântico máximo do PSII, Fv'/Fm' – eficiência quântica fotoquímica efetiva do PSII, qP – coeficiente de extinção fotoquímica do PSII, NPQ - coeficiente de extinção não fotoquímica do PSII, ETR – taxa de transferência relativa de elétrons, CV – coeficiente de variação experimental, *p-valor* – valor de p, * – significativo ($p<0,05$) e ns – não significativo ($p>0,05$).

Os sistemas de condução dos ramos influenciaram a Fv'/Fm', sendo que as plantas de lúpulo conduzidas no sistema convencional de condução dos ramos (SCCR) apresentaram a maior média para o parâmetro quando comparadas ao sistema alternativo de condução dos ramos (SACR) com diferença significativa entre si (Figura 47).

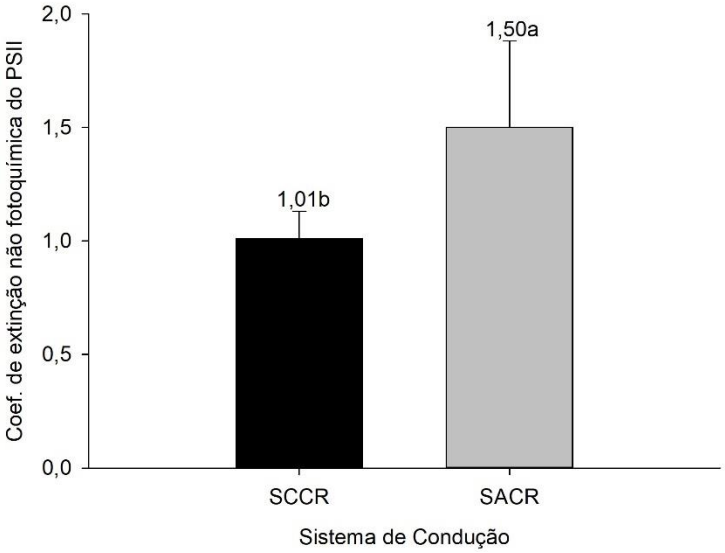
Figura 47 – Eficiência quântica fotoquímica efetiva do PSII (Fv'/Fm') das plantas de lúpulo var. Cascade em função dos sistemas de condução dos ramos aos 62 DAT



*Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si para o sistema de condução dos ramos pelo teste de comparações múltiplas (Tukey) ao nível de 5% de significância.

Observa-se na Figura 48 que houve diferença significativa entre os sistemas de condução dos ramos para o NPQ. As plantas conduzidas no SACR apresentaram média superior ao SCCR, com acréscimo de 49%.

Figura 48 – Coeficiente de extinção não fotoquímica do PSII (NPQ) das plantas de lúpulo var. Cascade em função dos sistemas de condução dos ramos aos 62 DAT



*Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si para o sistema de condução dos ramos pelo teste de comparações múltiplas (Tukey) ao nível de 5% de significância.

Verifica-se na Tabela 2 que houve interação significativa entre os sistemas de condução dos ramos (SC) e níveis de irrigação (NI) para a taxa de assimilação de CO_2, condutância estomática (Gs), concentração interna de CO_2, eficiência

instantânea de carboxilação (EiC) e eficiência instantânea do uso da água (EUA) aos 99 DAT.

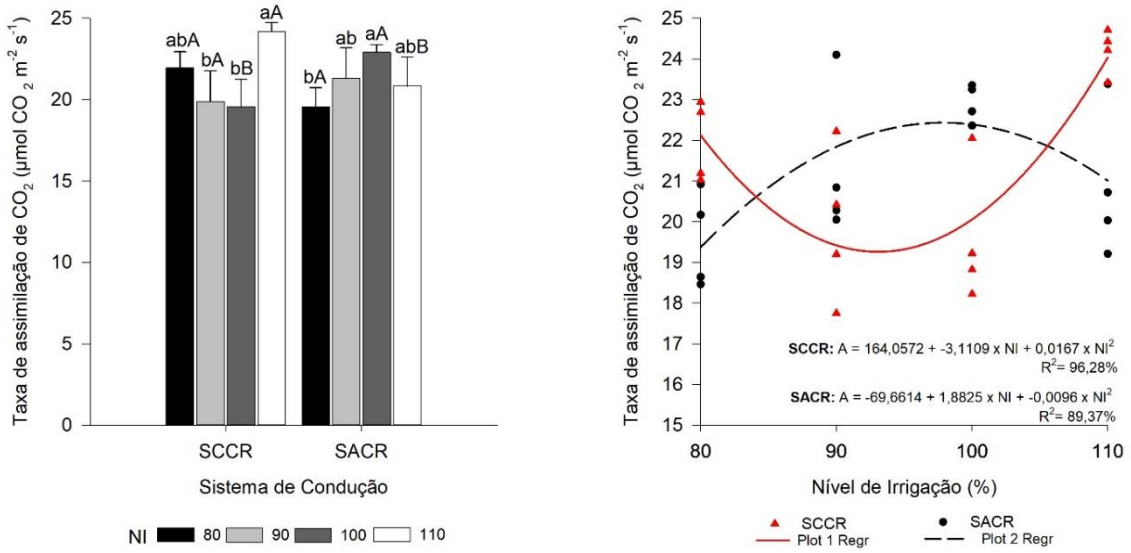
Tabela 2 – Valores de p, F calculado e dos coeficientes de variação experimental para as trocas gasosas das plantas de lúpulo var. Cascade em função dos níveis de irrigação e sistemas de condução dos ramos aos 99 DAT

99 DAT							
Parâmetro	SC		NI		SC x NI		CV (%)
	F_{calc}	*p-valor*	F_{calc}	*p-valor*	F_{calc}	*p-valor*	
A	0,24	0,626^{ns}	2,83	0,626^{ns}	9,44	<0,001*	6,84
Gs	6,68	0,017*	2,21	0,116^{ns}	3,41	0,036*	4,33
Ci	28,94	<0,001	6,55	0,002*	20,70	<0,001*	1,35
E	0,78	0,384^{ns}	0,53	0,665^{ns}	0,51	0,678^{ns}	7,67
EiC	2,15	0,157^{ns}	4,33	0,015*	13,26	<0,001*	7,48
EUA	2,09	0,162^{ns}	1,12	0,361^{ns}	4,24	0,017*	8,55

Sendo: A – taxa de assimilação de CO_2, Gs – condutância estomática, Ci – concentração interna de CO_2, E – taxa de transpiração, EiC – eficiência instantânea de carboxilação, EUA – eficiência instantânea do uso da água, SC – sistema de condução, NI – nível de irrigação, SC x NI – interação dos fatores, F_{calc} – valor de F calculado, *p-valor* – valor de p, CV – coeficiente de variação experimental; * – significativo (p<0,05) e ns – não significativo (p>0,05).

O desdobramento da interação entre os fatores (Figura 49) mostra que as plantas de lúpulo apresentam resposta quadrática para a taxa de assimilação de CO_2 (A). Observou-se que as plantas cultivadas em SCCR associadas ao NI110 (24,19±0,55) e NI80 (21,96±0,98) apresentam as maiores médias entre si e quando comparadas ao SACR (20,83±1,80 e 19,54±1,19). Por outro lado, ao utilizar o SACR as plantas tendem a aumentar a A em função dos níveis (NI80, NI90 e NI100) e redução quando se utiliza a maior reposição hídrica (NI110). A melhor média obtida foi quando se utiliza o NI100 (22,91±0,46).

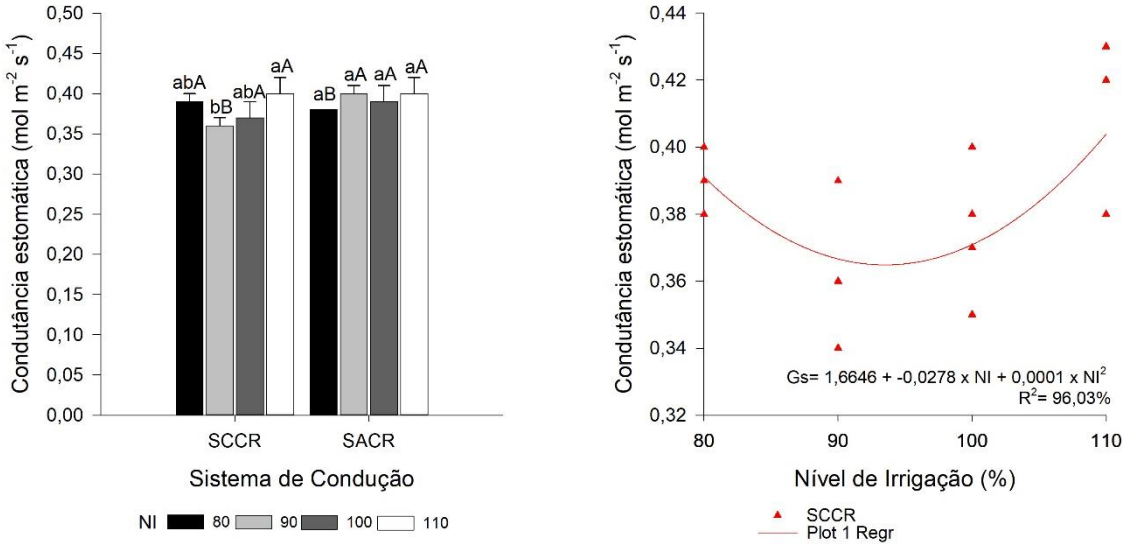
Figura 49 – Interação entre os sistemas de condução dos ramos (A) e níveis de irrigação (B) para a taxa de assimilação de CO_2 (A) das plantas de lúpulo var. Cascade aos 99 DAT



*Médias seguidas pela mesma letra minúscula para os níveis de irrigação e maiúscula para os sistemas de condução não diferem estatisticamente entre si para o sistema de condução dos ramos pelo teste de comparações múltiplas (Tukey) ao nível de 5% de significância.

Para a condutância estomática (Gs) houve interação significativa entre os fatores (Figura 50). Por meio do desdobramento, verificou-se que as plantas cultivadas no SCCR apresentam comportamento quadrático, sendo o NI110 e NI80 os que proporcionam maiores médias (0,39±0,01 e 0,40±0,02). Além disso, observou-se que, no SACR, o NI90 e NI110, apresentam as maiores médias (0,40±0,01 e 0,40±0,02) entre si e em comparação ao SCCR. Desta forma, ao utilizar o SACR e NI90 as plantas de lúpulo apresentam maior capacidade de abertura estomática.

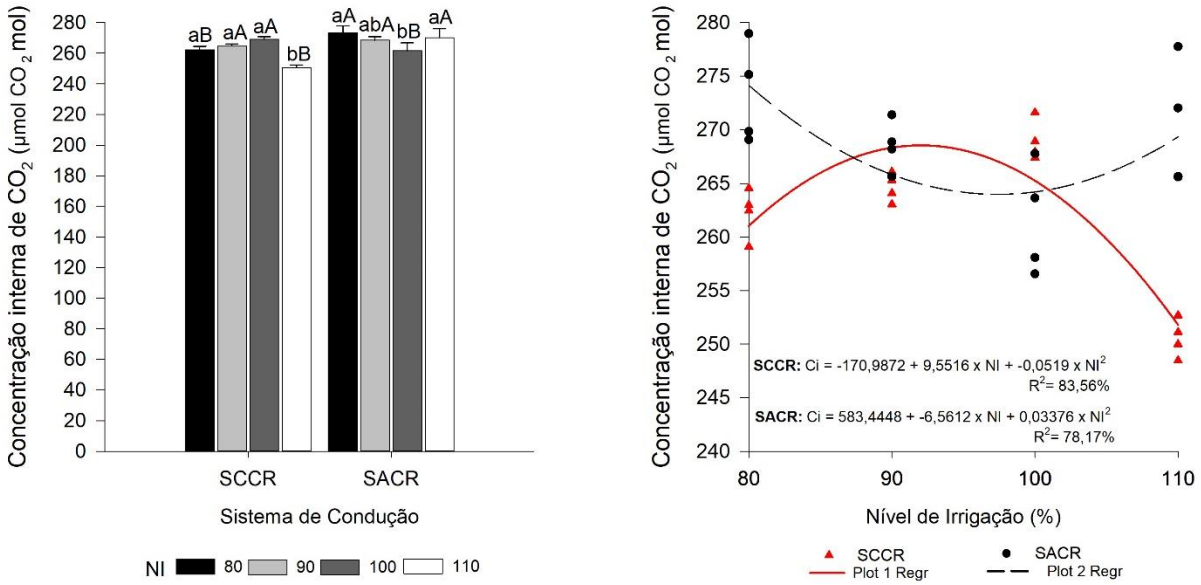
Figura 50 – Interação entre os sistemas de condução dos ramos e níveis de irrigação para a condutância estomática (Gs) das plantas de lúpulo var. Cascade aos 99 DAT



*Médias seguidas pela mesma letra minúscula para os níveis de irrigação e maiúscula para os sistemas de condução não diferem estatisticamente entre si para o sistema de condução dos ramos pelo teste de comparações múltiplas (Tukey) ao nível de 5% de significância.

A concentração interna de CO_2 (Ci) apresentou interação significativa entre os fatores e comportamento quadrático de resposta (Figura 51). Observou-se que, para o SCCR a maior média obtida foi quando se utilizou o NI100 (268,95±1,88). Para o SACR, notou-se que o NI90 e NI110 proporcionaram as maiores médias quando comparadas com o SCCR, embora quando comparadas entre si as maiores médias foram para o NI80 (273,25±4,66) e NI110 (270,25±5,84). Ademais, o NI90 (268,52±2,35) apresentou média superior ao NI100 (261,51±5,16), ou seja, reduzindo 10% da reposição hídrica há aumento em 3% da Ci das plantas de lúpulo sob cultivo em SACR.

Figura 51 – Interação entre os sistemas de condução dos ramos e níveis de irrigação para a concentração interna de CO_2 (Ci) das plantas de lúpulo var. Cascade aos 99 DAT

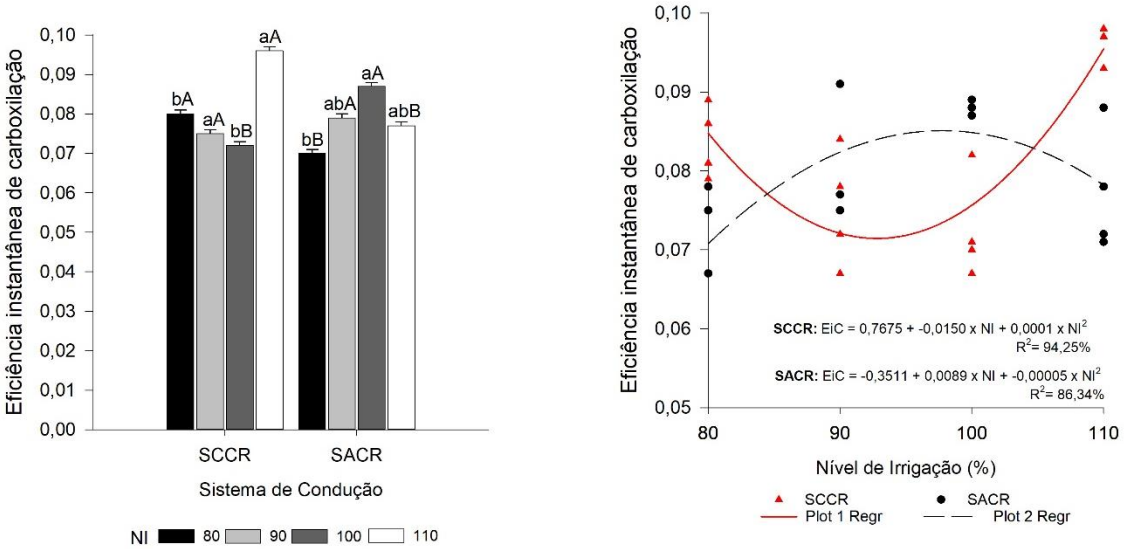


*Médias seguidas pela mesma letra minúscula para os níveis de irrigação e maiúscula para os sistemas de condução não diferem estatisticamente entre si para o sistema de condução dos ramos pelo teste de comparações múltiplas (Tukey) ao nível de 5% de significância.

A eficiência instantânea de carboxilação (EiC) apresentou interação significativa entre os fatores e comportamento quadrático de resposta (Figura 52). No SCCR a maior EiC foi observada para o NI110 e NI80 (0,09±0,00 e 0,08±0,00). Tal resultado indica que, embora a maior média de Ci foi para as plantas sob NI80, a EiC se dá em plantas sob NI110, ou seja, é necessário aumentar em 20% da reposição hídrica para se obter maior eficiência fotossintética.

Para o SACR, observou-se que as maiores médias de EiC foram para as plantas submetidas ao NI90 e NI100 (0,08±0,00, cada), corroborando com as menores médias de Ci. Desta forma, o cultivo de plantas de lúpulo em SACR e NI90 apresentam maior eficiência na conversão de CO_2, ou seja, reduzindo em 10% a reposição hídrica é possível obter EiC igual as plantas cultivadas em SACR e NI100.

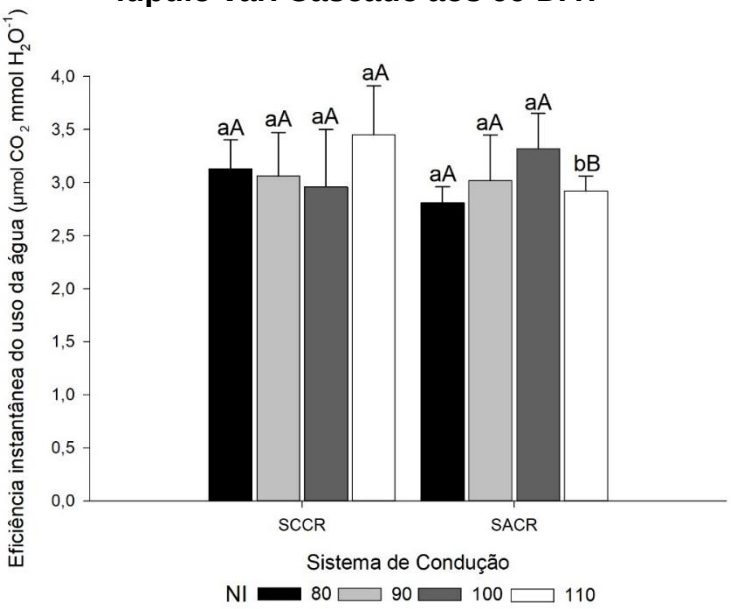
Figura 52 – Interação entre os sistemas de condução dos ramos e níveis de irrigação para a eficiência instantânea de carboxilação (EiC) das plantas de lúpulo var. Cascade aos 99 DAT



*Médias seguidas pela mesma letra minúscula para os níveis de irrigação e maiúscula para os sistemas de condução não diferem estatisticamente entre si para o sistema de condução dos ramos pelo teste de comparações múltiplas (Tukey) ao nível de 5% de significância.

A eficiência instantânea do uso da água (EUA) apresentou interação significativa entre os fatores (Figura 53). A EUA não difere estatisticamente entre os sistemas de condução quando se utiliza NI80, NI90 e N100, mas apenas para SCCR e NI110 (3,45±0,46).

Figura 53 – Interação entre os sistemas de condução dos ramos e níveis de irrigação para a eficiência instantânea do uso da água (EUA) das plantas de lúpulo var. Cascade aos 99 DAT



*Médias seguidas pela mesma letra minúscula para os níveis de irrigação e maiúscula para os sistemas de condução não diferem estatisticamente entre si para o sistema de condução dos ramos pelo teste de comparações múltiplas (Tukey) ao nível de 5% de significância.

Na Tabela 3 estão apresentados os resultados dos parâmetros de trocas gasosas avaliados aos 123 DAT. Observou-se efeito de interação significativa entre os fatores para os parâmetros A, Gs, E, EiC e efeito isolado dos NI para a Ci.

Tabela 3 – Valores de p, F calculado e dos coeficientes de variação experimental para as trocas gasosas das plantas de lúpulo var. Cascade em função dos níveis de irrigação e sistemas de condução dos ramos aos 123 DAT

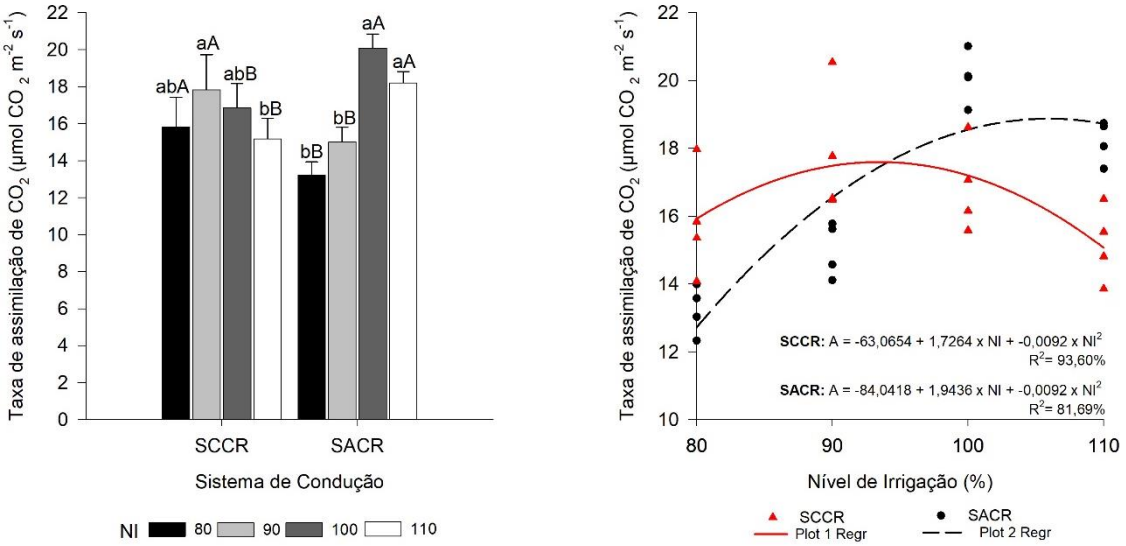
Parâmetro	SC		NI		SC x NI		CV (%)
	F_{calc}	*p-valor*	F_{calc}	*p-valor*	F_{calc}	*p-valor*	
A	0,26	$0,610^{ns}$	14,81	<0,001*	16,04	<0,001*	7,19
Gs	0,07	$0,796^{ns}$	3,98	0,021*	10,27	<0,001*	11,57
Ci	0,27	$0,607^{ns}$	8,33	<0,001*	0,86	$0,475^{ns}$	2,60
E	0,68	$0,418^{ns}$	5,62	0,005*	11,76	<0,001*	10,03
EiC	0,46	$0,501^{ns}$	18,59	<0,001*	14,63	<0,001*	8,02
EUA	1,20	$0,284^{ns}$	1,61	$0,284^{ns}$	1,48	$0,284^{ns}$	11,44

Sendo: A – taxa de assimilação de CO_2, Gs – condutância estomática, Ci – concentração interna de CO_2 na folha, E – taxa de transpiração, EiC – eficiência instantânea de carboxilação, EUA – eficiência instantânea do uso da água, SC – sistema de condução, NI – nível de irrigação, SC x NI – interação dos fatores, F_{calc} – valor de F calculado, *p-valor* – valor de p, CV – coeficiente de variação experimental; * – significativo (p<0,05) e ns – não significativo (p>0,05).

A taxa de assimilação de CO_2 (A) apresentou interação significativa entre os fatores e comportamento quadrático para os níveis de irrigação (Figura 54). Observou-se pelo desdobramento que as plantas cultivadas em SCCR apresentaram médias maiores que o SACR para os NI80 e NI90. Já as plantas conduzidas em SACR apresentaram médias superiores ao SCCR sob o NI100 e NI110.

Sob SCCR a maior média foi verificada quando se utilizou o NI90 (17,83±1,90), diferindo estatisticamente do SACR (15,01±0,80). Enquanto no SACR a maior taxa de assimilação de CO_2 foi quando se utilizou o NI100 (20,09±0,76).

Figura 54 – Interação entre sistemas de condução dos ramos e níveis de irrigação para a taxa de assimilação de CO_2 (A) das plantas de lúpulo var. Cascade aos 123 DAT

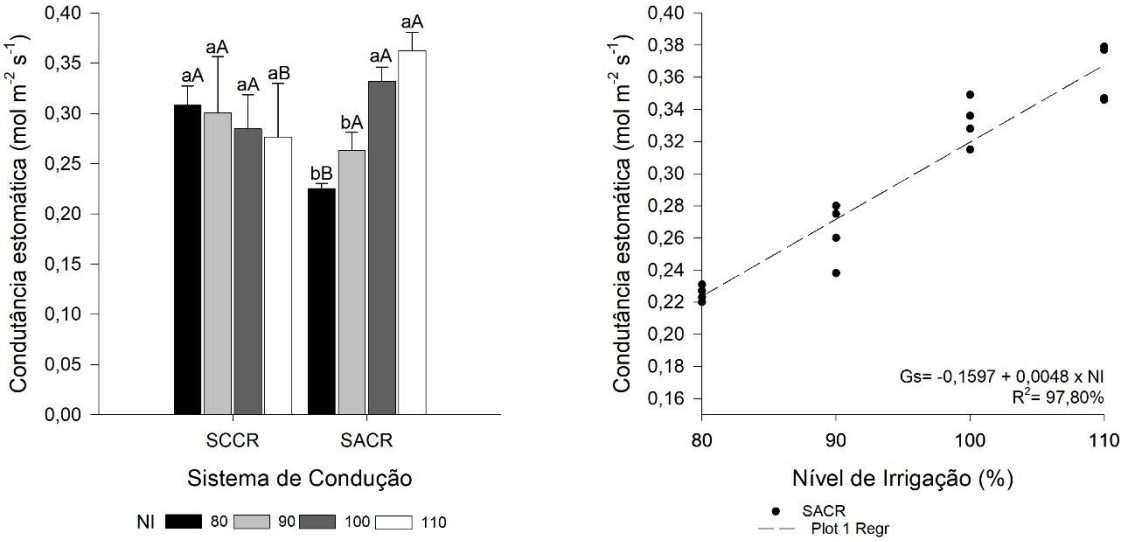


*Médias seguidas pela mesma letra minúscula para os níveis de irrigação e maiúscula para os sistemas de condução não diferem estatisticamente entre si para o sistema de condução dos ramos pelo teste de comparações múltiplas (Tukey) ao nível de 5% de significância.

O desdobramento da interação entre os fatores para a Gs (Figura 55) indicou comportamento linear crescente entre os níveis de irrigação e SACR, apresentando maior média para NI110 (0,36±0,01) diferindo estatisticamente do SCCR.

Analisando o efeito de interação entre os fatores, verificou-se que para o SCCR a maior média obtida foi no NI80 (0,30±0,01), o qual se diferiu do SACR. Verificou-se ainda, que não houve diferença significativa entre os sistemas nos NI90 e NI100.

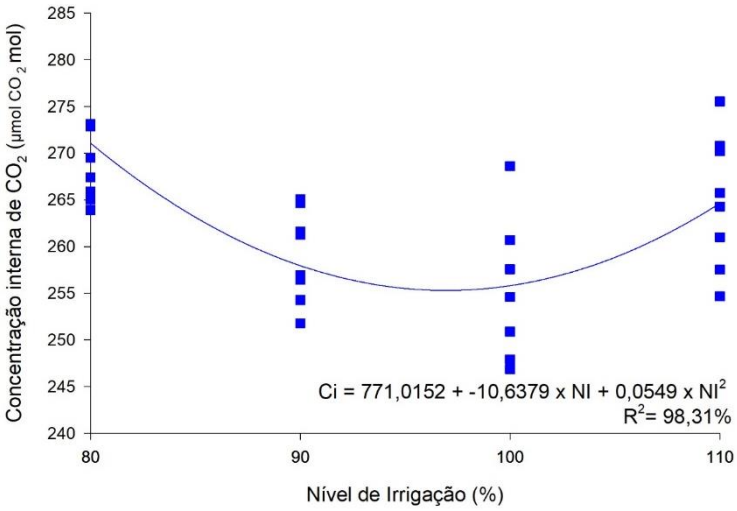
Figura 55 – Interação entre os diferentes sistemas de condução dos ramos (A) e níveis de irrigação (B) para a condutância estomática (Gs) das plantas de lúpulo var. Cascade aos 123 DAT



*Médias seguidas pela mesma letra minúscula para os níveis de irrigação e maiúscula para os sistemas de condução não diferem estatisticamente entre si para o sistema de condução dos ramos pelo teste de comparações múltiplas (Tukey) ao nível de 5% de significância.

A concentração interna de CO_2 apresentou efeito isolado para os níveis de irrigação com resposta quadrática (Figura 56). Assim, verificou-se que as maiores médias foram obtidas nos NI80 (270,73) e NI110 (264,98). Além disso, observou-se pela média que o NI90 e NI100 apresentaram médias similares entre si e inferiores aos NI80 e NI110.

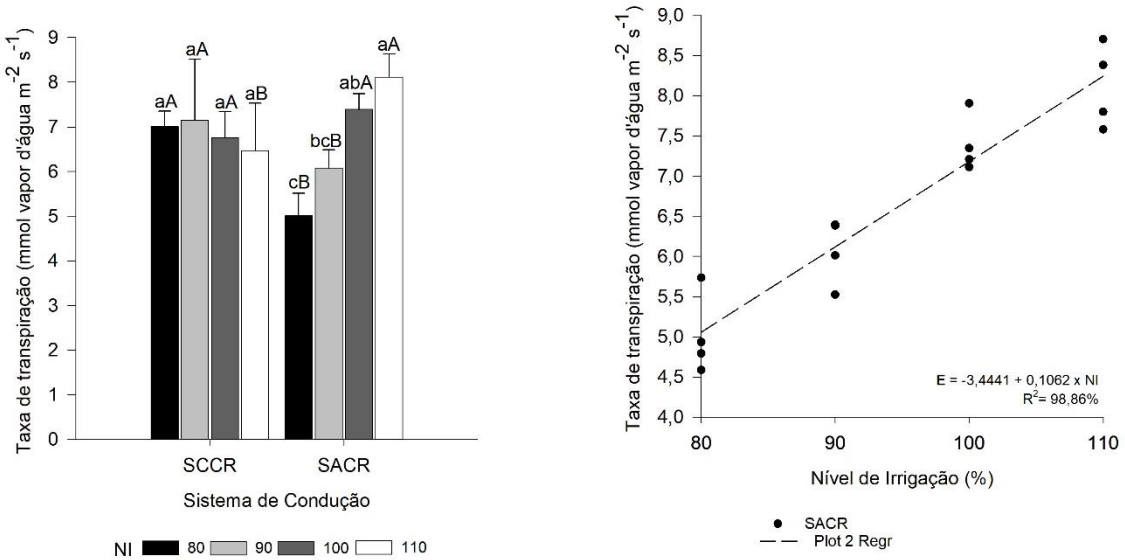
Figura 56 – Concentração interna de CO_2 na folha (Ci) das plantas de lúpulo var. Cascade em função dos diferentes níveis de irrigação aos 123 DAT



A taxa de transpiração (E) apresentou interação significativa entre os fatores, sendo observado pelo desdobramento (Figura 57) que no SCCR sob os NI80 e N90 apresentaram médias superiores ao SACR (40 e 18%, respectivamente). No entanto, observou-se sob o NI100 e NI110 em SCCR médias inferiores em relação ao SACR (9 e 20%, respectivamente).

Houve ainda interação significativa entre o SACR e os níveis de irrigação, com comportamento de resposta linear crescente, ou seja, quanto maior o NI maior a E. Numericamente o NI110 apresentou média (8,11±0,51) 62% superior ao NI80 (5,01±0,50).

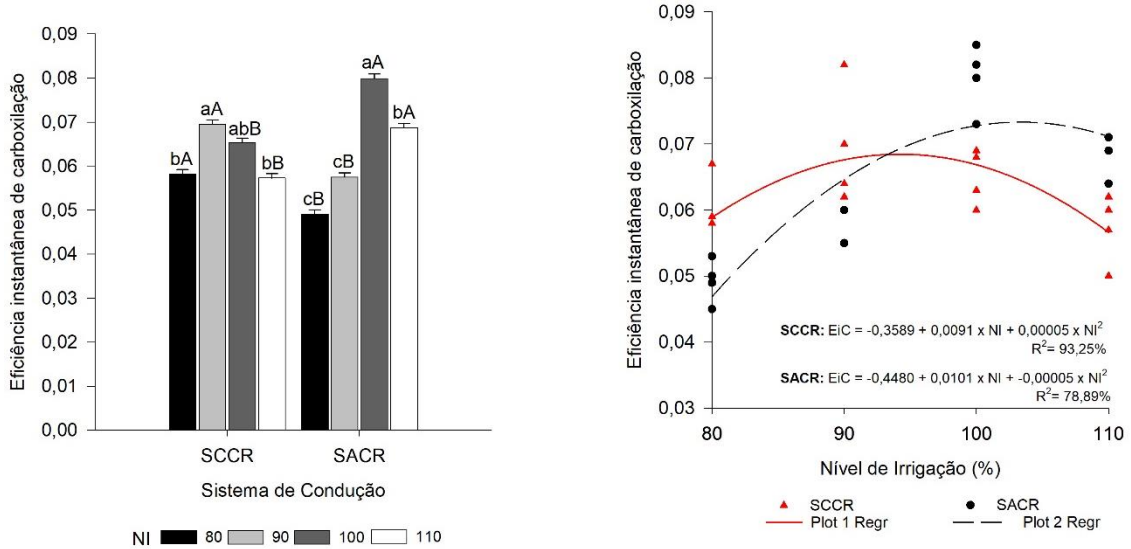
Figura 57 – Interação entre os sistemas de condução dos ramos e níveis de irrigação para a taxa de transpiração (E) das plantas de lúpulo var. Cascade aos 123 DAT



*Médias seguidas pela mesma letra minúscula para os níveis de irrigação e maiúscula para os sistemas de condução não diferem estatisticamente entre si para o sistema de condução dos ramos pelo teste de comparações múltiplas (Tukey) ao nível de 5% de significância.

O desdobramento da interação dos SC e dentro dos NI (Figura 58) apresentou comportamento quadrático, verificando-se menor eficiência de carboxilação (EiC) para o SCCR sob NI80 e NI110. Para o SACR, a menor média verificada foi para o NI80 (0,04±0,00) e as maiores para NI100 e NI110 (0,07±0,00, cada). Ainda, ao analisar a interação entre os NI dentro do SC notou-se que plantas cultivadas em SACR sob NI100 e NI110 apresentaram médias 17 e 40% superiores ao SCCR, ou seja, o SACR apresenta maior EiC sob os respectivos níveis de irrigação.

Figura 58 – Interação entre os sistemas de condução dos ramos e níveis de irrigação para a eficiência instantânea de carboxilação (EiC) das plantas de lúpulo var. Cascade aos 123 DAT



*Médias seguidas pela mesma letra minúscula para os níveis de irrigação e maiúscula para os sistemas de condução não diferem estatisticamente entre si para o sistema de condução dos ramos pelo teste de comparações múltiplas (Tukey) ao nível de 5% de significância.

Observa-se na Tabela 4 que houve interação significativa para os parâmetros de trocas gasosas A, Gs, E e EiC e ainda, efeito isolado do sistema de condução (SC) para Ci aos 195 DAT.

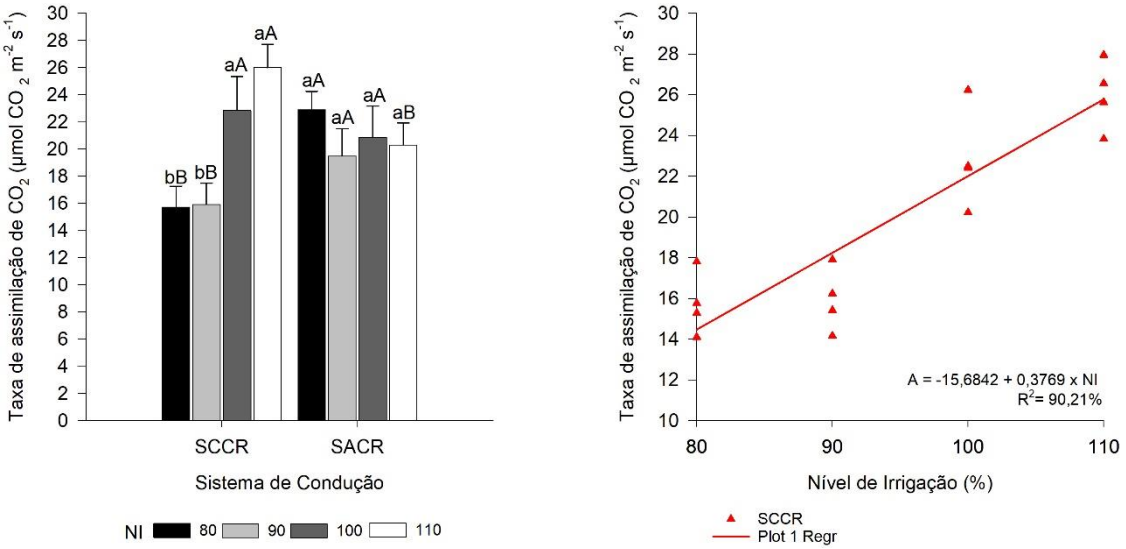
Tabela 4 – Valores de p, F calculado e dos coeficientes de variação experimental para as trocas gasosas das plantas de lúpulo var. Cascade em função dos níveis de irrigação e sistemas de condução dos ramos aos 195 DAT

Parâmetro	SC		NI		SC x NI		CV (%)
	F_{calc}	*p-valor*	F_{calc}	*p-valor*	F_{calc}	*p-valor*	
A	1,40	0,248^{ns}	14,31	<0,001*	19,55	<0,001*	8,93
Gs	0,06	0,804^{ns}	11,64	<0,001*	12,65	<0,001*	10,22
Ci	12,35	<0,001*	0,46	0,712^{ns}	1,22	0,325^{ns}	3,57
E	0,18	0,674^{ns}	3,50	0,033*	3,67	0,028*	16,82
EiC	0,03	0,843^{ns}	26,65	<0,001*	30,11	<0,001*	6,95
EUA	1,02	0,323^{ns}	0,19	0,900^{ns}	0,55	0,650^{ns}	15,67

Sendo: A – taxa de assimilação de CO_2, Gs – condutância estomática, Ci – concentração interna de CO_2, E – taxa de transpiração, EiC – eficiência instantânea de carboxilação, EUA – eficiência instantânea do uso da água, SC – sistema de condução, NI – nível de irrigação, SC x NI – interação dos fatores, F_{calc} – valor de F calculado, *p-valor* – valor de p, CV – coeficiente de variação experimental; * – significativo (p<0,05) e ns – não significativo (p>0,05).

A taxa de assimilação de CO_2 foi influenciada pela interação entre os fatores aos 195 DAT (Figura 59). Para o SCCR observou-se efeito de resposta linear crescente para os NI. O SACR apresentou médias superiores ao SCCR sob os NI80 e NI90, no entanto, não houve diferença significativa entre os sistemas para o NI100. Verificou-se ainda que sob o NI110 o SCCR se sobressaiu ao SACR.

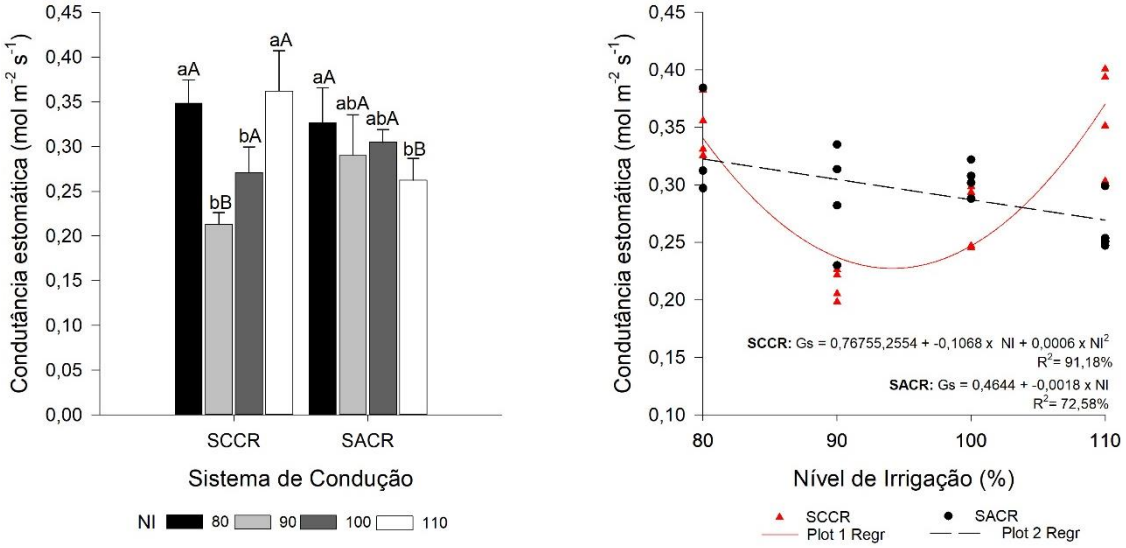
Figura 59 – Interação entre os sistemas de condução dos ramos e níveis de irrigação para a taxa de assimilação de CO_2 (A) das plantas de lúpulo var. Cascade aos 195 DAT



*Médias seguidas pela mesma letra minúscula para os níveis de irrigação e maiúscula para os sistemas de condução não diferem estatisticamente entre si para o sistema de condução dos ramos pelo teste de comparações múltiplas (Tukey) ao nível de 5% de significância.

O efeito de interação entre os fatores e o desdobramento para a condutância estomática (E) estão apresentados na Figura 60. Observou-se comportamento de resposta linear decrescente dos NI dentro do SACR, demonstrando que quanto menor o NI maior é a Gs. Por outro lado, houve comportamento quadrático para os NI dentro do SCCR, sendo as maiores médias para o NI80 (0,34±0,02) e NI110 (0,36±0,04).

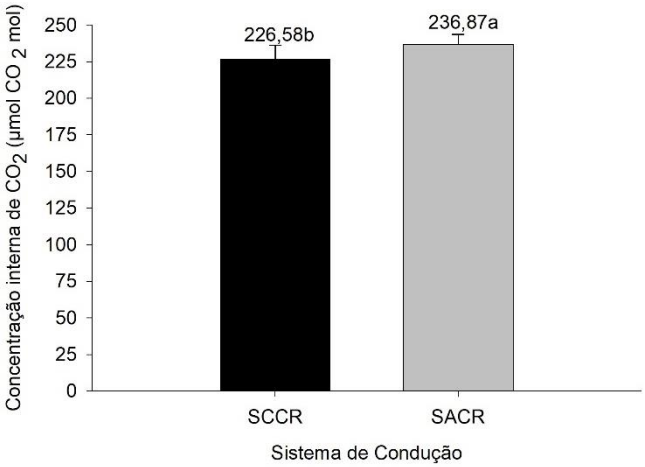
Figura 60 – Interação entre os sistemas de condução dos ramos e níveis de irrigação para a condutância estomática (Gs) das plantas de lúpulo var. Cascade aos 195 DAT



*Médias seguidas pela mesma letra minúscula para os níveis de irrigação e maiúscula para os sistemas de condução não diferem estatisticamente entre si para o sistema de condução dos ramos pelo teste de comparações múltiplas (Tukey) ao nível de 5% de significância.

A concentração interna de CO_2 aos 195 DAT apresentou efeito isolado para o sistema de condução dos ramos (Figura 61), verificando que SACR promoveu maior Ci quando comparado ao SCCR, havendo diferença significativa entre si.

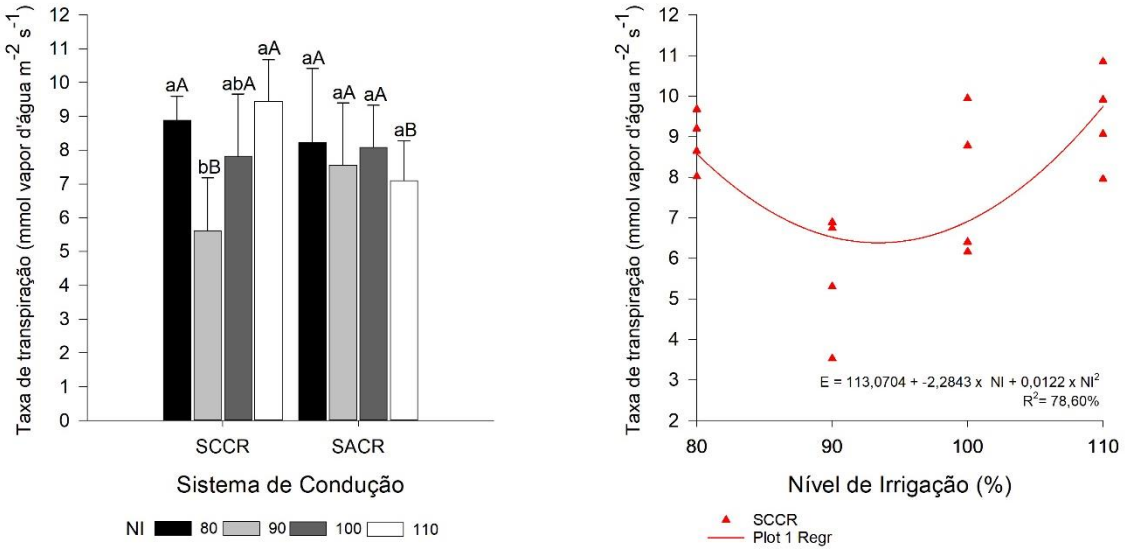
Figura 61 – Concentração interna de CO_2 (Ci) das plantas de lúpulo var. Cascade em função dos sistemas de condução dos ramos aos 195 DAT



*Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si para o sistema de condução dos ramos pelo teste de comparações múltiplas (Tukey) ao nível de 5% de significância.

A taxa de transpiração (E) foi influenciada pela interação significativa dos fatores (Figura 62). Analisando o desdobramento dos NI sob o SC, verificou-se que não houve diferença significativa entre os SC para o NI80 e NI100. Mas, houve diferença significativa entre os SC para o NI80 e NI110, verificando maior média do NI90 para o SACR (7,55±1,84), além disso, para o NI110 a maior média foi obtida para o SCCR (9,44±1,23). Além disso, houve comportamento quadrático de resposta dos NI dentro do SCCR, sendo verificado maiores médias para o NI80 e NI110.

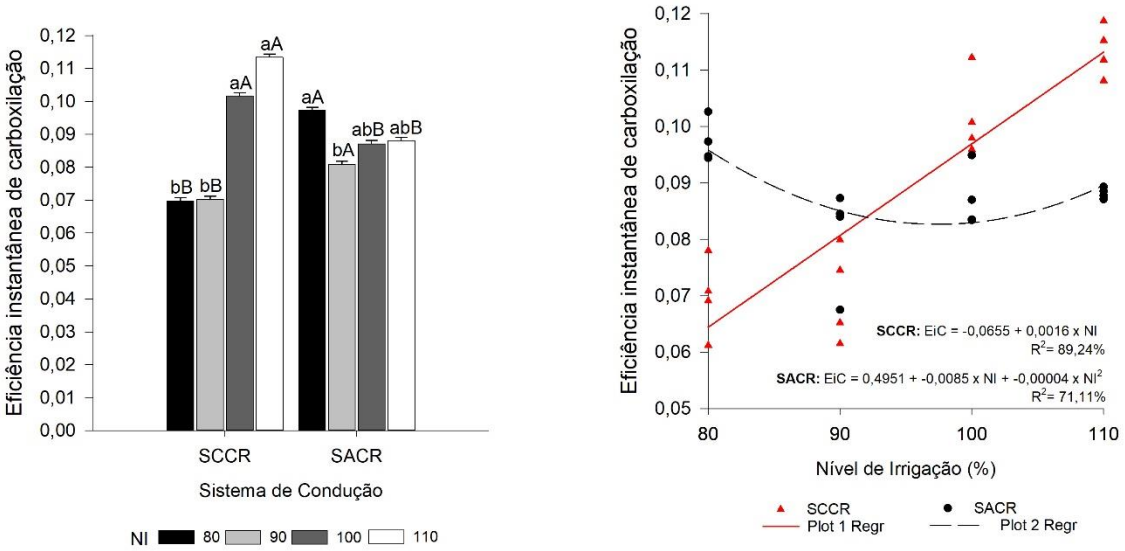
Figura 62 – Interação entre os sistemas de condução dos ramos (A) e níveis de irrigação (B) para a taxa de transpiração (E) das plantas de lúpulo var. Cascade aos 195 DAT



*Médias seguidas pela mesma letra minúscula para os níveis de irrigação e maiúscula para os sistemas de condução não diferem estatisticamente entre si para o sistema de condução dos ramos pelo teste de comparações múltiplas (Tukey) ao nível de 5% de significância.

A eficiência instantânea de carboxilação (EiC) foi influenciada pela interação significativa dos fatores (Figura 63). Analisando o desdobramento dos fatores, observou-se que sob o NI80 e NI90 o EiC apresentou maior médias para o SACR, diferindo estatisticamente do SCCR. Por outro lado, o SCCR apresentou maior média em relação ao SACR sob o NI100 e NI110. A interação entre NI e SC foi linear para o SCCR e quadrática para o SACR, verificando que quanto maior o NI maior é a EiC para o SCCR. Por outro lado, NI80 e NI90 promoveram maior EiC para o SACR.

Figura 63 – Interação entre os sistemas de condução dos ramos e níveis de irrigação para a eficiência instantânea de carboxilação (EiC) das plantas de lúpulo var. Cascade aos 195 DAT



*Médias seguidas pela mesma letra minúscula para os níveis de irrigação e maiúscula para os sistemas de condução não diferem estatisticamente entre si para o sistema de condução dos ramos pelo teste de comparações múltiplas (Tukey) ao nível de 5% de significância.

Observa-se na Tabela 5 que houve apenas efeito isolado dos fatores, verificando-se influência do SC para a A e EiC, e para o NI houve diferença significativa para a A, Ci e EiC.

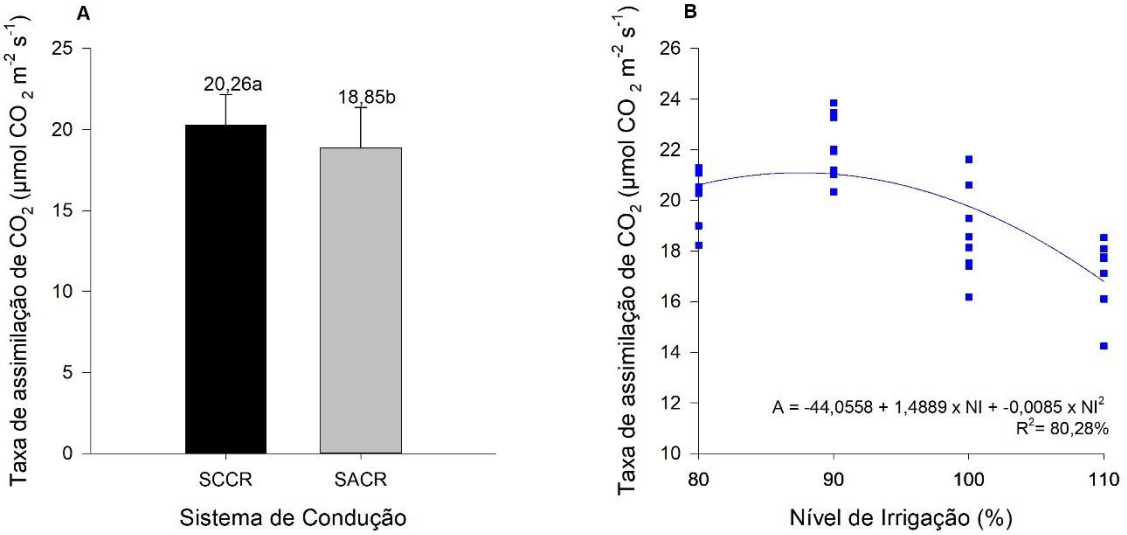
Tabela 5 – Valores de p, F calculado e dos coeficientes de variação experimental para as trocas gasosas das plantas de lúpulo var. Cascade em função dos níveis de irrigação e sistemas de condução dos ramos aos 213 DAT

213 DAT							
Parâmetro	SC		NI		SC x NI		CV (%)
	F_{calc}	*p-valor*	F_{calc}	*p-valor*	F_{calc}	*p-valor*	
A	10,79	0,003*	24,71	<0,001*	0,57	$0,637^{ns}$	6,22
Gs	2,13	$0,158^{ns}$	2,21	$0,116^{ns}$	0,08	$0,966^{ns}$	13,07
Ci	1,93	$0,178^{ns}$	14,07	<0,001*	2,43	$0,093^{ns}$	2,24
E	0,95	$0,339^{ns}$	0,79	$0,510^{ns}$	0,04	$0,987^{ns}$	16,31
EiC	23,98	<0,001*	48,93	<0,001*	1,70	$0,197^{ns}$	5,15
EUA	0,44	$0,512^{ns}$	1,60	$0,218^{ns}$	0,25	$0,858^{ns}$	16,58

Sendo: A – taxa de assimilação de CO_2, Gs – condutância estomática, Ci – concentração interna de CO_2, E – taxa de transpiração, EiC – eficiência instantânea de carboxilação, EUA – eficiência instantânea do uso da água, SC – sistema de condução, NI – nível de irrigação, SC x NI – interação dos fatores, F_{calc} – valor de F calculado, *p-valor* – valor de p, CV – coeficiente de variação experimental; * – significativo (p<0,05) e ns – não significativo (p>0,05).

Verificando a Figura 64A, notou-se maior taxa de assimilação de CO_2 (A) para o SCCR em comparação ao SACR, diferindo estatisticamente entre si. Já na Figura 64B, observou-se que a A apresentou efeito quadrático de resposta para NI, com maiores médias para o NI80 (20,24±1,09) e NI90 (22,14±1,28).

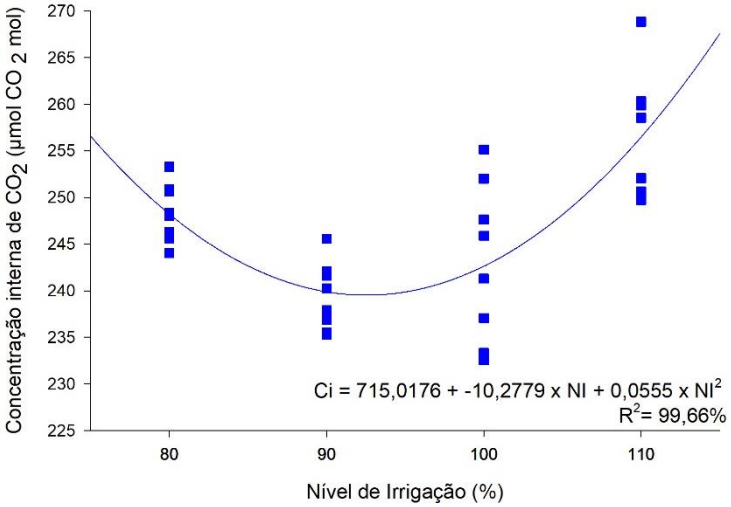
Figura 64 – Taxa de assimilação de CO_2 (A) das plantas de lúpulo var. Cascade em função dos sistemas de condução (A) e níveis de irrigação (B) aos 213 DAT



*Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si para o sistema de condução dos ramos pelo teste de comparações múltiplas (Tukey) ao nível de 5% de significância.

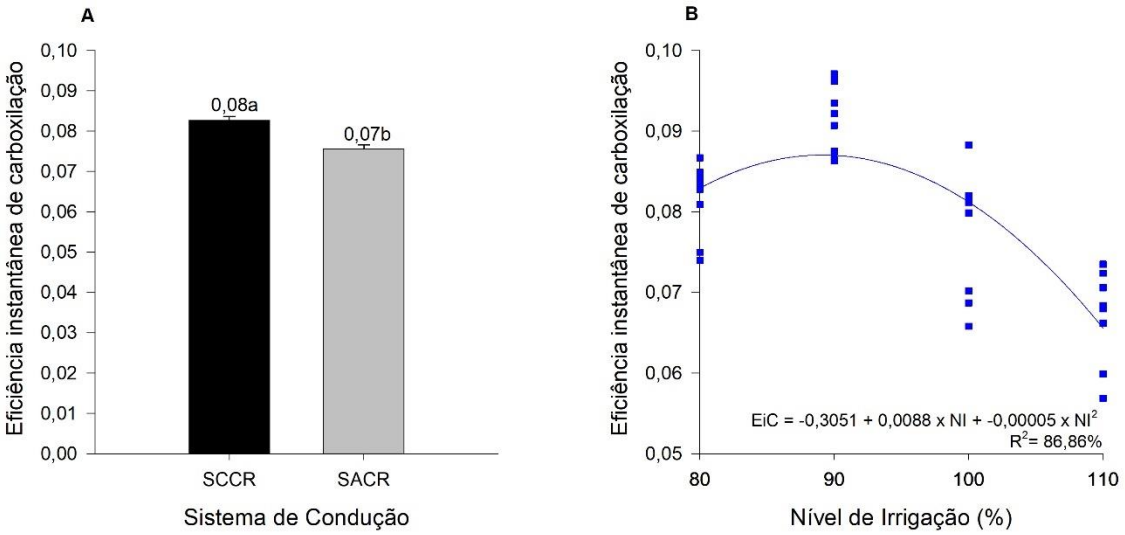
O comportamento da concentração interna de CO_2 foi influenciado apenas pelo NI (Figura 65), sendo observado que as maiores médias foram obtidas quando se utilizou NI80 e NI110.

Figura 65 – Concentração interna de CO_2 (Ci) das plantas de lúpulo var. Cascade em função dos níveis de irrigação aos 213 DAT



A eficiência instantânea de carboxilação (EiC) foi influenciada isoladamente pelo SC e NI (Figura 66A). O SCCR promoveu maior média de EiC quando comparado ao SACR, havendo diferença significativa entre si. Já quanto aos NI, observou-se comportamento quadrático de resposta, sendo o NI90 o mais eficiente em relação à média dos demais NI (Figura 66B).

Figura 66 – Eficiência instantânea de carboxilação (EiC) das plantas de lúpulo var. Cascade em função dos sistemas de condução (A) e níveis de irrigação (B) aos 213 DAT



*Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si para o sistema de condução dos ramos pelo teste de comparações múltiplas (Tukey) ao nível de 5% de significância.

Observou-se na Tabela 6 que houve diferença significativa para os parâmetros fisiológicos potencial hídrico foliar (Ψ) e perda de eletrólitos (PE) aos 62 DAT em função dos sistemas de condução dos ramos.

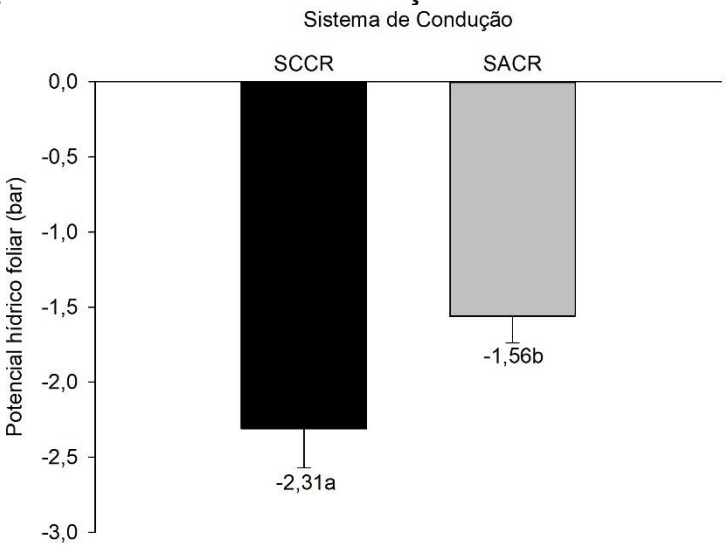
Tabela 6 – Valores de p, F calculado e dos coeficientes de variação experimental para os parâmetros fisiológicos das plantas de lúpulo var. Cascade em função dos sistemas de condução dos ramos aos 62 DAT

Parâmetro	F_{calc}	*p-valor*	C.V. (%)
Ψ	39,60	<0,001*	12,30
CRA	0,08	$0,770^{ns}$	4,28
PE	11,37	0,006*	14,91
ClorA	3,40	$0,092^{ns}$	8,62
ClorB	0,27	$0,611^{ns}$	14,03
CT.	0,15	$0,700^{ns}$	17,90

Sendo: Ψ – potencial hídrico foliar, CRA – conteúdo relativo de água, PE – perda de eletrólitos, ClorA – clorofila *a*, ClorB – clorofila *b*, CT – carotenoides totais, F_{calc} – valor de f calculado *p-valor* – valor de p para a hipótese H0 ou Ha, CV – coeficiente de variação experimental; * – significativo (p<0,05) e ns – não significativo (p>0,05).

Observando a Figura 67, notou-se que o potencial hídrico foliar (Ψ) foi maior no SACR quando comparado ao SCCR, diferindo estatisticamente entre si, indicando que o SACR proporciona melhores condições hídricas para as plantas.

Figura 67 – Potencial hídrico foliar (Ψ) das plantas de lúpulo var. Cascade em função dos sistemas de condução dos ramos aos 62 DAT

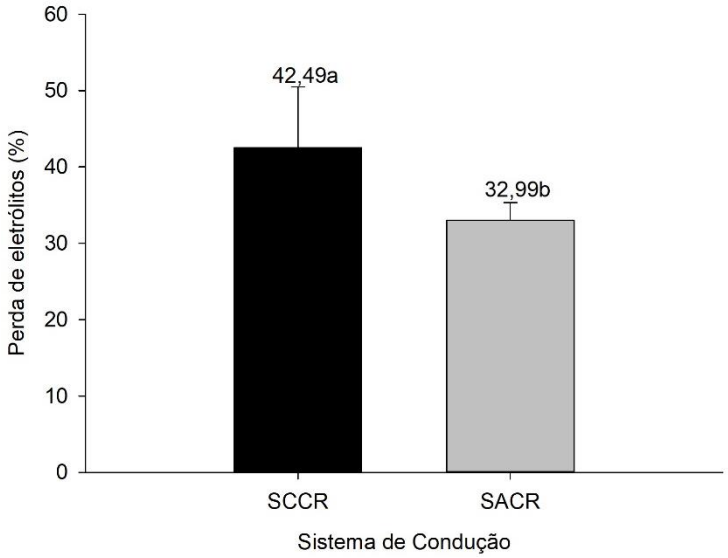


*Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si para o sistema de condução dos ramos pelo teste de comparações múltiplas (Tukey) ao nível de 5% de significância.

.

A perda de eletrólitos (PE) apresentada na Figura 68 indicou que plantas cultivadas no SCCR apresentaram maiores médias quando comparadas àquelas cultivadas no SACR, diferindo estatisticamente entre si.

Figura 68 – Perda de eletrólitos (PE) das plantas de lúpulo var. Cascade em função dos sistemas de condução dos ramos 62 DAT



*Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si para o sistema de condução dos ramos pelo teste de comparações múltiplas (Tukey) ao nível de 5% de significância.

De acordo com a Tabela 7 houve diferença significativa do potencial hídrico foliar (Ψ) em função do NI aos 99, 195 e 213 DAT. Observou-se ainda, diferença significativa em função do SC aos 195 e 213 DAT e por fim, interação significativa entre os fatores aos 123 DAT.

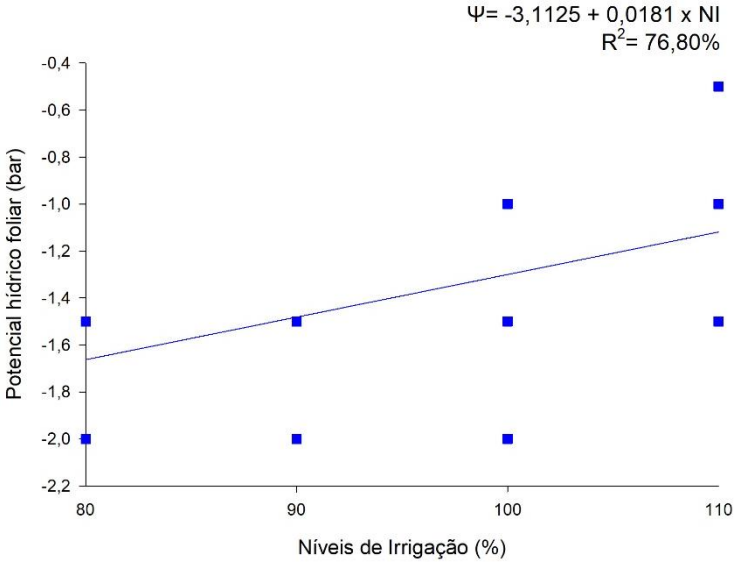
Tabela 7 – Valores de p, F calculado e dos coeficientes de variação experimental para o potencial hídrico foliar (Ψ) das plantas de lúpulo var. Cascade em função dos níveis de irrigação e sistemas de condução dos ramos

DAT	SC		NI		SC x NI		CV (%)
	F_{calc}	*p-valor*	F_{calc}	*p-valor*	F_{calc}	*p-valor*	
99	0,12	$0,724^{ns}$	9,29	<0,001*	0,46	$0,708^{ns}$	17,82
123	10,50	0.003*	87,88	<0,001*	6,61	0,002*	14,55
195	13,60	0,001*	58,40	<0,001*	1,06	$0,385^{ns}$	17,47
213	6,51	0,018*	28,24	<0,001*	0,24	$0,866^{ns}$	18,99

Sendo: SC – sistema de condução dos ramos, NI – nível de irrigação, SC x NI – interação dos fatores, F_{calc} – valor de F calculado, *p-valor* – valor de p, CV – coeficiente de variação experimental; * – significativo (p<0,05) e ns – não significativo (p>0,05).

Observou-se que o potencial hídrico foliar (Ψ) apresentou comportamento linear crescente de resposta (Figura 69). Os NI80 e NI90 tenderam a apresentar menores valores de Ψ, enquanto NI100 e NI110 apresentaram maiores médias, ou seja, maiores NI favorece o estado hídrico das plantas de lúpulo.

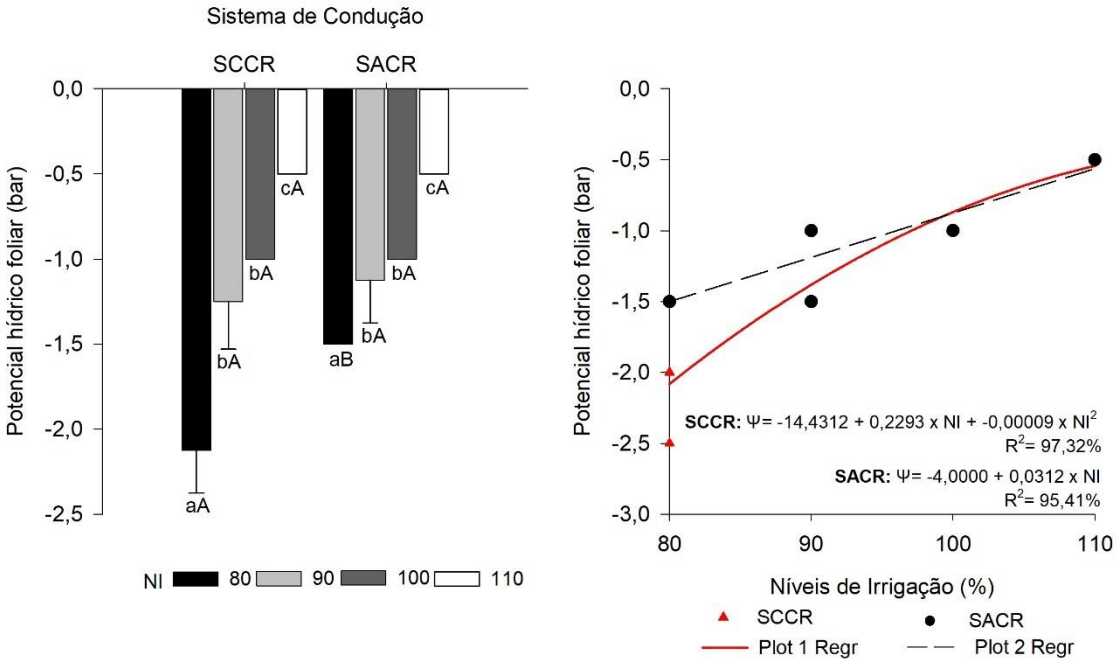
Figura 69 – Potencial hídrico foliar (Ψ) das plantas de lúpulo var. Cascade em função dos níveis de irrigação aos 99 DAT



Analisando o desdobramento da interação significativa dos fatores (Figura 70), observou-se que o SACR sob NI80 apresentou média maior para Ψ quando comparado ao SCCR, diferindo estatisticamente. Por outro lado, os demais NI não diferem estatisticamente quando comparados aos dois SC, embora as médias observadas para o SCCR NI80 e NI90 foram menores (-2,12 ± 0,25 e -1,25 ± 0,28) quando comparado com o SACR (-1,50 ± 0,00 e -1,12 ± 0,25).

O comportamento de resposta do Ψ foi quadrático para o SCCR e linear para o SACR indicando que o Ψ tende a apresentar menores médias sob menores NI. Para o SCCR sob NI80 e NI90 as médias observadas foram menores (-2,12 ± 0,25 e -1,25 ± 0,28) quando comparado com o SACR (-1,50 ± 0,00 e -1,12 ± 0,25).

Figura 70 – Interação entre os sistemas de condução dos ramos e níveis de irrigação para o potencial hídrico foliar (Ψ) das plantas de lúpulo var. Cascade aos 123 DAT

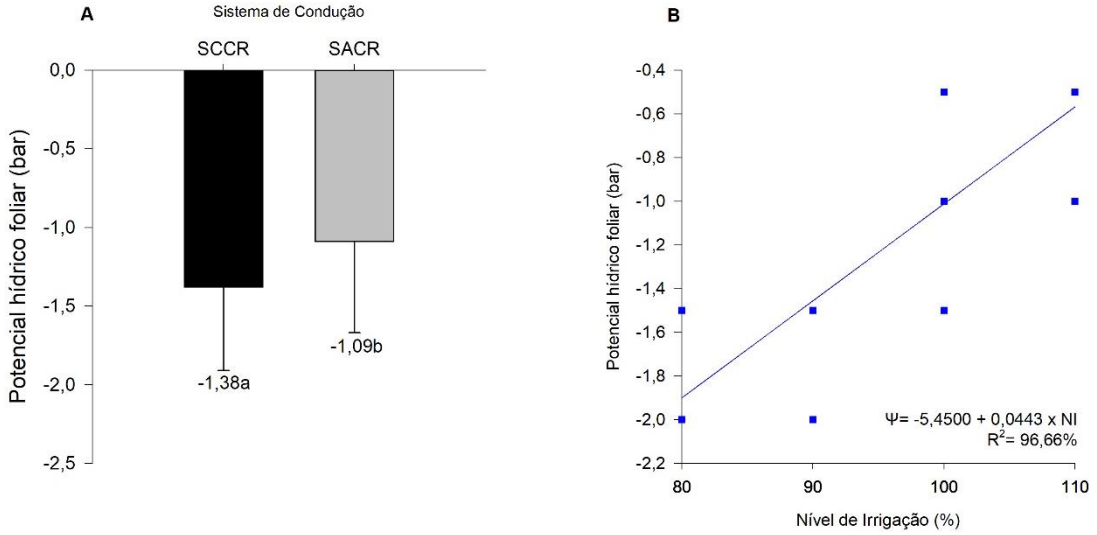


*Médias seguidas pela mesma letra minúscula para os níveis de irrigação e maiúscula para os sistemas de condução não diferem estatisticamente entre si para o sistema de condução dos ramos pelo teste de comparações múltiplas (Tukey) ao nível de 5% de significância.

Analisando o Ψ aos 195 DAT, observou-se que o SCCR apresenta menor média quando comparado ao SACR, diferindo estatisticamente (Figura 71A). Além disso, houve comportamento de resposta linear para os NI, sendo que os menores NI implicam em médias menores de Ψ (Figura 71B).

As plantas conduzidas no SCCR apresentam menores médias de Ψ (NI80 -2,00 ± 0,00, NI90 -1,62 ± 0,25, NI100 -1,12 ± 0,20 e NI110 -0,75 ± 0,28) em comparação àquelas conduzidas no SACR (NI80: -1,75 ± 0,28, NI90: -1,50 ± 0,00, NI100: -0,62 ± 0,25 e NI110: -0,50± 0,00). Desta forma, maior NI promove maior Ψ, evidenciando assim a maior disponibilidade de água para as plantas.

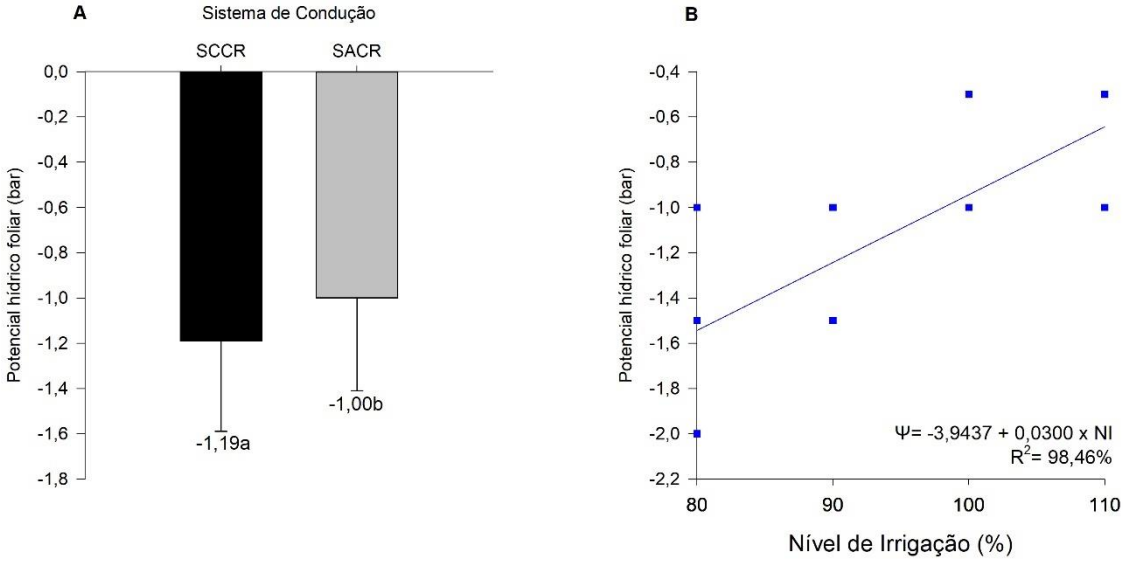
Figura 71 – Potencial hídrico foliar (Ψ) das plantas de lúpulo var. Cascade em função dos sistemas de condução (A) e níveis de irrigação (B) aos 195 DAT



*Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si para o sistema de condução dos ramos pelo teste de comparações múltiplas (Tukey) ao nível de 5% de significância.

As plantas de lúpulo sob condução no SCCR apresentaram menores médias quando comparado ao SACR, diferindo estatisticamente (Figura 72A). Além disso, observou-se na Figura 72B resposta linear crescente para os NI e menores médias de Ψ em plantas conduzidas no SCCR (NI80: -1,62 ± 0,25, NI90: -1,37 ± 0,25, NI100: -1,00 ± 0,00 e NI110: -0,75 ± 0,28) quando comparado com as plantas conduzidas no SACR (NI80: -1,37 ± 0,25, NI90: -1,25 ± 0,28, NI100: -0,87 ± 0,25 e NI110: -0,50 ± 0,00).

Figura 72 – Potencial hídrico foliar (Ψ) das plantas de lúpulo var. Cascade em função dos sistemas de condução (A) e níveis de irrigação (B) aos 213 DAT



*Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si para o sistema de condução dos ramos pelo teste de comparações múltiplas (Tukey) ao nível de 5% de significância.

A Tabela 8 é apresenta os resultados do conteúdo relativo de água (CRA) nas diferentes épocas de avaliação. Observou-se diferença significativa para o NI aos 99 e 213 DAT e interação entre o SC e NI aos 195 DAT.

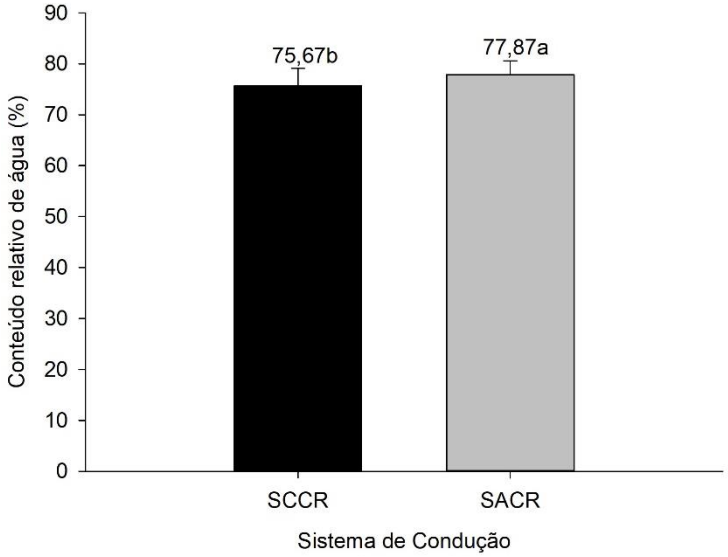
Tabela 8 – Valores de p, F calculado e dos coeficientes de variação experimental para o conteúdo relativo de água (CRA) das plantas de lúpulo var. Cascade em função dos níveis de irrigação e sistemas de condução dos ramos

DAT	SC		NI		SC x NI		CV (%)
	F_{calc}	*p-valor*	F_{calc}	*p-valor*	F_{calc}	*p-valor*	
99	5,30	0,031*	1,25	$0,314^{ns}$	2,26	$0,110^{ns}$	3,52
123	0,01	0.889^{ns}	1,98	$0,147^{ns}$	0,35	$0,784^{ns}$	3,68
195	0,04	$0,826^{ns}$	2,43	$0,093^{ns}$	9,89	<0,001*	6,78
213	4,68	0,042*	1,57	$0,226^{ns}$	0,51	$0,679^{ns}$	5,60

Sendo: SC – sistema de condução dos ramos, NI – nível de irrigação, SC x NI – interação dos fatores, F_{calc} – valor de F calculado, *p-valor* – valor de p, CV – coeficiente de variação experimental; * – significativo (p<0,05) e ns – não significativo (p>0,05).

O conteúdo relativo de água (CRA) das plantas de lúpulo foi influenciado pelo SC, sendo observado redução de 3% aos 99 DAT. Conforme observado na Figura 73, as plantas conduzidas no SACR apresentaram médias superiores ao SCCR, diferindo estatisticamente.

Figura 73 – Conteúdo relativo de água (CRA) das plantas de lúpulo var. Cascade em função dos sistemas de condução dos ramos aos 99 DAT

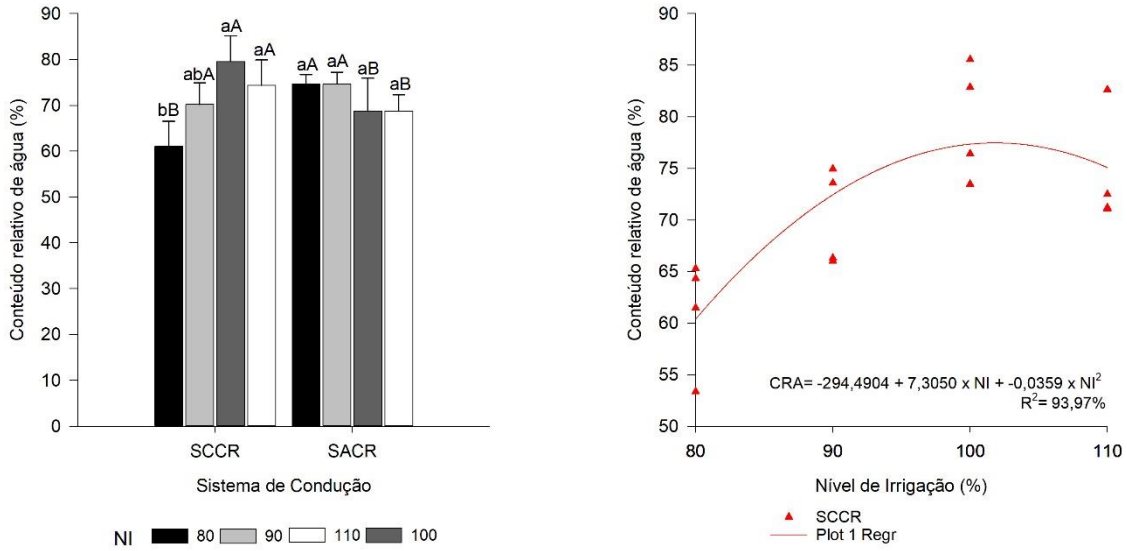


*Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si para o sistema de condução dos ramos pelo teste de comparações múltiplas (Tukey) ao nível de 5% de significância.

O desdobramento da interação entre o SC dentro do NI para o CRA aos 195 DAT (Figura 74) indicou diferença significativa para o NI100, sendo a maior média observada para o SCCR (79,57±5,58) quando comparado com o SACR. Para os demais NI não houve diferença significativa entre os SC, embora para o NI80 e NI90

as maiores médias foram para as plantas conduzidas no SACR (74,59±2,14 e 74,63±2,61, respectivamente) e para o NI110 para o SCCR (74,34±5,55). Verificou-se também que a interação dos NI e o SCCR apresentou resposta quadrática, com maiores médias para o NI100 (79,57±5,58) e NI110 (74,34±5,55). Desta forma, os resultados indicam que as plantas têm capacidade de absorver uma máxima quantidade de água, ou seja, níveis maiores que 100% da demanda evapotranspirométrica não implica em maior CRA do tecido vegetal.

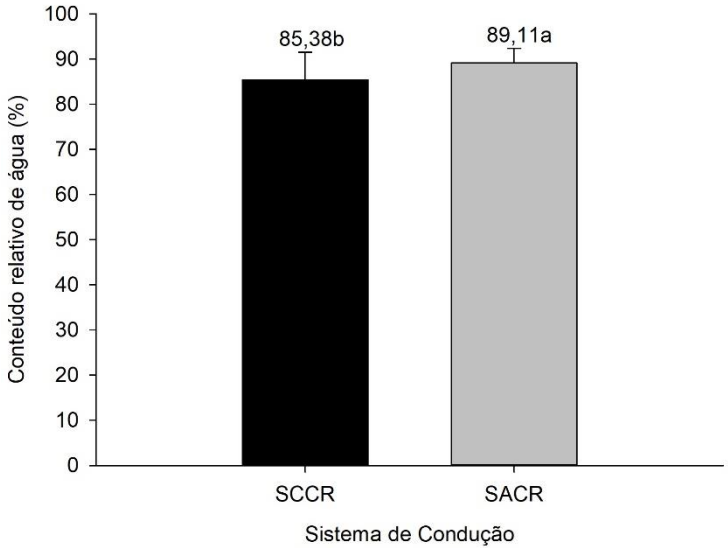
Figura 74 – Interação entre os sistemas de condução dos ramos e níveis de irrigação para o conteúdo relativo de água (CRA) das plantas de lúpulo var. Cascade aos 195 DAT



*Médias seguidas pela mesma letra minúscula para os níveis de irrigação e maiúscula para os sistemas de condução não diferem estatisticamente entre si para o sistema de condução dos ramos pelo teste de comparações múltiplas (Tukey) ao nível de 5% de significância.

Aos 213 DAT observou-se diferença significativa entre o SC e que as plantas de lúpulo conduzidas no SACR apresentaram CRA 4% maior que em plantas conduzidas em SCCR (Figura 75).

Figura 75 – Conteúdo relativo de água (CRA) das plantas de lúpulo var. Cascade em função dos sistemas de condução dos ramos aos 213 DAT



*Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si para o sistema de condução dos ramos pelo teste de comparações múltiplas (Tukey) ao nível de 5% de significância.

A perda de eletrólitos (Tabela 9) apresentou diferença significativa em função do SC e NI aos 99 e 213 DAT, respectivamente.

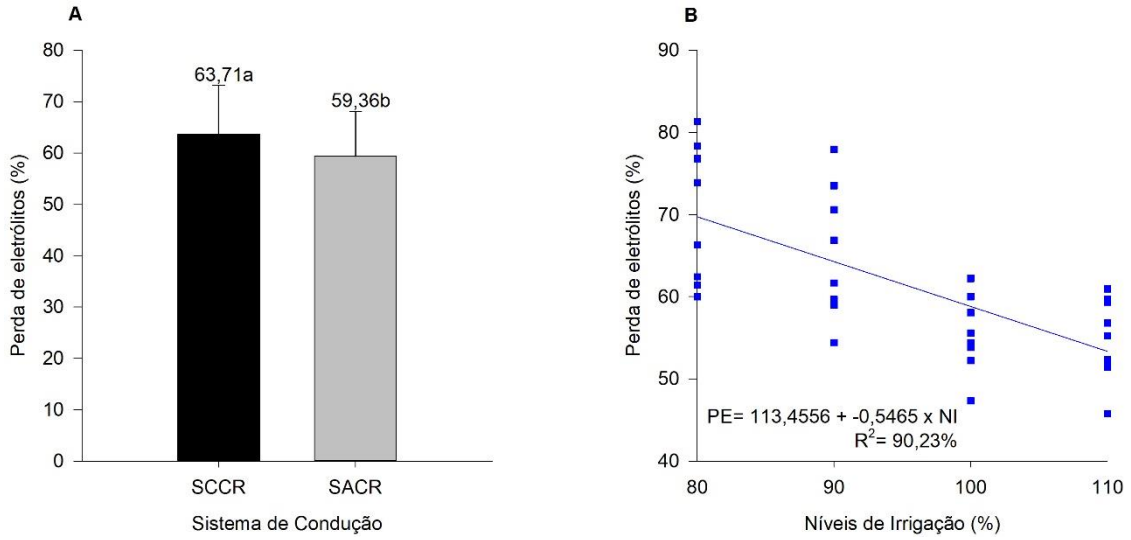
Tabela 9 – Valores de p, F calculado e dos coeficientes de variação experimental para a perda de eletrólitos (PE) das plantas de lúpulo var. Cascade em função dos níveis de irrigação e sistemas de condução dos ramos

DAT	SC		NI		SC x NI		CV (%)
	F_{calc}	*p-valor*	F_{calc}	*p-valor*	F_{calc}	*p-valor*	
99	4,36	0,048*	12,72	0,000*	1,03	$0,398^{ns}$	9,57
123	1,78	0.196^{ns}	0,56	$0,645^{ns}$	0,45	$0,716^{ns}$	8,16
195	37,04	0,000*	4,47	0,013*	2,60	$0,078^{ns}$	15,56
213	7,20	0,013*	0,23	$0,871^{ns}$	3,90	0,022*	15,88

Sendo: SC – sistema de condução dos ramos, NI – nível de irrigação, SC x NI – interação dos fatores, F_{calc} – valor de F calculado, *p-valor* – valor de p, CV – coeficiente de variação experimental; * – significativo (p<0,05) e ns – não significativo (p>0,05).

Analisando a perda de eletrólitos (PE) aos 99 DAT observou-se que as plantas conduzidas no SCCR apresentaram 7% a mais de perda eletrolítica em comparação as plantas conduzidas no SACR (Figura 76A). Em relação aos NI, notou-se comportamento de resposta linear decrescente, ou seja, maiores NI reduz a PE (Figura 76B). Ademais, analisando as médias das plantas conduzidas no SCCR sob NI80, NI90 e NI100 apresentaram aumento de 6, 12 e 14%, respectivamente, quando comparadas ao SACR. Já o NI110 promoveu aumento de 3% da PE para plantas conduzidas no SACR em comparação ao SCCR.

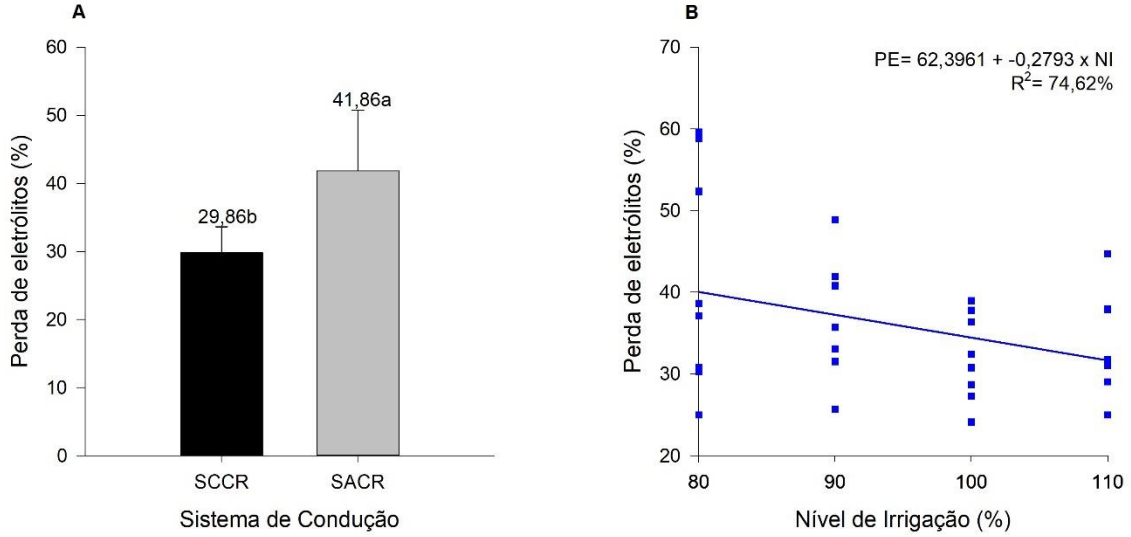
Figura 76 – Perda de eletrólitos (PE) das plantas de lúpulo var. Cascade em função dos sistemas de condução (A) e níveis de irrigação (B) aos 99 DAT



*Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si para o sistema de condução dos ramos pelo teste de comparações múltiplas (Tukey) ao nível de 5% de significância.

Aos 195 DAT verificou-se aumento de 40% da PE para as plantas conduzidas no SACR, diferindo estatisticamente do SCCR (Figura 77A). Aos 195 DAT as plantas conduzidas no SACR apresentavam sinais de esgotamento, indicando finalização do ciclo, o que promove mortalidade das células, implicando em maiores perdas eletrolíticas. Para os NI, observou-se que a PE reduz linearmente em função dos NI, ou seja, menores médias são obtidas quando se utiliza maiores NI (Figura 77B). Os menores NI podem causar estresse nas plantas, e por consequência degradação das membranas e extravasamento da seiva.

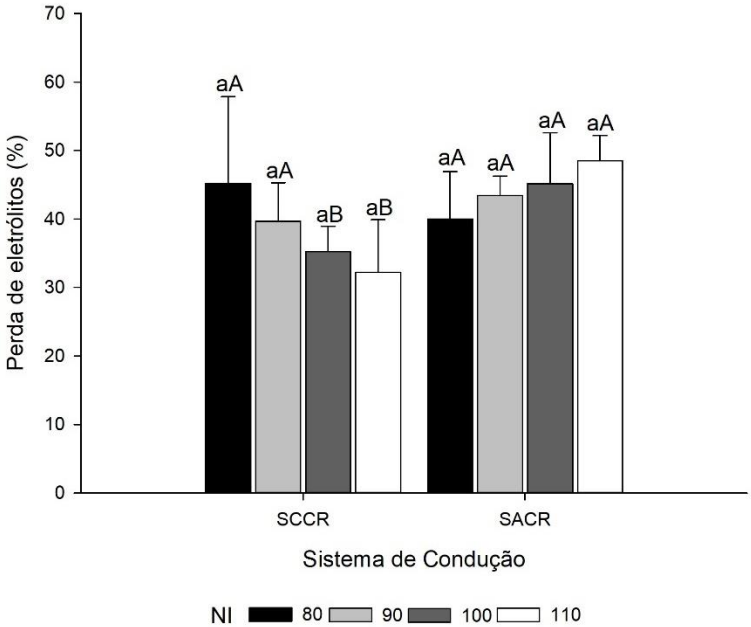
Figura 77 – Perda de eletrólitos (PE) das plantas de lúpulo var. Cascade em função dos sistemas de condução (A) e níveis de irrigação (B) aos 195 DAT



*Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si para o sistema de condução dos ramos pelo teste de comparações múltiplas (Tukey) ao nível de 5% de significância.

O desdobramento da interação entre os SC e NI aos 213 DAT para a perda de eletrólitos (Figura 78) indicou que as plantas conduzidas no SACR sob NI100 e NI110 apresentaram maiores médias em comparação ao SCCR, diferindo significativamente. Para os demais NI não houve diferença significativa entre os sistemas, embora tenha sido observado maiores médias no SACR.

Figura 78 – Interação entre os sistemas de condução dos ramos e níveis de irrigação para a perda de eletrólitos (PE) das plantas de lúpulo var. Cascade aos 213 DAT



*Médias seguidas pela mesma letra minúscula para os níveis de irrigação e maiúscula para os sistemas de condução não diferem estatisticamente entre si para o sistema de condução dos ramos pelo teste de comparações múltiplas (Tukey) ao nível de 5% de significância.

De acordo com a Tabela 10 observou-se diferença significativa para a clorofila *a* (ClorA) em função do SC e NI aos 123 DAT e aos 213 DAT em função do SC. Para a clorofila *b* (ClorB) houve diferença significativa em função do NI aos 123 DAT e aos 213 DAT em função do SC. Já para os carotenoides totais (CT) não houve diferença significativa para nenhuma das épocas avaliadas.

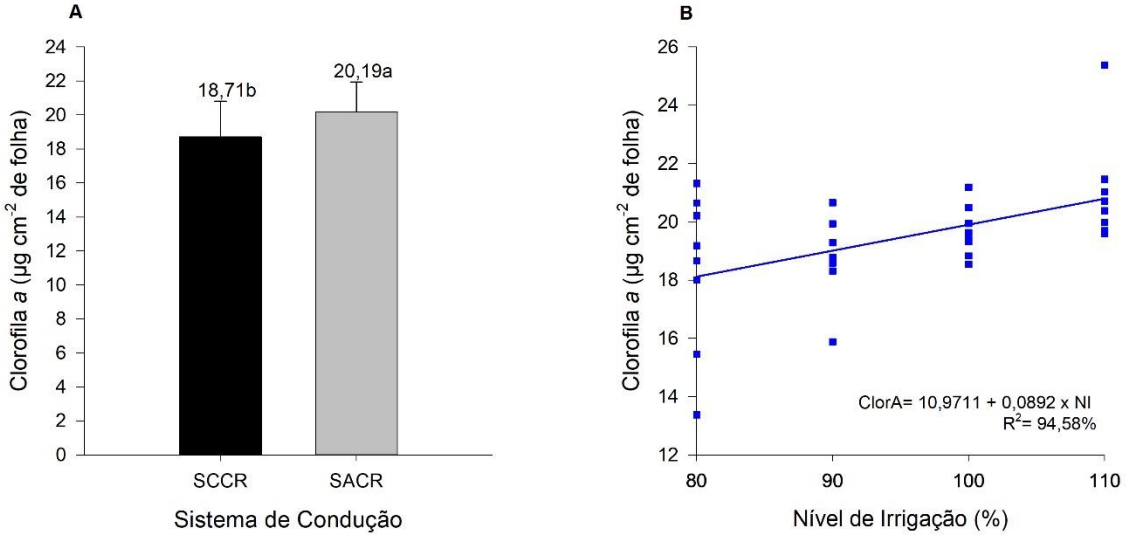
Tabela 10 – Valores de p, F calculado e dos coeficientes de variação experimental para o teor de pigmentos fotossintéticos das plantas de lúpulo var. Cascade em função de diferentes níveis de irrigação e sistemas de condução dos ramos

ClorA							
DAT	SC		NI		SC x NI		CV (%)
	F_{calc}	*p-valor*	F_{calc}	*p-valor*	F_{calc}	*p-valor*	
99	0,00	0,929^{ns}	0,25	0,858^{ns}	0,13	0,940^{ns}	25,15
123	5,77	0.025*	3,70	0,027*	1,15	0,348^{ns}	8,96
195	2,16	0,155^{ns}	0,20	0,890^{ns}	1,18	0,337^{ns}	4,89
213	5,77	0,025*	1,81	0,176^{ns}	0,75	0,532^{ns}	9,63
ClorB							
DAT	SC		NI		SC x NI		CV (%)
	F_{calc}	*p-valor*	F_{calc}	*p-valor*	F_{calc}	*p-valor*	
99	0,03	0,856^{ns}	0,33	0,800^{ns}	0,10	0,956^{ns}	20,46
123	0,00	0,952^{ns}	3,21	0,043*	1,76	0,185^{ns}	11,12
195	0,74	0,396^{ns}	0,62	0,605^{ns}	0,40	0,750^{ns}	9,07
213	6,61	0,017*	2,40	0,096^{ns}	0,36	0,780^{ns}	12,35
CT							
DAT	SC		NI		SC x NI		CV (%)
	F_{calc}	*p-valor*	F_{calc}	*p-valor*	F_{calc}	*p-valor*	
99	0,30	0,585^{ns}	0,41	0,743^{ns}	0,69	0,566^{ns}	29,17
123	3,61	0,071^{ns}	2,64	0,075^{ns}	1,18	0,338^{ns}	16,97
195	0,65	0,427^{ns}	0,28	0,836^{ns}	1,93	0,155^{ns}	11,10
213	2,74	0,112^{ns}	0,16	0,918^{ns}	0,72	0,547^{ns}	17,32

Sendo: ClorA – clorofila *a*, ClorB – clorofila *b*, CT – carotenoides totais, SC – sistema de condução dos ramos, NI – nível de irrigação, SC x NI – interação dos fatores, F_{calc} – valor de F calculado, *p-valor* – valor de p, CV – coeficiente de variação experimental; * – significativo ($p<0,05$) e ns – não significativo ($p>0,05$).

Analisando o efeito isolado do SC, observou-se que as plantas conduzidas no SACR apresentaram maior teor de clorofila *a* (ClorA) quando comparadas com o SCCR, diferindo significativamente (Figura 79A). Já em relação ao efeito isolado dos NI, notou-se comportamento de resposta linear crescente, maiores NI (100 e 110) proporcionaram maiores médias do teor de ClorA (Figura 79B).

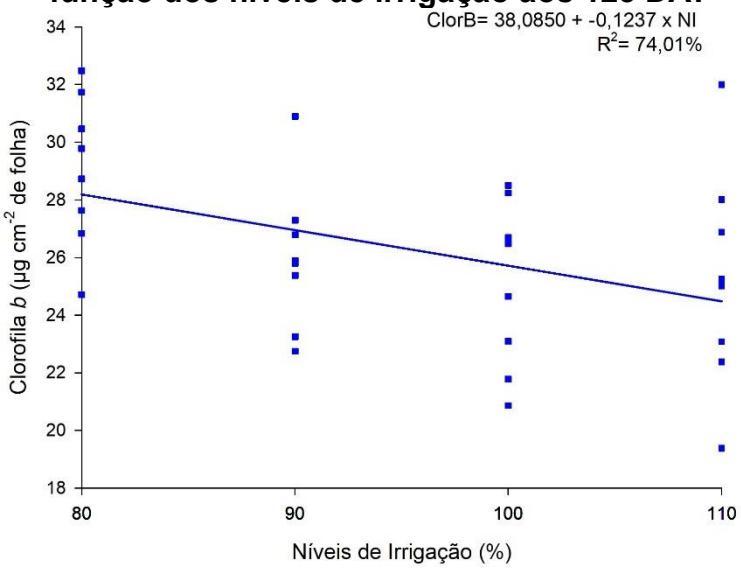
Figura 79 – Teor de clorofila *a* (ClorA) das plantas de lúpulo var. Cascade em função dos sistemas de condução (A) e níveis de irrigação (B) aos 123 DAT



*Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si para o sistema de condução dos ramos pelo teste de comparações múltiplas (Tukey) ao nível de 5% de significância.

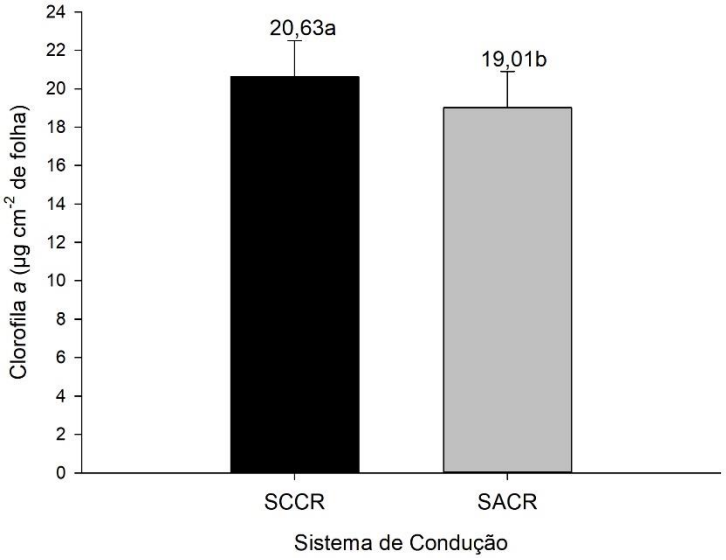
Aos 123 DAT houve efeito isolado dos NI para a clorofila *b* (ClorB). Observou-se comportamento de resposta linear decrescente da ClorB em função dos NI (Figura 80), menores NI (80 e 90) proporcionaram maiores médias do teor de ClorB das plantas de lúpulo.

Figura 80 – Teor de clorofila *b* (ClorB) das plantas de lúpulo var. Cascade em função dos níveis de irrigação aos 123 DAT



Observou-se aos 213 DAT que plantas cultivadas no SCCR apresentaram média maior para o teor de ClorA em relação as plantas conduzidas no SACR, diferindo estatisticamente (Figura 81). Aos 213 DAT houve redução de aproximadamente 8% do teor de ClorA conduzidas no SACR em comparação ao SCCR.

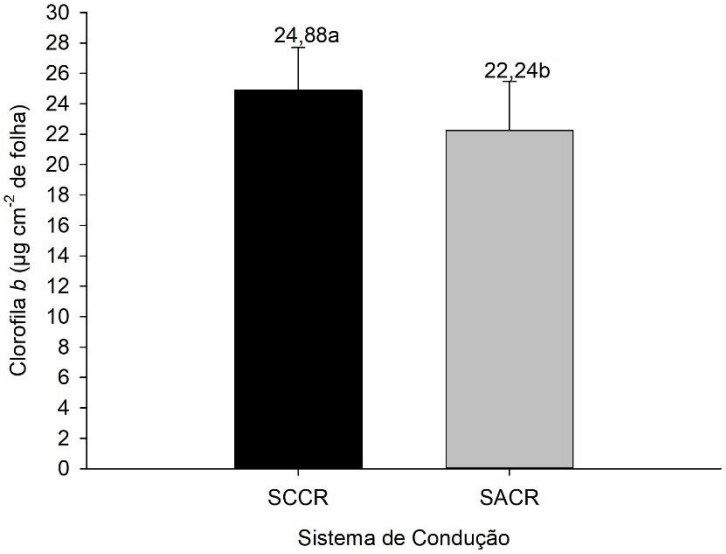
Figura 81 – Clorofila *a* (ClorA) das plantas de lúpulo var. Cascade em função dos sistemas de condução dos ramos aos 213 DAT



*Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si para o sistema de condução dos ramos pelo teste de comparações múltiplas (Tukey) ao nível de 5% de significância.

Observou-se aos 213 DAT que o teor de ClorB das plantas de lúpulo conduzidas no SCCR foi 12% superior as plantas em SACR, diferindo estatisticamente (Figura 82).

Figura 82 – Clorofila *b* (ClorB) das plantas de lúpulo var. Cascade em função dos sistemas de condução dos ramos aos 213 DAT



*Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si para o sistema de condução dos ramos pelo teste de comparações múltiplas (Tukey) ao nível de 5% de significância.

Para os parâmetros biométricos aos 215 DAT (Tabela 11), observou-se que houve interação significativa para o diâmetro do caule (DC), não havendo diferença significativa para o comprimento máximo da planta (CMP).

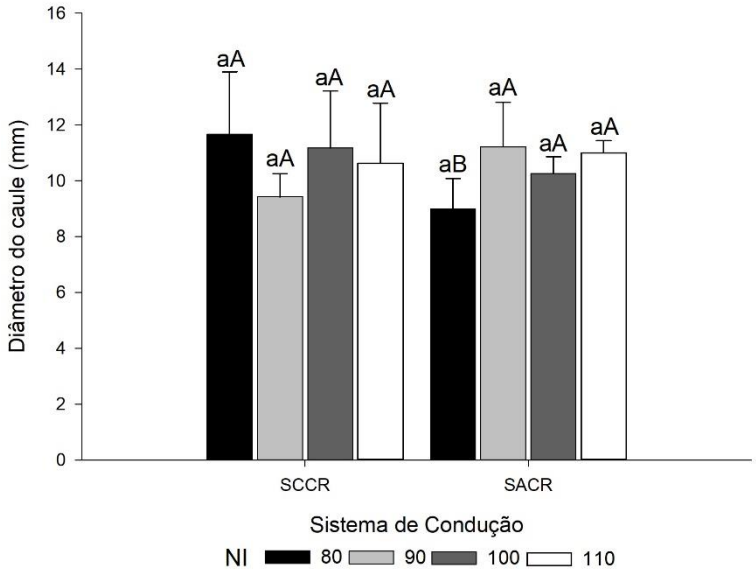
Tabela 11 – Valores de p, F calculado e dos coeficientes de variação experimental para os parâmetros biométricos das plantas de lúpulo var. Cascade em função de diferentes níveis de irrigação e sistemas de condução dos ramos aos 215 DAT

Parâmetro	SC		NI		SC x NI		CV (%)
	F_{calc}	*p-valor*	F_{calc}	*p-valor*	F_{calc}	*p-valor*	
CMP	0,52	$0,476^{ns}$	1,49	$0,244^{ns}$	1,16	$0,347^{ns}$	9,76
DC	0,48	$0,494^{ns}$	0,24	$0,861^{ns}$	3,37	0,037*	13,85

Sendo: CMP – comprimento máximo da planta, DC – diâmetro do caule, SC – sistema de condução dos ramos, NI – nível de irrigação, SC x NI – interação dos fatores, F_{calc} – valor de F calculado, *p-valor* – valor de p, CV – coeficiente de variação experimental; * – significativo (p<0,05) e ns – não significativo (p>0,05).

Analisando o desdobramento da interação entre o SC dentro dos NI (Figura 83), observou-se que a maior média para o diâmetro do caule (DC) foi obtida pelas plantas conduzidas em SCCR e sob NI80, diferindo estatisticamente do SACR. Para os demais NI não se observou diferença significativa entre os SC.

Figura 83 – Interação entre os sistemas de condução dos ramos e níveis de irrigação para o diâmetro do caule (DC) das plantas de lúpulo var. Cascade aos 215 DAT



*Médias seguidas pela mesma letra minúscula para os níveis de irrigação e maiúscula para os sistemas de condução não diferem estatisticamente entre si para o sistema de condução dos ramos pelo teste de comparações múltiplas (Tukey) ao nível de 5% de significância.

Os parâmetros de biomassa avaliados aos 215 DAT estão apresentados na Tabela 12. Observou-se interação significativa entre o SC e os NI para a massa fresca da folha (MFF), massa seca da folha (MSF), massa fresca do caule (MFC), massa seca do caule (MSC) e para a biomassa seca total (BST).

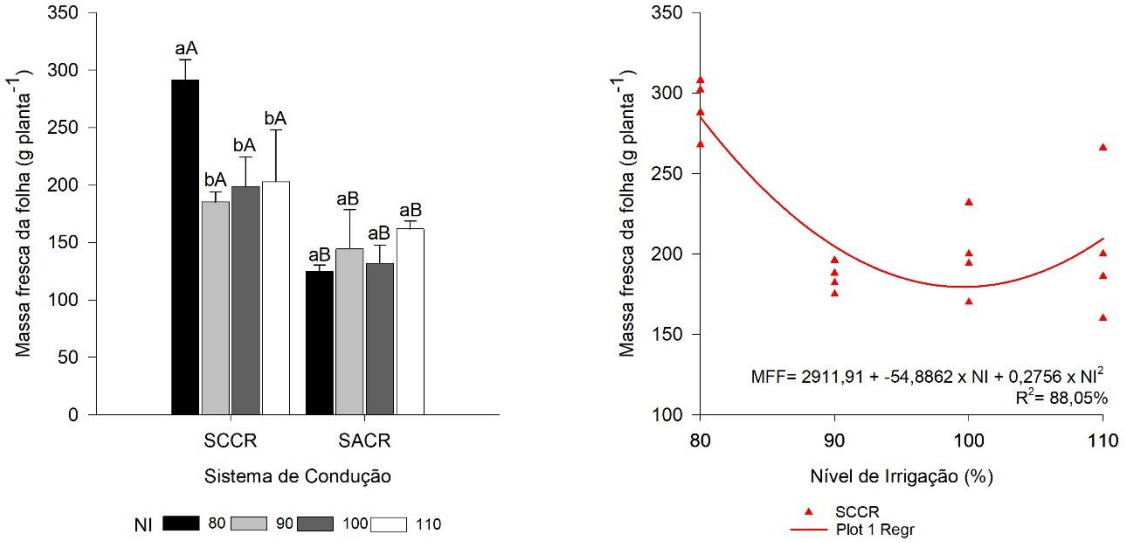
Tabela 12 – Valores de p, F calculado e dos coeficientes de variação experimental para os parâmetros de biomassa das plantas de lúpulo var. Cascade em função de diferentes níveis de irrigação e sistemas de condução dos ramos aos 215 DAT

Parâmetro	SC		NI		SC x NI		CV (%)
	F_{calc}	*p-valor*	F_{calc}	*p-valor*	F_{calc}	*p-valor*	
MFF	84,34	<0,001*	5,46	0,005*	12,17	<0,001*	13,49
MFC	22,54	<0,001*	7,21	0,001*	45,71	<0,001*	4,81
MSF	78,39	<0,001*	5,22	0,007*	4,64	0,012*	9,40
MSC	0,65	$0,426^{ns}$	2,13	$0,125^{ns}$	9,28	<0,001*	10,22
BST	11,52	0,002*	2,65	0,075*	13,53	<0,001*	7,71

Sendo: MFF – massa fresca da folha, MFC – massa fresca do caule, MSF.- massa seca da folha, MSC – massa seca do caule, BST – biomassa seca total, SC – sistema de condução dos ramos, NI – nível de irrigação, SC x NI – interação dos fatores, F_{calc} – valor de F calculado, *p-valor* – valor de p, CV – coeficiente de variação experimental; * – significativo (p<0,05) e ns – não significativo (p>0,05).

Analisando o desdobramento da interação, SC dentro de NI (Figura 84), a massa fresca da folha (MFF) das plantas conduzidas no SCCR para todos os NI apresentaram médias superiores quando comparadas ao SACR, diferindo estatisticamente, sendo a maior média obtida para o NI80. Para o SACR as maiores médias foram obtidas sob NI90 e NI100 (144,50±34,26 e 162,00±45,15, respectivamente). Observou-se ainda, que o comportamento de resposta foi quadrático para a interação dos NI dentro SCCR, com maior média para o NI80 (291,50±17,76) seguida do NI110 (203,00±0,43). Como dito anteriormente, as plantas conduzidas no SACR apresentaram sinais de finalização do ciclo, como senescência foliar antes das plantas conduzidas no SCCR, influenciando diretamente na massa fresca das folhas. O mesmo comportamento pode ter causado a redução da MFF sob NI90 e 100.

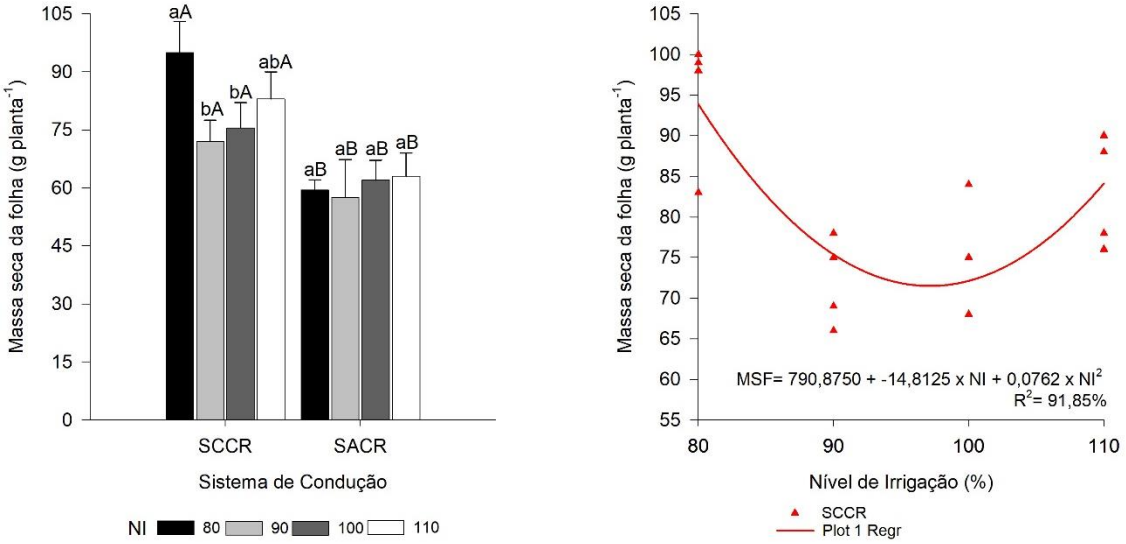
Figura 84 – Interação entre os sistemas de condução dos ramos e níveis de irrigação para a massa fresca da folha (MFF) das plantas de lúpulo var. Cascade aos 215 DAT



*Médias seguidas pela mesma letra minúscula para os níveis de irrigação e maiúscula para os sistemas de condução não diferem estatisticamente entre si para o sistema de condução dos ramos pelo teste de comparações múltiplas (Tukey) ao nível de 5% de significância.

Observou-se pelo desdobramento da interação (SC dentro de NI) para a massa seca da folha (MSF) o mesmo comportamento da MFF (Figura 85). As plantas conduzidas no SCCR, independente do NI, apresentaram as maiores médias quando comparado ao SACR. A resposta quadrática linear mostrou que as maiores médias foram obtidas nas plantas conduzidas no SCCR sob os NI80 e NI110 (698,00 ± 50,93 e 607,50 ± 11,47, respectivamente).

Figura 85 – Interação entre os sistemas de condução dos ramos e níveis de irrigação para a massa seca da folha (MSF) das plantas de lúpulo var. Cascade aos 215 DAT

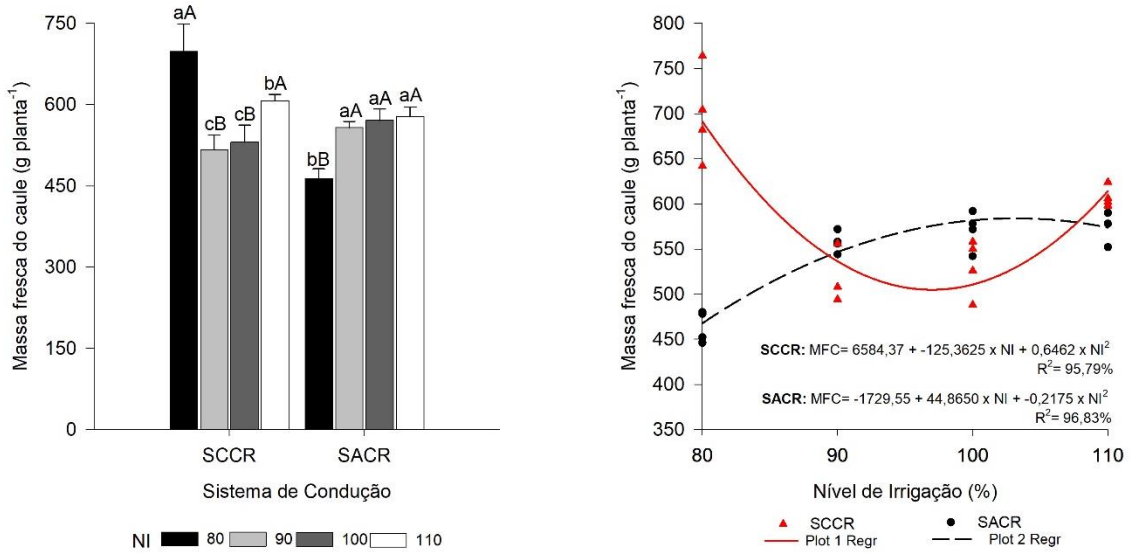


*Médias seguidas pela mesma letra minúscula para os níveis de irrigação e maiúscula para os sistemas de condução não diferem estatisticamente entre si para o sistema de condução dos ramos pelo teste de comparações múltiplas (Tukey) ao nível de 5% de significância.

O desdobramento da interação (SC dentro do NI) para a massa fresca do caule (MFC) apresentado na Figura 86 indicou que as plantas conduzidas no SCCR sob NI80 e NI110 apresentaram maiores médias quando comparado ao SACR, diferindo estatisticamente. Contudo, plantas conduzidas no SACR e NI90 e NI100 apresentaram médias superiores quando comparado ao SCCR.

Para o desdobramento da interação (NI dentro do SC) observou-se comportamento de resposta quadrático para ambos os SC. As plantas de lúpulo conduzidas no SCCR apresentaram as melhores respostas para a MFC quando se utilizou os NI80 e NI110 (698,00±50,93 e 607,50±11,47, respectivamente), os quais apresentaram as maiores médias. Por outro lado, em SACR observou-se aumento da MFC em função dos NI, não havendo diferença expressiva em relação à média do NI100 (571,00±21,07) e NI110 (577,50±17,91).

Figura 86 – Interação entre os sistemas de condução dos ramos e níveis de irrigação para a massa fresca do caule (MFC) das plantas de lúpulo var. Cascade aos 215 DAT

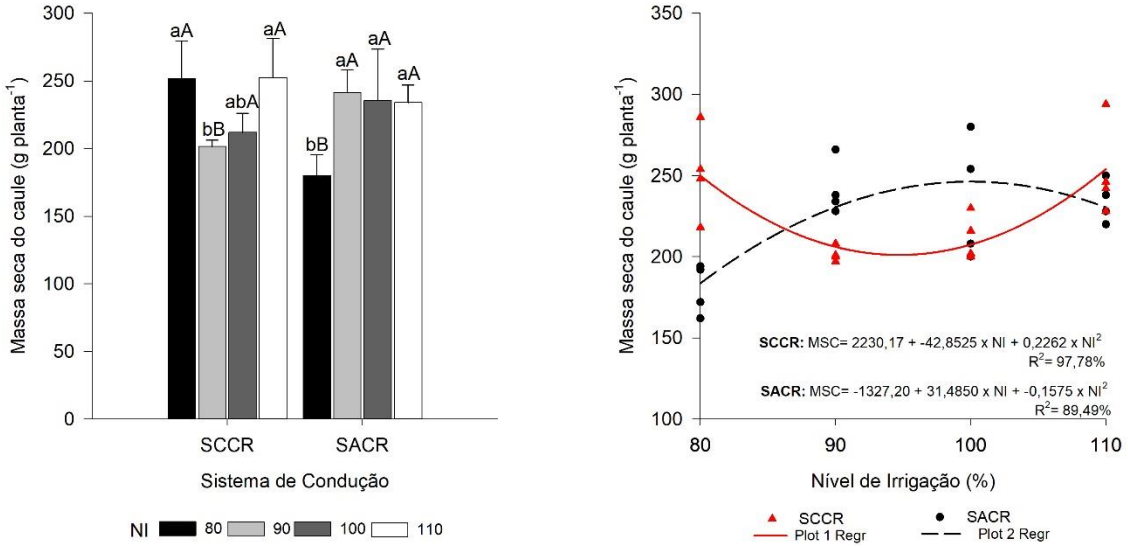


*Médias seguidas pela mesma letra minúscula para os níveis de irrigação e maiúscula para os sistemas de condução não diferem estatisticamente entre si para o sistema de condução dos ramos pelo teste de comparações múltiplas (Tukey) ao nível de 5% de significância.

Analisando o desdobramento da interação (SC dentro do NI) para a massa seca do caule (Figura 87), observou-se as maiores médias no SCCR com NI80 e NI110 (251,50±27,87 e 252,50±28,72) quando comparadas com o SACR, diferindo estatisticamente. Por outro lado, plantas cultivadas no SACR apresentaram maiores médias quando se utilizou os NI90, NI100 e NI110, sendo a maior para o NI90 (241,50±16,84). Desta forma, notou-se comportamento de resposta quadrático

inverso dos NI dentro do SC. Além disso, sob SACR no NI90 foi verificado a maior média (241,50±16,84) em comparação aos demais NI.

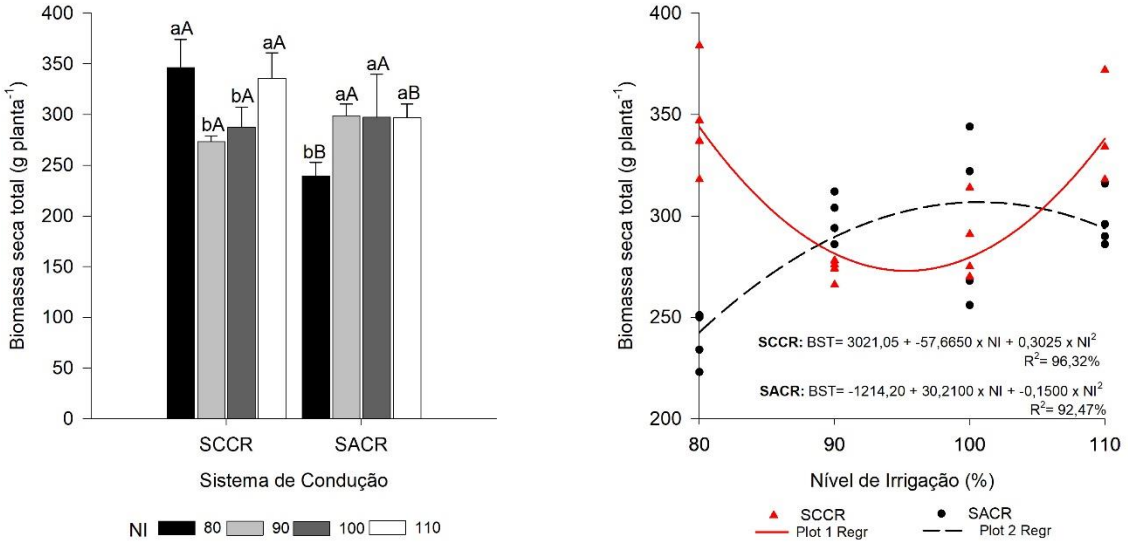
Figura 87 – Interação entre os sistemas de condução dos ramos e níveis de irrigação para a massa seca do caule (MSC) das plantas de lúpulo var. Cascade aos 215 DAT



*Médias seguidas pela mesma letra minúscula para os níveis de irrigação e maiúscula para os sistemas de condução não diferem estatisticamente entre si para o sistema de condução dos ramos pelo teste de comparações múltiplas (Tukey) ao nível de 5% de significância.

A biomassa seca total (BST) das plantas de lúpulo está apresentada na Figura 88. Observou-se pelo desdobramento (SC dentro do NI) que a BST apresentou comportamento semelhante a MSC, sendo a maior média para o SCCR sob NI80 e NI110, diferindo estatisticamente do SACR. Ainda, embora não seja observado diferença significativa para os NI90 e NI100 entre os SC, verificou-se que as maiores médias foram obtidas no SACR (299,00±11,37 e 297,50±42,24, respectivamente). Este comportamento promoveu resposta quadrática para os NI x SC.

Figura 88 – Interação entre os sistemas de condução dos ramos e níveis de irrigação para a biomassa seca total (BST) das plantas de lúpulo var. Cascade aos 215 DAT



*Médias seguidas pela mesma letra minúscula para os níveis de irrigação e maiúscula para os sistemas de condução não diferem estatisticamente entre si para o sistema de condução dos ramos pelo teste de comparações múltiplas (Tukey) ao nível de 5% de significância.

Os parâmetros biométricos dos cones (Tabela 13) não apresentaram diferença significativa para nenhum dos fatores estudados, bem como, para a interação entre os fatores.

Tabela 13 – Valores de p, F calculado e dos coeficientes de variação experimental para os parâmetros biométricos do cone das plantas de lúpulo var. Cascade em função de diferentes níveis de irrigação e sistemas de condução dos ramos

Parâmetro	SC		NI		SC x NI		CV (%)
	F_{calc}	*p-valor*	F_{calc}	*p-valor*	F_{calc}	*p-valor*	
Lcone	0,02	$0,886^{ns}$	0,72	$0,549^{ns}$	1,83	$0,171^{ns}$	6,00
Dcone	0,11	$0,734^{ns}$	0,18	$0,903^{ns}$	1,50	$0,243^{ns}$	4,64

Sendo: Lcone – comprimento do cone, Dcone – diâmetro do cone, SC – sistema de condução dos ramos, NI – nível de irrigação, SC x NI – interação dos fatores, F_{calc} – valor de F calculado, *p-valor* – valor de p, CV – coeficiente de variação experimental; * – significativo (p<0,05) e ns – não significativo (p>0,05).

De acordo com a Tabela 14, o parâmetro de produção massa fresca de dez cones (MF10) apresentou diferença significativa apenas para o fator NI. No entanto, para a produção (P), massa seca (MS_{cone}) e produtividade de cones (Y) foram influenciadas pela interação entre os fatores estudados.

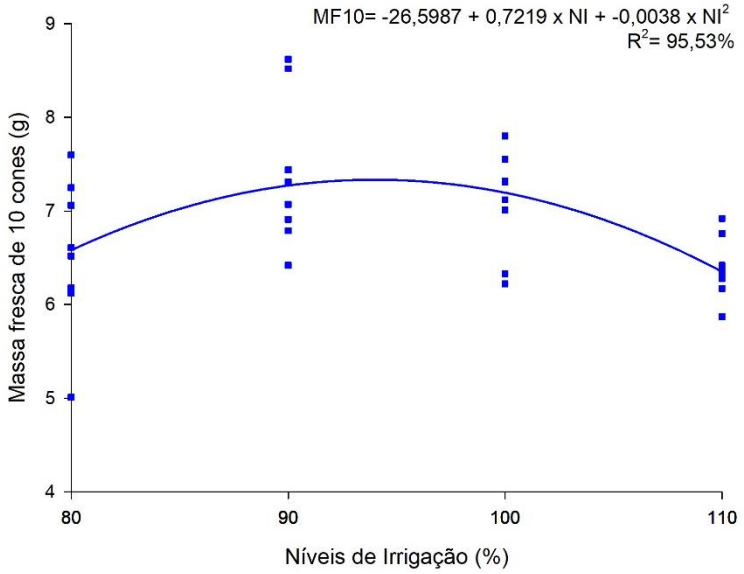
Tabela 14 – Valores de p, F calculado e dos coeficientes de variação experimental para os parâmetros de produção do cone das plantas de lúpulo var. Cascade em função de diferentes níveis de irrigação e sistemas de condução dos ramos

Parâmetro	SC		NI		SC x NI		CV (%)
	F_{calc}	*p-valor*	F_{calc}	*p-valor*	F_{calc}	*p-valor*	
MF10	0,13	$0,719^{ns}$	4,71	0,011*	2,96	$0,055^{ns}$	8,83
P	54,59	<0,001*	11,70	<0,001*	10,05	<0,001*	7,34
MS_{cone}	9,70	0,005*	5,40	0,006*	7,13	0,001*	16,18
Y	54,60	<0,001*	11,71	<0,001*	10,06	<0,001*	7,34

Sendo: MF10 – massa fresca de 10 cones, P – produção, MS_{cone} – massa seca do cone, Y – produtividade, SC – sistema de condução dos ramos, NI – nível de irrigação, SC x NI – interação dos fatores, F_{calc} – valor de F calculado, *p-valor* – valor de p, CV – coeficiente de variação experimental; * – significativo (p<0,05) e ns – não significativo (p>0,05).

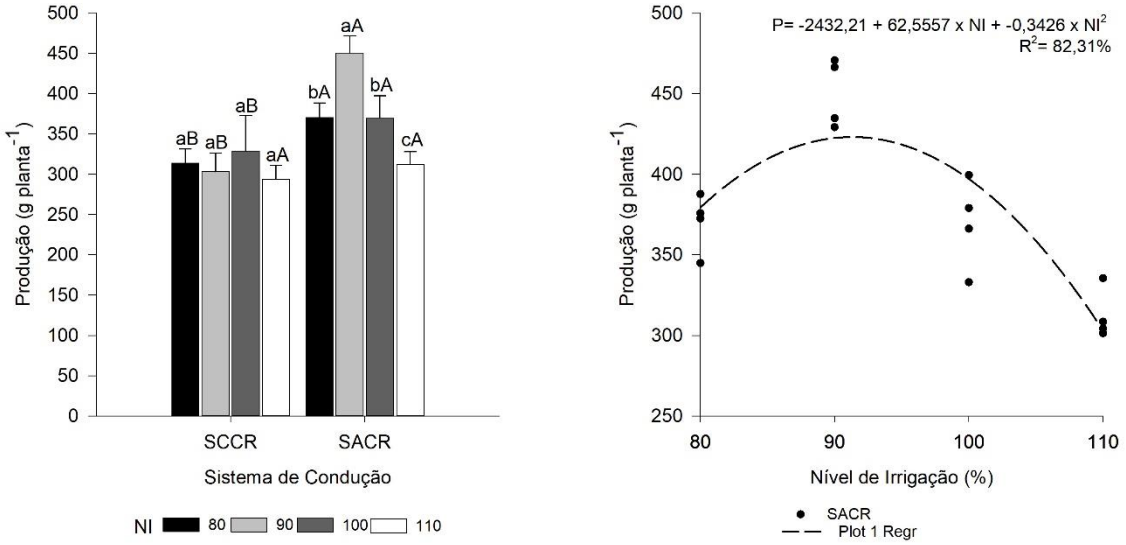
A massa fresca de dez cones (MF10) apresentou comportamento de resposta quadrático (Figura 89), em que as maiores médias foram verificadas no NI90 e NI100 (7,39±0,80 e 7,08±0,56, respectivamente).

Figura 89 – Massa fresca de dez cones (MF10) das plantas de lúpulo var. Cascade em função dos níveis de irrigação



Analisando o desdobramento da interação (SC dentro de NI) para a produção de cones (P) (Figura 90) observou-se que no SACR sob os NI80, NI90 e NI100 apresentaram médias superiores ao SCCR, diferindo estatisticamente, apenas sob NI110 não se verificou diferença entre os SC. A interação entre NI dentro do SACR notou-se comportamento de resposta quadrático, sendo a maior média para o NI90 (450,21±21,31).

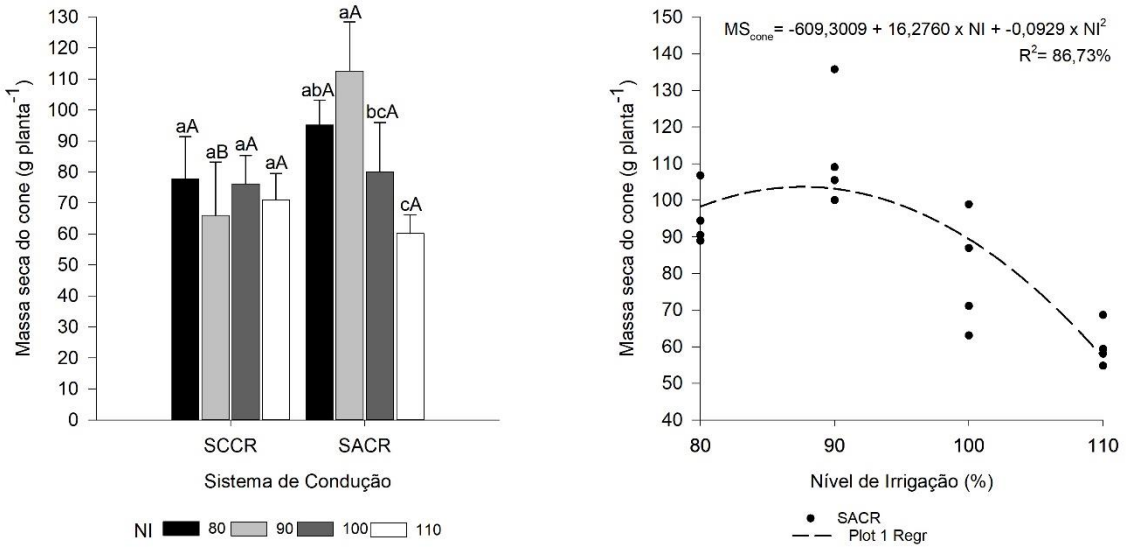
Figura 90 – Interação entre os sistemas de condução dos ramos e níveis de irrigação para a produção de cones (P) das plantas de lúpulo var. Cascade



*Médias seguidas pela mesma letra minúscula para os níveis de irrigação e maiúscula para os sistemas de condução não diferem estatisticamente entre si para o sistema de condução dos ramos pelo teste de comparações múltiplas (Tukey) ao nível de 5% de significância.

Analisando o desdobramento da interação dos fatores estudados para a massa seca dos cones (MS_{cone}) (Figura 91) observou-se os mesmos comportamentos que a produção de cones (P), sendo a melhor resposta no SACR sob NI90 (112,54±15,88).

Figura 91 – Interação entre os sistemas de condução dos ramos e níveis de irrigação para a massa seca do cone (MScone) das plantas de lúpulo var. Cascade

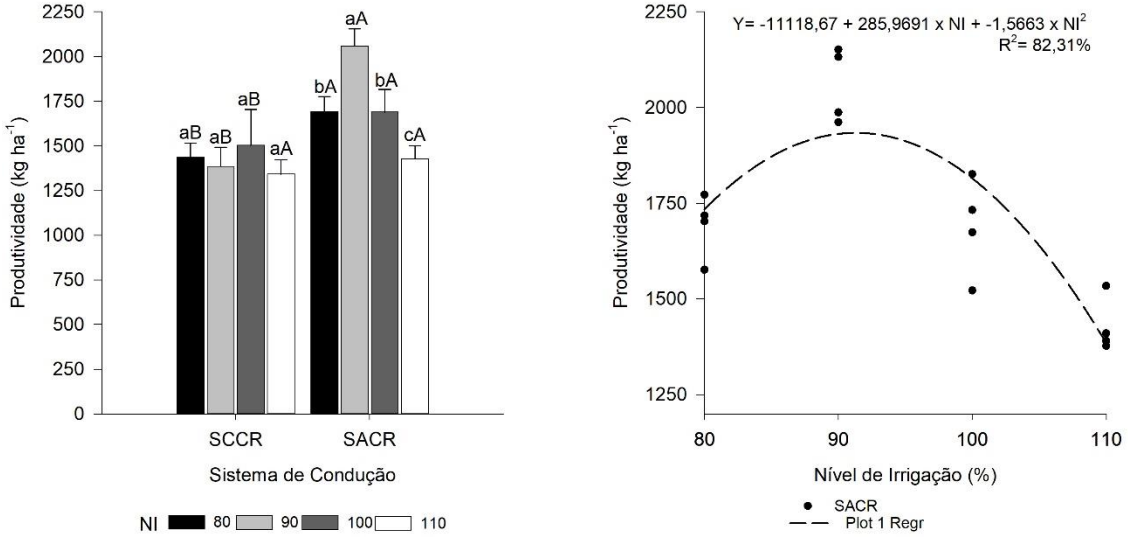


*Médias seguidas pela mesma letra minúscula para os níveis de irrigação e maiúscula para os sistemas de condução não diferem estatisticamente entre si para o sistema de condução dos ramos pelo teste de comparações múltiplas (Tukey) ao nível de 5% de significância.

Para a produtividade de cones (Y) (Figura 92), verificou-se pelo desdobramento da interação dos fatores que o SACR apresentou comportamento de resposta quadrática com maiores médias para os NI80, NI90 e NI100 em comparação ao

SCCR, diferindo estatisticamente. Sob SACR e NI90 foi verificado média de Y de 2.058,12 kg ha^{-1}, apresentando acréscimo de 22% em relação aos NI80 e NI100, e 44% em relação ao NI110. Ressalta-se ainda que, ao analisar o efeito dos fatores, observou-se que o SCCR sob NI90 apresentou média 33% menor que o SACR, verificando assim, que os SC têm influência na produtividade de cones.

Figura 92 – Interação entre os sistemas de condução dos ramos e níveis de irrigação para a produtividade de cones (Y) das plantas de lúpulo var. Cascade



*Médias seguidas pela mesma letra minúscula para os níveis de irrigação e maiúscula para os sistemas de condução não diferem estatisticamente entre si para o sistema de condução dos ramos pelo teste de comparações múltiplas (Tukey) ao nível de 5% de significância.

Observa-se na Tabela 15 que houve diferença significativa para o teor de alfa ácido (α ácido) em função do SC e dos NI. Para o beta ácido (β ácido) houve diferença significativa em função do NI e interação significativa entre os fatores para o índice de armazenamento do lúpulo (HSI).

Tabela 15 – Valores de p, F calculado e dos coeficientes de variação experimental para os teores dos compostos presente nos cones das plantas de lúpulo var. Cascade em função de diferentes níveis de irrigação e sistemas de condução dos ramos

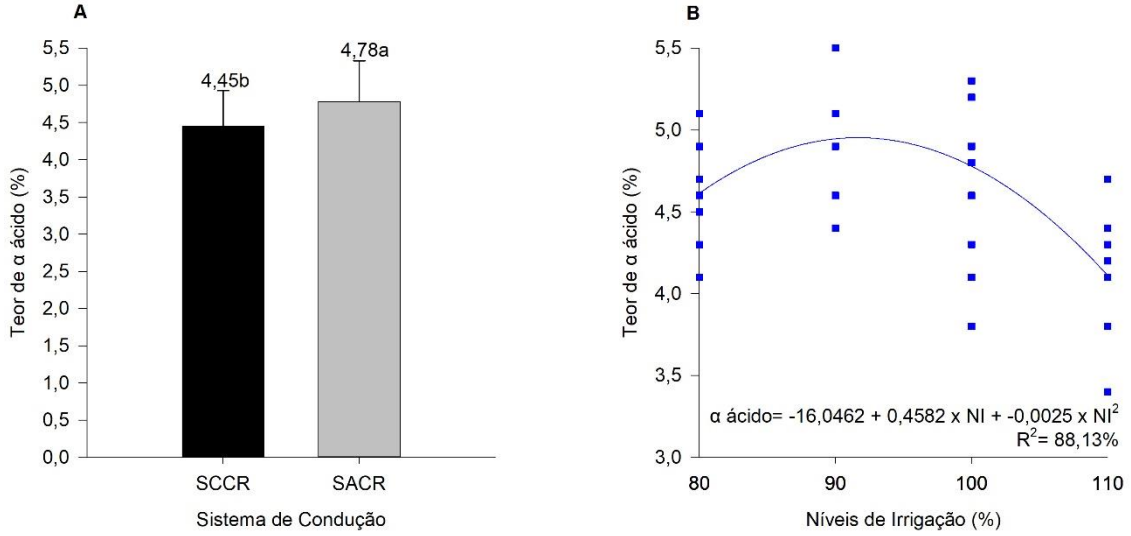
Parâmetro	SC		NI		SC x NI		CV (%)
	F_{calc}	*p-valor*	F_{calc}	*p-valor*	F_{calc}	*p-valor*	
α ácido	4,53	0,045*	6,33	0,003*	0,70	0,56^{ns}	9,36
β ácido	0,01	0,919^{ns}	8,55	<0,001*	1,04	0,394^{ns}	11,96
HSI	8,34	0,008*	15,57	<0,001*	8,05	0,003*	9,83

Sendo: α ácido – teor de alfa ácido, β ácido – teor de beta ácido, HSI – índice de armazenamento de lúpulo, SC – sistema de condução dos ramos, NI – nível de irrigação, SCCR – sistema convencional de condução dos ramos, SACR – sistema alternativo de condução dos ramos, CV – coeficiente de variação experimental, *p-valor* – valor de p, SC x NI – interação dos fatores, * – significativo (p≤0,05) e ns – não significativo (p>0,05).

O teor de alfa ácido (α ácido) apresentou maior média para o SACR quando comparado ao SCCR, diferindo estatisticamente (Figura 93A). Observou-se ainda,

resposta quadrática em função dos NI, em que o NI90 apresentou a maior média (5,10 54±0,46) em relação aos demais NI (Figura 93B).

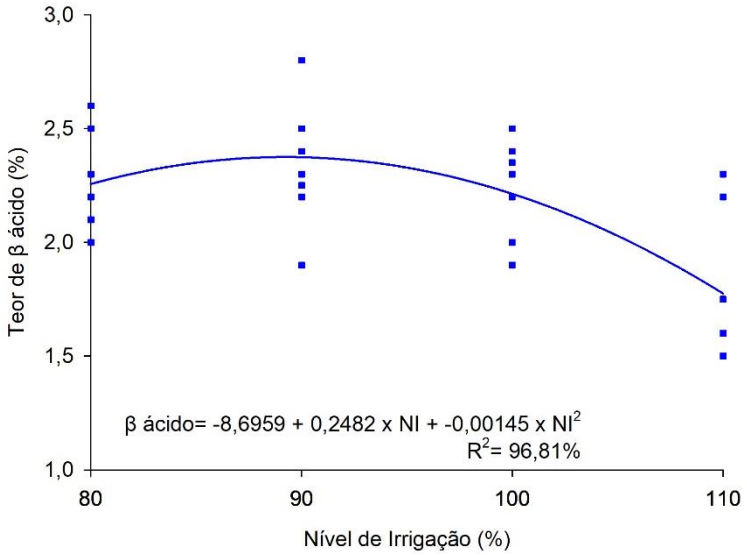
Figura 93 – Teor de alfa ácido (α ácido) das plantas de lúpulo var. Cascade em função dos sistemas de condução (A) e níveis de irrigação (B)



*Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si para o sistema de condução dos ramos pelo teste de comparações múltiplas (Tukey) ao nível de 5% de significância.

O teor de beta ácido (β ácido) apresentou resposta quadrática em função dos NI, sendo as maiores médias sob NI80 e NI90 (Figura 94). A maior média obtida foi para o NI90 (2,32±0,26) o que correspondeu a um aumento de 32% em relação ao NI110.

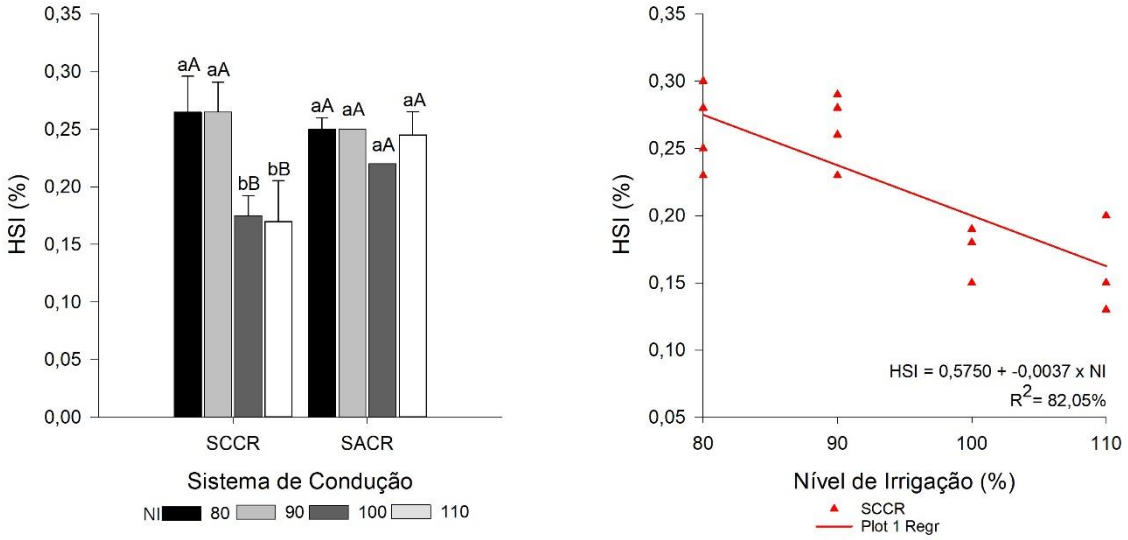
Figura 94 – Teor de alfa ácido (β ácido) das plantas de lúpulo var. Cascade em função dos níveis de irrigação



O desdobramento da interação entre os fatores para o índice de armazenamento do lúpulo (HSI) está apresentado na Figura 95. Verificou-se pela interação entre o SC dentro dos NI que não houve diferença significativa para os NI80 e NI90 para ambos os sistemas. Entretanto, para os NI100 e NI110 houve diferença significativa, sendo

as maiores médias para o SACR em comparação ao SCCR, diferindo estatisticamente. A interação entre os NI dentro do SC apresentou comportamento de resposta linear decrescente, ou seja, quanto maior os NI menor foi o HSI. Ademais, houve redução de 18% do HSI quando se utilizou o NI110 em comparação ao NI80 e NI90.

Figura 95 – Interação entre os sistemas de condução dos ramos e níveis de irrigação para o índice de armazenamento de lúpulo (HSI) das plantas de lúpulo var. Cascade



*Médias seguidas pela mesma letra minúscula para os níveis de irrigação e maiúscula para os sistemas de condução não diferem estatisticamente entre si para o sistema de condução dos ramos pelo teste de comparações múltiplas (Tukey) ao nível de 5% de significância.

Observa-se na Tabela 16 que houve interação significativa entre os fatores (SC x NI) para a produtividade da água das plantas de lúpulo var. Cascade.

Tabela 16 – Valores de p, F calculado e dos coeficientes de variação experimental para a produtividade da água (PAC) das plantas de lúpulo var. Cascade em função de diferentes níveis de irrigação e sistemas de condução dos ramos

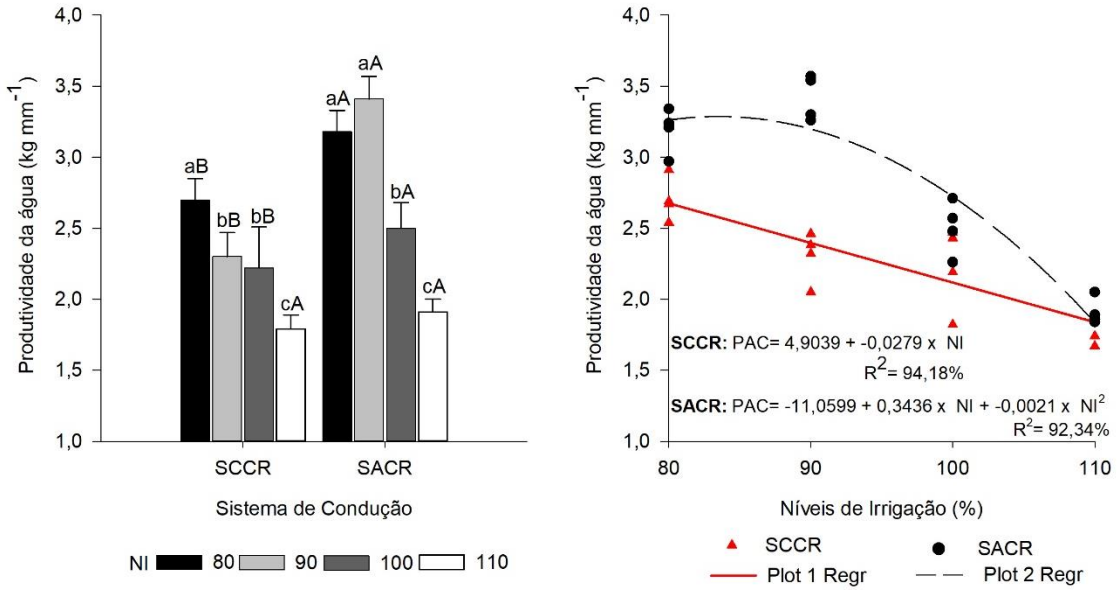
SC		NI		SC x NI		CV (%)
F_{calc}	*p-valor*	F_{calc}	*p-valor*	F_{calc}	*p-valor*	
61,95	<0,001*	63,37	<0,001*	12,05	<0,001*	7,14

Sendo: SC – sistema de condução dos ramos, NI – nível de irrigação, SC x NI – interação dos fatores, F_{calc} – valor de F calculado, *p-valor* – valor de p, CV – coeficiente de variação experimental; * – significativo (p<0,05) e ns – não significativo (p>0,05).

O desdobramento da interação entre os fatores para a produtividade da água da cultura (PAC) está apresentado na Figura 96. Ao analisar o efeito de interação entre os fatores (SC dentro de NI), verificou-se que PAC é menor no SCCR sob NI80, NI90 e NI100 em comparação ao SACR, diferindo estatisticamente. A PAC não apresenta diferença significativa sob NI110 para ambos os SC. Em relação a interação dos fatores (NI dentro do SC), observou-se comportamento de resposta linear para o

SCCR e quadrático para o SACR. A PAC reduz linearmente no SCCR em função dos NI, sendo as maiores médias em NI80 e NI90. Já para o SACR, verificou-se que PAC sob NI90 apresenta a maior média, correspondendo um aumento de 7% em relação ao NI80. Os NI100 e NI110 apresentaram redução da PAC de 27 e 44%, respectivamente em comparação a maior média (NI90), este resultado é consequência da maior produtividade de cones nos NI80 e NI90, ou seja, maior produção com menor lâmina de irrigação.

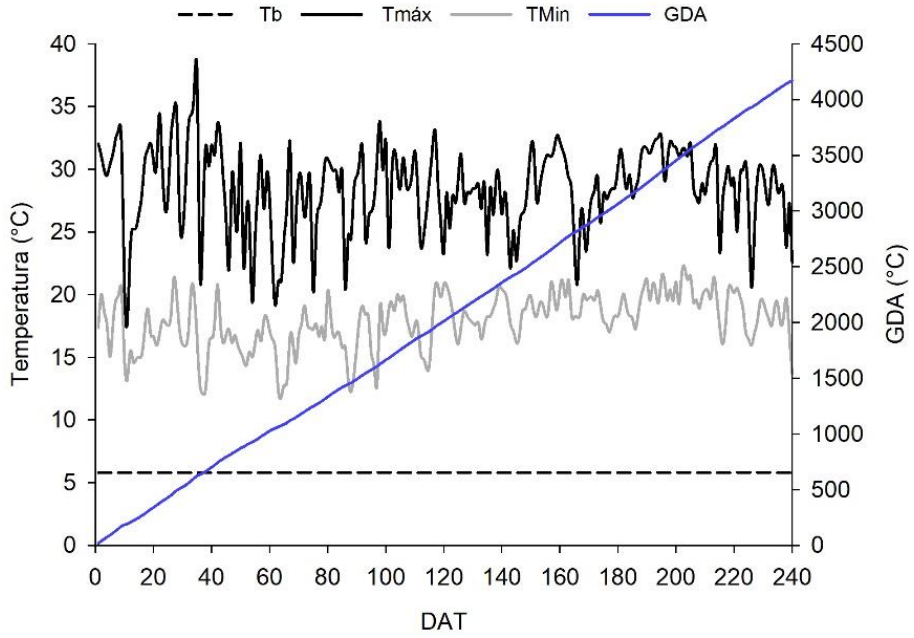
Figura 96 – Interação entre os sistemas de condução dos ramos e níveis de irrigação para a produtividade da água (PAC) das plantas de lúpulo var. Cascade



*Médias seguidas pela mesma letra minúscula para os níveis de irrigação e maiúscula para os sistemas de condução não diferem estatisticamente entre si para o sistema de condução dos ramos pelo teste de comparações múltiplas (Tukey) ao nível de 5% de significância.

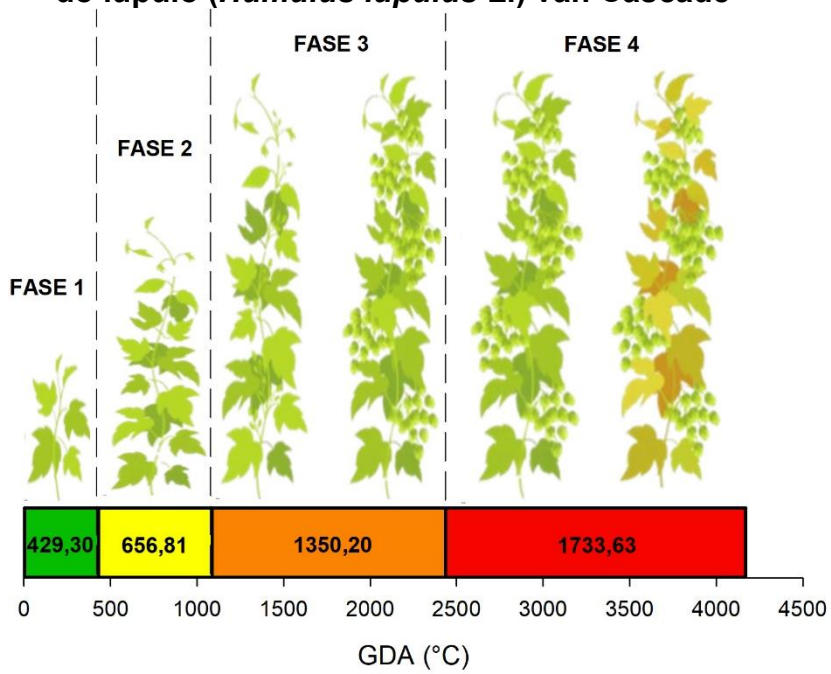
Analisando a Figura 97, observa-se que a temperatura mínima do ar (Tmín) durante o ciclo experimental de 240 dias não esteve abaixo da temperatura basal inferior (Tb), sendo um fator positivo para o crescimento e desenvolvimento da cultura do lúpulo var. Cascade.

Figura 97 – Temperatura mínima do ar (Tmín), Temperatura máxima do ar (Tmáx), temperatura basal inferior (Tb) e graus dias acumulados (GDA)



A Figura 98 apresenta o GDA para cada uma das quatro fases de desenvolvimento da cultura do lúpulo var. Cascade. Observa-se que na fase 1 e 2 o GDA foi de 429,30 e 656,81°C, respectivamente. Para mais, na fase 3 o GDA foi 1.779,50°C, enquanto na fase 4 o GDA foi de 2.390,44°C.

Figura 98 – Graus dias acumulados (GDA) para cada fase de desenvolvimento do lúpulo (*Humulus lupulus* L.) var. Cascade



5 DISCUSSÃO

A imposição de diferentes níveis de irrigação com base na demanda evapotranspirométrica e dos sistemas de condução dos ramos proporcionaram diferentes respostas em plantas de lúpulo var. Cascade sob cultivo em campo na região de Botucatu, São Paulo, Brasil.

O lúpulo (*Humulus lupulus* L.) é uma planta de via bioquímica fotossintética que utiliza o ciclo de Calvin-Benson, comumente conhecido como ciclo de Calvin ou C3 (Marenco; Lopes, 2013; Taiz *et al*., 2017; Ocvirk; Ogrinc-eIztok; Košir, 2018; Eriksen *et al*., 2020).

As plantas como o lúpulo (*Humulus lupulus* L.), utilizam a via bioquímica fotossintética C3 para fixar dióxido de carbono (CO_2) durante a fase inicial da fotossíntese através da enzima RuBisCO (Braga, 2020; Qiu *et al*., 2023), para a conversão de água e CO_2 em oxigênio (O_2) e carboidratos que impulsionam a produção de fitoassimilados e consequentemente, a produção de biomassa (Burgess; Wang, 2023). Por outro lado, em condições de estresse a eficiência fotossintética é reduzida devido a fotorrespiração, pois plantas C3 não armazenam CO_2. Desta forma a enzima RuBisCO se liga ao O_2 causando gasto de energia sem a conversão de fitoassimilados (Burgess; Wang, 2023).

Aos 62 dias após o transplantio (DAT) plantas de lúpulo var. Cascade sob condução no sistema alternativo (SACR) apresentaram menor taxa de assimilação de CO_2 (A), eficiência instantânea de carboxilação (EiC) e eficiência quântica fotoquímica efetiva PSII (Fm’/Fv’) e maior coeficiente de extinção não fotoquímica do PSII (NPQ), quando comparadas as plantas sob condução no sistema convencional (SCCR).

Os resultados obtidos indicam possível estresse abiótico causado pelo sistema alternativo de condução dos ramos (SACR). A hipótese para tais resultados é a forma de treinamento dos ramos, pois no SACR os ramos são conduzidos verticalmente até atingirem altura de 0,83,1,66 e 2,50 m e depois são conduzidos horizontalmente. Essa alteração pode ter causado estresse e posteriormente, danos ao aparato fotossintético na fase de crescimento e desenvolvimento dos ramos. Contudo, os resultados obtidos nas demais avaliações (99, 123, 195 e 213 DAT) mostraram que as plantas se adaptaram ao SACR.

O sistema de condução dos ramos influencia o desenvolvimento de plantas com característica trepadeira. Em videiras, por exemplo, o sistema de condução afeta

diretamente o desenvolvimento foliar e a eficiência no aparato fotossintético, causando diversos distúrbios nas plantas (Pedro Júnior; Hernandes; Moura, 2018; Dinis *et al*., 2018; Jimenes *et al*., 2018).

Em condições de estresse, o crescimento e o desenvolvimento das plantas são reduzidos devido ao fechamento estomático, redução da taxa de assimilação de CO_2 e inibição da fixação de CO_2, afetando diretamente a eficiência instantânea de carboxilação, o transporte fotossintético de elétrons e a biossíntese de clorofila nos fotossistemas PSI e PSII (Sharma *et al*., 2020; Guo *et al*., 2021; Silva *et al*., 2023).

Plantas submetidas a estresse utilizam a luz absorvida para outros processos, como dissipação térmica com intuito de proteger o aparato fotossintético reduzindo a relação Fv'/Fm' (Silva *et al*., 2018). Além disso, o estresse abiótico resulta na significativa diminuição da cadeia de transporte de elétrons, levando à fotooxidação (Gururani; Venkatesh; Tran, 2015). No entanto, as plantas desenvolveram diversos mecanismos de resposta, incluindo a redução da taxa de transporte de elétrons pela conversão da luz excessivamente absorvida em energia térmica, causando a dissipação do excesso de energia de excitação (NPQ) da fluorescência da clorofila (Takahashi; Badger, 2011; Spetea; Rintamäki; Schoefs, 2014).

Em síntese, os fotossistemas (PSI e PSII) são estruturas fotossintéticas responsáveis pela conversão de energia luminosa em energia química durante a fotossíntese (Lima-Melo *et al*., 2021; Shevela *et al*., 2021; Qi; Zhao; Nixon, 2023). A eficiência quântica fotoquímica efetiva PSII (Fv'/Fm') retrata a eficiência quântica potencial do PSII, sendo usado como indicação do desempenho fotossintético e da integridade das plantas (Zunzunegui *et al*., 2011, Wong *et al*., 2012; Mkhabela *et al*., 2023). Já o coeficiente de extinção não fotoquímica do PSII (NPQ) indica a dissipação de energia luminosa em excesso não utilizada pelas plantas nos processos fotoquímicos no PSII (Xu *et al*., 2018; Han *et al*., 2022), e ainda, pode ser considerado um mecanismo fotoinibidor atuando diretamente sob a fotossíntese, biomassa, dentre outros.

A capacidade fotossintética das plantas de lúpulo var. Cascade conduzidas no SACR associadas ao NI90 e NI100 foram mais eficientes, visto que, a interação destes fatores favoreceu a eficiência instantânea de carboxilação (EiC), ou seja, as plantas foram eficientes na assimilação de CO_2, o que impulsionou o desenvolvimento das plantas, principalmente aos 99 e 123 DAT. Sendo assim, um fator positivo no que diz respeito a duração do ciclo da cultura.

Aos 123 DAT houve redução significativa de 23,50 e 24,00% da EiC para SACR e SCCR, respectivamente. Essa redução pode estar relacionada com a radiação global (Rn) (Figura 12), a qual apresentou decréscimo de 48% na semana em que foi realizado a análise de trocas gasosas, em relação à semana anterior, influenciando desta forma na captação e conversão de luz em energia química que é vital para o funcionamento do aparato fotossintético. De acordo com Spósito *et al*. (2019) e Fagherazzi (2020), o lúpulo (*Humulus lupulus* L.) é uma planta muito exigente de luz solar e radiação, ou seja, a ausência e/ou redução da Rn pode comprometer a EiC.

Aos 195 DAT houve estabilização da EiC para os NI90, 100 e 110, com exceção do NI80 que apresentou maior média, sendo um indicativo de desenvolvimento pleno. A estabilização da EiC aos 195 DAT reforçou os indícios de finalização do ciclo, o qual foi constatado aos 213 DAT, por conta da redução da EiC, pigmentos fotossintéticos e massa fresca e seca das folhas e acréscimo nas perdas eletrolíticas. Desta forma, as plantas sob condução no SACR tenderam a apresentar um ciclo mais curto quando comparado as plantas sob condução no SCCR.

O SACR permite uma distribuição horizontal dos ramos e folhas, resultando na distribuição uniforme da água e nutrientes pela planta, maior interceptação da luz solar e radiação, assim, favorece a capacidade fotossintética. Os resultados obtidos mostram que o SACR aumentou o potencial hídrico foliar (Ψ), o conteúdo relativo de água (CRA) e a clorofila *a* (ClorA) e reduziu a perda de eletrólitos (PE), em relação as plantas conduzidas no SCCR.

A condução dos ramos no sentido horizontal permite que a água seja distribuída uniformemente pela planta aumentando o potencial hídrico foliar (Ψ). Este parâmetro determina o estado hídrico no interior da folha (Marenco; Lopes, 2013; Taiz *et al*., 2017; Rodriguez-Dominguez, *et al*., 2022). Os resultados obtidos nas diferentes épocas mostraram que as plantas sob condução no SACR apresentam as maiores médias, em comparação as plantas conduzidas no SCCR.

De acordo com Parkash, Singh (2020) a determinação do CRA é uma forma de mensurar o estado hídrico nas folhas. O CRA por sua vez, expressa a relação entre o conteúdo de água da folha com o conteúdo máximo de água para a folha atingir a máxima turgescência (Ihuoma; Madramootoo, 2017). Conforme mencionado, plantas de lúpulo var. Cascade apresentaram maiores médias para o CRA sob condução no SACR.

Os pigmentos fotossintéticos, incluindo as clorofilas e carotenoides, são encontrados em plantas, algas e em algumas bactérias. Estes, desempenham papel fundamental na fotossíntese por meio da captação de luz solar e conversão em energia química para as atividades metabólicas (Urrea-Victoria *et al*., 2023). A clorofila *a* (ClorA) é o principal pigmento responsável pela captação de luz solar durante a realização da fotossíntese (A), enquanto a clorofila *b* (ClorB) atua como pigmento acessório, complementando a absorção de luz pela ClorA (Kerbauy, 2012; Taiz *et al*., 2017).

Aos 123 DAT, as plantas conduzidas no SACR apresentaram maiores médias da ClorA em comparação às conduzidas no SCCR. Ainda, aos 123 DAT, a resposta foi linear crescente em função dos NI, sendo as maiores médias para o NI110. Já aos 213 DAT, maiores médias foram observadas para as plantas sob condução no SCCR, sendo um indicativo de que as plantas sob condução no SACR estavam encerrando o ciclo.

A ClorB apresentou médias superiores a ClorA em todos os tratamentos aos 213 DAT. De acordo com Streit *et al*. (2005), na natureza, as clorofilas (ClorA e ClorB) representam uma proporção de 3:1, respectivamente. Por essa razão, que a ClorA desempenha papel primário na realização da fotossíntese, enquanto a ClorB atua como pigmento acessório. No entanto, para algumas espécies, o maior teor de ClorB pode ser vantajoso, pois em condições de sombreamento a ClorB apresenta maior eficiência na absorção de luz menos intensa e maior capacidade fotossintética (Mitchell, 1979; Whatley; Whatley, 1982). Para mais, o aumento no teor de ClorB em folhas sujeitas a baixa luminosidade é uma característica importante, pois a ClorB tem a capacidade de absorver energia em diferentes comprimentos de ondas e transferi-la para a ClorA (Scalon *et al*., 2002).

A perda de eletrólitos (PE) é um parâmetro fisiológico que detecta danos nas membranas vegetais (Parri *et al*., 2023) em resposta a estresses bióticos ou abióticos (Demidchik *et al*., 2014; Bičárová *et al*., 2023). Os resultados obtidos para a PE sugerem que o SCCR pode ter causado estresse nas plantas de lúpulo var. Cascade, visto que, as menores médias foram obtidas no SACR.

Em videiras, o sistema de condução dos ramos influencia o microclima e a quantidade de radiação interceptada, melhorando a eficiência fotossintética, aumentando a área foliar, produtividade, qualidade dos frutos e dos metabolitos primários e secundários (Ibacache; Albornoz; Zurita-Silva, 2016; Poni *et al*., 2018;

Júnior; Hernandes; Moura, 2018; Dinis *et al*., 2018; Jimenes *et al*., 2018). Neste contexto, é evidente que o SACR dos ramos exerceu efeito positivo sobre os parâmetros fisiológicos da cultura do lúpulo var. Cascade.

A principal diferença entre os dois sistemas de condução (SCCR e SACR) está na distribuição dos ramos e na capacidade das plantas interceptar luz solar e radiação. Plantas de lúpulo são exigentes de luz solar e radiação (Spósito *et al*., 2019; Fagherazzi, 2020), o seu crescimento, desenvolvimento, floração e acúmulo de biomassa vegetal está diretamente relacionada com a disponibilidade e interceptação de luz solar e radiação (Rybáček, 1991). Na viticultura, sistemas de condução horizontal são mais eficientes que os sistemas verticais, pois apresentam maior capacidade de interceptar a radiação (Reynolds; Heuvel, 2009).

A interceptação de luz é um fator determinante para o desenvolvimento, absorção de CO_2 e produção de biomassa vegetal (Du *et al*., 2023). Reynolds; Heuvel (2009), afirmam que o sistema de condução exerce influência na eficiência fotossintética, devido a capacidade de interceptação e exploração da radiação fotossintéticamente ativa (PAR). Costa *et al*. (2016) observaram maior eficiência fotossintética de mudas de maracujá (*Passiflora setácea*) quando houve maior exposição das folhas à radiação solar. Desta forma, os melhores resultados obtidos para os parâmetros fisiológicos das plantas sob condução no SACR se justificam pela capacidade das plantas de lúpulo var. Cascade em interceptar a luz solar e convertê-la em energia necessária para os processos fisiológicos.

A disposição horizontal dos ramos no SACR além de permitir maior incidência de luz e radiação pode facilitar a circulação do ar ao redor da planta. A circulação do ar propicia um ambiente aerado, o que pode minimizar o desenvolvimento de doenças fúngicas (Hernandes; Júnior; Moura, 2021), como oídio (*Podosphaera macularis*) e míldio (*Pseudoperonospora humuli*), que são algumas das principais doenças na cultura do lúpulo (Gargani *et al*., 2017), e que proliferam em condições de umidade excessiva. Observou-se durante o experimento que no SCCR houve mais infestação de pragas e doenças em comparação ao SACR.

O estresse hídrico impacta negativamente o desenvolvimento, produção de biomassa, produtividade e a qualidade das culturas agrícolas (Seleiman *et al*., 2021), sendo este, causado pela deficiência hídrica e excesso hídrico, conforme observado nos resultados desta pesquisa. Diversos estudos realizados com a cultura do lúpulo (*Humulus lupulus* L.) mostram que o estresse hídrico afeta negativamente o

desenvolvimento, a floração, a formação de cones, induz a maturação precoce, reduz à produção de cones e a biossintetização de alfa-ácido (Fardiño *et al*., 2015; Jackson; Siegle; Scoggins, 2019; Rossini *et al*., 2021; Marceddu, Carrubba; Sarno, 2022).

O NI80 aumentou a condutância estomática (Gs) e a transpiração (E), causando desequilíbrio nas relações hídricas, implicando desta forma, na maior perda evaporativa, redução da capacidade fotossintética, do Ψ, CRA e a ClorA e aumento da PE. Desta forma, pode-se aferir que NI80 provocou estresse hídrico em plantas de lúpulo var. Cascade, sendo um nível de irrigação não recomendado.

Em condições de estresse hídrico, um dos principais processos afetados é a taxa de assimilação de CO_2 (A) (Yang *et al*., 2021; Contin *et al*., 2023), corroborando com os resultados obtidos neste estudo. Hejnák, Hniličková e Hnilička (2015), avaliando as respostas fisiológicas de quinze variedades de lúpulo sob deficiência hídrica observaram redução do CRA, taxa de transpiração (E), Gs e da A. Kolenc *et al*. (2016), observou redução da A para duas variedades holandesas de lúpulo (*Humulus lupulus* L.) sob deficiência hídrica.

O excesso de água (NI110) reduziu a capacidade fotossintética e o CRA e aumentou as perdas eletrolíticas (PE). Segundo Taiz *et al*. (2017), o excesso de água causa o decréscimo de O_2 na superfície das raízes (hipoxia), inibe a respiração nas raízes, como consequência, causa esgotamento de energia, danos celulares e oxidativos e morte celular. A redução da capacidade fotossintética causada pelos NI80 e 110 potencializa a fotorrespiração, ou seja, gasto de energia química sem conversão em fitoassimilados (Burgess; Wang, 2023), sendo, desta forma, ineficientes no que se refere a conversão de energia luminosa em energia química.

Conforme descrito, o CRA é um parâmetro indicador do estado hídrico da planta. Em condições de estresse hídrico por falta (NI80) ou excesso de água (NI110) no SCCR, o CRA de plantas de lúpulo var. Cascade foi influenciado negativamente. Em condições adequadas (NI90), as plantas mantêm sua turgidez, estrutura e as suas funções fisiológicas. Entretanto, redução do CRA indica estresse hídrico.

O manejo da irrigação via demanda evapotranspirométrica mostrou que para a cultura do lúpulo var. Cascade, nas condições ambientais e experimentais, tenderam a apresentar melhores respostas fisiológicas quando se utilizou os NI90 e NI100, indicando que a redução de 10% da demanda pode potencializar o seu desenvolvimento, principalmente quando associado ao SACR.

Em SCCR as plantas apresentaram maior diâmetro do caule (DC) sob NI80 e NI100, e redução quando se utilizou o NI110 aos 215 DAT, ou seja, o incremento de 10% da irrigação (NI110) não aumentou o DC, em comparação as plantas irrigadas com NI100. Por outro lado, no SACR as plantas apresentaram maiores DC quando se utilizou o NI90. Já, sob NI80 o DC reduziu 20% em comparação ao NI90, isto significa que o NI80 causou estresse hídrico nas plantas de lúpulo.

As plantas sob condução no SCCR tenderam a apresentar ciclo mais prolongado quando comparado com àquelas sob condução no SACR, pois aos 215 DAT apresentaram as maiores médias de massa fresca da folha (MFF), massa seca da folha (MSF) e massa fresca do caule (MFC), principalmente, quando se utilizou o NI80, indicando que as plantas ainda estavam em desenvolvimento. Ainda, sob NI110 os respectivos parâmetros apresentaram médias superiores em comparação ao NI90 e NI100.

O SACR associado ao NI80 apresentou menores médias para a MFF, MFC, MSC e biomassa seca total (BST) em comparação aos demais NI e ao SCCR, sendo um indicativo de estresse hídrico. Por outro lado, a associação do SACR e NI90 promoveram respostas mais significativas para a MSC e BST em comparação aos NI80, 100 e 110 sob SCCR. Desta forma, reduzindo 10% da reposição hídrica (NI90) as plantas de lúpulo apresentaram maior acúmulo de biomassa vegetal, ou seja, maior conversão de energia em fitoassimilados. Carrubba, Marceddu e Sarno (2022) ao avaliar a produção de BST de plantas de lúpulo var. Cascade sob condução em sistema treliça baixa com 2,50 m de altura, em Palermo, Itália, encontraram média de139,80 g planta^{-1}. Sousa (2021) avaliando a evapotranspiração e o coeficiente de cultivo do lúpulo var. Cascade em diferentes texturas do solo obteve média 54,94 g planta^{-1}. A BST das plantas sob condução no SACR associadas ao NI90 apresentou médias superiores às encontradas pelos autores supracitados, indicando que houve maior conversão de energia luminosa em fitoassimilados.

Fagherazzi (2020), avaliando a adaptabilidade de cultivares de lúpulo (*Humulus lupulus* L.) em Santa Catarina, observou que a massa fresca da planta (MFP), que é o somatório da MFF e MFC, para a var. Cascade sob condução em sistema de treliça alta em “V” com altura de 4,30 m foi de aproximadamente 1,50 kg por planta^{-1}. Já nesta pesquisa, a MFP foi de 0,81 e 0,68 kg por planta^{-1} para o SCCR e SACR, respectivamente. A diferença entre os resultados está associada ao momento da colheita, pois nos cultivos tradicionais que utilizam o sistema de treliça alta, a colheita

é realizada em apenas um momento, antes da planta entrar na fase de final (esgotamento e/ou senescência), por conta da dificuldade de colheita manual ou custo com a colheita mecanizada. Ao contrário desta pesquisa, em que a colheita foi realizada manualmente em nove momentos, e as plantas foram mantidas até o esgotamento, principalmente às que foram conduzidas no SACR.

Segundo Gregan *et al*. (2012), na viticultura o sistema de condução influencia a estrutura do dossel, regulação do crescimento vegetativo e reprodutivo e ainda, melhora a capacidade de interceptação de luz e radiação, com efeito direto na conversão de energia em fitoassimilados e produção. Du *et al*. (2023), afirmam que um dos fatores para a assimilação de CO_2, desenvolvimento das plantas e produção de biomassa é a interceptação de luz solar, sendo esta, um dos contribuintes para a eficiência na utilização e conversão de energia luminosa em fitoassimilados. Tais afirmações justificam os resultados mais significativos para a MSC e BST das plantas de lúpulo var. Cascade sob condução no SACR e NI90.

Para Bosman (2020), alterações na arquitetura do dossel da videira modifica a distribuição espacial das folhas. Desta forma, a penetração de luz no interior do dossel e interceptação de radiação solar pelas folhas está intimamente correlacionada com a capacidade fotossintética e a produção.

A massa fresca de dez cones (MF10) de plantas de lúpulo var. Cascade foi maior quando se utiliza o NI90 em comparação aos demais NI. O comportamento de resposta é semelhante à de outros parâmetros estudados, em que os NI80 e NI110 podem causar estresse hídrico, e consequentemente refletir na MF10, a qual apresentou média inferior em comparação ao NI100. No entanto, atender 100% da demanda evapotranspirométrica (NI100) também não proporcionou as maiores médias.

A interação entre o NI e SC influenciou a produção (P), a massa seca (MScone) e a produtividade de cones (Y) das plantas de lúpulo var. Cascade. As melhores respostas foram obtidas para as plantas conduzidas no SACR associadas ao NI90, as quais foram mais eficientes fisiologicamente (EiC) e que apresentaram maior Ψ, CRA ClorA, MSC e BST e menores PE. Embora as melhores respostas dos parâmetros de produção estejam atribuídas ao SACR, no SCCR as melhores médias foram obtidas quando se utilizou o NI100, com exceção da MScone que foi maior no NI80.

Algumas variedades de lúpulo apresentaram redução de 40 a 60% da produção de cones quando cultivadas em sistemas de baixa treliça (Seigner *et al*., 2008).

Entretanto, o manejo da cultura e da irrigação, layout do sistema de condução, distribuição dos ramos, localização, condições climáticas, variedade, dentre outros fatores podem afetar a produção de cones.

Sousa (2021) obteve uma produção (P) média de 39,63 g planta^{-1} de cones da var. Cascade. Em Connecticut, a P obtida para o lúpulo var. Cascade sob condução no sistema de treliça baixa foi de 258,50 g planta^{-1} no primeiro ciclo de cultivo (Maurer; DeFrancesco; LaMondia, 2017). Já para a MScone, Contin *et al*. (2023) observou média de aproximadamente 60 g planta^{-1} para o primeiro ciclo de cultivo da var. Cascade. Enquanto, em Dois Vizinhos, Paraná, Nava (2023) obteve uma P média de 158,20 g planta^{-1} para a var. Cascade.

Ježek, Křivánek e Pokorný (2013), ao realizar um estudo na República Tcheca entre os anos de 2009 e 2011, avaliou a produtividade de cones (Y) de variedades tchecas e inglesa de lúpulo conduzidas em sistema de treliça baixa com altura de 3 m com condução horizontal. A Y média foi de 1009, 920 e 900 kg ha^{-1} em 2009, 2010 e 2013, respectivamente. Já Fagherazzi (2020), obteve uma Y média de aproximadamente 500 kg ha^{-1} para a var. Cascade sob condução em treliça alta em "V" com altura de 4,30 m no primeiro ano de cultivo. Enquanto, Nakawuka *et al*. (2017), avaliando o efeito de diferentes níveis de umidade do solo (60, 80 e 100%) de quatro variedades de lúpulo em Yakima Valley, Estado de Washington, observou uma Y média para o primeiro ano de cultivo de 931 kg ha^{-1} (var. Mt. Hood), 1.298 kg ha^{-1} (var. Willamette) 3.533,33 kg ha^{-1} (var. Columbus) e 1.969 kg ha^{-1} var. (Chinook).

Os resultados obtidos, nesta pesquisa, de P (450,21 g planta^{-1}), MScone (112,54 g planta^{-1}) e Y (2058 kg ha^{-1}) das plantas sob condução no SACR e associadas ao NI90 foram superiores aos trabalhos supracitados, com exceção da var. Columbus.

Segundo Spósito *et al*. (2019), o potencial produtivo do lúpulo var. Cascade varia de 2.017 a 2.465 kg ha^{-1}. Logo, a Y das plantas conduzidas em SACR associadas ao NI90, apresentaram médias muito significativas (2.058,12 kg ha^{-1}), indicando que as plantas atingiram o potencial produtivo desta variedade no primeiro ano de cultivo.

Os ácidos amargos ou resinas, incluindo o alfa (α) e o beta ácido (β) são metabólitos secundários (compostos) muito utilizado na indústria cervejeira (Arruda *et al*., 2021; Contin *et al*., 2023; González-Salitre; González-Olivares; Basílio-Cortes, 2023). Os α ácidos são indicadores de qualidade e, responsáveis por conferir amargor a cerveja (Durello; Silva; Bogusz Jr., 2019; Kishimoto *et al*., 2021), sendo um dos constituintes mais importantes das resinas (Almaguer *et al*., 2014). Os β ácidos tem

ação antimicrobiana, auxiliam na conservação e estabilidade química da cerveja (Durello; Silva; Bogusz Jr., 2019).

O teor de alfa ácido (α) foi influenciado isoladamente pelos fatores estudados (SC e NI), sendo as melhores respostas para o SACR e NI90. O beta ácido (β) apresentou o mesmo comportamento do α ácido sob o NI, com maior média para o NI90. Deste modo, plantas de lúpulo var. Cascade sob condução no SACR produziram e acumularam 7% a mais de α ácido nos cones, em comparação às plantas sob condução no SCCR. Para mais, ao reduzir a reposição hídrica em 10% (NI90) o teor de α e β ácido nos cones foram superiores aos demais NI.

Sousa (2021) estudando o lúpulo var. Cascade observou valores médios para o teor de α e β ácido de 3,67% e 1,47%, respectivamente. Fortuna *et al*. (2023), estudando o cultivo convencional de lúpulo var. Cascade em Botucatu, São Paulo, obteve 0,54% e 1,23% de α e β ácido, respectivamente. Nava (2023), avaliando os aspectos agronômicos e caracterização química do lúpulo var. Cascade em Dois Vizinhos, Paraná, obteve 3,54% de α ácido e 2,18% de β ácido. Os resultados obtidos, nesta pesquisa, sobretudo, do SACR associado ao NI90 foram superiores aos trabalhos supracitados.

A biossintetização dos metabólitos secundários pode ser influenciada por condições de estresse, como a deficiência hídrica (Jackson; Siegle; Scoggins, 2019; Marceddu, Carrubba; Sarno, 2022). Contudo, o impacto do estresse sob a qualidade do lúpulo (metabólitos secundários) está condicionado a variedade, duração, intensidade, severidade e momento do estresse (Gent *et al*., 2022). É relatado que em condições de estresse ocorre aumento de metabolitos secundários em plantas herbáceas, arbustivas e aromáticas (Ramakrishna; Ravishankar, 2011; Sousa; Sousa, 2017; Yadav *et al*., 2021). Nakawuka *et al*. (2017) confirma as informações mencionadas, pois ao avaliar diferentes níveis de umidade do solo (60, 80 e 100%) não houve diferença significativa para os teores de α e β ácidos. Logo, se justifica as melhores médias de α e β ácido em cones das plantas que receberam 10% a menos da reposição hídrica (NI90).

O índice de armazenamento de lúpulo (HSI) é um parâmetro que determina as perdas dos compostos (α e β ácido) durante o processo de beneficiamento (secagem) e armazenamento (Nickerson; Likens, 1979; Rutnik; Ocvirk; Košir, 2023; Féchir *et al*., 2023). Este parâmetro tende a aumentar à medida que o lúpulo envelhece, ou seja, que fica armazenado (Klimczak; Cioch-Skoneczny; Duda-Chodak, 2023). Assim,

quanto menor o valor do HSI, melhor é a conservação e qualidade do lúpulo (Sousa, 2021). O HSI foi influenciado pela interação entre os fatores (SC e NI), sendo as maiores médias obtidas para o SCCR associado ao NI80 e NI90 em comparação aos demais NI e ao SACR. Por outro lado, menores médias foram verificadas para o SCCR associado ao NI100 e NI110.

De acordo com Rutnik, Ocvirk e Košir (2023), o lúpulo pode ser classificado como fresco (HSI até 0,32), ligeiramente envelhecido (HSI 0,33 a 0,40), envelhecido (HSI entre 0,41 a 0,50), fortemente envelhecido (HSI entre 0,51 a 0,60) e muito envelhecido (HSI acima de 0,61). Embora tenha sido observado diferença significativa, para todos os tratamentos o HSI foi inferior a 0,30. Desta forma, o lúpulo var. Cascade produzido nas condições experimentais e locais foi classificado como fresco, indicando que o processo de secagem e armazenamento foi realizado de forma correta e se obteve lúpulo de qualidade.

A produtividade da água (PAC) é um indicador da eficiência no uso da água para a produção agrícola, sendo a razão da produtividade pela quantidade de água aplicada. De acordo com Asres (2023) para aumentar a PAC é necessário adotar estratégias de gestão hídrica, como a irrigação por déficit, irrigação localizada, cobertura do solo, dentre outras. Frente as mudanças climáticas e escassez hídrica, avaliar a PAC na agricultura é fundamental para otimizar o uso da água (Islam *et al*., 2023).

A PAC apresentou redução linear em função dos NI para as plantas sob condução no SCCR, sendo a maior média para o NI80. Por outro lado, a associação do SACR e NI90 resultou em maiores médias em comparação aos demais NI e ao SCCR. Nakawuka *et al*. (2017), avaliando três níveis de umidade do solo (60, 80 e 100%) observou maior PAC para o nível de 80% para o primeiro ano de cultivo de lúpulo var. Columbus. Desta forma, o manejo da irrigação realizado com critério aumenta a PAC das plantas de lúpulo var. Cascade.

A temperatura do ar é um dos fatores agrometeorológicos que afeta o crescimento, desenvolvimento e a produtividade das culturas agrícolas, como o lúpulo (Liao *et al*., 2023; Barreto; Pilau, 2023). De acordo com Anzanello e Christo (2019), temperaturas elevadas podem acelerar o metabolismo da planta, enquanto temperaturas baixas causam redução do crescimento e prolongação do ciclo.

Um dos métodos mais utilizados para verificar a influência da temperatura do ar no crescimento e desenvolvimento das culturas agrícolas é os graus dia (Rocha *et al*.,

2020). Os graus dia é definido como a soma térmica diária necessária para o crescimento e desenvolvimento de uma espécie vegetal em suas diferentes fases fenológicas, como floração, maturação e colheita (Renato *et al*., 2013).

A temperatura mínima do ar (Tmín) durante o ciclo experimental de 240 dias se manteve acima da temperatura basal inferior (Tb), sendo um fator positivo para o crescimento e desenvolvimento da cultura do lúpulo var. Cascade. Quando a Tmin está abaixo da Tb o desenvolvimento da cultura pode ser influenciado de maneira negativa, comprometendo não só o crescimento, mas sim, a produção de cones e qualidade dos compostos. Para a cultura do lúpulo os graus dias acumulado (GDA) necessário entre o início da fase vegetativa e maturidade fenológica é de 2.400 a 2.500°C (Srečec *et al*., 2008). Neste trabalho verificou-se que o GDA durante o ciclo foi de 4.169,93°C, valor este, superior aos sugeridos pelos autores supracitados.

De acordo com Allen *et al*. (1998), o ciclo da cultura do lúpulo é de 155 dias, contudo, verificou-se que nas condições locais e experimentais, que o ciclo da var. Cascade apresentou 85 dias a mais, totalizando 240 dias. Devido ao ciclo mais prolongando houve um aumento de 1.719,93°C do GDA, em comparação ao valor médio (2.450°C) indicado por Srečec *et al*. (2008).

Analisando o desempenho agronômico de 20 variedades de lúpulo na Itália, Rossini *et al*. (2016) determinaram os GDA para as diferentes fases de desenvolvimento, os quais obtiveram para a var. Cascade os respectivos valores de GDA: 243°C (brotação), 820,40°C (floração), 1.040°C (desenvolvimento dos cones) e 2.099,30°C (maturação dos cones), totalizando um GDA de 4.202,70°C. Enquanto, para este trabalho, obteve-se 429,30°C (brotação), 656,81°C (desenvolvimento foliar, crescimento dos ramos e formação dos ramos laterais), 1.350,20°C (florescimento e desenvolvimento e maturação dos cones) e 1.733,63°C (senescência), totalizando 4.169,93°C.

6 CONCLUSÕES

- O desenvolvimento agronômico das plantas de lúpulo var. Cascade foi influenciado pelos sistemas de condução e níveis de irrigação;
- O manejo da irrigação via demanda evapotranspirométrica as plantas apresentaram melhores respostas fisiológicas quando se utilizou os NI90 e NI100. Deste modo, a redução de 10% da demanda pode potencializar o seu desenvolvimento e economizar nos custos de produção, principalmente quando associado ao SACR;
- O SACR permite uma distribuição horizontal dos ramos e folhas, resultando na distribuição uniforme da água, maior interceptação da luz solar e radiação, assim, favorece a capacidade fotossintética e consequentemente, os parâmetros de produção;
- As plantas sob condução no SACR apresentaram maiores indícios de finalização do ciclo, sendo um fator positivo para o cultivo da var. Cascade, visto que, ciclos mais curtos podem possibilitar maior número de safras durante o ano;
- O SACR associado NI100, e principalmente, ao NI90 promoveram melhores respostas fisiológicas e morfológicas, propiciando maior produção de cones e qualidade dos compostos;
- As plantas de var. Cascade sob condução no SACR associado ao NI90 podem apresentar menores custos de produção e maior lucratividade, pois houve maior produção de cones em menor tempo (ciclo mais curto);
- O manejo da irrigação é fundamental, pois foi observado que é possível reduzir 10% da reposição hídrica (NI90) quando se utiliza o SACR sem afetar os parâmetros fisiológicos, promovendo, desta forma, maior produtividade da água, produção de cones e qualidade dos compostos.

REFERÊNCIAS

AFONSO, S. C. P. **Growing hops in Portugal: a strategy for sustainability**. 2021. Tese (Doutorado em Ciências Agrárias) - Faculdade de Ciências do Porto, Porto, 2021.

AFONSO, S.; ARROBAS, M.; RODRIGUES, M. A. Twenty-years of hop irrigation by flooding the inter-row did not cause a gradient along the row in soil properties, plant elemental composition and dry matter yield. **Horticulturae**, Amsterdam, NL v. 7, n. 194, p. 1-17, 2021.

AGEHARA, S. **Using supplemental lighting to control flowering of hops in Florida.** Horticultural Sciences Department, IFAS Extension: University of Florida, 2020.

AGHAMIRI, V.; MIRGHAFOURVAND, M.; MOHAMMAD-ALIZADEH-CHARANDABI, S.; NAZEMIYEH, H. The effect of hop (*Humulus lupulus* L.) on early menopausal symptoms and hot flashes: a randomized placebo-controlled trial. **Complementary Therapies in Clinical PracticeComplementary Therapies in Clinical Practic**, v. 23, n. 130, p. 1-6, 2015.

ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; RAES, D.; SMITH, M. **Evapotranspiración del cultivo: Guías para la determinación de los requerimentos de agua de los cultivos**. Roma: FAO Irrigation and Drainage, Paper 56, 1998.

ALMAGUER, C.; SCHÖNBERGER, C.; GASTL, M.; ARENDT, E. K.; BECKER, T. *Humulus lupulus* – a story that begs to be told. A review. **Journal of the Institute of Brewing,** Malden, US, v. 120, n. 4, p. 289-314, 2014.

ALMEIDA, A. R.; MACIEL, M. V. O. B.; GANDOLPHO, B. C. G.; MACHADO, M. H.; TEIXEIRA, G. L.; BERTOLDI, F. C.; NORONHA, C. M.; VITALI, L.; BLOCK, J. M.; BARRETO, P. L. M. Brazilian grown cascade hop (*Humulus lupulus* L.): LC-ESI-MS-MS and GC-MS analysis of chemical composition and antioxidant activity of extracts and essential oils. **Journal of the American Society of Brewing Chemists**, United Kingdom, v. 1. n. 1, p. 1-11, 2020.

ALONSO-ESTEBAN, J. I.; PINELA, J.; BARROS, L.; ĆIRIĆC, A.; SOKOVIĆC, M.; CALHELHAB, R. C.; TORIJA-ISASAA, E.; SÁNCHEZ-MATAA, M. C.; FERREIRA, I. C. F. R. Phenolic composition and antioxidant, antimicrobial and cytotoxic properties of hop (*Humulus lupulus* L.) seeds. **Industrial Crops and Products**, Netherlands, v. 134, p. 154-159, 2019.

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

ANZANELLO, R.; CHRISTO, M. C. Temperatura base inferior, soma térmica e fenologia de cultivares de videira e quivizeiro. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, Lages, SC, v. 18, n. 3, p. 1-10, 2019.

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

ARRUDA, T. R.; PINHEIRO, P. F.; SILVA, P. I.; BERNARDES, P. C. A new perspective of a well-recognized raw material: Phenolic content, antioxidant and antimicrobial activities and α- and β-acids profile of Brazilian hop (*Humulus lupulus L.*) extracts. **Food Science and Technology**, London, GB, v. 141, p. 1-9, 2021

ASRES, L. A. Alternative techniques of irrigation water management for improving crop water productivity, **Reviews in Agricultural Science***,* India v. 11, p. 36-56, 2023.

BARR, H. D.; WEATHERLEY, P. E. A re-examination of the relative turgidity technique for estimating water deficit in leaves. **Australian Journal of Biological Sciences,** Melbourne, p. 413-428. 1962.

BARRETO, I. A. C. **Filocromo e evapotranspiração da cultura do lúpulo em região de clima tropical.** 2022. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Sistemas Agrícolas) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2022.

BARRETO, I. A. C.; PILAU, F. G. Temperatura base e plastocrono de uma variedade de lúpulo. **Agrometeoros**, Passo Fundo, RS, v. 31, p. 1-9, 2023.

BATTAM, M. A.; SUTTON, B. G. Soil pits as a simple design aid for subsurface drip irrigation systems. **Irrigation Science**, New York, US, v. 22, p. 135-141, 2003.

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.

BERNARDO, S.; MANTOVANI, E. C.; SILVA, D. D.; SOARES, A. A. **Manual de Irrigação**. 9. ed. atual. ampl. Viçosa, MG: Editora UFV, 2019.

BIČÁROVÁ, S.; LUKASOVÁ, V.; ADAMČÍKOVÁ, K.; ŽATKOVÁ, L.; MILOVSKÝ, R.; SHASHIKUMAR, A.; PAŽITNÝ, J.; BUCHHOLCEROVÁ, A.; BILČÍK, D. Modified electrolyte leakage method for testing the oxidative stability of *Pinus mugo* Turra under ozone-induced stress. **Folia Oecologica**, Slovakia, v. 50, p. 1-15, 2023.

BLAXLAND, J.; TOMÁS, R.; BAILLIE, L. The antibacterial effect of *Humulus lupulus* (Hops) against *Mycobacterium bovis* BCG: A promising alternative in the fight against bovine tuberculosis?. **Beverages,** London, GB**,** v. 8, n. 43, p. 1-11, 2022.

BOCQUET, L.; SAHPAZ, S.; HILBERT, J. L.; RAMBAUD, C.; RIVIÈRE, C. *Humulus lupulus* L., a very popular beer ingredient and medicinal plant: overview of its phytochemistry iyd bioactivity, and its biotechnology. **Phytochemistry Reviews,** Netherlands, v. 17, n. 11, p. 1 - 44, 2018.

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

BOSMAN, A. **Optimising productivity and grape composition (grapevine potential) for a specific wine production goal: adaptation of grapevine**

reproductive/vegetative balance in modified training systems. 2020. Master (Agricultural Science at Stellenbosch University) - Department of Viticulture and Oenology, Faculty of AgriSciences, Stellenbosch University, Stellenbosc, 2020.

BRAGA, F. M. **Crescimento de plantas C3 e C4 em resposta a diferentes concentrações de CO_2 e arranjos competitivos**. 2020. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) - Instituo de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Minas Gerais, Montes Claros, 2020.

BRAGA, L. G. S.; BOUIX, C. P. S.; PÓVOAS, C. E.; RAMOS, A. Estimativa da evapotranspiração de referência por três métodos, para a região de Ilhéus/BA. **Research, Society and Development**, v. 12, n. 4, p. 1-11, 2023.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Agricultura Familiar e Cooperativismo. **Lúpulo no Brasil**: perspectivas e realidades. 1. ed. Brasília, DF: MAPA/SAF, 2022.

BURGESS, A. J.; WANG, P. Not all Calvin´s are equal: differential control of the Calvin cycle in C3 versus C4 plants. **Plant Physiology**, Stuttgart, v. 191, n. 2, p. 817-819, 2023.

CANCELA, J. J.; FANDIÑO, M.; REY, B. J.; GÓNZALEZ, X. P. Hop water requirements: a review and future goals. *In*: International Hop Growers´ Convention (IHGC). **Proceedings of the Scientific-Technical Commission.** Mühlviertel, Austria, 2017. cap. 4, p. 37-40.

CARBONE, K.; GERVASI, F. A valuable source of bioactive compounds for health and disease prevention. **Plants,** Basel, v. 11, n. 24, p. 1-29, 2022. DOI:

CARRUBBA, A.; MARCEDDU, R.; SARNO, M. Hop (*Humulus lupulus* L.): suitability of traditional cultivars to a low-trellis farming system in a semiarid environment. **HortScience**, Alexandria, v. 57, n. 11, p. 1409-1415, 2022.

CARVALHO, V. P.; LIMA, E. P.; LYRA, G. B.; PEREIRA, C. R.; LYRA, G. B. Balanço de água no solo para o cultivo de lúpulo no município de Resende, Rio de Janeiro. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 20., 2018, Maceió. **Anais do XX Congresso Brasileiro de Meteorologia.** Maceió: UFAL, 2018. v. 20, p. 2984-3003.

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

CONTI, D. R.; HABERMANN, E.; SOUZA, B. C.; OLIVEIRA, E. A. D.; MARTINEZ, C. A.; VIEIRA, P. C.; COSTA, F. B. Exploring the tropical acclimation of European and American hop cultivars (*Humulus lupulus* L.): Focus on physiology, productivity, and chemical composition. **European Journal of Agronomy**, Netherlands, v. 151, p. 126990, 2023.

COSTA, A. M.; LIMA, H. C.; CARDOSO, E. R.; SILVA, J. R.; PADUA, J. G.; FALEIRO, F. G.; PEREIRA, R. C. A.; CAMPOS, G. A. **Produção de mudas de maracujazeiro silvestre (*Passiflora setacea*)**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2015. 6p. (Comunicado Técnico, 176).

DE KEUKELEIRE, D.; DE COOMAN, L.; RONG, H.; HEYERICK, A.; KALITA, J.; MILLIGAN, S. R. Functional properties of hop polyphenols. In: GROSS, G. G. **Plant Polyphenols**: Chemistry, Biology, Pharmacology, Ecology. 2. ed. New York: Kluwer Academic/Plenum Publishers, 1999. Cap. 7. p. 739-760.

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

DEMIDCHIK, V.; STRALTSOVA, D.; MEDVEDEV, S. S.; POZHVANOV, G. A.; SOKOLIK, A.; YURIN, V. Stress-induced electrolyte leakage: the role of K-permeable channels and involvement in programmed cell death and metabolic adjustment. **Journal of Experimental Botany**, Oxford v. 65, n. 1, p. 1259-1270, 2014.

DINIS, L. T.; MALHEIRO, A.; LUZIO, A.; FRAGA, H.; FERREIRA, H.; GONÇALVES, I.; PINTO, G.; CORREIA, C.; MOUTINHO-PEREIRA, J. Improvement of grapevine physiology and yield under summer stress by kaolin-foliar application: Water relations, photosynthesis and oxidative damage. **Photosynthetica**, Prague, v. 56, p. 641–651, 2018.

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

DONNER, P.; POKORNÝ, J.; JEŽEK, J.; KROFTA, K.; PATZAK, J.; PULKRÁBEK, J. Influence of weather conditions, irrigation and plant age on yield and alpha-acids content of Czech hop (*Humulus lupulus* L.) cultivars. **Plant, Soil and Environment**, Slezská, v. 66, n. 1, p. 41–46, 2020.

DU, W. LI, S.; DU, T.; HUANG, W.; ZHANG, Y.; KANG, H.; YAO, Y.; GAO, Z.; DU, Y. R. 'Miguang' grape response to pergola and single-curtain training systems. **Horticulturae**, Amsterdan, v. 9, n. 1, p. 1-13, 2023.

DURELLO, R. S. **Química do sabor de cervejas: detalhes moleculares de lúpulos (*Humulus lupulus*) cultivadas no Brasil no processo cervejeiro**. 2019. Dissertação (Metrado em Ciências) – Universidade de São Paulo, Instituto de Química de São Carlos, São Carlos, 2019.

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

EL-NASHAR, W; ELYAMANY, A. Adapting irrigation strategies to mitigate climate change impacts: a value engineering approach. **Water Resources Management**, Netherlands, v. 37, p. 2369–2386, 2023.

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

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisas de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. 3.ed. rev. ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2017.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisas de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5.ed. rev. ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2018.

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

ESCOLA SUPERIOR DE CERVEJA E MALTE. **Lúpulo no Brasil: em que pé está o cultivo da planta no país.** 2023, Disponível em: <https://cervejaemalte.com.br/blog/lupulo-no-brasil/ >. Acesso em: 03 set. 2023.

EVANS, R. **Hop management in water-short periods**. Washington State University Cooperative Extension, U.S. Department of Agriculture, 2003.

FAGHERAZZI, M. M.; SANTOS, M. S.; SANTOS, K. V. T.; RUFATO, L.; MOREIRA, M.; FAGHERAZZI, A. F. Sistemas de condução para o cultivo do lúpulo. **Revista Agronomia Brasileira**, Jaboticabal, v. 2, p. 1-3, 2018.

FAGHERAZZI, M. M. **Adaptabilidade de cultivares de lúpulo na região do planalto sul catarinense***.* 2020. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) - Centro de Ciências Agroveterinárias, Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, 2020.

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**, Netherlands, v. 77, p. 204–217, 2015.

FARAG, M. A.; PORZEL, A.; SCHMIDT, J.; WESSJOHANN, L. A. Metabolite profiling and fingerprinting of commercial cultivars of *Humulus lupulus* L. (hop): a comparison of MS and NMR methods in metabolomics. **Metabolomics**, Netherlands, v. 8, p. 492-507, 2012.

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

FÉCHIR, M.; WEAVER, G.; ROY, C.; SHELLHAMMER, T. H. Exploring the regional identity of Cascade and Mosaic® hops grown at different locations in Oregon and Washington. **Journal of the American Society of Brewing Chemists**, United Kingdom, v. 81, n. 3, p. 480-492, 2023.

FERREIRA, M. B. C.; SILVA, M. L. P.; OZASSA, T. O.; TEIXEIRA, A. J. Manejo e condução da cultura do lúpulo. *In*: AQUINO *et al*. **Produção de lúpulo na região Serrana Fluminense:** manual de boas práticas. Nova Friburgo: ACIANF, 2022. v. 1, cap. 4, p. 57-62.

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

FLYTHE, M. D.; KAGAN, I. A.; WANG, Y.; NARVAEZ, N. Hops (*Humulus lupulus* L.) bitter acids: modulation of rumen fermentation and potential as an alternative growth promoter. **Frontiers in Veterinary Science**, Switzerland, v. 4, n. 131, p. 1-14, 2017.

FORTUNA, G. C.; NEVES, C. S.; CAMPOS, O. P.; GOMES, J. A. O.; SILVA, J. C. R. L.; SOUZA, A. A.; FUNARI, C. S. D.; MARQUES, M. O. M.; BONFIM, F. P. G. Hop Tropicalization: Chemical Compositions of Varieties Grown under Organic and Conventional Systems in Subtropical Conditions. **Horticulturae**, Amsterdam v. 9, n. 855, p. 1-12, 2023.

FRANCO, J. R.; DAL PAI, E.; CALÇA, M. V. C.; RANIERO, M. R.; DAL PAI, A.; SARNIGHAUSE, V. C. R.; SÁNCHEZ-ROMÁN, R. M. Atualização da normal climatológica e classificação climática de Köppen para o município de Botucatu-SP. **Irriga**, Botucatu, v. 28, n. 1, p. 77-92, 2023.

FRIZZONE, J. A. **Microirrigação**: gotejamento e microaspersão. Piracicaba: Esalq/USP, 2012.

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

GENT, D. H.; CLAASSEN, B. J.; MASSIE, S. T.; PHILLIPS, C, L.; SHELLHAMMER, T. H.; TRIPPE, K. M.; TWOMEY, M. C. Delayed early season irrigation: impacts on hop yield and quality. **Journal of the American Society of Brewing Chemists**, United Kingdom, v. 80, n. 1, p. 62-65, 2022.

GETTY, B.; TOWNSEND, S.; DETWEILER, J. **Growing hops in the home garden**. Oregon State University: Extension Service, 2015.

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

GINGRICH, C; HART, J.; CHRISTENSEN, N. **Fertilizer Guide Hops**. Oregon State University: Extension Service, 2000.

GOMES, H. P. **Sistemas de irrigação**: eficiência energética. João Pessoa: Editora UFPB, 2013.

GONÇALVES, I. Z.; NEALE, C. M. U.; SUYKER, A.; MARIN, F. R. Evapotranspiration adjustment for irrigated maize–soybean rotation systems in Nebraska, USA. **International Journal of Biometeorolog**, United Kingdom, p. 1-11, 2023. DOI:

GONZÁLEZ-SALITRE, L.; GONZÁLEZ-OLIVARES, L. G.; BASÍLIO-CORTES, U. A. *Humulus lupulus* L. a potential precursor to human health: High hops craft beer. **Food Chemistry**, Easton, PA, v. 405, p. 1-11, 2023.

GREGAN, S. M.; WARGENT, J. J.; LIU, L.; SHINKLE, J.; HOFMANN, R.; WINEFIELD, C.; TROUGHT, M.; JORDAN, B. Effects of solar ultraviolet radiation and canopy manipulation on the biochemical composition of Sauvignon Blanc

grapes. **Australian Society of Viticulture and Oenology**, Australia, v. 18, n 2, 2012.

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

GUIMARÃES, J. J. **Comportamento agronômico do lúpulo (*Humulus lupulus* L.) em cultivo protegido submetido a irrigações com diferentes faixas de pH da água na região de Botucatu - SP**. 2020. Dissertação (Mestrado em Agronomia - Irrigação e Drenagem) - Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Faculdade de Ciências Agronômicas, Botucatu, 2020.

GUIMARÃES, J. J.; SOUSA, F. G. G.; ROMÁN, R. M. S.; DAL PAI, A.; RODRIGUES, S. A.; SARNIGHAUSEN, V. C. R. Effect of irrigation water pH on the agronomic development of hops in protected cultivation. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, NL, v. 253, p. 106924, 2021.

GUO, Y., LIU, W.; WANG, H.; WANG, X.; QIANG, S.; KALAJI, H. M.; STRASSER, R. J.; CHEN, S. Action mode of the mycotoxin patulin as a novel natural photosystem II inhibitor. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Easton, PA, v. 69, n. 26, p. 7313-7323, 2021.

GURURANI, M. A.; VENKATESH, J.; TRAN, L. S. P. Regulation of Photosynthesis during Abiotic Stress-Induced Photoinhibition. **Molecular Plant**, Oxford, v. 8, n. 9, p. 1304-1320, 2015.

HAN, L. J.; FÃ, D. Y.; WANG, X. P.; XU, C. Y.; XIA, X. L.; CHOW, W. L. The protective role of non-photochemical quenching in PSII photo-susceptibility: a case study in the field. **Plant and Cell Physiology**, Oxford, v. 64, n. 1, p. 43-54, 2022.

HÃPI RESEARCH. **Fertility Guide for Hops**. Hop Research Centre, 2019.

HAULISAH, N. A.; HASSA, L.; BEJO, S. K.; JAJERE, S. M.; AHMAD, N. I. High levels of antibiotic resistance in isolates from diseased livestock. **Front Vet Sci.**, Switzerland, v. 8, p. 1-12, 2021.

HEJNÁK, V.; HNILIČKOVÁ, H.; HNILIČKA, F. Physiological response of juvenile hop plants to water deficit. **Plant, Soil and Environment**, Slezská,v. 61, n.7, p. 332-338, 2015.

HERNANDES, J. L.; JÚNIOR, M. J. P.; MOURA, M. F. Vantagens e limites dos principais sistemas de condução de videiras utilizados no Brasil. **Visão agrícola**, n. 14, p. 22-27, 2021.

HERNANDEZ-PATLAN, D.; TELLEZ-ISAIAS, G.; HERNADEZ-VELASCO, X.; SOLIS-CRUZ, B. Editorial: Technological strategies to improve animal health and production. **Frontiers Veterinary Science**, Switzerland, v. 10, p. 1-6, 2023.

HIERONYMUS, S. **Lúpulo**: guia prático para o aroma, amargor e cultivo de lúpulos. Traduzido por SANTA RITA, M; BASTOS, M. C. 2. ed. Belo Horizonte: Editora Krater, 2020.

HISCOX, J. D.; ISRAELSTAM, G. F. A method for the extraction of chlorophyll from leaf tissue without maceration. **Canadian Journal of Botany**, Canadá, v. 57, n. 12, p. 1332- 1334, 1979.

HOERNER, G. R.; REBAK, F. **Production of Hops**. 1842. ed. Washington: U.S. Department of Agriculture, 1940.

HOUGH, J. S.; BRIGGS, D. E.; STEVENS, R.; YOUNG, T. W. **Malting and Brewing Science**. 2. ed. Springer – Science + Business Media, B.V., 1982.

IBACACHE, A.; ALBORNOZ, F.; ZURITA-SILVA, A. Yield responses in flame seedless, Thompson seedless and red globe table grape cultivars are differentially modified by rootstocks under semi arid conditions. **Scientia Horticulturae***,* Amsterdam, v. 204, p. 25–32, 2016.

IHUOMA, S. O.; MADRAMOOTOO, C. A. Recent advance in crop water stress detection. **Computer and Electronics in Agriculture**, China, v. 141, p. 267-275, 2017.

INCROCCI, L.; THOMPSON, R. B.; FERNANDEZ, M. D. F.; PESCALE, S.; PARDOSSI, A.; STANGHELLINI, C.; ROUPHAEL, Y.; GALLARDO, M. Irrigation management of European greenhouse vegetable crops. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, NL, v. 242, p. 1-15, 2020.

INIGUEZ, A. B.; ZHU, M. Hop bioactive compounds in prevention of nutrition-related noncommunicable diseases. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, Cleveland, p. 1-14, 2020.

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

ISLAM, A. F. M. T.; ISLAM, A. K. M. S.; ISLAM, G. M. T.; BALA, S. K.; SALEHIN, M.; CHOUDHURY, A. K.; DEY, N. C.; MAHBAAB, M. G. Simulation of water productivity of wheat in northwestern Bangladesh using multi-satellite data. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, NL, v. 281, p. 1-16, 2023.

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

JEŽEK, J.; KŘIVÁNEK, J.; POKORNÝ, J. Trials with growing hops in low trellis in the Czeck Republic in 2009-2011. **Horticulturae**, Amsterdam v. 10, n. 10, p. 199-203, 2013.

JIMENES, I.M.; MAYER, N.A.; DIAS, C.T.D.S.; FILHO, J.A.S.; DA SILVA, S.R. Influence of clonal rootstocks on leaf nutrient content, vigor and productivity of young ‘Sunraycer’ nectarine trees. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam v. 235, p. 279–285, 2018.

JUANEZ, J. C. Hops (*Humulus lupulus* L.) and beer: benefits on the sleep. **Journal of Sleep Disorders and Therapy**, Belgium, v. 1, n. 1, p. 1-2, 2012.

JÚNIOR, M. J. P.; HERNANDES, J. L.; MOURA, M. F. Performance of juice and wine grape cultivars in different training systems. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, SP, v. 40, p. 1–8, 2018.

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

KARIUKI, J. W.; JACOBS, J.; NGOGANG, M. P.; HOWLAND, O. Antibiotic use by poultry farmers in Kiambu County, Kenya: exploring practices and drivers of potential overuse. **Antimicrobial Resistance and Infection Control**, United Kingdom, v. 12, n. 3, p. 1-11, 2023.

KELLER, J.; KARMELI, D. **Trickle irrigation design parameters**. Transactions of the ASAE, v. 17, n. 4, p. 678-0684, 1974.

KERBAUY, G. B. **Fisiologia Vegetal**. 2. ed. Rio de Janeiro, RJ: Editora Guanabara Koogan, 2012.

KESKIN, S.; SIRIN, Y.; ÇAKIR, H, E.; KESKIN, M. An investigation of *Humulus lupulus* L.: Phenolic composition, antioxidant capacity and inhibition properties of clinically important enzymes. **South African Journal of Botany**, Pretoria, v. 120, n. 3, p. 170-174, 2019.

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

KISHIMOTO, T.; TERAMOTO, S.; FUJITA, A.; YAMADA, O. Evaluation of components contributing to the international bitterness unit of wort and beer. **Journal of The American Society of Brewing Chemists**, United Kingdom, v. 80, n. 1, p. 55-61, 2021.

KLIMCZAK, K.; CIOCH-SKONECZNY, M.; DUDA-CHODAK, A. Effects of dry-hopping on beer chemistry and sensory properties - a review. **Molecules**, Berlin, v. 28, n. 18, p. 1-32, 2023.

KLOTZ, J. L.; MacADAM, J. W.; FLYTHE, M. D. Editorial: Natural products in animal feed and production systems. **Frontiers in Animal Science**, Switzerland, v. 4, p. 1-2, 2023.

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

KOLENC, Z.; VODNIK, D.; MANDELC, S.; JAVORNIK, B.; KASTELEC, D.; ČERENAK, A. Hop (*Humulus lupulus* L.) response mechanisms in drought stress: proteomic analysis with physiology. **Plant Physiology and Biochemistry**, New Delhi, v. 105, p. 67-78, 2016.

KORPELAINEN, H.; PIETILÄINEN, M. Hop (*Humulus lupulus* L.): traditional and present use, and future potential. **Economic Botany**, Bronx, NY, v. 75, n. 3, p. 302–322, 2021.

LAFONTAINE, S.; VARNUM, S.; ROLAND, A.; DELPECH, S.; DAGAN, L.; VOLLMER, D.; KISHIMOTO, T.; SHELLHAMMER, T. Impact of harvest maturity on the aroma characteristics and chemistry of Cascade hops used for dry-hopping. **Food Chemistry**, Easton, PA, n. 278, p. 228-239, 2019.

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

LAHNEL, N. M.; FAGHERAZZI, M. M. **Manual de boas práticas para o cultivo de lúpulo**. Associação Brasileira de Produtores de Lúpulo – APROLÚPULO, 2019.

LIAO, Z.; ZHENG, J.; FAN, J.; PEI, S.; DAI, Y.; ZHANG, F.; LI, Z. Novel models for simulating maize growth based on thermal time and photothermal units: applications under various mulching practices. **Journal of Integrative Agriculture**, United Kingdom, v. 22, n. 5, p. 1381-1395, 2023.

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

LIMA-MELO, Y.; KILIÇ, M.; ARO, E. M.; GOLLAN, P. J. Photosystem I inhibition, protection and signalling: knowns and unknowns. **Frontiers in Plant Science,** Switzerland, v. 12, p. 791124, 2021.

LIN, M.; XIANG, D.; CHEN, X.; HUO, H. Role of characteristic components of *Humulus lupulus* in promoting human hearth. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Easton, PA, v. 67, n. 30, p. 8291-8302, 2019.

LING, L. Z.; ZHANG, S. D. The complete chloroplast genome of *Humulus yunnanensis* and phylogenetic analysis of the genus *Humulus*. **Mitochondrial DNA Part B.,** United Kingdom**,** v. 4, n. 2, p. 2681-2682, 2019.

LOU, H.; ZHANG, F.; LU, L.; DING, Y.; HAO, X. Xanthohumol from *Humulus lupulus* L. potentiates the killing of *Mycobacterium tuberculosis* and mitigates liver toxicity by the combination of isoniazid in mouse tuberculosis models. **The Royal Society of Chemistry**, United Kingdom, v. 10, p. 13223-13231, 2020.

MACKINNON D., PAVLOVIČ V., ČEH B., NAGLIČ B., PAVLOVIČ M. The impact of weather conditions on alpha-acid content in hop (*Humulus lupulus* L.) cv. Aurora. **Plant, Soil and Environment**, Slezská,v. 66: p. 519–525, 2020.

MAFAKHERI, M.; KORDROSTAMI, M.; RAHIMI, M.; MATTHEWS, P. D. Evaluating genetic diversity and structure of a wild hop (*Humulus lupulus* L.) germplasm using morphological and molecular characteristics. **Euphytica**, Wageningen, v. 216, n. 58, p. 1-19, 2020.

MAIA, C. E.; LEVIEN, S. L. A.; MEDEIROS, J. F.; NETO, J. D. Dimensões de bulbo molhado na irrigação por gotejamento superficial. **Revista Ciência Agronômica,** Ceará, v. 41, n. 1, p. 149-158, 2010.

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

MANTOVANI, E. C.; BERNARDO, S.; PALARETTI, L. F. **Irrigação princípios e métodos**. 3. ed. Viçosa, MG, Brazil: Editora UFV, 2013.

MARCEDDU, R.; CARRUBBA, A.; SARNO, M. Resilience of hop (*Humulus lupulus* L.) to salinity, heat and drought stresses: a mini-review. **Frontiers in Plant Science**, Switzerland, v. 13, p. 1-7, 2022.

MARENCO, R. A.; LOPEZ, N. F. **Fisiologia vegetal***:* fotossíntese, respiração, relações hídricas e nutrição mineral. 3. ed. Viçosa, MG: Editora UFV, 2013.

MAURER, K. A.; DeFRANCESCO, A. B.; LAMONDIA, J. A. Evaluation of hops cultivation feasibility in Connecticut*.* **Horticulturae***,* Amsterdam, p. 249-254, 2017.

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

MARTÍNEZ, E. P.; GOLDING, S. E.; ROSMALEN, J. von.; VINUEZA-BURGOS, C.; VERBON, A.; SCHAIK, G. van. Antibiotic prescription patterns and non-clinical factors influencing antibiotic use by Ecuadorian veterinarians working on cattle and poultry farms: A cross-sectional study. **Preventive Veterinary Medicine**, Amsterdam, v. 213, p. 1-12, 2023.

MARQUES, S. P. D.; TREVISAN, M. T. S.; OWEN, R. W.; SILVA, A. M. A.; NASCIMENTO, F. M. G.; LIMA, F. S. S.; LIMA, T. C.; BRITO, E. S.; MARGALHÃES, H. C. R.; SILVA, F. L. F. Avaliação quantitativa de ácidos amargos, xanthohumol e óleos essenciais presentes em flores de diferentes cultivares de *Humulus lupulus* L. produzidas na região nordeste do Brasil. **Química Nova**, São Paulo, v. XY, n. 00, p. 1-12, 2023.

McCALLUM, J. L.; NABUURS, M. H.; GALLANT, S. T.; KIRBY, C. W.; MILLS, A. A. S. Phytochemical characterization of wild hops (*Humulus lupulus* ssp. *Lupuloides*) germplasm resources from the maritimes region of Canada. **Frontiers in Plant Science**, Switzerland, v. 10, n. 1438, p. 1-15, 2019.

MERRIAN, J.L.; KELLER, J. **Irrigation System Evaluation A Guide for Management**. Logan: Utah State University, 1978. 271 p.

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

MIKHABELA, S. S.; SHIMELIS, H.; GERRANO, A. S.; MASHILO, J. Drought Tolerance Assessment of Okra (*Abelmoschus esculentus* [L.] Moench) Accessions Based on Leaf Gas Exchange and Chlorophyll Fluorescence. **Life**, Chicago, v. 13, n. 3, p. 1-15, 2023.

MITCHELL, R. L. **Crop Growth and Culture**. Ames, The Iowa State University Press, 1979.

MOIR, M. Hops – A millennium review. **Journal of the American Society of Brewing Chemists**, United Kingdom, v. 58, n. 4, p. 131-146, 2000.

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

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

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

NASCIMENTO, D. D.; GONSAGA, R. F.; SOUZA POLLO, A.; SANTOS, L. S. M.; FERREIRA, R. J.; RODRIGUES, M.; BRAZ, L. T.; SOARES, L. M. First report of Root-Knot Nematode, *Meloidogyne javanica*, infecting *Humulus lupulus* in São Paulo, Brazil. **Plant Disease**¸ Saint Paul, v. 104, n. 10, p. 1-4, 2020.

NAVA, K. G. **Aspectos agronômicos em resposta à adubação orgânica e caracterização química de cones de lúpulo (*Humulus lupulus* L.) produzido no sul do Brasil.** 2023. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Dois Vizinhos, 2023.

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

NICKERSON, G. B.; LIKENS, S. T. Hops Storage Index. **Journal of the American Society of Brewing Chemists**, United Kingdom, v. 37, n. 4, p. 184-187, 1979.

OCVIRK, M.; OGRINC-EIZTOK, N.; KOŠIR, J. Determination of the geographical and botanical origin of hops (*Humulus lupulus* L.) using stable isotopes of C, N and S. **Journal of Agricultural and Food Chemistry,** Easton, PA, v. 66, n. 8, p. 2021-2026, 2018.

OMETTO, J. C. **Bioclimatologia vegetal**. São Paulo: Agronômica Ceres 1981.

PARKASH, V.; SINGH, S. A review on potential plant-based water stress indicators for vegetable crops. **Sustainability**, London, v. 12, n. 10, p. 1-28, 2020.

PARRI, S.; ROMI, M.; HOSHIKA, Y.; GIOVANNELLI, A.; DIAS, M. C.; PIRITORE, F. C.; CAI, G.; CANTINI, C. Morpho-physiological responses of thee Italian olive tree (*Olea europaea* L.) cultivars to drought stress. **Horticulturae**, Amsterdam, v. 9, n. 7, p. 1-19, 2023.

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

PEDRO JÚNIOR, M. J.; HERNANDES, J. L.; MOURA, M. F. Performance of juice and wine grape cultivars in different training systems. **Revista Brasileira de Fruticultura,** Jaboticabal, SP, v. 40, p. 1–8, 2018.

PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L. R.; SENTELHAS, P. C. **Agrometeorologia agrícola**. Esalq, SP, fevereiro, 2007. Disponível em: http://www.leb.esalq.usp.br/leb/aulas/lce306/MeteorAgricola_Apostila2007.pdf. Acesso em: 25 de nov.2019.

PEREIRA, O. R.; SANTOS, G.; SOUSA, M. J. Hop by-products: pharmacological activities and potential application as cosmetics. **Cosmetics,** London, v. 9, n. 139, p. 1-16, 2022.

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

PIZARRO, F. **Riegos localizados de alta frecuencia: goteo, microaspersion e exudacion**. 3. ed. rev. ampl. Madrid: Mundi-Prensa, 1996.

PONI, S.; GATTI, M.; PALLIOTTI, A.; DAI, Z.; DUCHÊNE, E.; TRUONG, T. T.; FERRARA, G.; TOMBESI, S. (2018). Grapevine quality: A multiple choice issue. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 234, n. 14, p. 445–462, 2018.

POTOPOVÁ, V.; TRNKA, M.; VIZINA, A.; SEMERÁDOVÁ, D.; BALEK, J.; CHAWDHERY, M. R. A.; MUSIOLKOVÁ, M.; PAVLÍK, P.; Možný, M.; Štěpánek, P.; CLOTHIER, B. Projection of 21st century irrigation water requirements for sensitive agricultural crop commodities across the Czech Republic. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, NL, v. 262, p. 107337, 2022.

QI, M.; ZHAO, Z.; NIXON, P. J. The photosynthetic electron transport chain of oxygenic photosynthesis. **Bioelectricity**, United States v. 5, n. 1, p. 31-38, 2023.

QIU, S.; XIA, K.; YANG, Y.; WU, Q.; ZHAO, Z. Mechanisms underlying the C3-CAM photosynthetic shift in facultative CAM plants. **Horticulturae**, Amsterdam, v. 9, n. 3, p. 1-16, 2023.

QUAGGIO, J. A.; RAIJ, B. van. Manejo da acidez do solo. *In*: CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; MATOS Jr. D.; BOARETTO, R. M.; RAIJ, van. B. **Boletim 100**: Recomendações de adubação e calagem para o estado de São Paulo. Campinas: Instituto Agronômico de Campinas, 2022. cap. 2, p. 61-83.

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

RAMAKRISHNA, A.; RAVISHANKAR, G. A. Influence of abiotic stress signals on secondary metabolites in plants. **Plant Signal Behav**., United States v. 6, n. 11, p. 1720-31, 2011.

R Core Team. **R: A linguage and environment for statistical computing.** R Foundation for statistical computing, Viena, Austria, 2022. Disponível em: <https://www.R-project.org/. Acesso em: 10 set de 2023.

REICHARDT, K.; TIMM, L. C. **Solo, planta e atmosfera:** conceitos, processos e aplicações. 2. ed. Barueri: Editora Manole, 2012.

RENATO, N. S.; SILVA, J. B. L.; SEDIYAMA, G. C.; PEREIRA, E. G. Influência dos métodos para cálculo de graus-dia em condições de aumento de temperatura para as culturas do milho e feijão. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São José dos Campos, SP, v. 28, n. 4, p. 382-388, 2013.

REVILLA, M. A.; MARTÍNEZ, D. Cryopreservation of *Humulus lupulus* L. (Hop). In: TOWILL, L. E.; BAJAJ, Y. P. S. **Biotechnology in Agriculture and Forestry**: cryopreservation of plant germplasm. 2. ed. New York: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2002. Cap. 8. p. 138-150.

REYNOLDS, A.; HEUVEL, J. Influence of grapevine training systems on vine growth and fruit composition: a review. **American Journal of Enology and Viticulture**, Davis, v. 60, n. 3, p. 251-268, 2009.

RIGHI, E.; CENCI, A.; OLIVEIRA, C. A. O.; PUTTI, G. L. Lúpulo cultivado no estado do Rio Grande do Sul: uma análise com produtores da Serra, Campos de cima da Serra e Hortênsias. *In*: RIGHI, E; BITENCOURT, B. M. **Lúpulo Gaúcho e Cervejas Artesanais.** Caxias do Sul: UERGS, 2022, cap. 1, p. 9-28a.

RIGHI, E.; BITENCOURT, B. M. **Lúpulo gaúcho e cervejas artesanais***.* Caxias do Sul: UERGS, 2022b.

ROCHA, D. F.; OLIVEIRA, G. M.; ALMEIDA, L. R. C.; PEREIRA, A. V. A.; SANTOS, G. V. S.; SILVA, C. P. **Research Society and Development**, Brazil v. 9, n. 10, p. 1-17, 2020.

RODOLFI, M. **Italian wild hop (*Humulus lupulus* L.) from biodiversity evaluation to varietal selection.** 2016. Tesi (Dottorato in Scienze e Tecnologie Alimentari) - Universitá Degli Studi Di Parma, Parma, 2016.

RODRIGUES, S. B. S. Manejo profissional da irrigação: aspectos gerais e análise das culturas de feijão, milho, soja e algodão. *In:* PAOLINELLI, A.; NETO, D. D.; MANTOVANI, E. C. **Diferentes abordagens sobre agricultura irrigada no Brasil**: história, política pública, economia e recurso hídrico. 1. ed. Piracicaba: ESALQ-USP, 2021. cap. 31, p. 529-545.

RODRIGUEZ-DOMINGUEZ, C. M.; FORNER, A.; MARTORELL, S.; CHOAT, B.; LOPES, R.; PETERS, J. M. R.; PFAUTSCH, S.; MAYR, S.; McADAM, S. A. M.; RICHARDSON, F.; DÍAZ-ESPEJO, A.; HERNADEZ-SANTANA, V.; MENEZES-SILVA, P. E.; TORRES-RUÍZ, J. M.; BATZ, T. A.; SACO, L. Leaf water potencial measurements using the pressure chamber: synthetic testing of assumptions towards best practices for precision and accuracy. **Plant, Cell and Environment**, v. 45, n. 7, p. 2037-2061, 2022.

RONQUIM, C. C. **Conceitos de fertilidade do solo e manejo adequado para regiões tropicais**. Campinas, SP: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2010. 30p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 8).

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

ROSSINI, F.; VIRGA, G.; LORETI, P.; IACUZZI, N.; RUGGERI, R.; PROVENZANO, M. E. Hops (*Humulus lupulus* L.) as a novel multipurpose crop for the mediterranean region of europa: challenges and opportunities of their cultivation. **Agriculture**, Canada, v. 11, n. 11, p. 1-21, 2021.

RUTNIK, K.; OCVIRK, M.; KOŠIR, I. J. The stability of hop (*Humulus lupulus* L.) resins during long-period storage. **Plants**, Sydney, v. 12, n. 4, p. 1-16, 2023.

RYBÁčEK, V. **Hop Production**. Prague: Elsevier Science, 1991.

SACCON, P. Water for agriculture, irrigation management. **Applied Soil Ecology**, Netherlands, v. 123, p. 793-796, 2018.

SALFER, I. J.; FESSENDEN, S. W.; STERN, M. D. Evaluation of iso-α-acid and β-acid extracts from hops (*Humulus lupulus* L.) on fermentation by rumen microbes in dual-flow continuous culture fermenters. **Animal Feed Science and Techonogy**, Netherlands, v. 260, p. 1-9, 2020.

SANTOS, B.; SOUSA, M. J. Review hops - bioactive compounds and their applications. **World Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences,** Bulgaria, v. 12, n. 1, p. 1854-1886, 2022.,

SCALON, S. P. Q.; MUSSURY, R. M.; RIGONI, M. R.; VERALDO, F. Crescimento inicial de mudas de espécies florestais nativas sob diferentes níveis de sombreamento. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 26, n. 1, p. 1-5, 2002.

SEIGNER, E.; LUTZ, A.; OBERHOLLERZER, K.; SEIDENBERGER, R.; SEEFELDER, S. Breending of hop varieties for the future. **Acta Horticulturae**, Amsterdam, n. 848, p. 49-58, 2008.

SELEIMAN, M. F.; AL-SUHAIBANI, N.; ALI, N.; AKMAL, M.; ALOTAIBI, M.; REFAY, Y.; DINDAROGLU, T.; ABDUL-WAJID, H. H.; BATTAGLIA, M. L. Drought stress impacts on plants and different approaches to alleviate its adverse effects. **Plants**, Basel, v. 10, n. 2, p. 1-25, 2021.

SHARMA, A.; KUMAR, V.; SHAHZAD, B.; RAMAKRISHNAN, M.; SIDHU, G. P. S.; BALI, A. S.; KAPPOR, N. H. D.; YADAV, P.; KHANNA, K.; BAKSHI, P.; REHMAN, A.; KOHLI, S. K.; KHAN, E. A.; PARIHAR, R. D.; YUAN, H.; THUKRAL, A. K.; BHARDWAJ, R.; ZHENG, B. Photosynthetic response of plants under different abiotic stresses: a review. **Journal of Plant Growth Regulation***,* v. 39, p. 509–531, 2020.

SHEVELA, D.; KERN, J. F.; GOVINDJEE, G.; WHITMARSH, J.; MESSINGER, J. ***Photosystem II***. **Encyclopedia of Life Sciences***,* Switzerland, v. 2, n. 7, p. 1-20, 2021.

SILVA, J.R.; RODRIGUES, W.P.; FERREIRA, L.S.; DE PAULA BERNADO, W.; PAIXÃO, J.S.; PATTERSON, A.E.; PONI, S. Deficit irrigation and transparent plastic covers can save water and improve grapevine cultivation in the tropics. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, NL, v. 202, n. 66–80, 2018.

SILVA, E. F.; AMAURY, C. F.; MACEDO, J. R.; LUMBRERAS, J. F.; DART, R. O. Zoneamento agroecológico preliminar para a cultura do lúpulo no Estado do Rio de

Janeiro. In: AQUINO, A. M. *et al*. **Referencial Técnico de Atratividade Agropecuária – Lúpulo**. Nova Friburgo, RJ: Embrapa, p. 21-29. 2019a.

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

SILVA, E. L. P.; SOARES, J. C. F.; MACHADO, M. J.; REIS, I. M. A.; COVA, S. C. Avaliação do perfil de produção de fitoterápicos para o tratamento de ansiedade e depressão pelas indústrias farmacêuticas brasileiras. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v. 6, n. 1, p. 3119-3135, 2020.

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

SOLOMON, K. **Manufacturing variation of trickle emitters.** Transactions of the ASAE, p. 1034-1043, 1979.

SOUSA, R. F.; SOUSA, J. A. Metabólicos secundários associados a estresse hídrico e suas funções nos tecidos vegetais. **Revista Brasileira de Gestão Ambiental**, João Pessoa, v. 11, n. 1, p. 1-8, 2017.

SOUSA, F. G. G. **Determinação da evapotranspiração da cultura e coeficiente de cultivo do lúpulo em diferentes texturas do solo**. 2021. Tese (Doutorado em Agronomia - Irrigação e Drenagem) - Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Faculdade de Ciências Agronômicas, Botucatu, 2021.

SPETEA, C; RINTAMÄKI, E; SCHOEFS, B. Changing the light environment: chloroplast signalling and response mechanisms. **Philosophical Transactions of the Royal Society B.**, v. 369, p. 20130220, 2014.

SPÓSITO, M. B; ISMAEL, R. V.; BARBOSA, C. M. A.; TAGLIAFERRO, A. L. **A cultura do lúpulo**. Piracicaba, SP: Esalq - Divisão de Biblioteca, 2019. 81 p. (Série Produtor Rural, 68).

SREČEC, S.; KVATERNJAK, I.; KAUČIĆ, D.; ŠPOLJAR, A.; ERHATIĆ, R. Influence of climatic conditions on accumulation of α-acids in hop clones. **Agriculturae Conspectus Scientificus**, Zagreb, v. 73, n. 3, p. 161-166, 2008.

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

SYSTAT SOFTWARE Inc. **SigmaPlot 14**. Systat Software Incorporated, 2019. Disponível em: <https://systatsoftware.com/products/>. Acesso em: 10 set. 2023.

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

TAKAHASHI, S.; BADGER, M. R. Photoprotection in plants: a new light on photosystem II damage. **Trends in Plant Science**, Oxford, v. 16, n. 1, p. 33-60, 2011.

THAKKER, A. M.; SUN, D. Innovative plant-based mordants and colorants for application on cotton fabric. **Journal of Natural Fibers**, v. 19, n. 16, p. 14346-14364, 2022.

TING, P. L.; RYDER, D. S. The bitter, twisted truth of the hop: 50 years of hop chemistry. **Journal of the American Society of Brewing Chemists**, United Kingdom, v. 75, n. 3, p. 161-180, 2017.

TRONINA, T.; POPŁO´NSK, J.; BARTMA´NSKA, A. Flavonoids as phytoestrogenic components of hops and beer. **Molecules**, Berlin, v. 25, n. 4201, p. 1-21, 2020.

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

URREA-VICTORIA, V.; GERALDES, V.; PINTO, E.; CASTELLANOS, L. Photosynthetic pigments and photoprotective metabolites of Colombian pacific marine macroalgae in response to contrasting ultraviolet-index periods. **Journal of Experimental Marine Biology and Ecology**, Amsterdam, v. 564, p. 151908, 2023.

VERZELE, M; DE KEUKELEIRE, D. **Chemistry and analysis of hop and beer bitter acids**. New York: Elsevier Science, 1991. 417 p.

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

WANYAMA, J.; BWAMBALE, E. Precision Water Management. *In*: Zhang, Q. (eds) **Encyclopedia of Smart Agriculture Technologies**. Springer, Cham, 2023, cap. 114, p. 1-8.

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

WEBER, N.; BIEHLER, K.; SCHWABE, K.; HAARHAUS, B.; QUIRIN, K.; FRANK, U.; SCHEMPP, C. M.; WÖLFLE, U. Hop extract acts as an antioxidant with antimicrobial effects against *propionibacterium acnes* and *staphylococcus aureus*. **Molecules**, Berlin, v. 24, n. 2, p. 1-13, 2019.

WHATLEY, J.M.; WHATLEY, F.R. **A luz e a vida das plantas**. São Paulo, EPU-EDUSP, 1982.

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

WONG, S. L.; CHEN, C. W.; HUANG, H. W.; WENG, J. H. Using combined measurements of gas exchange and chlorophyll fluorescence to investigate the photosynthetic light responses of plant species adapted to different light regimes. **Photosynthetica**, Prague, v. 50, n. 2, p. 206-214, 2012.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Fact Sheet: antimicrobial resistance**. 2021. Disponível em: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/antimicrobial-resistance>. Acesso em: 09 set. 2023.

XU, N.; LAVAUD, J.; PERKINS, R.; AUSTEN, E.; BONNANFANT, M.; CAMPBELL, D. A. Phytoplankton σPSII and Excitation Dissipation; Implications for Estimates of Primary Productivity. **Frontiers in Marine Science**, Switzerland, v. 5, n. 281, p. 1-16, 2018.

YADAV, B.; JOGAWAT, A.; RAHMAN, M. S.; NARAYAN, O. P. Secondary metabolites in the drought stress tolerance of crop plants: a review. **Gene Reports**, Netherlands, v. 23, p. 101040, 2021.

YANG, X..; LU, M.; WANG, Y.; WANG, Y.; LIU, Z.; CHEN, S. Response mechanism of plants to drought stress. **Horticulturae,** Amsterdam, v. 7, n. 50, p. 1-36, 2021.

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

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

ZEPP, G.; SMITH, S.; HARWOOD, J. **Hops: an economic assessment of the feasibility of providing multiple-peril crop insurance**. Economic Research Service, USDA, 1995.

ZUNZUNEGUI, M.; BARRADAS, M. C. D.; AIN-LHOUT, F.; ALVAREZ-CANSINO, L.; ESQUIVIAS, M. P.; NOVO, F. G. Seasonal physiological plasticity and recovery capacity after summer stress in Mediterranean scrub communities. **Plant Ecology**, Netherlands, v. 212, n. 1, p. 127-142, 2011.

APÊNDICES

Apêndice A – Média, desvio padrão e resumo da análise de variância (ANOVA) para trocas gasosas e fluorescência da clorofila das plantas de lúpulo var. Cascade em função dos sistemas de condução dos ramos aos 62 DAT

Parâmetro	Sistema de condução		p_{valor}	CV (%)
	SCCR	SACR		
A	26,43 ± 3,62	25,21 ± 3,26	$0,4022^{ns}$	10,78
Gs	0,35 ± 0,04	0,35 ± 0,03	$0,8686^{ns}$	12,57
Ci	276,44 ± 8,90	287,64 ± 14,75	$0,1108^{ns}$	4,57
E	5,61 ± 0,91	5,95 ± 0,67	$0,4461^{ns}$	14,91
EiC	0,09 ± 0,01	0,08 ± 0,01	$0,1288^{ns}$	15,46
EUA	4,81 ± 0,89	4,07 ± 0,70	$0,1234^{ns}$	19,73
Fv/Fm	0,90 ± 0,04	0,90 ± 0,05	$0,7828^{ns}$	5,64
Fv'/Fm'	0,54 ± 0,02	0,50 ± 0,04	0,0434*	6,80
qP	0,48 ± 0,08	0,48 ± 0,05	$0,9234^{ns}$	12,75
NPQ	1,01 ± 0,12	1,50 ± 0,38	0,0094*	25,00
ETR	184,50 ± 24,66	170,96 ± 24,76	$0,2445^{ns}$	12,39

Sendo: A – taxa de assimilação de CO_2, Gs – condutância estomática, Ci – concentração interna de CO_2, E – taxa de transpiração, EiC – eficiência instantânea de carboxilação, EUA – eficiência instantânea do uso da água, Fv/Fm – rendimento quântico máximo do PSII, Fv'/Fm' – eficiência quântica fotoquímica efetiva do PSII, qP – coeficiente de extinção fotoquímica do PSII, NPQ - coeficiente de extinção não fotoquímica do PSII, ETR – taxa de transferência relativa de elétrons, SCCR – sistema convencional de condução dos ramos, SACR – sistema alternativo de condução dos ramos, CV – coeficiente de variação experimental, * – significativo ($p<0,05$) e ns – não significativo ($p>0,05$).

Apêndice B – Média, desvio padrão e resumo da análise de variância (ANOVA) para as trocas gasosas das plantas de lúpulo var. Cascade em função dos níveis de irrigação e sistemas de condução dos ramos aos 99 e 123 DAT

99 DAT

A						Gs						Ci					
SC	**NI**				**Média**	**SC**	**NI**				**Média**	**SC**	**NI**				**Média**
	80	**90**	**100**	**110**			**80**	**90**	**100**	**110**			**80**	**90**	**100**	**110**	
SCCR	21,96±0,98	19,89±1,89	19,57±1,69	24,19±0,55	21,41	**SCCR**	0,39±0,01	0,36±0,01	0,37±0,02	0,40±0,02	0,38	**SCCR**	262,26±2,30	264,62±1,33	268,95±1,88	250,55±1,77	261,60
SACR	19,54±1,19	21,21±1,88	22,91±0,46	20,83±1,80	21,15	**SACR**	0,39±0,00	0,40±0,01	0,39±0,02	0,40±0,02	0,40	**SACR**	273,25±4,66	268,52±2,35	261,51±5,16	270,25±5,84	268,39
Média	20,75	20,61	21,25	22,51		**Média**	0,39	0,38	0,39	0,40		**Média**	267,76	266,57	265,24	260,41	
CV (%)	6,84					**CV (%)**	4,36					**CV (%)**	1,35				
p-valor		**SC**	**NI**	**SC:NI**		***p-valor***		**SC**	**NI**	**SC:NI**		***p-valor***		**SC**	**NI**	**SC:NI**	
		0,626^{ns}	0,062^{ns}	<0,001*				0,017*	0,116^{ns}	0,036*				<0,001*	0,002*	<0,001*	

E						EiC						EUA					
SC	**NI**				**Média**	**SC**	**NI**				**Média**	**SC**	NI				**Média**
	80	**90**	**100**	**110**			**80**	**90**	**100**	**110**			80	90	100	110	
SCCR	7,05±0,75	6,57±0,96	6,72±1,06	7,09±1,02	6,86	**SCCR**	0,08±0,00	0,07±0,00	0,07±0,00	0,09±0,00	0,08	**SCCR**	3,13±0,27	3,06±0,41	2,96±0,54	3,45±0,46	3,16
SACR	6,95±0,39	7,09±0,41	6,93±0,70	7,12±0,53	7,03	**SACR**	0,07±0,00	0,08±0,00	0,08±0,00	0,07±0,00	0,08	**SACR**	2,81±0,15	3,02±0,43	3,32±0,33	2,92±0,15	3,02
Média	7,01	6,83	6,83	7,11		**Média**	0,08	0,08	0,08	0,09		**Média**	2,97	3,04	3,15	3,19	
CV (%)	7,67					**CV (%)**	7,48					**CV (%)**	8,55				
p-valor		**SC**	**NI**	**SC:NI**		***p-valor***		**SC**	**NI**	**SC:NI**		***p-valor***		**SC**	**NI**	**SC:NI**	
		0,384^{ns}	0,665^{ns}	0,678^{ns}				0,157^{ns}	0,001*	<0,001*				0,162^{ns}	0,361^{ns}	0,017*	

123 DAT

A						Gs						Ci					
SC	**NI**				**Média**	**SC**	**NI**				**Média**	**SC**	**NI**				**Média**
	80	**90**	**100**	**110**			**80**	**90**	**100**	**110**			**80**	**90**	**100**	**110**	
SCCR	15,81±1,61	17,83±1,90	16,85±1,32	15,18±1,11	16,42	**SCCR**	0,30±0,01	0,30±0,05	0,28±0,03	0,27±0,05	0,29	**SCCR**	272,21±10,77	256,89±5,78	257,92±7,63	264,96±7,82	263,00
SACR	13,23±0,72	15,01±0,80	20,09±0,76	18,21±0,61	16,64	**SACR**	0,22±0,00	0,26±0,01	0,33±0,01	0,36±0,01	0,30	**SACR**	269,72±4,35	261,12±3,19	251,59±6,31	265,00±7,48	261,74
Média	14,52	16,43	18,48	16,70		**Média**	0,27	0,28	0,31	0,32		**Média**	270,73	259,01	254,76	264,98	
CV (%)	7,19					**CV (%)**	11,57					**CV (%)**	2,60				
p-valor		**SC**	**NI**	**SC:NI**		***p-valor***		**SC**	**NI**	**SC:NI**		***p-valor***		**SC**	**NI**	**SC:NI**	
		0,610^{ns}	<0,001*	<0,001*				0,793^{ns}	0,021*	<0,001*				0,607^{ns}	<0,001*	0,475^{ns}	

E						EiC						EUA					
SC	**NI**				**Média**	**SC**	**NI**				**Média**	**SC**	**NI**				**Média**
	80	**90**	**100**	**110**			**80**	**90**	**100**	**110**			**80**	**90**	**100**	**110**	
SCCR	7,01±0,34	7,14±1,36	6,76±0,58	6,47±1,06	6,85	**SCCR**	0,05±0,00	0,07±0,00	0,06±0,00	0,05±0,00	0,06	**SCCR**	2,25±0,25	2,53±0,30	2,51±0,37	2,37±0,24	2,42
SACR	5,01±0,50	6,07±0,41	7,39±0,35	8,11±0,51	6,65	**SACR**	0,05±0,00	0,05±0,00	0,07±0,00	0,06±0,00	0,06	**SACR**	2,66±0,35	2,48±0,29	2,72±0,15	2,24±0,13	2,53
Média	6,01	6,61	7,08	7,29		**Média**	0,05	0,06	0,07	0,06		**Média**	2,46	2,51	2,62	2,31	
CV (%)	10,03					**CV (%)**	8,02					**CV (%)**	11,44				
p-valor		**SC**	**NI**	**SC:NI**		***p-valor***		**SC**	**NI**	**SC:NI**		***p-valor***		**SC**	**NI**	**SC:NI**	
		0,481^{ns}	0,005*	<0,001*				0,501^{ns}	<0,001*	<0,001*				0,284^{ns}	0,215^{ns}	0,248^{ns}	

Sendo: A – taxa de assimilação de CO_2, Gs – condutância estomática, Ci – concentração interna de CO_2, E – taxa de transpiração, EiC – eficiência instantânea de carboxilação, EUA – eficiência instantânea do uso da água, NI – nível de irrigação, SC x NI – interação dos fatores, F_{calc} – valor de F calculado, *p-valor* – valor de p, CV – coeficiente de variação experimental; * – significativo (p<0,05) e ns – não significativo (p>0,05).

Apêndice C – Média, desvio padrão e resumo da análise de variância (ANOVA) para as trocas gasosas das plantas de lúpulo var. Cascade em função dos níveis de irrigação e sistemas de condução dos ramos aos 195 e 213 DAT

195 DAT

A

SC	NI 80	NI 90	NI 100	NI 110	Média
SCCR	15,73±1,54	15,92±1,56	22,84±2,49	25,99±1,72	20,12
SACR	22,91±1,34	19,49±2,01	20,86±2,30	20,29±1,64	20,89
Média	19,32	17,71	21,85	23,14	
CV (%)	8,93				
p-valor		**SC**	**NI**	**SC:NI**	
		0,284^{ns}	<0,001*	<0,001*	

Gs

SC	NI 80	NI 90	NI 100	NI 110	Média
SCCR	0,34±0,02	0,21±0,01	0,27±0,02	0,36±0,04	0,30
SACR	0,32±0,03	0,29±0,04	0,30±0,01	0,26±0,02	0,30
Média	0,34	0,25	0,29	0,31	
CV (%)	10,22				
p-valor		**SC**	**NI**	**SC:NI**	
		0,804^{ns}	<0,001*	<0,001*	

Ci

SC	NI 80	NI 90	NI 100	NI 110	Média
SCCR	225,67±6,53	227,05±7,92	224,52±15,89	229,04±9,78	226,58
SACR	235,77±4,30	241,38±3,42	240,05±9,46	230,26±2,17	236,87
Média	230,72	234,22	232,29	229,65	
CV (%)	3,57				
p-valor		**SC**	**NI**	**SC:NI**	
		0,002*	0,713^{ns}	0,325^{ns}	

E

SC	NI 80	NI 90	NI 100	NI 110	Média
SCCR	8,88±0,71	5,61±1,56	7,81±1,84	9,44±1,23	7,94
SACR	8,22±2,18	7,55±1,84	8,08±1,24	7,09±1,18	7,74
Média	8,55	6,58	7,95	8,27	
CV (%)	16,82				
p-valor		**SC**	**NI**	**SC:NI**	
		0,674^{ns}	0,033*	0,028*	

EiC

SC	NI 80	NI 90	NI 100	NI 110	Média
SCCR	0,06±0,00	0,07±0,00	0,10±0,00	0,11±0,00	0,09
SACR	0,09±0,00	0,08±0,00	0,08±0,00	0,08±0,00	0,09
Média	0,08	0,08	0,09	0,10	
CV (%)	6,95				
p-valor		**SC**	**NI**	**SC:NI**	
		0,843^{ns}	<0,001*	<0,001*	

EUA

SC	NI 80	NI 90	NI 100	NI 110	Média
SCCR	2,89±0,26	2,84±0,42	2,95±0,55	2,73±0,35	2,84
SACR	2,82±0,53	2,55±0,61	2,56±0,36	2,85±0,14	2,70
Média	2,86	2,70	2,76	2,79	
CV (%)	15,67				
p-valor		**SC**	**NI**	**SC:NI**	
		0,323^{ns}	0,900^{ns}	0,650^{ns}	

213 DAT

A

SC	NI 80	NI 90	NI 100	NI 110	Média
SCCR	20,79±0,46	22,47±1,08	19,73±1,65	18,02±0,37	18,85
SACR	19,68±1,32	21,80±1,52	17,59±1,27	16,29±1,52	20,26
Média	20,24	22,14	18,66	17,16	
CV (%)	6,22				
p-valor		**SC**	**NI**	**SC:NI**	
		0,003*	<0,001*	0,637^{ns}	

Gs

SC	NI 80	NI 90	NI 100	NI 110	Média
SCCR	0,32±0,01	0,33±0,03	0,28±0,04	0,31±0,02	0,31
SACR	0,30±0,05	0,30±0,02	0,27±0,01	0,28±0,06	0,29
Média	0,32	0,32	0,28	0,30	
CV (%)	13,07				
p-valor		**SC**	**NI**	**SC:NI**	
		0,158^{ns}	0,116^{ns}	0,966^{ns}	

Ci

SC	NI 80	NI 90	NI 100	NI 110	Média
SCCR	248,15±2,04	241,78±3,13	238,74±9,07	253,09±4,62	245,44
SACR	248,65±4,21	236,97±2,30	247,49±5,75	259,53±7,56	248,16
Média	248,40	239,38	243,12	256,31	
CV (%)	2,24				
p-valor		**SC**	**NI**	**SC:NI**	
		0,178^{ns}	<0,001*	0,093^{ns}	

E

SC	NI 80	NI 90	NI 100	NI 110	Média
SCCR	7,98±0,97	8,36±2,03	7,21±1,27	7,93±2,06	7,88
SACR	7,60±1,39	7,69±1,62	6,99±1,05	7,49±0,80	7,44
Média	7,80	8,03	7,11	7,71	
CV (%)	16,31				
p-valor		**SC**	**NI**	**SC:NI**	
		0,339^{ns}	0,510^{ns}	0,987^{ns}	

EiC

SC	NI 80	NI 90	NI 100	NI 110	Média
SCCR	0,08±0,00	0,09±0,00	0,08±0,00	0,07±0,00	0,08
SACR	0,07±0,00	0,08±0,00	0,07±0,00	0,06±0,00	0,08
Média	0,08	0,09	0,08	0,07	
CV (%)	5,15				
p-valor		**SC**	**NI**	**SC:NI**	
		<0,001*	<0,001*	0,197^{ns}	

EUA

SC	NI 80	NI 90	NI 100	NI 110	Média
SCCR	2,61±0,12	2,73±0,29	2,66±0,28	2,44±0,71	2,61
SACR	2,58±0,41	2,80±0,27	2,48±0,57	2,17±0,38	2,51
Média	2,60	2,77	2,57	2,31	
CV (%)	16,58				
p-valor		**SC**	**NI**	**SC:NI**	
		0,512^{ns}	0, 218^{ns}	0,858^{ns}	

Sendo: A – taxa de assimilação de CO_2, Gs – condutância estomática, Ci – concentração interna de CO_2, E – taxa de transpiração, EiC – eficiência instantânea de carboxilação, EUA – eficiência instantânea do uso da água, NI – nível de irrigação, SC x NI – interação dos fatores, F_{calc} – valor de F calculado, *p-valor* – valor de p, CV – coeficiente de variação experimental; * – significativo (p<0,05) e ns – não significativo (p>0,05

Apêndice D – Desdobramento da interação e ajuste dos modelos polinomiais de regressão dos níveis de irrigação e sistemas condução dos ramos para a taxa de assimilação de CO2 (A) das plantas de lúpulo var. Cascade aos 99 DAT

DESDOBRAMENTO DA INTERAÇÃO DOS FATORES					
Sistema dentro de cada nível					
Interação		F_{calc}		*p-valor*	
SC:NI 80		5,50		0,028*	
SC:NI 90		1,89		0,182^{ns}	
SC:NI 100		10,52		0,003*	
SC:NI 110		10,64		0,003*	
Nível dentro de cada sistema					
Interação		F_{calc}		*p-valor*	
NI:SCCR		8,62		<0,001*	
NI:SACR		3,65		0,028*	
AJUSTE DOS MODELOS POLINOMIAIS DE REGRESSÃO					
NI:SCCR			NI:SACR		
Modelo polinomial		*p-valor*	Modelo polinomial		*p-valor*
Linear		0,063^{ns}	Linear		0,107^{ns}
Quadrático		<0,001*	Quadrático		0,015*
Cúbico		0,337^{ns}	Cúbico		0,292^{ns}
Coeficientes do modelo		*p-valor*	Coeficientes do modelo		*p-valor*
b0	164,0572	<0,001*	b0	-69,6614	0,044*
b1	-3,1109	<0,001*	b1	1,8825	0,012*
b2	0,0167	<0,001*	b2	-0,0096	0,015*
R^2 (%)	96,28		R^2 (%)	89,37	

Sendo: SC – sistema de condução dos ramos, NI – nível de irrigação, SCCR – sistema convencional de condução dos ramos, SACR – sistema alternativo de condução dos ramos, F_{calc} – valor de F calculado, *p-valor* – valor de p, * – significativo (p<0,05) e ns – não significativo (p>0,05) e R^2 – percentual de explicação da variabilidade da variável resposta pelo modelo polinomial.

Apêndice E – Desdobramento da interação e ajuste dos modelos polinomiais de regressão dos níveis de irrigação e do sistema convencional de condução dos ramos (SCCR) para a condutância estomática (Gs) das plantas de lúpulo var. Cascade aos 99 DAT

DESDOBRAMENTO DA INTERAÇÃO DOS FATORES		
Sistema dentro de cada nível		
Interação	F_{calc}	*p-valor*
SC:NI 80	0,07	$0,784^{ns}$
SC:NI 90	13,92	0,001*
SC:NI 100	2,92	$0,101^{ns}$
SC:NI 110	0,00	$0,997^{ns}$
Nível dentro de cada sistema		
Interação	F_{calc}	*p-valor*
NI:SCCR	4,78	0,010*
NI:SACR	0,84	$0,483^{ns}$
AJUSTE DOS MODELOS POLINOMIAIS DE REGRESSÃO		
Modelo polinomial		*p-valor*
Linear		$0,241^{ns}$
Quadrático		0,002*
Cúbico		$0,459^{ns}$
Coeficientes do modelo		*p-valor*
b0	1,6646	<0,001*
b1	-0,0278	0,002*
b2	0,0001	0,002*
R^2 (%)	96,03	

Sendo: SC – sistema de condução dos ramos, NI – nível de irrigação, SCCR – sistema convencional de condução dos ramos, SACR – sistema alternativo de condução dos ramos, F_{calc} – valor de F calculado, *p-valor* – valor de p, * – significativo ($p<0,05$) e ns – não significativo ($p>0,05$) e R^2 – percentual de explicação da variabilidade da variável resposta pelo modelo polinomial.

Apêndice F – Desdobramento da interação e ajuste dos modelos polinomiais de regressão dos níveis de irrigação e sistemas condução dos ramos para a concentração interna de CO2 (Ci) das plantas de lúpulo var. Cascade aos 99 DAT

DESDOBRAMENTO DA INTERAÇÃO DOS FATORES					
Sistema dentro de cada nível					
Interação		F_{calc}		*p-valor*	
SC:NI 80		18,98		<0,001*	
SC:NI 90		2,36		0,136^{ns}	
SC:NI 100		8,71		0,007*	
SC:NI 110		60,96		<0,001*	
Nível dentro de cada sistema					
Interação		F_{calc}		*p-valor*	
NI:SCCR		19,45		<0,001*	
NI:SACR		7,80		0,001*	
AJUSTE DOS MODELOS POLINOMIAIS DE REGRESSÃO					
NI:SCCR			NI:SACR		
Modelo polinomial		*p-valor*	Modelo polinomial		*p-valor*
Linear		<0,001*	Linear		0,057^{ns}
Quadrático		<0,001*	Quadrático		0,001*
Cúbico		0,005*	Cúbico		0,034*
Coeficientes do modelo		*p-valor*	Coeficientes do modelo		*p-valor*
b0	-170,9872	0,043*	b0	583,4448	<0,001*
b1	9,5516	<0,001*	b1	-6,5612	<0,001*
b2	-0,0519	<0,001*	b2	0,0337	0,001*
R^2 (%)	83,53		R^2 (%)	78,17	

Sendo: SC – sistema de condução dos ramos, NI – nível de irrigação, SCCR – sistema convencional de condução dos ramos, SACR – sistema alternativo de condução dos ramos, F_{calc} – valor de F calculado, *p-valor* – valor de p, * – significativo (p<0,05) e ns – não significativo (p>0,05) e R^2 – percentual de explicação da variabilidade da variável resposta pelo modelo polinomial.

Apêndice G – Desdobramento da interação e ajuste dos modelos polinomiais de regressão dos níveis de irrigação e sistemas condução dos ramos para a eficiência instantânea de carboxilação (EiC) das plantas de lúpulo var. Cascade aos 99 DAT

DESDOBRAMENTO DA INTERAÇÃO DOS FATORES					
Sistema dentro de cada nível					
Interação		F_{calc}		*p-valor*	
SC:NI 80		8,16		0,009*	
SC:NI 90		0,98		0,332^{ns}	
SC:NI 100		12,11		0,002*	
SC:NI 110		20, 69		<0,001*	
Nível dentro de cada sistema					
Interação		F_{calc}		*p-valor*	
NI:SCCR		12,72		<0,001*	
NI:SACR		4,87		0,010*	
AJUSTE DOS MODELOS POLINOMIAIS DE REGRESSÃO					
NI:SCCR			NI:SACR		
Modelo polinomial		*p-valor*	Modelo polinomial		*p-valor*
Linear		0,014*	Linear		0,077^{ns}
Quadrático		<0,001*	Quadrático		0,006*
Cúbico		0,153^{ns}	Cúbico		0,172^{ns}
Coeficientes do modelo		*p-valor*	Coeficientes do modelo		*p-valor*
b0	0,7675	<0,001*	b0	-0,3511	0,016*
b1	-0,0150	<0,001*	b1	0,0089	0,005*
b2	0,0001	<0,001*	b2	-0,00005	0,006*
R^2 (%)	94,25		R^2 (%)	86,34	

Sendo: SC – sistema de condução dos ramos, NI – nível de irrigação, SCCR – sistema convencional de condução dos ramos, SACR – sistema alternativo de condução dos ramos, F_{calc} – valor de F calculado, *p-valor* – valor de p, * – significativo (p<0,05) e ns – não significativo (p>0,05) e R^2 – percentual de explicação da variabilidade da variável resposta pelo modelo polinomial.

Apêndice H – Desdobramento da interação dos níveis de irrigação e sistemas condução dos ramos para a eficiência instantânea do uso da água (EUA) das plantas de lúpulo var. Cascade aos 99 DAT

Sistema dentro de cada nível		
Interação	F_{calc}	*p-valor*
SC:NI 80	2,95	0,100^{ns}
SC:NI 90	0,05	0,812^{ns}
SC:NI 100	3,67	0,068^{ns}
SC:NI 110	8,15	0,009*
Nível dentro de cada sistema		
Interação	F_{calc}	*p-valor*
NI:SCCR	2,57	0,065^{ns}
NI:SACR	2,79	0,080^{ns}

Sendo: SC – sistema de condução dos ramos, NI – nível de irrigação, SCCR – sistema convencional de condução dos ramos, SACR – sistema alternativo de condução dos ramos, F_{calc} – valor de F calculado, *p-valor* – valor de p, * – significativo (p<0,05) e ns – não significativo (p>0,05).

Apêndice I – Desdobramento da interação e ajuste dos modelos polinomiais de regressão dos níveis de irrigação e sistemas condução dos ramos para a taxa de assimilação de CO2 (A) das plantas de lúpulo var. Cascade aos 123 DAT

DESDOBRAMENTO DA INTERAÇÃO DOS FATORES					
Sistema dentro de cada nível					
Interação		F_{calc}		*p-valor*	
SC:NI 80		9,43		0,005*	
SC:NI 90		11,18		0,003*	
SC:NI 100		14,79		<0,001*	
SC:NI 110		12,98		0,001*	
Nível dentro de cada sistema					
Interação		F_{calc}		*p-valor*	
NI:SCCR		3,85		0,024*	
NI:SACR		26,99		<0,001	
AJUSTE DOS MODELOS POLINOMIAIS DE REGRESSÃO					
NI:SCCR			NI:SACR		
Modelo polinomial		*p-valor*	Modelo polinomial		*p-valor*
Linear		$0,292^{ns}$	Linear		<0,001*
Quadrático		0,005*	Quadrático		0,005*
Cúbico		$0,399^{ns}$	Cúbico		<0,001*
Coeficientes do modelo		*p-valor*	Coeficientes do modelo		*p-valor*
b0	-63,0654	0,027*	b0	-84,0418	0,004*
b1	1,7264	0,006*	b1	1,9436	0,002*
b2	-0,0092	0,005*	b2	-0,0092	0,005*
R^2 (%)	93,60		R^2 (%)	81,69	

Sendo: SC – sistema de condução dos ramos, NI – nível de irrigação, SCCR – sistema convencional de condução dos ramos, SACR – sistema alternativo de condução dos ramos, F_{calc} – valor de F calculado, *p-valor* – valor de p, * – significativo ($p<0,05$) e ns – não significativo ($p>0,05$) e R^2 – percentual de explicação da variabilidade da variável resposta pelo modelo polinomial.

Apêndice J – Desdobramento da interação e ajuste dos modelos polinomiais de regressão dos níveis de irrigação e do sistema alternativo de condução dos ramos (SACR) para a condutância estomática (Gs) das plantas de lúpulo var. Cascade aos 123 DAT

DESDOBRAMENTO DA INTERAÇÃO DOS FATORES		
Sistema dentro de cada nível		
Interação	F_{calc}	*p-valor*
SC:NI 80	11,86	0,002*
SC:NI 90	2,43	$0,133^{ns}$
SC:NI 100	3,87	$0,062^{ns}$
SC:NI 110	12,73	0,002*
Nível dentro de cada sistema		
Interação	F_{calc}	*p-valor*
NI:SCCR	0,73	$0,542^{ns}$
NI:SACR	13,52	<0,001*
AJUSTE DOS MODELOS POLINOMIAIS DE REGRESSÃO		
Modelo polinomial		*p-valor*
Linear		<0,001*
Quadrático		$0,825^{ns}$
Cúbico		$0,369^{ns}$
Coeficientes do modelo		*p-valor*
b0	-0,1597	0,039*
b1	0,0048	<0,001*
R^2 (%)	97,80	

Sendo: SC – sistema de condução dos ramos, NI – nível de irrigação, SCCR – sistema convencional de condução dos ramos, SACR – sistema alternativo de condução dos ramos, F_{calc} – valor de F calculado, *p-valor* – valor de p, * – significativo (p<0,05) e ns – não significativo (p>0,05) e R^2 – percentual de explicação da variabilidade da variável resposta pelo modelo polinomial.

Apêndice K – Ajuste dos modelos polinomiais de regressão dos níveis de irrigação para a concentração interna de CO2 na folha (Ci) das plantas de lúpulo var. Cascade aos 123 DAT

Modelo polinomial		*p-valor*
Linear		$0,059^{ns}$
Quadrático		<0,001*
Cúbico		$0,523^{ns}$
Coeficientes do modelo		*p-valor*
b0	77,0152	<0,001*
b1	-10,6379	<0,001*
b2	0,0549	<0,001*
R^2 (%)	98,31	

Sendo: *p-valor* – valor de p, * – significativo (p<0,05) e ns – não significativo (p>0,05) e R^2 – percentual de explicação da variabilidade da variável resposta pelo modelo polinomial.

Apêndice L – Desdobramento da interação e ajuste dos modelos polinomiais de regressão dos níveis de irrigação e do sistema alternativo de condução dos ramos (SACR) para a taxa transpiração (E) das plantas de lúpulo var. Cascade aos 123 DAT

DESDOBRAMENTO DA INTERAÇÃO DOS FATORES		
Sistema dentro de cada nível		
Interação	F_{calc}	*p-valor*
SC:NI 80	17,47	<0,001*
SC:NI 90	4,95	0,037*
SC:NI 100	1,74	0,201^{ns}
SC:NI 110	11,81	0,002*
Nível dentro de cada sistema		
Interação	F_{calc}	*p-valor*
NI:SCCR	0,77	0,523^{ns}
NI:SACR	16,62	<0,001*
AJUSTE DOS MODELOS POLINOMIAIS DE REGRESSÃO		
Modelo polinomial		*p-valor*
Linear		<0,001*
Quadrático		0,825^{ns}
Cúbico		0,369^{ns}
Coeficientes do modelo		*p-valor*
b0	-3,4441	0,026*
b1	0,1062	<0,001*
R^2 (%)	98,86	

Sendo: SC – sistema de condução dos ramos, NI – nível de irrigação, SCCR – sistema convencional de condução dos ramos, SACR – sistema alternativo de condução dos ramos, F_{calc} – valor de F calculado, *p-valor* – valor de p, * – significativo (p<0,05) e ns – não significativo (p>0,05) e R^2 – percentual de explicação da variabilidade da variável resposta pelo modelo polinomial.

Apêndice M – Desdobramento da interação e ajuste dos modelos polinomiais de regressão dos níveis de irrigação e sistemas condução dos ramos para a eficiência instantânea de carboxilação (EiC) das plantas de lúpulo var. Cascade aos 123 DAT

DESDOBRAMENTO DA INTERAÇÃO DOS FATORES					
Sistema dentro de cada nível					
Interação		F_{calc}		*p-valor*	
SC:NI 80		6,42		0,019*	
SC:NI 90		11,22		0,003*	
SC:NI 100		16,61		<0,001*	
SC:NI 110		10,09		0,004*	
Nível dentro de cada sistema					
Interação		F_{calc}		*p-valor*	
NI:SCCR		5,27		0,007*	
NI:SACR		27,94		<0,001*	
AJUSTE DOS MODELOS POLINOMIAIS DE REGRESSÃO					
NI:SCCR			NI:SACR		
Modelo polinomial		*p-valor*	Modelo polinomial		*p-valor*
Linear		$0,552^{ns}$	Linear		<0,001*
Quadrático		0,001*	Quadrático		<0,001*
Cúbico		$0,313^{ns}$	Cúbico		<0,001*
Coeficientes do modelo		*p-valor*	Coeficientes do modelo		*p-valor*
b0	-0,3589	0,004*	b0	-0,4480	<0,001*
b1	0,0091	0,001*	b1	0,0101	<0,001*
b2	0,00005	0,001*	b2	-0,00005	<0,001*
R^2 (%)	93,25		R^2 (%)	78,89	

Sendo: SC – sistema de condução dos ramos, NI – nível de irrigação, SCCR – sistema convencional de condução dos ramos, SACR – sistema alternativo de condução dos ramos, F_{calc} – valor de F calculado, *p-valor* – valor de p, * – significativo (p<0,05) e ns – não significativo (p>0,05) e R^2 – percentual de explicação da variabilidade da variável resposta pelo modelo polinomial.

Apêndice N – Desdobramento da interação e ajuste dos modelos polinomiais de regressão dos níveis de irrigação e do sistema convencional de condução dos ramos (SCCR) para a taxa de assimilação de CO2 (A) das plantas de lúpulo var. Cascade aos 195 DAT

DESDOBRAMENTO DA INTERAÇÃO DOS FATORES		
Sistema dentro de cada nível		
Interação	F_{calc}	*p-valor*
SC:NI 80	30,73	<0,001*
SC:NI 90	7,61	0,011*
SC:NI 100	2,32	$0,142^{ns}$
SC:NI 110	19,39	<0,001*
Nível dentro de cada sistema		
Interação	F_{calc}	*p-valor*
NI:SCCR	31,32	<0,001*
NI:SACR	2,54	$0,083^{ns}$
AJUSTE DOS MODELOS POLINOMIAIS DE REGRESSÃO		
Modelo polinomial		*p-valor*
Linear		<0,001*
Quadrático		$0,825^{ns}$
Cúbico		$0,369^{ns}$
Coeficientes do modelo		*p-valor*
b0	-15,6842	<0,001*
b1	0,3769	<0,001*
R^2 (%)	90,21	

Sendo: SC – sistema de condução dos ramos, NI – nível de irrigação, SCCR – sistema convencional de condução dos ramos, SACR – sistema alternativo de condução dos ramos, F_{calc} – valor de F calculado, *p-valor* – valor de p, * – significativo (p<0,05) e ns – não significativo (p>0,05) e R^2 – percentual de explicação da variabilidade da variável resposta pelo modelo polinomial.

Apêndice O – Desdobramento da interação e ajuste dos modelos polinomiais de regressão dos níveis de irrigação e sistemas condução dos ramos para a condutância estomática (Gs) das plantas de lúpulo var. Cascade aos 195 DAT

DESDOBRAMENTO DA INTERAÇÃO DOS FATORES		
Sistema dentro de cada nível		
Interação	F_{calc}	*p-valor*
SC:NI 80	1,06	0,314^{ns}
SC:NI 90	12,93	0,001*
SC:NI 100	2,47	0,130^{ns}
SC:NI 110	21,54	<0,001*
Nível dentro de cada sistema		
Interação	F_{calc}	*p-valor*
NI:SCCR	21,17	<0,001*
NI:SACR	3,12	0,047*

AJUSTE DOS MODELOS POLINOMIAIS DE REGRESSÃO					
NI:SCCR			NI:SACR		
Modelo polinomial		*p-valor*	Modelo polinomial		*p-valor*
Linear		0,292^{ns}	Linear		0,016*
Quadrático		0,005*	Quadrático		0,846^{ns}
Cúbico		0,399^{ns}	Cúbico		0,126^{ns}
Coeficientes do modelo		*p-valor*	Coeficientes do modelo		*p-valor*
b0	5,2554	<0,001*	b0	0,4644	<0,001*
b1	-0,1068	<0,001*	b1	-0,0018	0,016*
b2	0,0006	<0,001*	R^2 (%)	72,58	
R^2 (%)	91,18				

Sendo: SC – sistema de condução dos ramos, NI – nível de irrigação, SCCR – sistema convencional de condução dos ramos, SACR – sistema alternativo de condução dos ramos, F_{calc} – valor de F calculado, *p-valor* – valor de p, * – significativo (p<0,05) e ns – não significativo (p>0,05) e R^2 – percentual de explicação da variabilidade da variável resposta pelo modelo polinomial.

Apêndice P – Desdobramento da interação e ajuste dos modelos polinomiais de regressão dos níveis de irrigação e do sistema convencional de condução dos ramos (SCCR) para a taxa de transpiração (E) das plantas de lúpulo var. Cascade aos 195 DAT

DESDOBRAMENTO DA INTERAÇÃO DOS FATORES		
Sistema dentro de cada nível		
Interação	F_{calc}	*p-valor*
SC:NI 80	0,49	$0,487^{ns}$
SC:NI 90	4,32	0,049*
SC:NI 100	0,08	$0,777^{ns}$
SC:NI 110	6,30	0,020*
Nível dentro de cada sistema		
Interação	F_{calc}	*p-valor*
NI:SCCR	6,56	0,002*
NI:SACR	0,61	$0,614^{ns}$
AJUSTE DOS MODELOS POLINOMIAIS DE REGRESSÃO		
Modelo polinomial		*p-valor*
Linear		$0,202^{ns}$
Quadrático		0,001*
Cúbico		$0,052^{ns}$
Coeficientes do modelo		*p-valor*
b0	113,0704	0,001*
b1	-2,2843	0,001*
b2	0,0122	0,001*
R^2 (%)	78,60	

Sendo: SC – sistema de condução dos ramos, NI – nível de irrigação, SCCR – sistema convencional de condução dos ramos, SACR – sistema alternativo de condução dos ramos, F_{calc} – valor de F calculado, *p-valor* – valor de p, * – significativo ($p<0,05$) e ns – não significativo ($p>0,05$) e R^2 – percentual de explicação da variabilidade da variável resposta pelo modelo polinomial.

Apêndice Q – Desdobramento da interação e ajuste dos modelos polinomiais de regressão dos níveis de irrigação e sistemas condução dos ramos para a eficiência instantânea de carboxilação (EiC) das plantas de lúpulo var. Cascade aos 195 DAT

DESDOBRAMENTO DA INTERAÇÃO DOS FATORES					
Sistema dentro de cada nível					
Interação		F_{calc}		*p-valor*	
SC:NI 80		39,79		<0,001*	
SC:NI 90		5,86		0,024*	
SC:NI 100		11,07		0,003*	
SC:NI 110		33,65		<0,001*	
Nível dentro de cada sistema					
Interação		F_{calc}		*p-valor*	
NI:SCCR		51,95		<0,001	
NI:SACR		4,80		0,010*	
AJUSTE DOS MODELOS POLINOMIAIS DE REGRESSÃO					
NI:SCCR			NI:SACR		
Modelo polinomial		*p-valor*	Modelo polinomial		*p-valor*
Linear		<0,001*	Linear		$0,145^{ns}$
Quadrático		$0,082^{ns}$	Quadrático		0,010*
Cúbico		0,001*	Cúbico		$0,054^{ns}$
Coeficientes do modelo		*p-valor*	Coeficientes do modelo		*p-valor*
b0	-0,0655	<0,001*	b0	0,4951	0,001*
b1	0,0016	<0,001*	b1	-0,0085	0,008*
R^2 (%)	89,24		b2	0,00004	0,010*
			R^2 (%)	71,11	

Sendo: SC – sistema de condução dos ramos, NI – nível de irrigação, SCCR – sistema convencional de condução dos ramos, SACR – sistema alternativo de condução dos ramos, F_{calc} – valor de F calculado, *p-valor* – valor de p, * – significativo (p<0,05) e ns – não significativo (p>0,05) e R^2 – percentual de explicação da variabilidade da variável resposta pelo modelo polinomial.

Apêndice R – Ajuste dos modelos polinomiais de regressão dos níveis de irrigação para a taxa de assimilação de CO2 (A) das plantas de lúpulo var. Cascade aos 213 DAT

Modelo polinomial		*p-valor*
Linear		<0,001*
Quadrático		<0,001*
Cúbico		<0,001*
Coeficientes do modelo		*p-valor*
b0	-44,0558	0,032*
b1	1,4889	0,001*
b2	-0,0085	<0,001*
R^2 (%)	80,28	

Sendo: *p-valor* – valor de p, * – significativo (p<0,05) e ns – não significativo (p>0,05) e R^2 – percentual de explicação da variabilidade da variável resposta pelo modelo polinomial.

Apêndice S – Ajuste dos modelos polinomiais de regressão dos níveis de irrigação para a concentração interna de CO2 (Ci) das plantas de lúpulo var. Cascade aos 213 DAT

Modelo polinomial		*p-valor*
Linear		0,004*
Quadrático		<0,001*
Cúbico		0,710^{ns}
Coeficientes do modelo		*p-valor*
b0	715,0176	<0,001*
b1	-10,2779	<0,001*
b2	0,0555	<0,001*
R^2 (%)	99,66	

Sendo: *p-valor* – valor de p, * – significativo (p<0,05) e ns – não significativo (p>0,05) e R^2 – percentual de explicação da variabilidade da variável resposta pelo modelo polinomial.

Apêndice T – Ajuste dos modelos polinomiais de regressão dos níveis de irrigação para a eficiência instantânea de carboxilação (EiC) das plantas de lúpulo var. Cascade aos 213 DAT

Modelo polinomial		*p-valor*
Linear		<0,001*
Quadrático		<0,001*
Cúbico		<0,001*
Coeficientes do modelo		*p-valor*
b0	-0,3051	<0,001*
b1	0,0088	<0,001*
b2	-0,00005	<0,001*
R^2 (%)	86,86	

Sendo: *p-valor* – valor de p, * – significativo (p<0,05) e ns – não significativo (p>0,05) e R^2 – percentual de explicação da variabilidade da variável resposta pelo modelo polinomial.

Apêndice U – Média, desvio padrão e resumo da análise de variância (ANOVA) para os parâmetros fisiológicos das plantas de lúpulo var. Cascade em função dos sistemas de condução dos ramos aos 62 DAT

Parâmetro	Sistema de condução		p_{valor}	CV (%)
	SCCR	SACR		
Ψ	-2,31 ± 0,26	-1,56 ± 0,18	<0,001*	12,30
CRA	77,96 ± 3,66	78,46 ± 3,66	0,7700^{ns}	4,28
PE	42,49 ± 8,00	32,99 ± 2,34	0,0062*	14,91
ClorA	19,99 ± 1,94	21,65 ± 1,31	0,0927^{ns}	8,62
ClorB	27,06 ± 4,05	26,09 ± 2,77	0,6114^{ns}	14,03
CT	6,58 ± 1,40	6,81 ± 0,78	0,7002^{ns}	17,90

Sendo: Ψ – potencial hídrico foliar, CRA – conteúdo relativo de água, PE – perda de eletrólitos, ClorA – clorofila *a*, ClorB – clorofila *b*, CT – carotenoides totais, SCCR – sistema convencional de condução dos ramos, SACR – sistema alternativo de condução dos ramos, CV – coeficiente de variação experimental, * – significativo (p<0,05) e ns – não significativo (p>0,05).

Apêndice V – Média, desvio padrão e resumo da análise de variância (ANOVA) para o potencial hídrico foliar (Ψ) das plantas de lúpulo var. Cascade em função dos níveis de irrigação e sistemas de condução dos ramos

	SC	NI				Média
		80	90	100	110	
99 DAT	SCCR	-1,50 ± 0,00	-1,62 ± 0,25	-1,50 ± 0,00	-1,00 ± 0,00	-1,41
	SACR	-1,62 ± 0,25	-1,50 ± 0,00	-1,37 ± 0,47	-1,00 ± 0,40	-1,38
	Média	-1,56	-1,56	-1,44	-1,00	
	CV (%)	17,82				
	p-valor	SC	0,724^{ns}			
		NI	<0,001*			
		SC:NI	0,7086^{ns}			
123 DAT	SC	NI				Média
		80	90	100	110	
	SCCR	-2,12 ± 0,25	-1,25 ± 0,28	-1,00 ± 0,00	-0,50 ± 0,00	-1,22
	SACR	-1,50 ± 0,00	-1,12 ± 0,25	-1,00 ± 0,00	-0,50 ± 0,00	-1,03
	Média	-1,81	-1,19	-1,00	-0,50	
	CV (%)	14,55				
	p-valor	SC	0,003*			
		NI	<0,001*			
		SC:NI	0,002*			
195 DAT	SC	NI				Média
		80	90	100	110	
	SCCR	-2,00 ± 0,00	-1,62 ± 0,25	-1,12 ± 0,25	-0,75 ± 0,28	-1,38
	SACR	-1,75 ± 0,28	-1,50 ± 0,00	-0,62 ± 0,25	-0,50± 0,00	-1,09
	Média	-1,88	-1,56	-0,88	-0,62	
	CV (%)	17,47				
	p-valor	SC	0,001*			
		NI	<0,001*			
		SC:NI	0,385^{ns}			
213 DAT	SC	NI				Média
		80	90	100	110	
	SCCR	-1,62 ± 0,25	-1,37 ± 0,25	-1,00 ± 0,00	-0,75 ± 0,28	-1,19
	SACR	-1,37 ± 0,25	-1,25 ± 0,28	-0,87 ± 0,25	-0,50 ± 0,00	-1,00
	Média	-1,50	-1,31	-0,94	-0,62	
	CV (%)	18,99				
	p-valor	SC	0,001*			
		NI	<0,001*			
		SC:NI	0,866^{ns}			

Sendo: SCCR – sistema convencional de condução dos ramos, SACR – sistema alternativo de condução dos ramos, CV – coeficiente de variação experimental, *p-valor* – valor de p, SC x NI – interação dos fatores, * – significativo (p<0,05) e ns – não significativo (p>0,05).

Apêndice W – Ajuste dos modelos polinomiais de regressão dos níveis de irrigação para o potencial hídrico foliar (Ψ) das plantas de lúpulo var. Cascade aos 99 DAT

Modelo polinomial		*p-valor*
Linear		0,059^{ns}
Quadrático		<0,001*
Cúbico		0,523^{ns}
Coeficientes do modelo		*p-valor*
b0	77,0152	<0,001*
b1	-10,6379	<0,001*
b2	0,0549	<0,001*
R^2 (%)	98,31	

Sendo: *p-valor* – valor de p, * – significativo (p<0,05) e ns – não significativo (p>0,05) e R^2 – percentual de explicação da variabilidade da variável resposta pelo modelo polinomial.

Apêndice X – Desdobramento da interação e ajuste dos modelos polinomiais de regressão dos níveis de irrigação e sistemas condução dos ramos para o potencial hídrico foliar (Ψ) das plantas de lúpulo var. Cascade aos 123 DAT

DESDOBRAMENTO DA INTERAÇÃO DOS FATORES					
Sistema dentro de cada nível					
Interação		F_{calc}		*p-valor*	
SC:NI 80		26,16		<0,001*	
SC:NI 90		1,16		0,292^{ns}	
SC:NI 100		<0,001		1,000^{ns}	
SC:NI 110		<0,001		1,000^{ns}	
Nível dentro de cada sistema					
Interação		F_{calc}		*p-valor*	
NI:SCCR		69,02		<0,001*	
NI:SACR		25,47		<0,001*	
AJUSTE DOS MODELOS POLINOMIAIS DE REGRESSÃO					
NI:SCCR			NI:SACR		
Modelo polinomial		*p-valor*	Modelo polinomial		*p-valor*
Linear		<0,001^{ns}	Linear		<0,001*
Quadrático		0,032*	Quadrático		0,453^{ns}
Cúbico		0,026^{ns}	Cúbico		0,102^{ns}
Coeficientes do modelo		*p-valor*	Coeficientes do modelo		*p-valor*
b0	-14,4312	0,000*	b0	-4,0000	<0,001*
b1	0,2293	0,007*	b1	0,0312	<0,001*
b2	-0,0009	0,032*	R² (%)	95,41	
R² (%)	97,32				

Sendo: SC – sistema de condução dos ramos, NI – nível de irrigação, SCCR – sistema convencional de condução dos ramos, SACR – sistema alternativo de condução dos ramos, F_{calc} – valor de F calculado, *p-valor* – valor de p, * – significativo (p<0,05) e ns – não significativo (p>0,05) e R² – percentual de explicação da variabilidade da variável resposta pelo modelo polinomial.

Apêndice Y – Ajuste dos modelos polinomiais de regressão dos níveis de irrigação para o potencial hídrico foliar (Ψ) das plantas de lúpulo var. Cascade aos 195 DAT

Modelo polinomial		*p-valor*
Linear		<0,001*
Quadrático		0,6860^{ns}
Cúbico		0,0267^{ns}
Coeficientes do modelo		*p-valor*
b0	-5,4500	<0,001*
b1	0,0443	<0,001*
R² (%)	96,66	

Sendo: *p-valor* – valor de p, * – significativo (p<0,05) e ns – não significativo (p>0,05) e R² – percentual de explicação da variabilidade da variável resposta pelo modelo polinomial.

Apêndice 1 – Ajuste dos modelos polinomiais de regressão dos níveis de irrigação para o potencial hídrico foliar (Ψ) das plantas de lúpulo var. Cascade aos 213 DAT

Modelo polinomial		*p-valor*
Linear		<0,001*
Quadrático		0,4043^{ns}
Cúbico		0,4550^{ns}
Coeficientes do modelo		*p-valor*
b0	-3,9437	<0,001*
b1	0,0300	<0,001*
R^2 (%)	98,46	

Sendo: *p-valor* – valor de p, * – significativo (p<0,05) e ns – não significativo (p>0,05) e R^2 – percentual de explicação da variabilidade da variável resposta pelo modelo polinomial.

Apêndice A1 – Média, desvio padrão e resumo da análise de variância (ANOVA) para o conteúdo relativo de água (CRA) das plantas de lúpulo var. Cascade em função dos níveis de irrigação e sistemas de condução dos ramos

	SC	NI				Média
		80	90	100	110	
99 DAT	SCCR	76,17 ± 2,94	73,35 ± 1,57	77,65 ± 4,50	75,51 ± 3,72	75,67
	SACR	76,71 ± 1,72	79,83 ± 3,69	78,92 ± 2,03	76,02 ± 1,80	77,87
	Média	76,45	76,59	78,29	75,77	
	CV (%)	3,52				
	p-valor	SC	0,031*			
		NI	0,314^{ns}			
		SC:NI	0,110^{ns}			
123 DAT	SC	NI				Média
		80	90	100	110	
	SCCR	82,38 ± 3,44	81,91 ± 2,25	83,82 ± 2,66	81,83 ± 3,08	82,49
	SACR	82,75 ± 2,16	81,44 ± 1,66	85,07 ± 1,89	80,07 ± 5,06	82,34
	Média	82,57	81,68	84,45	80,96	
	CV (%)	3,68				
	p-valor	SC	0,889^{ns}			
		NI	0,147^{ns}			
		SC:NI	0,784^{ns}			
195 DAT	SC	NI				Média
		80	90	100	110	
	SCCR	61,10 ± 5,41	70,21 ± 4,71	79,57 ± 5,58	74,34 ± 5,55	71,31
	SACR	74,59 ± 2,14	74,63 ± 2,61	68,81 ± 7,10	68,72 ± 3,60	71,69
	Média	67,85	72,43	74,20	71,53	
	CV (%)	6,78				
	p-valor	SC	0,826^{ns}			
		NI	0,093^{ns}			
		SC:NI	0,000*			
213 DAT	SC	NI				Média
		80	90	100	110	
	SCCR	81,73 ± 6,55	84,63 ± 4,55	87,31 ± 5,09	87,82 ± 8,17	85,38
	SACR	86,39 ± 2,04	91,10 ± 4,35	90,47 ± 2,78	88,46 ± 1,35	89,11
	Média	84,07	87,87	88,90	88,14	
	CV (%)	5,60				
	p-valor	SC	0,042*			
		NI	0,226^{ns}			
		SC:NI	0,679^{ns}			

Sendo: SCCR – sistema convencional de condução dos ramos, SACR – sistema alternativo de condução dos ramos, CV – coeficiente de variação experimental, *p-valor* – valor de p, SC x NI – interação dos fatores, * – significativo (p<0,05) e ns – não significativo (p>0,05).

Apêndice B1 – Desdobramento da interação e ajuste dos modelos polinomiais de regressão dos níveis de irrigação e do sistema convencional de condução dos ramos (SCCR) para o conteúdo relativo de água (CRA) das plantas de lúpulo var. Cascade aos 195 DAT

DESDOBRAMENTO DA INTERAÇÃO DOS FATORES		
Sistema dentro de cada nível		
Interação	F_{calc}	*p-valor*
SC:NI 80	15,50	<0,001*
SC:NI 90	1,66	0,2116^{ns}
SC:NI 100	9,86	0,004*
SC:NI 110	2,69	0,1158^{ns}
Nível dentro de cada sistema		
Interação	F_{calc}	*p-valor*
NI:SCCR	10,38	<0,001*
NI:SACR	1,94	0,153^{ns}
AJUSTE DOS MODELOS POLINOMIAIS DE REGRESSÃO		
Modelo polinomial		*p-valor*
Linear		<0,001*
Quadrático		0,007*
Cúbico		0,184^{ns}
Coeficientes do modelo		*p-valor*
b0	-294,4904	0,012*
b1	7,3050	0,004*
b2	-0,0359	0,007*
R^2 (%)	93,97	

Sendo: SC – sistema de condução dos ramos, NI – nível de irrigação, SCCR – sistema convencional de condução dos ramos, SACR – sistema alternativo de condução dos ramos, F_{calc} – valor de F calculado, *p-valor* – valor de p, * – significativo (p<0,05) e ns – não significativo (p>0,05) e R^2 – percentual de explicação da variabilidade da variável resposta pelo modelo polinomial.

Apêndice C1 – Média, desvio padrão e resumo da análise de variância (ANOVA) para perda de eletrólitos (PE) das plantas de lúpulo var. Cascade em função dos níveis de irrigação e sistemas de condução dos ramos

	SC	NI				Média
		80	90	100	110	
99 DAT	SCCR	72,26 ± 8,38	69,26 ± 6,84	58,96 ± 2,83	54,36 ± 6,01	63,71
	SACR	67,86 ± 9,22	61,64 ± 8,25	51,94 ± 3,20	56,00 ± 4,82	59,36
	Média	70,07	65,45	55,45	55,18	
	CV (%)	9,57				
	p-valor	SC	0,048*			
		NI	0,000*			
		SC:NI	0,398^{ns}			
123 DAT	SC	NI				Média
		80	90	100	110	
	SCCR	47,81 ± 4,75	46,41 ± 5,39	45,26 ± 1,39	46,72 ± 2,42	46,55
	SACR	46,08 ± 2,09	42,65 ± 2,68	45,81 ± 3,09	44,61 ± 5,55	44,79
	Média	46,95	44,54	45,54	45,67	
	CV (%)	8,16				
	p-valor	SC	0,196^{ns}			
		NI	0,645^{ns}			
		SC:NI	0,716^{ns}			
195 DAT	SC	NI				Média
		80	90	100	110	
	SCCR	30,81 ± 4,97	31,50 ± 4,23	27,72 ± 2,79	29,38 ± 3,18	29,86
	SACR	52,35 ± 9,70	40,80 ± 7,11	36,38 ± 2,84	37,90 ± 5,59	41,86
	Média	41,59	36,15	32,06	33,64	
	CV (%)	15,56				
	p-valor	SC	0,000*			
		NI	0,013*			
		SC:NI	0,078^{ns}			
213 DAT	SC	NI				Média
		80	90	100	110	
	SCCR	45,20 ± 12,65	39,67 ± 5,63	35,23 ± 3,71	32,22 ± 7,70	38,08
	SACR	40,01 ± 6,91	43,42 ± 2,82	45,16 ± 7,45	48,54 ± 3,63	44,29
	Média	42,61	41,55	40,20	40,39	
	CV (%)	15,88				
	p-valor	SC	0,013*			
		NI	0,871^{ns}			
		SC:NI	0,022*			

Sendo: SCCR – sistema convencional de condução dos ramos, SACR – sistema alternativo de condução dos ramos, CV – coeficiente de variação experimental, *p-valor* – valor de p, SC x NI – interação dos fatores, * – significativo (p<0,05) e ns – não significativo (p>0,05).

Apêndice D1 – Ajuste dos modelos polinomiais de regressão dos níveis de irrigação para a perda de eletrólitos (PE) das plantas de lúpulo var. Cascade aos 99 DAT

Modelo polinomial		*p-valor*
Linear		0,001*
Quadrático		0,308^{ns}
Cúbico		0,119^{ns}
Coeficientes do modelo		*p-valor*
b0	113,4556	<0,001*
b1	-0,5465	0,000*
R^2 (%)	90,23	

Sendo: *p-valor* – valor de p, * – significativo (p<0,05) e ns – não significativo (p>0,05) e R^2 – percentual de explicação da variabilidade da variável resposta pelo modelo polinomial.

Apêndice E1 – Ajuste dos modelos polinomiais de regressão dos níveis de irrigação para a perda de eletrólitos (PE) das plantas de lúpulo var. Cascade aos 195 DAT

Modelo polinomial		*p-valor*
Linear		0,004*
Quadrático		$0,089^{ns}$
Cúbico		$0,627^{ns}$
Coeficientes do modelo		*p-valor*
b0	62,3961	0,000*
b1	-0,2793	0,004*
R^2 (%)	74,62	

Sendo: *p-valor* – valor de p, * – significativo (p<0,05) e ns – não significativo (p>0,05) e R^2 – percentual de explicação da variabilidade da variável resposta pelo modelo polinomial.

Apêndice F1 – Desdobramento da interação dos níveis de irrigação e dos sistemas de condução dos ramos para a perda de eletrólitos (PE) das plantas de lúpulo var. Cascade aos 213 DAT

Sistema dentro de cada nível		
Interação	F_{calc}	*p-valor*
SC:NI 80	1,25	0,274*
SC:NI 90	0,65	$0,425^{ns}$
SC:NI 100	4,61	0,043*
SC:NI 110	12,46	0,002*
Nível dentro de cada sistema		
Interação	F_{calc}	*p-valor*
NI:SCCR	2,98	$0,054^{ns}$
NI:SACR	1,18	$0,340^{ns}$

Sendo: SC – sistema de condução dos ramos, NI – nível de irrigação, SCCR – sistema convencional de condução dos ramos, SACR – sistema alternativo de condução dos ramos, F_{calc} – valor de F calculado, *p-valor* – valor de p, * – significativo (p<0,05) e ns – não significativo (p>0,05).

Apêndice G1 – Média, desvio padrão e resumo da análise de variância (ANOVA) para os pigmentos fotossintéticos das plantas de lúpulo var. Cascade em função de diferentes níveis de irrigação e sistemas de condução dos ramos

ClorA aos 99 DAT					
SC	**NI**				**Média**
	80	**90**	**100**	**110**	
SCCR	18,80±2,15	17,54±4,42	17,24±4,06	19,27±3,11	18,22
SACR	17,44±5,60	17,60±5,04	18,74±4,88	19,66±5,78	18,36
Média	18,13	17,58	17,99	19,47	
CV (%)	25,15				
p-valor		**SC**	**NI**	**SC:NI**	
		0,929^{ns}	0,858^{ns}	0,940^{ns}	

ClorB aos 99 DAT					
SC	**NI**				**Média**
	80	**90**	**100**	**110**	
SCCR	26,57±3,14	23,26±3,13	23,51±4,36	24,79±5,05	24,54
SACR	24,87±5,90	23,32±9,04	24,52±2,18	24,12±4,13	24,21
Média	25,73	23,30	24,02	24,46	
CV (%)	20,46				
p-valor		**SC**	**NI**	**SC:NI**	
		0,856^{ns}	0,800^{ns}	0,956^{ns}	

CT aos 99 DAT					
SC	**NI**				**Média**
	80	**90**	**100**	**110**	
SCCR	5,72±0,98	5,45±2,07	5,11±1,91	5,81±0,91	5,53
SACR	5,74±0,95	4,83±0,53	6,80±2,39	6,02±2,32	5,85
Média	5,73	5,14	5,96	5,92	
CV (%)	29,17				
p-valor		**SC**	**NI**	**SC:NI**	
		0,585^{ns}	0,743^{ns}	0,566^{ns}	

ClorA aos 123 DAT					
SC	**NI**				**Média**
	80	**90**	**100**	**110**	
SCCR	16,66±2,74	18,29±1,71	19,50±0,70	20,37±0,77	18,70
SACR	20,04±1,43	19,22±1,04	19,82±1,08	21,67±2,54	20,19
Média	18,35	18,76	19,67	21,03	
CV (%)	8,96				
p-valor		**SC**	**NI**	**SC:NI**	
		0,025*	0,027*	0,348^{ns}	

ClorB aos 123 DAT					
SC	**NI**				**Média**
	80	**90**	**100**	**110**	
SCCR	29,67±3,50	25,20±1,73	26,58±1,57	26,74±3,71	26,30
SACR	28,41±1,56	26,81±3,19	23,49±3,29	23,75±3,83	26,37
Média	29,05	26,01	25,04	25,25	
CV (%)	11,12				
p-valor		**SC**	**NI**	**SC:NI**	
		0,952^{ns}	0,043*	0,185^{ns}	

CT aos 123 DAT					
SC	NI				**Média**
	80	90	100	110	
SCCR	5,01±0,67	4,99±1,63	5,75±0,42	5,54±1,05	5,33
SACR	6,49±0,89	4,87±1,14	6,79±0,47	5,72±0,91	5,97
Média	5,76	4,94	6,27	5,64	
CV (%)	16,97				
p-valor		**SC**	**NI**	**SC:NI**	
		0,071^{ns}	0,075^{ns}	0,338^{ns}	

ClorA aos 195 DAT					
SC	**NI**				**Média**
	80	**90**	**100**	**110**	
SCCR	20,21±1,86	21,26±0,52	21,30±0,51	21,30±0,62	21,02
SACR	21,92±1,50	21,67±1,31	21,40±0,39	21,25±0,15	21,56
Média	21,07	21,47	21,36	21,28	
CV (%)	4,89				
p-valor		**SC**	**NI**	**SC:NI**	
		0,155^{ns}	0,890^{ns}	0,337^{ns}	

ClorB aos 195 DAT					
SC	**NI**				**Média**
	80	**90**	**100**	**110**	
SCCR	26,48±1,03	27,46±4,46	27,91±2,05	28,22±2,38	27,52
SACR	25,88±1,89	28,19±2,10	26,56±1,09	26,42±2,70	26,77
Média	26,19	27,83	27,24	27,32	
CV (%)	9,07				
p-valor		**SC**	**NI**	**SC:NI**	
		0,396^{ns}	0,605^{ns}	0,750^{ns}	

CT aos 195 DAT					
SC	**NI**				**Média**
	80	**90**	**100**	**110**	
SCCR	6,40±1,43	7,43±0,34	7,51±0,08	7,40±0,59	7,19
SACR	7,49±0,24	7,15±1,34	7,19±0,41	7,53±0,24	7,42
Média	7,10	7,30	7,36	7,47	
CV (%)	11,10				
p-valor		**SC**	**NI**	**SC:NI**	
		0,427^{ns}	0,836^{ns}	0,155^{ns}	

ClorA aos 213 DAT					
SC	**NI**				**Média**
	80	**90**	**100**	**110**	
SCCR	18,61±2,17	21,17±0,14	21,53±2,28	21,19±0,30	20,63
SACR	18,54±2,24	18,26±1,28	19,71±2,41	19,51±1,88	19,01
Média	18,58	19,72	20,62	20,35	
CV (%)	9,63				
p-valor		**SC**	**NI**	**SC:NI**	
		0,025*	0,176^{ns}	0,532^{ns}	

ClorB aos 213 DAT					
SC	**NI**				**Média**
	80	**90**	**100**	**110**	
SCCR	21,94±2,07	25,27±3,72	25,83±1,54	26,47±1,74	24,88
SACR	20,73±4,32	21,66±2,97	23,81±1,94	22,73±3,65	22,24
Média	21,34	23,47	24,82	24,60	
CV (%)	12,35				
p-valor		**SC**	**NI**	**SC:NI**	
		0,017*	0,096^{ns}	0,780^{ns}	

CT aos 213 DAT					
SC	**NI**				**Média**
	80	**90**	**100**	**110**	
SCCR	6,02±1,18	6,17±1,45	5,86±0,96	6,34±2,04	6,10
SACR	5,30±1,44	5,35±0,37	6,15±1,32	5,24±0,76	5,51
Média	5,66	5,77	6,01	5,79	
CV (%)	17,32				
p-valor		**SC**	**NI**	**SC:NI**	
		0,112^{ns}	0,918^{ns}	0,547^{ns}	

Sendo: ClorA – clorofila *a*, ClorB – clorofila *b*, CT.- carotenoides totais, SC – sistema de condução dos ramos, NI – nível de irrigação, SC x NI – interação dos fatores, F_{calc} – valor de F calculado, *p-valor* – valor de p, CV – coeficiente de variação experimental; * – significativo (p<0,05) e ns – não significativo (p>0,05)

Apêndice H1 – Ajuste dos modelos polinomiais de regressão dos níveis de irrigação para a clorofila a (ClorA) das plantas de lúpulo var. Cascade aos 123 DAT

Modelo polinomial		*p-valor*
Linear		0,003*
Quadrático		0,446^{ns}
Cúbico		0,987^{ns}
Coeficientes do modelo		*p-valor*
b0	10,9711	<0,001*
b1	0,0892	0,003*
R^2 (%)	94,58	

Sendo: *p-valor* – valor de p, * – significativo (p<0,05) e ns – não significativo (p>0,05) e R^2 – percentual de explicação da variabilidade da variável resposta pelo modelo polinomial.

Apêndice 2 – Ajuste dos modelos polinomiais de regressão dos níveis de irrigação para a clorofila b (ClorB) das plantas de lúpulo var. Cascade aos 123 DAT

Modelo polinomial		*p-valor*
Linear		0,014*
Quadrático		0,131^{ns}
Cúbico		0,849^{ns}
Coeficientes do modelo		*p-valor*
b0	38,0850	<0,001*
b1	-0,1237	0,014*
R^2 (%)	74,01	

Sendo: *p-valor* – valor de p, * – significativo (p<0,05) e ns – não significativo (p>0,05) e R^2 – percentual de explicação da variabilidade da variável resposta pelo modelo polinomial.

Apêndice I1 – Média, desvio padrão e resumo da análise de variância (ANOVA) para os parâmetros biométricos das plantas de lúpulo var. Cascade em função de diferentes níveis de irrigação e sistemas de condução dos ramos

CMP					
SC	NI				Média
	80	90	100	110	
SCCR	3,55 ± 0,27	3,36 ± 0,25	3,53 ± 0,38	3,61 ± 0,26	3,52
SACR	3,09 ± 0,22	3,37 ± 0,29	3,65 ± 0,20	3,59 ± 0,53	3,43
Média	3,32	3,37	3,59	3,60	
CV (%)	9,76				
p-valor	SC	0,476^{ns}			
	NI	0,244^{ns}			
	SC:NI	0,347^{ns}			
DC					
SC	NI				Média
	80	90	100	110	
SCCR	11,66 ± 2,24	9,42 ± 0,84	11,17 ± 2,04	10,62 ± 2,16	10,72
SACR	8,99 ± 1,09	11,21 ± 1,60	10,26 ± 0,60	10,99 ± 0,44	10,36
Média	13,85	10,32	10,72	10,81	
CV (%)	7,34				
p-valor	SC	0,494^{ns}			
	NI	0,861^{ns}			
	SC:NI	0,037*			

Sendo: CMP – comprimento máximo da planta, DC – diâmetro do caule, SC – sistema de condução dos ramos, NI – nível de irrigação, SCCR – sistema convencional de condução dos ramos, SACR – sistema alternativo de condução dos ramos, CV – coeficiente de variação experimental, *p-valor* – valor de p, SC x NI – interação dos fatores, * – significativo (p≤0,05) e ns – não significativo (p>0,05).

Apêndice J1 – Desdobramento da interação dos níveis de irrigação e dos sistemas de condução dos ramos para o diâmetro do caule (DC) das plantas de lúpulo var. Cascade aos 215 DAT

Sistema dentro de cada nível		
Interação	F_{calc}	*p-valor*
SC:NI 80	6,71	0,017*
SC:NI 90	2,97	$0,099^{ns}$
SC:NI 100	0,78	$0,385^{ns}$
SC:NI 110	0,13	$0,721^{ns}$
Nível dentro de cada sistema		
Interação	F_{calc}	*p-valor*
NI:SCCR	1,73	$0,189^{ns}$
NI:SACR	1,88	$0,163^{ns}$

Sendo: SC – sistema de condução dos ramos, NI – nível de irrigação, SCCR – sistema convencional de condução dos ramos, SACR – sistema alternativo de condução dos ramos, F_{calc} – valor de F calculado, *p-valor* – valor de p, * – significativo ($p<0,05$) e ns – não significativo ($p>0,05$).

Apêndice K1 – Média, desvio padrão e resumo da análise de variância (ANOVA) para os parâmetros de biomassa das plantas de lúpulo var. Cascade em função dos níveis de irrigação e sistemas de condução dos ramos aos 215 DAT

MFF					
SC	NI				Média
	80	90	100	110	
SCCR	291,50 ± 17,76	185,25 ± 8,92	199,00 ± 25,53	203,00 ± 0,43	219,69
SACR	124,50 ± 5,97	144,50 ± 34,26	132,00 ± 15,57	162,00 ± 45,15	140,75
Média	208,00	164,88	165,50	182,50	
CV (%)	13,49				
p-valor	SC	<0,001*			
	NI	0,005*			
	SC:NI	<0,001*			
MFC					
SC	NI				Média
	80	90	100	110	
SCCR	698,00 ± 50,93	516,50 ± 27,14	530,50 ± 31,42	607,50 ± 11,47	588,12
SACR	464,00 ± 17,51	557,50 ± 11,47	571,00 ± 21,07	577,50 ± 17,91	542,50
Média	581,00	537,00	550,75	592,50	
CV (%)	4,81				
p-valor	SC	<0,001*			
	NI	0,001*			
	SC:NI	<0,001*			
MSF					
SC	NI				Média
	80	90	100	110	
SCCR	95,00 ± 8,04	72,00 ± 5,47	75,50 ± 6,55	83,00 ± 7,02	81,38
SACR	59,50 ± 2,64	57,50 ± 9,84	62,00 ± 5,16	63,00 ± 6,00	60,50
Média	77,25	64,75	68,75	73,00	
CV (%)	9,40				
p-valor	SC	<0,001*			
	NI	0,007*			
	SC:NI	0,012*			
MSC					
SC	NI				Média
	80	90	100	110	
SCCR	251,50 ± 27,87	201,50 ± 4,65	212,00 ± 13,95	252,50 ± 28,72	229,38
SACR	180,00 ± 15,57	241,50 ± 16,84	235,50 ± 38,03	234,00 ± 12,96	222,75
Média	215,75	221,50	223,75	243,25	
CV (%)	10,22				
p-valor	SC	$0,426^{ns}$			
	NI	$0,125^{ns}$			
	SC:NI	<0,001*			
BST					
SC	NI				Média
	80	90	100	110	
SCCR	346,50 ± 27,74	273,50 ± 5,25	287,50 ± 19,80	335,50 ± 25,47	310,75
SACR	239,50 ± 13,47	299,00 ± 11,37	297,50 ± 42,24	297,00 ± 13,31	283,25
Média	293,00	286,25	292,50	316,25	
CV (%)	7,71				
p-valor	SC	0,002*			
	NI	$0,075^{ns}$			
	SC:NI	<0,001*			

Sendo: MFF – massa fresca da folha, MFC – massa fresca do caule, MSF – massa seca da folha, MSC – massa seca do caule, BST – biomassa seca total, SC – sistema de condução dos ramos, NI – nível de irrigação, SCCR – sistema convencional de condução dos ramos, SACR – sistema alternativo de condução dos ramos, CV – coeficiente de variação experimental, *p-valor* – valor de p, SC x NI – interação dos fatores, * – significativo (p≤0,05) e ns – não significativo (p>0,05).

Apêndice L1 – Desdobramento da interação e ajuste dos modelos polinomiais de regressão dos níveis de irrigação e do sistema convencional de condução dos ramos (SCCR) para a massa fresca da folha (MFF) das plantas de lúpulo var. Cascade aos 215 DAT

DESDOBRAMENTO DA INTERAÇÃO DOS FATORES		
Sistema dentro de cada nível		
Interação	F_{calc}	*p-valor*
SC:NI 80	94,37	<0,001*
SC:NI 90	5,61	0,027*
SC:NI 100	15,19	<0,001*
SC:NI 110	5,68	$0,026^{ns}$
Nível dentro de cada sistema		
Interação	F_{calc}	*p-valor*
NI:SCCR	15,90	<0,001*
NI:SACR	1,81	$0,174^{ns}$
AJUSTE DOS MODELOS POLINOMIAIS DE REGRESSÃO		
Modelo polinomial		*p-valor*
Linear		<0,001*
Quadrático		<0,001*
Cúbico		0,026*
Coeficientes do modelo		*p-valor*
b0	2911,91	<0,001*
b1	-54,8862	<0,001*
b2	0,2756	<0,001*
R^2 (%)	88,05	

Sendo: SC – sistema de condução dos ramos, NI – nível de irrigação, SCCR – sistema convencional de condução dos ramos, SACR – sistema alternativo de condução dos ramos, F_{calc} – valor de F calculado, *p-valor* – valor de p, * – significativo (p<0,05) e ns – não significativo (p>0,05) e R^2 – percentual de explicação da variabilidade da variável resposta pelo modelo polinomial.

Apêndice M1 – Desdobramento da interação e ajuste dos modelos polinomiais de regressão dos níveis de irrigação e do sistema convencional de condução dos ramos (SCCR) para a massa seca da folha (MSF) das plantas de lúpulo var. Cascade aos 215 DAT

DESDOBRAMENTO DA INTERAÇÃO DOS FATORES		
Sistema dentro de cada nível		
Interação	F_{calc}	*p-valor*
SC:NI 80	56,67	<0,001*
SC:NI 90	9,45	0,005*
SC:NI 100	8,19	0,009*
SC:NI 110	17,98	<0,001*
Nível dentro de cada sistema		
Interação	F_{calc}	*p-valor*
NI:SCCR	9,31	<0,001*
NI:SACR	0,55	$0,650^{ns}$
AJUSTE DOS MODELOS POLINOMIAIS DE REGRESSÃO		
Modelo polinomial		*p-valor*
Linear		0,040*
Quadrático		<0,001*
Cúbico		$0,146^{ns}$
Coeficientes do modelo		*p-valor*
b0	790,8750	<0,001*
b1	-14,8125	<0,001*
b2	0,0762	<0,001*
R^2 (%)	91,85	

Sendo: SC – sistema de condução dos ramos, NI – nível de irrigação, SCCR – sistema convencional de condução dos ramos, SACR – sistema alternativo de condução dos ramos, F_{calc} – valor de F calculado, *p-valor* – valor de p, * – significativo (p<0,05) e ns – não significativo (p>0,05) e R^2 – percentual de explicação da variabilidade da variável resposta pelo modelo polinomial.

Apêndice N1 – Desdobramento da interação e ajuste dos modelos polinomiais de regressão dos níveis de irrigação e sistemas condução dos ramos para a massa fresca do caule (MFC) das plantas de lúpulo var. Cascade aos 215 DAT

DESDOBRAMENTO DA INTERAÇÃO DOS FATORES		
Sistema dentro de cada nível		
Interação	F_{calc}	*p-valor*
SC:NI 80	148,26	<0,001*
SC:NI 90	4,55	0,044*
SC:NI 100	4,44	0,047*
SC:NI 110	2,43	$0,133^{ns}$
Nível dentro de cada sistema		
Interação	F_{calc}	*p-valor*
NI:SCCR	37,72	<0,001*
NI:SACR	15,28	<0,001*

AJUSTE DOS MODELOS POLINOMIAIS DE REGRESSÃO					
NI:SCCR			NI:SACR		
Modelo polinomial		*p-valor*	Modelo polinomial		*p-valor*
Linear		<0,001*	Linear		<0,001*
Quadrático		<0,001*	Quadrático		0,004*
Cúbico		0,040*	Cúbico		$0,243^{ns}$
Coeficientes do modelo		*p-valor*	Coeficientes do modelo		*p-valor*
b0	6584,37	<0,001*	b0	-1729,55	0,009*
b1	-125,3625	<0,001*	b1	44,8650	0,002*
b2	0,6462	<0,001*	b2	-0,2175	0,004*
R^2 (%)	95,79		R^2 (%)	96,83	

Sendo: SC – sistema de condução dos ramos, NI – nível de irrigação, SCCR – sistema convencional de condução dos ramos, SACR – sistema alternativo de condução dos ramos, F_{calc} – valor de F calculado, *p-valor* – valor de p, * – significativo (p<0,05) e ns – não significativo (p>0,05) e R^2 – percentual de explicação da variabilidade da variável resposta pelo modelo polinomial.

Apêndice O1 – Desdobramento da interação e ajuste dos modelos polinomiais de regressão dos níveis de irrigação e sistemas condução dos ramos para a massa fresca do caule (MSC) das plantas de lúpulo var. Cascade aos 215 DAT

DESDOBRAMENTO DA INTERAÇÃO DOS FATORES					
Sistema dentro de cada nível					
Interação		F_{calc}		*p-valor*	
SC:NI 80		19,16		<0,001*	
SC:NI 90		5,99		0,023*	
SC:NI 100		2,07		$0,164^{ns}$	
SC:NI 110		1,28		$0,270^{ns}$	
Nível dentro de cada sistema					
Interação		F_{calc}		*p-valor*	
NI:SCCR		5,25		0,007*	
NI:SACR		6,16		0,003*	
AJUSTE DOS MODELOS POLINOMIAIS DE REGRESSÃO					
NI:SCCR			NI:SACR		
Modelo polinomial		*p-valor*	Modelo polinomial		*p-valor*
Linear		$0,796^{ns}$	Linear		0,006*
Quadrático		<0,001*	Quadrático		0,012*
Cúbico		$0,561^{ns}$	Cúbico		$0,177^{ns}$
Coeficientes do modelo		*p-valor*	Coeficientes do modelo		*p-valor*
b0	2230,17	<0,001*	b0	-1327,20	0,017*
b1	-42,8525	<0,001*	b1	31,4850	0,009*
b2	0,2262	<0,001*	b2	-0,1575	0,012*
R^2 (%)	97,78		R^2 (%)	89,49	

Sendo: SC – sistema de condução dos ramos, NI – nível de irrigação, SCCR – sistema convencional de condução dos ramos, SACR – sistema alternativo de condução dos ramos, F_{calc} – valor de F calculado, *p-valor* – valor de p, * – significativo (p<0,05) e ns – não significativo (p>0,05) e R^2 – percentual de explicação da variabilidade da variável resposta pelo modelo polinomial.

Apêndice P1 – Desdobramento da interação e ajuste dos modelos polinomiais de regressão dos níveis de irrigação e sistemas condução dos ramos para a biomassa seca total (BST) das plantas de lúpulo var. Cascade aos 215 DAT

DESDOBRAMENTO DA INTERAÇÃO DOS FATORES					
Sistema dentro de cada nível					
Interação		F_{calc}		*p-valor*	
SC:NI 80		43,62		<0,001*	
SC:NI 90		2,47		0,130^{ns}	
SC:NI 100		0,38		0,543^{ns}	
SC:NI 110		5,64		0,027*	
Nível dentro de cada sistema					
Interação		F_{calc}		*p-valor*	
NI:SCCR		9,70		<0,001*	
NI:SACR		6,48		0,002*	
AJUSTE DOS MODELOS POLINOMIAIS DE REGRESSÃO					
NI:SCCR			NI:SACR		
Modelo polinomial		*p-valor*	Modelo polinomial		*p-valor*
Linear		0,796^{ns}	Linear		0,003*
Quadrático		<0,001*	Quadrático		0,016*
Cúbico		0,561^{ns}	Cúbico		0,239^{ns}
Coeficientes do modelo		*p-valor*	Coeficientes do modelo		*p-valor*
b0	3021,05	<0,001*	b0	-1214,20	0,017*
b1	-57,6650	<0,001*	b1	30,2100	0,009*
b2	0,3025	<0,001*	b2	-0,1500	0,012*
R^2 (%)	96,32		R^2 (%)	92,47	

Sendo: SC – sistema de condução dos ramos, NI – nível de irrigação, SCCR – sistema convencional de condução dos ramos, SACR – sistema alternativo de condução dos ramos, F_{calc} – valor de F calculado, *p-valor* – valor de p, * – significativo (p<0,05) e ns – não significativo (p>0,05) e R^2 – percentual de explicação da variabilidade da variável resposta pelo modelo polinomial.

Apêndice Q1 – Média, desvio padrão e resumo da análise de variância (ANOVA) para os parâmetros biométricos do cone das plantas de lúpulo var. Cascade em função de diferentes níveis de irrigação e sistemas de condução dos ramos

Lcone					
SC	NI				Média
	80	90	100	110	
SCCR	2,72 ± 0,14	2,75 ± 0,14	2,90 ± 0,10	2,70 ± 0,18	2,77
SACR	2,68 ± 0,09	2,88 ± 0,12	2,68 ± 0,23	2,80 ± 0,22	2,76
Média	2,71	2,82	2,79	2,75	
CV (%)	6,00				
p-valor	SC	$0,886^{ns}$			
	NI	$0,549^{ns}$			
	SC:NI	$0,171^{ns}$			
Dcone					
SC	NI				Média
	80	90	100	110	
SCCR	1,83 ± 0,08	1,79 ± 0,08	1,86 ± 0,06	1,83 ± 0,08	1,83
SACR	1,84 ± 0,10	1,86 ± 0,07	1,75 ± 0,09	1,81 ± 0,09	1,82
Média	1,84	1,83	1,81	1,82	
CV (%)	4,64				
p-valor	SC	$0,734^{ns}$			
	NI	$0,903^{ns}$			
	SC:NI	$0,243^{ns}$			

Sendo: Lcone – comprimento do cone, Dcone – diâmetro do cone, SC – sistema de condução dos ramos, NI – nível de irrigação, SCCR – sistema convencional de condução dos ramos, SACR – sistema alternativo de condução dos ramos, CV – coeficiente de variação experimental, *p-valor* – valor de p, SC x NI – interação dos fatores, * – significativo ($p \leq 0,05$) e ns – não significativo ($p > 0,05$).

Apêndice 3 – Média, desvio padrão e resumo da análise de variância (ANOVA) para os parâmetros de produção das plantas de lúpulo var. Cascade em função de diferentes níveis de irrigação e sistemas de condução dos ramos

MF10					
SC	NI				Média
	80	90	100	110	
SCCR	6,59 ± 1,15	6,85 ± 0,36	7,44 ± 0,29	6,34 ± 0,43	6,81
SACR	6,49 ± 0,43	7,91 ± 0,77	6,72 ± 0,53	6,43 ± 0,24	6,89
Média	6,54	7,39	7,08	6,39	
CV (%)	8,83				
p-valor	SC	0,719^{ns}			
	NI	0,011*			
	SC:NI	0,055^{ns}			
P					
SC	NI				Média
	80	90	100	110	
SCCR	313,85 ± 17,58	303,19 ± 23,11	328,79 ± 27,88	293,62 ± 17,54	309,87
SACR	370,20 ± 18,13	450,21 ± 21,31	369,39 ± 27,88	312,35 ± 15,71	375,54
Média	342,03	376,70	349,10	302,99	
CV (%)	7,34				
p-valor	SC	<0,001*			
	NI	<0,001*			
	SC:NI	<0,001*			
MScone					
SC	NI				Média
	80	90	100	110	
SCCR	77,76 ± 13,63	66,00 ± 17,21	76,18 ± 9,09	70,99 ± 8,57	72,74
SACR	95,13 ± 8,06	112,54 ± 15,88	79,97 ± 16,02	60,22 ± 5,94	86,97
Média	86,45	89,27	78,08	65,61	
CV (%)	16,18				
p-valor	SC	0,005*			
	NI	0,006*			
	SC:NI	0,001*			
Y					
SC	NI				Média
	80	90	100	110	
SCCR	1434,76 ± 80,38	1386,03 ± 105,64	1503,88 ± 200,68	1342,26 ± 80,21	1416,54
SACR	1692,35 ± 82,90	2058,12 ± 97,43	1688,68 ± 127,46	1427,93 ± 71,83	1716,77
Média	1563,56	1722,08	1595,88	1385,10	
CV (%)	7,34				
p-valor	SC	<0,001*			
	NI	<0,001*			
	SC:NI	<0,001*			

Sendo: MF10 – massa fresca de 10 cones, P – produção de cones, MFcone – massa seca do cone, Y – produtividade de cones, SC – sistema de condução dos ramos, NI – nível de irrigação, SCCR – sistema convencional de condução dos ramos, SACR – sistema alternativo de condução dos ramos, CV – coeficiente de variação experimental, *p-valor* – valor de p, SC x NI – interação dos fatores, * – significativo (p≤0,05) e ns – não significativo (p>0,05).

Apêndice S1 – Ajuste dos modelos polinomiais de regressão dos níveis de irrigação para a massa fresca de dez cones (MF10) das plantas de lúpulo var. Cascade

Modelo polinomial		*p-valor*
Linear		0,434^{ns}
Quadrático		0,001*
Cúbico		0,435^{ns}
Coeficientes do modelo		*p-valor*
b0	-26,5987	0,011*
b1	0,7219	0,001*
b2	-0,0038	0,001*
R^2 (%)	95,53	

Sendo: *p-valor* – valor de p, * – significativo (p<0,05) e ns – não significativo (p>0,05) e R^2 – percentual de explicação da variabilidade da variável resposta pelo modelo polinomial.

Apêndice T1 – Desdobramento da interação e ajuste dos modelos polinomiais de regressão dos níveis de irrigação e do sistema alternativo de condução dos ramos (SACR) para a produção de cones (P) das plantas de lúpulo var. Cascade

DESDOBRAMENTO DA INTERAÇÃO DOS FATORES		
Sistema dentro de cada nível		
Interação	F_{calc}	*p-valor*
SC:NI 80	10,04	0,004*
SC:NI 90	68,40	<0,001*
SC:NI 100	5,21	0,032*
SC:NI 110	1,11	$0,303^{ns}$
Nível dentro de cada sistema		
Interação	F_{calc}	*p-valor*
NI:SCCR	1,44	$0,259^{ns}$
NI:SACR	20,32	<0,001*
AJUSTE DOS MODELOS POLINOMIAIS DE REGRESSÃO		
Modelo polinomial		*p-valor*
Linear		<0,001*
Quadrático		<0,001*
Cúbico		0,003*
Coeficientes do modelo		*p-valor*
b0	-2432,21	<0,001*
b1	62,5557	<0,001*
b2	-0.3426	<0,001*
R^2 (%)	82,31	

Sendo: SC – sistema de condução dos ramos, NI – nível de irrigação, SCCR – sistema convencional de condução dos ramos, SACR – sistema alternativo de condução dos ramos, F_{calc} – valor de F calculado, *p-valor* – valor de p, * – significativo ($p<0,05$) e ns – não significativo ($p>0,05$) e R^2 – percentual de explicação da variabilidade da variável resposta pelo modelo polinomial.

Apêndice U1 – Desdobramento da interação e ajuste dos modelos polinomiais de regressão dos níveis de irrigação e do sistema alternativo de condução dos ramos (SACR) para a massa seca do cone (MScone) das plantas de lúpulo var. Cascade

DESDOBRAMENTO DA INTERAÇÃO DOS FATORES		
Sistema dentro de cada nível		
Interação	F_{calc}	*p-valor*
SC:NI 80	3,61	$0,071^{ns}$
SC:NI 90	25,94	<0,001*
SC:NI 100	0,17	$0,682^{ns}$
SC:NI 110	1,38	$0,251^{ns}$
Nível dentro de cada sistema		
Interação	F_{calc}	*p-valor*
NI:SCCR	0,68	$0,572^{ns}$
NI:SACR	11,85	<0,001*
AJUSTE DOS MODELOS POLINOMIAIS DE REGRESSÃO		
Modelo polinomial		*p-valor*
Linear		<0,001*
Quadrático		0,009*
Cúbico		0,041*
Coeficientes do modelo		*p-valor*
b0	-609,3009	<0,001*
b1	16,2760	<0,001*
b2	-0,0929	<0,001*
R^2 (%)	86,73	

Sendo: SC – sistema de condução dos ramos, NI – nível de irrigação, SCCR – sistema convencional de condução dos ramos, SACR – sistema alternativo de condução dos ramos, F_{calc} – valor de F calculado, *p-valor* – valor de p, * – significativo (p<0,05) e ns – não significativo (p>0,05) e R^2 – percentual de explicação da variabilidade da variável resposta pelo modelo polinomial.

Apêndice V1 – Desdobramento da interação e ajuste dos modelos polinomiais de regressão dos níveis de irrigação e do sistema alternativo de condução dos ramos (SACR) para a produtividade de cones (Y) das plantas de lúpulo var. Cascade

DESDOBRAMENTO DA INTERAÇÃO DOS FATORES		
Sistema dentro de cada nível		
Interação	F_{calc}	*p-valor*
SC:NI 80	10,04	0,004*
SC:NI 90	68,40	<0,001*
SC:NI 100	5,21	0,033*
SC:NI 110	1,11	$0,304^{ns}$
Nível dentro de cada sistema		
Interação	F_{calc}	*p-valor*
NI:SCCR	1,44	$0,259^{ns}$
NI:SACR	20,32	<0,001*
AJUSTE DOS MODELOS POLINOMIAIS DE REGRESSÃO		
Modelo polinomial		*p-valor*
Linear		<0,001*
Quadrático		<0,001*
Cúbico		0,003*
Coeficientes do modelo		*p-valor*
b0	-11118,67	<0,001*
b1	285,9691	<0,001*
b2	-1,5663	<0,001*
R^2 (%)	82,31	

Sendo: SC – sistema de condução dos ramos, NI – nível de irrigação, SCCR – sistema convencional de condução dos ramos, SACR – sistema alternativo de condução dos ramos, F_{calc} – valor de F calculado, *p-valor* – valor de p, * – significativo ($p<0,05$) e ns – não significativo ($p>0,05$) e R^2 – percentual de explicação da variabilidade da variável resposta pelo modelo polinomial.

Apêndice W1 – Média, desvio padrão e resumo da análise de variância (ANOVA) para os teores dos compostos presentes nos cones das plantas de lúpulo var. Cascade em função de diferentes níveis de irrigação e sistemas de condução dos ramos

Teor de α ácido					
SC	NI				Média
	80	90	100	110	
SCCR	4,45 ± 0,34	4,97 ± 0,45	4,27 ± 0,46	4,10 ± 0,21	4,45
SACR	4,67 ± 0,33	5,22 ± 0,48	4,97 ± 0,33	4,22 ± 0,56	4,78
Média	4,56	5,10	4,62	4,16	
CV (%)	9,36				
p-valor	SC	0,045*			
	NI	0,003*			
	SC:NI	0,561^{ns}			
Teor de β ácido					
SC	NI				Média
	80	90	100	110	
SCCR	2,37 ± 0,22	2,35 ± 0,38	2,15 ± 0,26	1,72 ± 0,32	2,15
SACR	2,17 ± 0,12	2,28 ± 0,08	2,38 ± 0,08	1,78 ± 0,35	2,16
Média	2,28	2,32	2,27	1,76	
CV (%)	11.96				
p-valor	SC	0,919^{ns}			
	NI	<0,001*			
	SC:NI	0,394^{ns}			
HSI					
SC	NI				Média
	80	90	100	110	
SCCR	0,26 ± 0,03	0,26 ± 0,02	0,17 ± 0,01	0,17 ± 0,03	0,22
SACR	0,25 ± 0,01	0,25 ± 0,00	0,22 ± 0,00	0,24 ± 0,02	0,24
Média	0,26	0,26	0,20	0,21	
CV (%)	10,67				
p-valor	SC	0,008*			
	NI	<0,001*			
	SC:NI	<0,001*			

Sendo: α ácido – teor de alfa ácido, teor de β ácido – beta ácido, HSI – índice de armazenamento de lúpulo, SC – sistema de condução dos ramos, NI – nível de irrigação, SCCR – sistema convencional de condução dos ramos, SACR – sistema alternativo de condução dos ramos, CV – coeficiente de variação experimental, *p-valor* – valor de p, SC x NI – interação dos fatores, * – significativo (p≤0,05) e ns – não significativo (p>0,05).

Apêndice X1 – Ajuste dos modelos polinomiais de regressão dos níveis de irrigação para o teor de alfa ácido (α ácido) presente nos cones das plantas de lúpulo var. Cascade

Modelo polinomial		*p-valor*
Linear		0,022*
Quadrático		0,003*
Cúbico		0,148^{ns}
Coeficientes do modelo		*p-valor*
b0	-16,0462	0,028*
b1	0,4582	0,004*
b2	-0,0025	0,003*
R^2 (%)	88,13	

Sendo: *p-valor* – valor de p, * – significativo (p<0,05) e ns – não significativo (p>0,05) e R^2 – percentual de explicação da variabilidade da variável resposta pelo modelo polinomial.

Apêndice Y1 – Ajuste dos modelos polinomiais de regressão dos níveis de irrigação para o teor de alfa ácido (β ácido) presente nos cones das plantas de lúpulo var. Cascade

Modelo polinomial		*p-valor*
Linear		<0,001*
Quadrático		0,006*
Cúbico		0,375^{ns}
Coeficientes do modelo		*p-valor*
b0	-8,6959	0,044*
b1	0,2482	0,009*
b2	-0,00145	0,006*
R^2 (%)	96,81	

Sendo: *p-valor* – valor de p, * – significativo (p<0,05) e ns – não significativo (p>0,05) e R^2 – percentual de explicação da variabilidade da variável resposta pelo modelo polinomial.

Apêndice Z1 – Desdobramento da interação e ajuste dos modelos polinomiais de regressão dos níveis de irrigação e do sistema convencional de condução dos ramos (SCCR) para o índice de armazenamento de lúpulo (HSI) das plantas de lúpulo var. Cascade

DESDOBRAMENTO DA INTERAÇÃO DOS FATORES		
Sistema dentro de cada nível		
Interação	F_{calc}	*p-valor*
SC:NI 80	10,04	0,004*
SC:NI 90	68,40	<0,001*
SC:NI 100	5,21	0,033*
SC:NI 110	1,11	0,304^{ns}
Nível dentro de cada sistema		
Interação	F_{calc}	*p-valor*
NI:SCCR	22,28	<0,001*
NI:SACR	1,34	0,286^{ns}
AJUSTE DOS MODELOS POLINOMIAIS DE REGRESSÃO		
Modelo polinomial		*p-valor*
Linear		<0,001*
Quadrático		<0,001*
Cúbico		0,026*
Coeficientes do modelo		*p-valor*
b0	0,5750	<0,001*
b1	-0,0037	<0,001*
R^2 (%)	82,05	

Sendo: SC – sistema de condução dos ramos, NI – nível de irrigação, SCCR – sistema convencional de condução dos ramos, SACR – sistema alternativo de condução dos ramos, F_{calc} – valor de F calculado, *p-valor* – valor de p, * – significativo (p<0,05) e ns – não significativo (p>0,05) e R^2 – percentual de explicação da variabilidade da variável resposta pelo modelo polinomial.

Apêndice A2 – Média, desvio padrão e resumo da análise de variância (ANOVA) para a produtividade da água (PAC) das plantas de lúpulo var. Cascade em função de diferentes níveis de irrigação e sistemas de condução dos ramos

SC	NI				Média
	80	90	100	110	
SCCR	2,70 ± 0,15	2,30 ± 0,17	2,22 ± 0,29	1,79 ± 0,10	2,26
SACR	3,18 ± 0,15	3,41 ± 0,16	2,50 ± 0,18	1,91 ± 0,09	2,76
Média	2,94	2,86	2,37	1,86	
CV (%)	7,14				
p-valor	SC	<0,001*			
	NI	<0,001*			
	SC:NI	<0,001*			

Sendo: SC – sistema de condução dos ramos, NI – nível de irrigação, SCCR – sistema convencional de condução dos ramos, SACR – sistema alternativo de condução dos ramos, CV – coeficiente de variação experimental, *p-valor* – valor de p, SC x NI – interação dos fatores, * – significativo (p≤0,05) e ns – não significativo (p>0,05).

Apêndice B2 – Desdobramento da interação e ajuste dos modelos polinomiais de regressão dos níveis de irrigação e sistemas condução dos ramos para a produtividade da água (PAC) das plantas de lúpulo var. Cascade

DESDOBRAMENTO DA INTERAÇÃO DOS FATORES					
Sistema dentro de cada nível					
Interação		F_{calc}		*p-valor*	
SC:NI 80		10,04		0,001*	
SC:NI 90		68,40		<0,001*	
SC:NI 100		5,21		0,041*	
SC:NI 110		1,11		$0,374^{ns}$	
Nível dentro de cada sistema					
Interação		F_{calc}		*p-valor*	
NI:SCCR		17,15		<0,001*	
NI:SACR		58,27		<0,001*	
AJUSTE DOS MODELOS POLINOMIAIS DE REGRESSÃO					
NI:SCCR			NI:SACR		
Modelo polinomial		*p-valor*	Modelo polinomial		*p-valor*
Linear		<0,001*	Linear		<0,001*
Quadrático		$0,861^{ns}$	Quadrático		<0,001*
Cúbico		$0,100^{ns}$	Cúbico		0,001*
Coeficientes do modelo		*p-valor*	Coeficientes do modelo		*p-valor*
b0	4,9039	<0,001*	b0	-11,0599	0,011*
b1	-0,0279	<0,001*	b1	0,3436	<0,001*
R^2 (%)	94,18		b2	-0,0021	<0,001*
			R^2 (%)	92,34	

Sendo: SC – sistema de condução dos ramos, NI – nível de irrigação, SCCR – sistema convencional de condução dos ramos, SACR – sistema alternativo de condução dos ramos, F_{calc} – valor de F calculado, *p-valor* – valor de p, * – significativo (p<0,05) e ns – não significativo (p>0,05) e R^2 – percentual de explicação da variabilidade da variável resposta pelo modelo polinomial.