

UFRRJ

**PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA,
TECNOLOGIA E INOVAÇÃO AGROPECUÁRIA**

TESE

**Desempenho Agronômico e Qualidade de Lúpulo sob
Manejo Agroecológico na Região Serrana
Fluminense: Cultivares e Fertilização Orgânica**

Leonardo Lopes da Silva

2023



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA, TECNOLOGIA E
INOVAÇÃO EM AGROPECUÁRIA**

**DESEMPENHO AGRONÔMICO E QUALIDADE DE LÚPULO SOB
MANEJO AGROECOLÓGICO NA REGIÃO SERRANA FLUMINENSE:
CULTIVARES E FERTILIZAÇÃO ORGÂNICA**

LEONARDO LOPES DA SILVA

Sob orientação da Professora
Adriana Maria de Aquino

e Coorientação dos Professores
Renato Linhares de Assis e
José Guilherme Marinho Guerra

Tese submetida como requisito parcial
para obtenção do grau de Doutor, no
Programa de Pós-Graduação em
Ciência, Tecnologia e Inovação
Agropecuária, Área de Concentração
em Agrobiologia.

Seropédica, RJ
Setembro de 2023

Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Biblioteca Central/Seção de Processamento Técnico

Ficha catalográfica elaborada
Com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

S586d

Silva, Leonardo Lopes da, 1987-

Desempenho Agronômico e Qualidade de lúpulo sob manejo agroecológico na Região Serrana Fluminense: Cultivares e Fertilização Orgânica / Leonardo Lopes da Silva.

- Seropédica, 2023.

63 f. : il.

Orientadora: Adriana Maria de Aquino.

Coorientador: José Guilherme Marinho Guerra.

Coorientador: Renato Linhares de Assis.

Tese (Doutorado). -- Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Programa de Pós-Graduação em Ciência, Tecnologia e Inovação em Agropecuária, 2023.

1. *Humulus lupulus*. 2. Produtividade. 3. Adubação. 4. Fitoquímica. I. Aquino, Adriana Maria de, 1963-, orient. II. Guerra, José Guilherme Marinho, 1958-, coorient. III. Assis, Renato Linhares de, 1963-, coorient. IV. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Programa de Pós-Graduação em Ciência, Tecnologia e Inovação em Agropecuária. V. Título.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

É permitida a cópia parcial ou total desta Tese, desde que seja citada a fonte.



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA,
TECNOLOGIA E INOVAÇÃO EM AGROPECUÁRIA



HOMOLOGAÇÃO DE TESE DE DOUTORADO Nº 15 / 2023 - PPGCTIA (12.28.01.84)

Nº do Protocolo: 23083.065101/2023-53

Seropédica-RJ, 26 de setembro de 2023.

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO EM
AGROPECUÁRIA

LEONARDO LOPES DA SILVA

Tese submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Doutor**, no Programa de Pós-Graduação em Ciência, Tecnologia e Inovação em Agropecuária, Área de Concentração em Agrobiologia.

TESE APROVADA EM 25/09/2023.

Renato Linhares de Assis. Dr. Embrapa Agrobiologia – UFRRJ/PPGCTIA
(Coorientador)

Gustavo Ribeiro Xavier. Dr. Embrapa Agrobiologia – UFRRJ/PPGCTIA

Ednaldo da Silva Araújo. Dr. Embrapa Agrobiologia

Fabiano de Carvalho Balieiro. Dr. Embrapa Solos

Marcos José de Oliveira Fonseca. Dr. Embrapa Agroindústria de Alimentos

(Assinado digitalmente em 03/10/2023 11:42)

MARCOS JOSE DE OLIVEIRA FONSECA
ASSINANTE EXTERNO
CPF: 932.310.407-87

(Assinado digitalmente em 10/10/2023 08:12)

FABIANO DE CARVALHO BALIEIRO
ASSINANTE EXTERNO
CPF: 021.549.027-40

(Assinado digitalmente em 03/10/2023 14:50)

RENATO LINHARES DE ASSIS
ASSINANTE EXTERNO
CPF: 795.249.667-00

(Assinado digitalmente em 03/10/2023 11:43)

GUSTAVO RIBEIRO XAVIER
ASSINANTE EXTERNO
CPF: 032.488.987-98

(Assinado digitalmente em 09/10/2023 15:57)

EDNALDO DA SILVA ARAÚJO
ASSINANTE EXTERNO
CPF: 750.960.133-91

Visualize o documento original em <https://sipac.ufrj.br/public/documentos/index.jsp> informando seu número: 15, ano: 2023, tipo: **HOMOLOGAÇÃO DE TESE DE DOUTORADO**, data de emissão: 26/09/2023 e o código de verificação: 63e1d8a4de

DEDICATÓRIA

*Dedico esse trabalho a minha amada companheira Gabriela e a toda minha família que
sempre estiveram ao meu lado!*

AGRADECIMENTOS

Não se completa uma caminhada extensa como essa sem que se adquira um considerável número de dívidas de gratidão às pessoas que ajudaram a tornar esse desafio em realidade. Felizmente, tais dívidas são sempre compensadas prazerosamente, o que torna estas primeiras páginas especiais para mim. Inicialmente, à minha amada companheira Gabriela Corrêa Valente, por todo apoio nos trabalhos de tese, motivação, carinho e compreensão, pois apesar de todas as dificuldades dessa tortuosa jornada de doutoramento, sempre permaneceu ao meu lado. Seu amor me alimentou, sobretudo, nos momentos mais difíceis.

Aos meus pais Jorge e Rosa por, mesmo longe geograficamente, se fazerem tão perto, por vezes apesar de mim. Talvez não saibam, mas sempre acreditando, me fizeram acreditar, mesmo nos períodos de turbulências. Agradeço a toda minha família pelo porto seguro, pelo compartilhar de alegrias e tristezas e pelo amor incondicional.

Aos meus orientadores, os professores Adriana Maria de Aquino, Renato Linhares de Assis e José Guilherme Marinho Guerra, agradeço por atravessarem a minha vida e nela se instalarem, apresentando ensinamentos pessoais e profissionais. Sem o acolhimento, suporte e confiança de vocês, o qual espero ter feito jus, esse trabalho não teria se materializado.

Agradeço ao Gabriel Fortuna pelos ensinamentos com a cultura do lúpulo e ao Jhonatan Marins Goulart pelos diálogos e apoio em diversos momentos do trabalho. Aos membros da Rede Lúpulo Serra Fluminense pela oportunidade em vivenciar espaços de trocas de saberes, motivação e estudos com a cultura do lúpulo.

Agradeço as duas cervejarias parceiras dessa tese, que disponibilizaram áreas de suas fazendas para que os experimentos de campo fossem realizados, depositando total confiança e apoio na condução dos trabalhos com o lúpulo. A cervejaria Buzzi, em especial ao Giovani Faria Buzzi, sócio da cervejaria e proprietário da fazenda Minas Gerais, local da pesquisa em Santa Maria Madalena. Ao Grupo Petrópolis, a partir do Centro Cervejeiro da Serra, especialmente ao Marcos Silva pelo apoio nas demandas de campo do experimento na fazenda São Francisco, na Serra do Capim em Teresópolis. Aos funcionários das duas fazendas e aos bolsistas de IC Caonã Madeira e Larissa Osório, minha gratidão por toda dedicação, risos e suor derramado nos trabalhos de campo e nas análises laboratoriais do composto fermentado, respectivamente. A Elen Menezes pelo suporte nos trabalhos de monitoramento de pragas no lúpulo. Ao Marcos Fonseca pelas valiosas contribuições com o desenvolvimento do trabalho. A equipe do laboratório de Cromatografia da Embrapa Agroindústria de Alimentos pelas análises fitoquímicas realizadas. A Janaina Rouws por todo suporte necessário nas análises estatísticas.

Ao PPGCTIA, em especial à secretária Renata Gomes, por sua dedicação e imensurável generosidade no atendimento às demandas dos alunos. Finalmente, embora seja impossível nomear todos que, de uma forma ou de outra, contribuíram para a realização desse trabalho, gratidão aos amigos (as) que sempre apoiaram minha caminhada.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

This study was financed in part by the Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Finance Code 001.

RESUMO GERAL

SILVA, Leonardo Lopes da. **Desempenho Agrônômico e Qualidade de lúpulo sob manejo agroecológico na Região Serrana Fluminense: Cultivares e Fertilização Orgânica**. 2023. 63 f. Tese (Doutorado em Ciência, Tecnologia e Inovação Agropecuária). Pró-reitora de pós-graduação, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2023.

O lúpulo (*Humulus lupulus* L.) é uma planta da família botânica Cannabaceae, originária dos climas temperados do hemisfério norte e de elevada importância econômica para a indústria cervejeira. Apesar dos registros da introdução da cultura no Brasil no século XIX, iniciativas de cultivo em escala comercial são recentes, incentivadas pela perspectiva do mercado promissor das cervejas artesanais que vem crescendo em diversas regiões do país. Com o incremento das áreas de cultivo tornam-se fundamentais pesquisas científicas sobre o desempenho da cultura em ambientes tropicais, de modo a disseminar conhecimentos para o fortalecimento da emergente cadeia produtiva do lúpulo. Atualmente, há carência de informações agrônômicas da planta nas condições edafoclimáticas brasileiras, especialmente sobre a adaptabilidade de cultivares em determinados ambientes de cultivo no país e acerca de protocolos de fertilização para a cultura. O objetivo geral do trabalho, organizado em dois capítulos, é avaliar a adaptabilidade de cultivares de lúpulo e a eficiência agrônômica da fertilização com composto farelado fermentado com bagaço de malte no cultivo de *Humulus lupulus* L. submetido ao manejo agroecológico na região serrana do Estado do Rio de Janeiro. O experimento que compõe o Capítulo I foi conduzido em condições de campo no município de Santa Maria Madalena, em duas safras, usando delineamento em blocos casualizados (DBC) com quatro blocos e tratamentos qualitativos, avaliando o desempenho agrônômico e o fitoquímico de inflorescências de oito cultivares de lúpulo (Cascade, Centennial, chinook, Fuggle, Hallertau Mittelfruh, Nugget, Saaz e Tahoma). O Capítulo II apresenta o experimento conduzido em safra única, em Teresópolis, em DBC com quatro blocos e tratamentos quantitativos, avaliando o efeito da fertilização em cobertura com composto fermentado formulado com bagaço de malte nos teores de nutrientes essenciais e no rendimento produtivo do lúpulo cv. Cascade nas condições climáticas do município de Teresópolis. No Capítulo I o cultivar Cascade se destacou em relação aos demais cultivares avaliados no que se refere as características fitotécnicas altura de planta, número de cones e produção de fitomassa fresca de cones. Nas condições ambientais do estudo de avaliação de cultivares de lúpulo, somente Cascade, Centennial e Saaz emitiram inflorescências, sendo que o Saaz apenas na primeira safra. Quanto aos α -ácidos totais, Saaz e Centennial foram superiores ao Cascade na primeira safra, mas sem diferenças estatísticas entre si. Na segunda safra as plantas de Cascade apresentaram melhor desempenho que as dos demais cultivares. Quanto aos β -ácidos totais, Saaz se destacou na primeira safra, e na segunda o Cascade apresentou melhor o desempenho. Os resultados desse estudo são indicativos do potencial produtivo dos cultivares Cascade, Centennial e Saaz nas condições climáticas da região Serrana Fluminense, com destaque para Cascade. No Capítulo II, a dose de 16 Mg de composto ha⁻¹ proporcionou os melhores resultados para as características fitotécnicas número de cones (639,13 cones planta⁻¹) e produção de fitomassa fresca de cones (0,51 kg planta⁻¹), demonstrando a eficiência agrônômica dessa fonte de fertilização orgânica. Essas características fitotécnicas apresentaram aumento linear e proporcional à dose aplicada de composto fermentado até a dose aplicada equivalente à 16 Mg ha⁻¹, não obtendo um ponto de máxima, o que indica que a cultura não expressou o máximo potencial, sendo necessárias maiores dosagens do fertilizante para que isso ocorra.

Palavras chave: *Humulus lupulus*. Produtividade. Adubação. Fitoquímica.

GENERAL ABSTRACT

SILVA, Leonardo Lopes da. **Agronomic performance and hop quality under agroecological grown in the Serrana Fluminense Region: Cultivars and organic fertilization.** 2023. 63 p. Thesis (Doctorate in Science, Technology and Agricultural and Livestock Innovation). Pro-dean of post-graduation, Federal Rural University of Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2023.

Hops (*Humulus lupulus* L.) is a plant of the botanical family Cannabaceae, originating from temperate climates in the northern hemisphere and of high economic importance for the brewing industry. Despite records of the introduction of the culture in Brazil in the 19th century, commercial-scale cultivation initiatives are recent, encouraged by the prospect of the promising craft beer market that has been growing in several regions of the country. With the increase in cultivation areas, scientific research on the performance of the crop in tropical environments becomes essential, in order to disseminate knowledge to strengthen the emerging hop production chain. Currently, there is a lack of agronomic information about the plant in Brazilian soil and climate conditions, especially about the adaptability of cultivars in certain growing environments in the country and about fertilization protocols for the crop. The general objective of the work, organized into two chapters, is to evaluate the adaptability of hop cultivars and the agronomic efficiency of fertilization with mashed compost fermented with malt bagasse in the cultivation of *Humulus lupulus* L. subjected to agroecological management in the mountainous region of the State of Rio de Janeiro. The experiment that makes up chapter I was conducted under field conditions in the municipality of Santa Maria Madalena, in two harvests, using a randomized block design (DBC) with four blocks and qualitative treatments, evaluating the agronomic and phytochemical performance of inflorescences of eight hop cultivars (Cascade, Centennial, chinook, Fuggle, Hallertau Mittelfruh, Nugget, Saaz and Tahoma). Chapter II presents the experiment conducted in a single harvest, in Teresópolis, in DBC with four blocks and quantitative treatments, evaluating the effect of top dressing with fermented compost formulated with malt pomace on the contents of essential nutrients and on the productive yield of hops cv. Cascade in the climatic conditions of the municipality of Teresópolis. In chapter I, the Cascade cultivar stood out in relation to the other cultivars evaluated in terms of phytotechnical characteristics: plant height, number of cones and production of fresh phytomass. Under the environmental conditions of the hop cultivar evaluation study, only Cascade, Centennial and Saaz emitted inflorescences, with Saaz only in the first harvest. As for total α -acids, Saaz and Centennial were higher than Cascade in the first harvest, but without statistical differences between them. In the second harvest, Cascade plants performed better than those of the other cultivars. As for total β -acids, Saaz stood out in the first harvest, and in the second, Cascade performed better. The results of this study are indicative of the productive potential of the Cascade, Centennial and Saaz cultivars in the climatic conditions of the Serrana Fluminense region, with emphasis on Cascade. In Chapter II, the dose of 16 Mg of compound ha^{-1} provided the best results for the phytotechnical characteristics number of cones (639.13 cones plant^{-1}) and production of fresh biomass (0.51 kg plant^{-1}), demonstrating the agronomic efficiency of this source of organic fertilization. These phytotechnical characteristics showed a linear and proportional increase to the applied dose of fermented compound up to the applied dose equivalent to 16 Mg ha^{-1} , not reaching a maximum point, which indicates that the culture did not express its maximum potential, requiring higher dosages of fertilizer for this to happen.

Key words: *Humulus lupulus*. Productivity. Fertilizing. Phytochemistry.

RESUMEN AMPLIADO

SILVA, Leonardo Lopes da. **Actuación agronómico y calidad del lúpulo bajo manejo agroecológico en la Región Serrana Fluminense: Cultivares y fertilización orgánica**. 2023. 63 p. Tesis (Doctorado en Ciencia, Tecnología e Innovación Agraria). Decana de Posgrado, Universidad Federal Rural de Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2023.

1. Introducción

El lúpulo (*Humulus lupulus* L.) es una planta trepadora, de la familia botánica Cannabaceae, originaria de las zonas templadas del hemisferio norte, cultivada tradicionalmente a escala comercial entre las latitudes 30° a 55° N y S (MEGA et al., 2011; TURNER et al.; 2011). El cultivo del lúpulo, denominado hopculture, corresponde al manejo de esta especie para su uso en la industria cosmética, farmacéutica y, principalmente, en la industria cervecera, que consume el 98% de la producción mundial (PERAGINE, 2011). Con una producción anual de aproximadamente 14 mil millones de litros de cerveza, Brasil se destaca como el tercer mayor productor del mundo, solo detrás de China y EE. otros países, como Alemania, EE. UU., China y República Checa, lo que aumenta los costos de producción de la industria cervecera nacional, cuyos valores entre los años 2020 y 2023 fueron de aproximadamente US\$230 millones en importaciones de 13 mil toneladas de lúpulo (MDIC, 2023).

A pesar de los informes de iniciativas de cultivo de lúpulo en Brasil desde el siglo XIX, la producción a escala comercial en el país es muy reciente. Actualmente, existen aproximadamente 50 hectáreas cultivadas en el territorio brasileño (APROLÚPULO, 2021) y varios cultivares de lúpulo con producción autorizada en el Registro Nacional de Cultivares (RNC, 2021). Los campos de lúpulo recientemente implantados en Brasil han mostrado potencial para el cultivo de varios cultivares, en varias regiones del país, aunque no estamos en las llamadas latitudes ideales para el cultivo.

En la Región Serrana Fluminense, el cultivo del lúpulo ha despertado el interés de varios actores involucrados en el segmento cervecero, consumidores y productores rurales motivados por la perspectiva de un mercado diferenciado y promisorio para las cervezas artesanales, en particular por la presencia del Polo de la Cerveza Artesanal de Nova Friburgo y Región, que cuenta con marcas de numerosas fábricas. Además, el creciente interés en la cadena productiva nacional del lúpulo está ligado a varios factores, entre ellos: 1) la expansión de cervecerías artesanales que ofrecen una diversificación de recetas y cervezas especiales para un público cada vez más exigente en experiencias sensoriales. De esta forma, el suministro de lúpulo nacional es una opción atractiva para los cerveceros, ya sea por la reducción de las importaciones de este ingrediente utilizado en el proceso de elaboración y, en consecuencia, la reducción de los costos finales de producción, o por la posibilidad de obtener productos frescos y con características aromáticas únicas, debido al “terroir” de las regiones de cultivo; 2) el aumento de consumidores interesados en ingredientes diferenciados y calidad sensorial superior en el segmento de cerveza artesanal, en un movimiento de valorización de los productos cultivados localmente, además de la posibilidad de visitar experiencias y seguir el proceso de producción en el campo; y 3) la posibilidad de generar ingresos y empleo para los lupulicultores involucrados en la actividad, debido a la alta demanda de esta materia prima por parte de las cervecerías, retroalimentando la cadena productiva, además de la oportunidad de explorar el turismo rural en sus predios, a través de visitas y eventos. A pesar de este entorno promisorio, por tratarse de un cultivo introducido comercialmente hace menos de una década, existe escasez de literatura científica nacional sobre informaciones agronómicas y características de los compuestos químicos de las flores de la especie en las condiciones

edafoclimáticas brasileñas, lo que hace investigaciones esenciales para identificar materiales genéticos promisorios en determinados ambientes de cultivo del país, así como estudios de fertilización para el cultivo.

El objetivo general del trabajo, organizado en dos capítulos, es evaluar la adaptabilidad de cultivares de lúpulo y la eficiencia agronómica de la fertilización con compost fermentado con bagazo de malta en el cultivo de *Humulus lupulus* L. sometido a manejo agroecológico en la región montañosa del Estado de Río de Janeiro, enero. Enero. El experimento que compone el Capítulo I se realizó en condiciones de campo en Santa María Madalena, en dos cosechas, utilizando DBC con cuatro bloques con tratamientos cualitativos, evaluando el comportamiento agronómico y fitoquímico de inflorescencias de ocho cultivares de lúpulo (Cascade, Centennial, chinook, Fuggle, Hallertau Mittelfruh, Nugget, Saaz y Tahoma). El Capítulo II presenta el experimento realizado en una sola cosecha, en Teresópolis, en el DBC con cuatro bloques con tratamientos cuantitativos, evaluando el efecto de la fertilización en cobertura con compost fermentado formulado con bagazo de malta sobre los niveles de nutrientes esenciales y el rendimiento de lúpulo cv. Cascade en las condiciones climáticas de Teresópolis.

2. Materiales y Métodos

2.1. Evaluación agronómica y fitoquímica de inflorescencias de cultivares de lúpulo realizada en cultivo agroecológico en santa maría madalena (RJ)

2.1.1. Descripción del lugar de estudio

Los ensayos de campo se realizaron en dos temporadas agrícolas, 2020/2021 y 2021/2022 en la hacienda Minas Gerais del municipio de Santa Maria Madalena, ubicada en la Región Serrana del estado de Río de Janeiro. El lugar tiene las coordenadas geográficas 22° 16' 55" S y 42° 31' 52" O y una altitud de 650 m. La región está clasificada, según Köppen, como tropical con estación seca (Aw).

2.1.2. Diseño experimental

El experimento de este capítulo se llevó a cabo en un diseño de bloques al azar (DBC), en un esquema de análisis conjunto entre temporadas con cuatro repeticiones. Los factores evaluados fueron ocho cultivares (Cascade, Centennial, chinook, Fuggle, Hallertau Mittelfruh, Nugget, Saaz y Tahoma) y dos cosechas, dando como resultado un total de 32 parcelas experimentales. Cada parcela constaba de 5 plantas, 2 útiles y 3 de borde y el espaciamiento adoptado en la disposición de las plantas fue de 3 m entre surcos y 1 m entre plantas, totalizando 160 plantas, equivalente a una densidad de 3.333 plantas ha⁻¹.

2.1.3. Variables evaluadas

En este experimento se analizaron las siguientes variables de respuesta: altura de planta (m), longitud de ramas laterales (cm), número de ramas laterales (und planta⁻¹), número de piñas (und planta⁻¹) y producción de fitomasa fresca cono (g planta⁻¹). Además, los niveles de cohumulona, n+ adhumulona, total de ácidos alfa, colupulona, n+adlupulona, ácidos beta totales y ácidos alfa+beta.

2.1.4. Análisis estadístico

Los supuestos básicos para realizar el análisis de varianza (ANOVA) fueron verificados antes de realizar el mismo (homocedasticidad y normalidad) y, posteriormente, cuando hubo significación entre los niveles de los factores evaluados por la prueba F del ANOVA, la comparación de medias entre niveles de cosecha por la propia prueba F y entre niveles de cultivar por la prueba de Scott-Knott, al 5% de probabilidad de significación. Los análisis estadísticos se realizaron con los programas R (R CORE TEAM, 2022) y SISVAR (FERREIRA, 2011).

2.2 Desempeño fitotécnico del Lúpulo cv. Cascade en función de la fertilización con compuesto fermentado en Teresópolis (RJ)

2.2.1 Descripción del lugar de estudio

El ensayo de campo se realizó en una sola cosecha (2021/2022) en la hacienda São Francisco, perteneciente al Grupo Petrópolis, ubicada en Serra do Capim, en el municipio de Teresópolis, en la Región Serrana del estado de Río de Janeiro. La localidad tiene las coordenadas geográficas 22° 24' 44" S y 42° 57' 59" O y una altitud de 730 m. La región está clasificada, según Köppen, como de clima subtropical de gran altitud con invierno seco (Cwb).

2.2.2 Diseño experimental

Del primer experimento (Capítulo I), se seleccionó el cultivar Cascade para una prueba de fertilización en topdressing con compost fermentado. El diseño experimental fue en bloques al azar con cinco tratamientos referentes a las dosis del compuesto fermentado considerando el porcentaje de materia seca (0, 2, 4, 8 y 16 Mg ha⁻¹), con cuatro repeticiones. Considerando las respectivas dosis del compuesto, con excepción del testigo (0), 82; 164; 328 y 656 kg de N total ha⁻¹. Cada parcela constaba de 5 plantas, 2 de las cuales eran plantas útiles y 3 utilizadas como borduras. El espaciamiento adoptado fue de 3,0 m entre hileras y 1,0 m entre plantas, totalizando 100 plantas en el área experimental. El espaciamiento en cuestión equivale a una población de 3333 plantas ha⁻¹.

2.2.3 Variables evaluadas

En este experimento se analizaron las siguientes variables de respuesta: número de conos (und planta⁻¹), producción fitomasa fresca de cono (kg planta⁻¹), producción fitomasa fresca de plantas (kg planta⁻¹) y producción fitomasa seca de plantas (kg planta⁻¹). Además, se evaluaron variables de suelo de lúpulo y tejido foliar.

2.2.4 Análisis estadístico

Los valores medios de los tratamientos para todas las características evaluadas fueron comparados por la prueba F de análisis de varianza (ANAVA) y por modelos de regresión, al 5% y 10% de probabilidad, utilizando el software SISVAR o R.

3. Resultados y discusión

3.1. Evaluación agronómica y fitoquímica de inflorescencias de cultivares de lúpulo realizada en cultivo agroecológico en Santa María Madalena (RJ)

Las plantas del cultivar Cascade se desempeñaron significativamente mejor que los otros cultivares en las características de altura de la planta (6,03 m), número de conos (162,88) y producción de masa fresca de conos (110,25 g planta⁻¹) en la evaluación del promedio general de las cosechas.

Las plantas Cascade y Centennial no mostraron diferencias estadísticas para el número de ramas laterales, con un promedio general de 8,13 y 7,06, respectivamente. En cuanto a la longitud de las ramas laterales, las plantas Cascade (162,75 cm) y Saaz (154,25 cm) fueron superiores a los demás cultivares en la primera cosecha, pero sin diferencias estadísticas entre ellas, mientras que en la segunda cosecha las plantas Cascade presentaron un rendimiento superior, obteniendo valores de 116,43 cm, a pesar de haber reducido su rendimiento entre cosechas.

Para los α -ácidos totales, los valores encontrados en los conos de las plantas Saaz y Centennial fueron superiores a los de Cascade en la primera cosecha, pero sin diferencias estadísticas entre ellas, con valores de 4,72% y 4,11%, respectivamente. En la segunda cosecha, las plantas de Cascade tuvieron un mejor desempeño que las del resto de cultivares, con valores promedio del 5,72%.

Para los β -ácidos totales, los valores obtenidos para las plantas del cultivar Saaz fueron estadísticamente superiores a los encontrados para las de otros cultivares en la primera cosecha, con valores de 2,29%. En la segunda cosecha, las plantas del cultivar Cascade tuvieron un mejor desempeño que las del resto de cultivares, con valores promedio del 3,93%.

3.2 Desempeño fitotécnico del Lúpulo cv. Cascade en función de la fertilización con compost fermentado en Teresópolis (RJ)

Los resultados demuestran que, con excepción del boro, los nutrientes potasio, zinc y manganeso tuvieron una respuesta positiva en función de dosis crecientes. La dosis de 16 Mg de compost ha⁻¹ proporcionó los mejores resultados en número de conos (639,13 conos planta⁻¹) y producción de fitomasa fresca (0,51 kg planta⁻¹), cuya respuesta de la planta fue proporcional al aumento de dosis. La ausencia de un punto máximo sugiere que dosis más altas de compuesto fermentado darán como resultado mayores respuestas a los componentes de la producción de lúpulo. Esto indica que el cultivo no expresó su máximo potencial, requiriendo mayores dosis de fertilizante para que esto ocurra.

4. Conclusiones

En el Capítulo I el cultivar de lúpulo Cascade muestra un desempeño fitotécnico superior en comparación con otros cultivares evaluados en términos de características fitotécnicas: altura de la planta, número de conos y producción de fitomasa fresca de inflorescencia. Bajo las condiciones ambientales del estudio de evaluación de cultivares de lúpulo, sólo Cascade, Centennial y Saaz emitieron inflorescencias. El rendimiento fitoquímico de las inflorescencias de lúpulo resalta que los valores de alfa ácidos de los cultivares Saaz y Cascade se encuentran dentro de los rangos reportados en estudios realizados en condiciones climáticas de regiones templadas.

En el Capítulo II, El aderezo que utiliza un compuesto de puré fermentado formulado con bagazo de malta de cervecería da como resultado una mayor producción de fitomasa

fresca las inflorescencias de lúpulo, cultivar Cascade, en las condiciones climáticas de la región Serrana Fluminense. La producción de fitomasa fresca las inflorescencias de lúpulo, cultivar Cascade, presentó un aumento lineal y proporcional a la dosis aplicada del compuesto de salvado fermentado, formulado con bagazo de malta de cerveza, hasta la dosis aplicada equivalente a 16 Mg ha⁻¹ en las condiciones climáticas de la región Serrana Fluminense, lo que denota la eficiencia agronómica de esta fuente de fertilización orgánica de cara a lograr un alto rendimiento de inflorescencias de lúpulo.

Palabras- clave: *Humulus lúpulo*. Productividad. Fertilizando. fitoquímica.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Localização da área experimental e da fábrica da Cervejaria Buzzi (elaborado no Quantum GIS). Fonte: Gabriela Corrêa Valente (2019).	17
Figura 2. Dados de temperatura e precipitação mensais durante o período de cultivo do lúpulo (início do crescimento à colheita) do 1º ciclo (A) e do 2º ciclo (B) do experimento. Fonte: Inmet (2022).....	18
Figura 3. Croqui da área experimental (elaborado no Quantum GIS). Fonte: O autor (2021).	19
Figura 4. Processo de preparo do composto fermentado: (A) Preparo da mistura FT + BM + FM; (B) inoculantes microbianos ativados; e (C) bombona plástica aberta após permanecer 21 dias em condição microaerofílica.	21
Figura 5. Localização da Área Experimental de lúpulo e da fábrica da cervejaria do Grupo Petrópolis (elaborado no Quantum GIS). Fonte: O autor (2021).....	38
Figura 6. Dados de temperatura e precipitação mensais durante o período de realização do experimento (início do crescimento à colheita). As amostragens avaliadas foram realizadas no período de colheita dos cones. Fonte: Inmet (2022).	39
Figura 7. (A) Colheita manual do lúpulo com auxílio de escada e (B) cones colhidos e separados por tratamentos.....	40
Figura 8. (A) Mistura dos farelos na betoneira; (B) diluição dos inoculantes microbianos ativados em bombona plástica com água; e (C) composto orgânico compactado em caixa d'água para fermentação por 21 dias nas condições anaeróbicas e a temperatura ambiente.	41
Figura 9. (A) Amostragem de folhas por parcela experimental e (B) detalhe de folha peciolada, localizada no caule principal e imediatamente abaixo da 1º inflorescência da planta. Teresópolis, RJ.	42
Figura 10. (A) Amostragem de pontos na parcela experimental; (B) coleta de terra com auxílio de trado tipo holandês; e (C) amostras devidamente identificadas e prontas para envio para análise. Teresópolis, RJ.	43
Figura 11. Teores de Fósforo em solo cultivado com lúpulo em função das doses de composto fermentado em cobertura. Teresópolis, RJ. Análise de regressão considerando o nível de significância de 10% de probabilidade.....	44
Figura 12. Teores de Potássio em solo cultivado com lúpulo em função das doses de composto fermentado em cobertura. Teresópolis, RJ. Análise de regressão considerando o nível de significância de 5% de probabilidade.	45
Figura 13. Teores de Magnésio em solo cultivado com lúpulo em função das doses de composto fermentado em cobertura. Teresópolis, RJ. Análise de regressão considerando o nível de significância de 5% de probabilidade.....	45
Figura 14. Teores de potássio em folhas de lúpulo Cv. Cascade em função das doses de composto fermentado em cobertura em Teresópolis, RJ. Análise de regressão considerando o nível de significância de 5% de probabilidade.	46
Figura 15. Teores de zinco em folhas de lúpulo Cv. Cascade em função das doses de composto fermentado em cobertura em Teresópolis, RJ. Análise de regressão considerando o nível de significância de 5% de probabilidade.	46

Figura 16. Teores de manganês em folhas de lúpulo Cv. Cascade em função das doses de composto fermentado em cobertura em Teresópolis, RJ. Análise de regressão considerando o nível de significância de 5% de probabilidade.	47
Figura 17. Teores de boro em folhas de lúpulo Cv. Cascade em função das doses de composto fermentado em cobertura em Teresópolis, RJ. Análise de regressão considerando o nível de significância de 5% de probabilidade.	47
Figura 18. Número de cones de lúpulo em função das doses de composto fermentado em cobertura em Teresópolis, RJ. Análise de regressão considerando o nível de significância de 5% de probabilidade.	49
Figura 19. Produção de fitomassa fresca de cones de lúpulo em função das doses de composto fermentado em cobertura. Teresópolis, RJ. Análise de regressão considerando o nível de significância de 10% de probabilidade.....	50

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Principais constituintes encontrados em flores secas de lúpulo (10% de umidade)..	4
Tabela 2. Composição média dos α -ácidos e dos β -ácidos e os teores de seus constituintes. ..	5
Tabela 3. Caracterização sensorial e fitoquímica dos cultivares Cascade, Centennial, Fuggle, Nugget, Tahoma, Cinook, Hallertau Mittelfruh e Saaz.....	8
Tabela 4. Resultado da análise físico-química do solo na área experimental na primeira e na segunda safra, nas profundidades de 0 a 20 cm e de 20 a 40 cm. Santa Maria Madalena, RJ.....	20
Tabela 5. Teores de umidade, carbono (C), nitrogênio (N) e relação C:N das matérias-primas e da formulação recém inoculada utilizada na confecção do composto fermentado.	22
Tabela 6. Médias gerais da altura de planta, número de ramos laterais, número de cones e produção de fitomassa fresca de cones dos cultivares de lúpulo nas safras 2020/2021 e 2021/2022, nas condições climáticas de Santa Maria Madalena, RJ.	27
Tabela 7. Valores médios entre cultivares de lúpulo por safra e média das duas safras para característica Comprimento de ramos laterais nas condições climáticas de Santa Maria Madalena, RJ.....	27
Tabela 8. Valores médios entre cultivares de lúpulo na primeira safra (2020/2021) para as variáveis α -ácidos totais, cohumulona, n+ adhumulona, β -ácidos totais, colupulona, n+adlupulona, e $\alpha + \beta$ ácidos totais nas condições climáticas de Santa Maria Madalena, RJ.....	28
Tabela 9. Valores médios dos cultivares Centennial e Cascade nas safras de 2020/2021 e 2021/2022 para as variáveis α -ácidos totais, Cohumulona, n+ Adhumulona, β -ácidos totais, Colupulona, n+Adlupulona e $\alpha + \beta$ ácidos totais nas condições climáticas de Santa Maria Madalena, RJ.	30
Tabela 10. Resumo da análise de variância com Quadrados Médios das variáveis altura da planta (AP-m), número de ramos laterais (NRL-un.), comprimento de ramos laterais (CRL-m), número de cones (NCP-un.) e produção de fitomassa fresca de cones (PFFC-kg planta ⁻¹) dos cultivares de lúpulo. Santa Maria Madalena, RJ.....	32
Tabela 11. Resumo da análise de variância com Quadrados Médios das variáveis Cohumulona, n+ Adhumulona, α -ácidos, Colupulona, n+Adlupulona, β -ácidos e $\alpha + \beta$ ácidos dos cultivares na primeira safra (2020/2021). Santa Maria Madalena, RJ.	33
Tabela 12. Resumo da análise de variância com Quadrados Médios das variáveis Cohumulona, n+ Adhumulona, α -ácidos, Colupulona, n+Adlupulona, β -ácidos e $\alpha + \beta$ ácidos dos cultivares de lúpulo. Santa Maria Madalena, RJ.....	33
Tabela 13. Resultado da análise físico-químico do solo na área experimental de lúpulo, na profundidade de 0 a 20 cm.....	39
Tabela 14. Resumo da análise de variância com Quadrados Médios das variáveis fitotécnicas número de cones por planta (NCP-un.), produção de fitomassa fresca de cones (PFFC-kg planta ⁻¹), produção de fitomassa fresca de planta (PFFP-kg ⁻¹) e produção de fitomassa seca de planta (PFSP-kg ⁻¹) do cultivo de lúpulo cv. Cascade. (Teresópolis, RJ).	52
Tabela 15. Resumo da análise de variância das características químicas do solo cultivado com lúpulo cv. Cascade. (Teresópolis, RJ).	52
Tabela 16. Resumo da análise de variância com os Quadrados Médios das variáveis Nitrogênio (N), Fósforo (P), Potássio (K), Cálcio (Ca), Magnésio (Mg), Enxofre (S), Ferro (Fe), Cobre (Cu), Zinco (Zn), Manganês (Mn) e Boro (B) do tecido vegetal no cultivo de lúpulo cv. Cascade. (Teresópolis, RJ).	53

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO GERAL.....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	3
2.1 A Planta de Lúpulo	3
2.1.1 Atributos, uso e distribuição geográfica do lúpulo	3
2.1.2 Caracterização botânica e agronômica	3
2.1.3 Composição química das flores	4
2.1.4. Exigências edafoclimáticas.....	5
2.1.5. Cultivares de lúpulo	6
2.2. Nutrição Mineral, Adubação Orgânica e manejo da Fertilidade do Solo	8
2.2.1. Uso de compostos farelados fermentados para fertilização do lúpulo	11
3. CAPÍTULO I AVALIAÇÃO AGRONÔMICA E FITOQUÍMICA DE INFLORESCÊNCIAS DE CULTIVARES DE LÚPULO CONDUZIDO EM CULTIVO AGROECOLÓGICO EM SANTA MARIA MADALENA (RJ)	13
3.1 RESUMO	14
3.2 ABSTRACT	15
3.3 INTRODUÇÃO.....	16
3.4 MATERIAL E MÉTODOS	17
3.4.1 Descrição do local de estudo	17
3.4.2 Dados climáticos	17
3.4.3 Delineamento experimental	18
3.4.4 Implantação e condução do experimento	19
3.4.5 Preparo do composto farelado fermentado.....	21
3.4.6. Variáveis fitotécnicas avaliadas	22
3.4.7. Rendimento dos α e β ácidos das inflorescências do lúpulo	22
3.4.8 Análise estatística.....	23
3.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	24
3.5.1 Características vegetativas e componentes de produção	24
3.5.2 Características dos compostos químicos das inflorescências	27
3.6 CONCLUSÕES.....	31
3.7 APÊNDICES	32
4. CAPÍTULO II DESEMPENHO FITOTÉCNICO DE LÚPULO CV. CASCADE EM FUNÇÃO DE FERTILIZAÇÃO COM COMPOSTO FERMENTADO EM TERESÓPOLIS (RJ).....	34
4.1 RESUMO	35
4.2 ABSTRACT	36
4.3 INTRODUÇÃO.....	37

4.4. MATERIAL E MÉTODOS	38
4.4.1 Descrição do local de estudo	38
4.4.2 Dados climáticos	38
4.4.3 Delineamento experimental	39
4.4.4 Condução do experimento	39
4.4.5 Preparo do inoculante e do composto farelado fermentado	40
4.4.6 Características avaliadas.....	41
4.4.7 Análise estatística.....	43
4.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	44
4.5.1 Características químicas do solo em função das doses aplicadas de composto fermentado.....	44
4.5.2 Teores de nutrientes nas folhas do lúpulo em função das doses aplicadas de composto fermentado.....	45
4.5.3 Desempenho fitotécnico do lúpulo cv. Cascade em função das doses de composto fermentado.....	48
4.6 CONCLUSÕES.....	51
4.7 APÊNDICES.....	52
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	54
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	55

1. INTRODUÇÃO GERAL

O lúpulo (*Humulus lupulus* L.) é uma planta trepadeira, da família botânica Cannabaceae, originária de áreas de clima temperado do hemisfério Norte, tradicionalmente cultivada em escala comercial entre as latitudes de 30° a 55° N e S (MEGA et al., 2011; TURNER et al.; 2011). O cultivo de lúpulo, denominado lupulocultura, corresponde ao manejo desta espécie para utilização na indústria cosmética, farmacêutica e, principalmente, na indústria cervejeira, consumidora de 98% da produção mundial (PERAGINE, 2011).

Com uma produção anual de aproximadamente 14 bilhões de litros de cerveja o Brasil se destaca como o terceiro maior produtor mundial, atrás apenas da China e dos EUA (CERVBRASIL, 2018), embora o lúpulo utilizado nessa produção ainda seja, quase que na totalidade, importado de outros países, como Alemanha, EUA, China e República Tcheca, o que encarece os custos de produção da indústria cervejeira nacional, cujos valores entre os anos de 2020 e 2023 foram de, aproximadamente, US\$230 milhões em importações de 13 mil toneladas de lúpulo (MDIC, 2023).

Apesar do relato de iniciativas de cultivo de lúpulo no Brasil desde o século XIX, a produção em escala comercial no país é bem recente. Atualmente, estima-se que haja, aproximadamente, 50 hectares cultivados no território brasileiro (APROLÚPULO, 2021) e diversos cultivares de lúpulo com produção autorizada no Registro Nacional de Cultivares (RNC, 2021). Os recentes campos de lúpulos implantados no Brasil têm apresentado potenciais de cultivo para distintos cultivares, em várias regiões do país, apesar de não estar em latitudes ideais para a cultura.

Na Região Serrana Fluminense o cultivo de lúpulo tem despertado o interesse de vários atores envolvidos no segmento cervejeiro, consumidores e produtores rurais motivados pela perspectiva de mercado diferenciado e promissor das cervejas artesanais, notadamente pela presença do Polo Cervejeiro Artesanal de Nova Friburgo e Região, o qual conta com marcas oriundas de inúmeras fábricas.

Ademais, o crescente interesse pela cadeia de produção nacional de lúpulo está atrelado a alguns fatores, podendo-se destacar: 1) a expansão das cervejarias artesanais que oferecem uma diversificação de receitas e cervejas especiais para um público cada vez mais exigente em experiências sensoriais. Desse modo, igualmente, a oferta de lúpulos nacionais configura-se como opção atraente aos cervejeiros, seja pela redução das importações desse ingrediente usado no processo de fabricação de cervejas e, consequentemente, a redução dos custos finais de produção, seja pela possibilidade de obtenção de produtos frescos e com características aromáticas únicas, devido ao “terroir” das regiões de cultivo; 2) o aumento de consumidores interessados em ingredientes diferenciados e de qualidade sensorial superior no segmento das cervejas artesanais, num movimento de valorização de produtos cultivados localmente, além da possibilidade de experiências de visitas e rastreamento do processo de produção no campo; e 3) pela possibilidade de geração de renda e emprego para os lupulocultores inseridos na atividade, devido à alta demanda por essa matéria-prima pelas cervejarias, retroalimentando a cadeia de produção, além da oportunidade de explorar o turismo rural em suas propriedades, através de visitas e eventos.

Apesar desse ambiente promissor, por se tratar de uma cultura introduzida comercialmente há menos de uma década, observa-se escassez de literatura científica nacional acerca de informações agronômicas e de características dos compostos químicos das flores da espécie nas condições edafoclimáticas brasileiras, tornando-se fundamental pesquisa para identificação de cultivares promissores em determinados ambientes de cultivo no país, assim como de estudos de fertilização para a cultura.

O presente trabalho, organizado em dois capítulos, busca avaliar a adaptabilidade de cultivares de lúpulo e a eficiência agronômica da fertilização dessa espécie com composto farelado fermentado formulado com bagaço de malte no cultivo de *Humulus lupulus* L. submetido ao manejo agroecológico na região serrana do estado do Rio de Janeiro.

O Capítulo I baseia-se em estudo para avaliação do desempenho agronômico das plantas e as características fitoquímicas das inflorescências de oito cultivares de lúpulo, submetidos a manejo agroecológico nas condições climáticas de Santa Maria Madalena, RJ.

O Capítulo II, por sua vez, fundamenta-se na avaliação do efeito da fertilização em cobertura com um composto farelado fermentado, formulado com bagaço de malte de cervejaria nos teores de nutriente essenciais e no rendimento produtivo das inflorescências do lúpulo cv. Cascade, submetido a manejo agroecológico nas condições climáticas de Teresópolis, RJ.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 A Planta de Lúpulo

2.1.1 Atributos, uso e distribuição geográfica do lúpulo

O lúpulo é empregado há muito tempo na medicina popular, sendo que os primeiros registros nesse sentido na história são do século VIII, quando monges franceses e alemães cultivavam essa espécie devido ao seu valor medicinal (BURGESS, 1964). O uso do lúpulo na área da saúde relaciona-se às suas propriedades antissépticas, antimicrobianas, anti-inflamatórias, fitoestrogênicas, antioxidantes e de aromaterapia (insônia, estresse e ansiedade), sendo incorporado em medicamentos. As propriedades biológicas presentes nos óleos essenciais e nas resinas conferem essas indicações de uso para diversos problemas de saúde (BOWN, 1995; LANGEZAAL et al., 1992; RAUT & KARUPPAYIL, 2014; SPÓSITO et al., 2019). Além do uso para fins medicinais a planta é utilizada na indústria cosmética, farmacêutica e, principalmente, na indústria cervejeira, consumidora de 98% da produção mundial de lúpulo (PERAGINE, 2011).

As grandes regiões produtoras de lúpulo no mundo encontram-se no Hemisfério Norte, na faixa entre as latitudes 30° e 55°, que compreende as áreas da América do Norte, Europa e Ásia, sendo Alemanha e Estados Unidos os maiores produtores mundiais, com 47,3 mil e 32,6 mil toneladas, respectivamente (MEGA et al., 2011; SPÓSITO et al., 2019).

Em relação a localização geográfica das maiores áreas produtoras, a de Hallertau na Alemanha está na latitude de 48° N, enquanto Yakima nos EUA a 46 ° N. A produção do hemisfério sul está centrada em torno de Nelson, na Nova Zelândia na latitude de 41,2 ° S; Vale do Derwent, na Tasmânia, a 42,7 ° S, e George, na África do Sul a 33,9 ° S, além de produções em partes mais ao sul da América do Sul, como nas regiões de Valdivia no Chile, a 39,8° S, e de El Bolsón na Argentina a 41,9° (DODDS, 2017).

2.1.2 Caracterização botânica e agrônômica

O lúpulo é uma planta trepadeira da ordem Rosales, família botânica Cannabaceae e gênero *Humulus*. O gênero é composto de plantas floríferas dióicas, com três espécies: *Humulus japonicus* Siebold e Zucc., *Humulus yunnanensis* Hu e *Humulus lupulus* L. A espécie utilizada comercialmente para a produção de lúpulo para a indústria é o *Humulus lupulus* L. Esta caracteriza-se como uma espécie de porte herbáceo de crescimento rápido, podendo atingir nove metros de altura em até cinco meses, que apresenta comportamento anual de parte aérea e perene de seus órgãos subterrâneos - rizoma e sistema radicular (SMALL, 1978; SOUSA, 2005; TURNER et al., 2011).

O lúpulo possui propagação tanto vegetativa quanto por sementes, sendo que nos cultivos comerciais geralmente adota-se a propagação vegetativa via estacas ou rizomas, visando obter homogeneidade das plantas, especialmente das características fitoquímicas das flores. A propagação por semente é empregada apenas em programas de melhoramento vegetal (DENOMA, 2000). O sistema radicular e os rizomas podem se desenvolver a uma profundidade de 1,5 metros, contudo, comumente encontram-se concentrados na faixa de 20 a 30 cm abaixo da superfície do solo. As raízes podem crescer lateralmente a uma distância de até 3 metros da coroa da planta. Enquanto as raízes têm como função a fixação da planta no solo e a absorção de água e nutrientes, os rizomas são caules subterrâneos que tem como função o acúmulo de substâncias de reservas para a planta, especialmente no período de dormência do lúpulo (SPÓSITO et al., 2019).

A parte aérea do lúpulo é formada por caules, folhas e inflorescências, do tipo estróbilo, comumente conhecidas por cones. Os caules possuem tricomas aderentes que se fixam e enrolam, em sentido horário, em algum suporte disponível para sustentação e condução de seu crescimento vertical. Desses caules, segmentado por nós de onde originam os pares de folhas, surgem também os caules secundários formados por folhas e/ou inflorescências.

As folhas são formadas em pares e opostas umas às outras, com presença de tricomas, pecioladas e podem ter margens serrilhadas com bordas lobadas (de três a cinco lóbulos), porém quando novas em caules secundários, geralmente, são folhas cordiformes.

A inflorescência masculina é formada por uma panícula com várias flores individuais pequenas (5 a 6 mm), sendo que cada flor possui cinco pétalas e cerca de 50 estames, produzindo um fino pólen de coloração amarela a partir das anteras.

A inflorescência feminina, formada a partir de ramos secundários surgem, na maioria das vezes, no terço superior da planta. A partir do desenvolvimento da inflorescência, cada par de flores permanece protegido por uma bráctea e, individualmente, em cada flor existe uma bractéola. As inflorescências femininas, botanicamente conhecidas por estróbilos, quando completamente desenvolvidas são denominadas cones. Estes, por sua vez, são formados por um eixo central chamado de raquis, que sustenta pares de flores. Na base de cada bractéola são formados os tricomas secretores, conhecidos como glândulas de lupulina (SPÓSITO et al., 2019).

2.1.3 Composição química das flores

O interesse comercial está nas flores femininas das plantas, chamadas popularmente de cones, ricos em glândulas de lupulina que armazenam elevadas quantidades de resinas e óleos essenciais.

Nas flores masculinas, apesar de também haver glândulas de lupulina, essas são em menor quantidade e por isso não são utilizadas em cultivos comerciais, sendo seu uso restrito a pesquisas com a finalidade de melhoramento vegetal (FARAG; WESSJOHANN, 2012).

A composição química das flores do lúpulo é formada por diversos metabólitos secundários produzidos pela planta e agrupados em distintos constituintes como resinas totais, polifenóis, proteínas, ceras, esteroides, e óleos essenciais (DURELLO et al., 2019). Entre os polifenóis, destacam-se os compostos xantohumol, 8-prenilnaringenina, quercitina e kampferol, todos com atividades antioxidantes (KARABÍN et al., 2016).

Na Tabela 1, são descritas as principais classes dos constituintes presentes nas flores lúpulo e suas respectivas quantidades médias (DURELLO et al., 2019).

Tabela 1. Principais constituintes encontrados em flores secas de lúpulo (10% de umidade).

Constituinte	Quantidade % (m/m)
Resinas totais	15-30
Óleos essenciais	0,5-3
Proteínas	15
Monossacarídeos	2
Polifenóis	4
Pectinas	2
Aminoácidos	0,1
Ceras e esteroides	Traços-25

Continua...

Continuação da **Tabela 1.**

Constituinte	Quantidade % (m/m)
Cinza	8
Água	10
Celulose/lignina	43

Fonte: Durello et al. (2019).

a) Resinas totais

As resinas são constituídas por α -ácidos e β -ácidos, sendo essas substâncias responsáveis pelo sabor amargo e aroma característico da cerveja, além de garantir a estabilidade da espuma, o poder de conservação e as propriedades antissépticas presentes na bebida. Os α -ácidos são os constituintes mais importantes do lúpulo, representado pela humulona e seus homólogos (cohumulona, adhumulona, prehumulona e poshumulona) e correspondem a mais de 50% das resinas. Os β -ácidos, por sua vez, são representados pela lupulona e seus homólogos (colupulona, adlupulona, prelupulona e postlupulona) (PARKES, 2002; SOUZA, 2005).

Na Tabela 2 são apresentadas a composição média dos α -ácidos e dos β -ácidos e os teores de seus constituintes (SOUZA, 2005).

Tabela 2. Composição média dos α -ácidos e dos β -ácidos e os teores de seus constituintes.

Resinas Totais	Composição	%
α -ácidos	Humulona	35 – 70
	Cohumulona	20 -55
	Adhumulona	10 -15
	Prehumulona	1-10
	Poshumulona	1-5
β -ácidos	Lupulona	30 – 55
	Colupulona	20 -55
	Adlupulona	5 -10
	Prelupulona	1-3
	Postlupulona	-

Fonte: SOUZA (2005).

2.1.4. Exigências edafoclimáticas

Nas regiões produtoras tradicionais, de clima temperado, o ciclo produtivo divide-se em dois estágios bem definidos, sendo eles o estágio vegetativo/reprodutivo e o estágio de dormência. O estágio vegetativo/reprodutivo se inicia, na primavera, com o aumento da temperatura, do fotoperíodo e da disponibilidade de água no solo enquanto o estágio de dormência se inicia no final do outono e permanece por todo o inverno (SPÓSITO et al., 2019). Em relação à adaptação dos cultivares de lúpulo às condições edafoclimáticas, grande parte dos cultivos estão estabelecidos, preponderantemente, no hemisfério norte, na faixa entre as latitudes 30 ° e 55 ° (DODDS, 2017). Apesar disso, observa-se produções de lúpulo fora dessa faixa latitudinal mencionada anteriormente, como as experiências em curso no Brasil.

A resposta da planta de lúpulo ao fotoperíodo e a exigência de frio no inverno está relacionada à genética. Desse modo, alguns genótipos podem se adaptar melhor a determinada condição climática em detrimento de outros materiais genéticos. É importante testar cultivares de lúpulo em distintos locais, ainda que fora da faixa de latitude considerada ideal, para a

seleção daqueles mais adaptados as condições locais do ambiente, incluindo temperatura, precipitação, luminosidade, e as condições de cultivo e manejo empregados (ROCHA, 2007; DODDS, 2017).

a) Temperatura

Para o desenvolvimento vegetativo/reprodutivo da cultura a faixa ideal de temperatura está entre 16° a 18 °C, sendo que temperaturas abaixo de 5°C e acima de 35°C paralisam o crescimento da planta (RYBACEK, 1991). Conforme Wagner (1975) e Leskovar (1978), quando ocorrem diferenças elevadas entre as temperaturas diurnas e noturnas, nos períodos de floração e colheita, a produção de alfa ácidos nas flores se reduz.

b) Precipitação

Na cultura do lúpulo o acúmulo de precipitação durante o ciclo da planta não é o mais determinante para a produtividade, mas sim sua distribuição durante as fases fenológicas. A fase inicial da cultura, a que corresponde às brotações, exige pouca demanda por água. Já as fases de crescimento dos ramos, folhas, floração e formação dos cones são os períodos de maior demanda hídrica da cultura (FRIC et al., 1991; NEVE, 1991; SPOSITO et al., 2019). Para o desenvolvimento sem o emprego de irrigação a precipitação não pode ser inferior a 300 mm durante o período de crescimento, além de estar bem distribuída ao longo do ciclo (LINKE, 1958; BURGUESS, 1964). Os produtores de lúpulo do Vale de Yakima, nos EUA, costumam adotar o manejo de cerca de 610 a 712 mm de água por ano durante estação de crescimento (GEORGE, 2001; EVANS, 2003). Já em regiões de clima árido, a demanda exigida encontra-se na faixa de 700 a 800 mm de água durante a fase de desenvolvimento da cultura (BEATSON et al., 2009).

c) Luminosidade

Diversas espécies vegetais apresentam sensibilidade ao comprimento relativo entre dia e noite, fenômeno denominado como fotoperíodo, para o controle de floração (CARRÉ et al. 2018). Desse modo, as plantas são classificadas como de dia curto ou de dia longo, dependendo se florescem quando a duração do dia se torna menor ou maior do que um número específico de horas, chamado de duração crítica do dia.

O lúpulo é considerado como uma planta de dias curtos (THOMAS e SCHWABE, 1969), porque inicia sua floração quando a duração do dia reduz abaixo da duração crítica.

Destaca que, em geral, a duração do dia para o lúpulo está na faixa de 15 a 16 horas nas estações da primavera e do verão (NEVE, 1991; KREBS, 2019). A exigência em exposição da planta de lúpulo a luz é estimada em 1300 a 1500 horas durante o período vegetativo (FAO, 2015).

2.1.5. Cultivares de lúpulo

Existem dezenas de cultivares de lúpulo produzido para o atendimento da indústria cervejeira, os quais apresentam características distintas e marcantes relacionadas à composição química de suas flores, associadas ao amargor e aroma atribuído às cervejas. Assim, os cultivares são classificados em três diferentes categorias: lúpulos de amargor, lúpulos de aroma e lúpulos com dupla finalidade (SPÓSITO et al., 2019).

Outra classificação dos cultivares relaciona-se ao local de origem dos materiais, associando-as com as características morfológicas e adaptação às condições edafoclimáticas.

Assim, os cultivares de lúpulos americanos se enquadram na categoria “A”, com características bem marcantes como: robustez; alto rendimento de flores; ramos secundários (laterais) longos (alguns se aproximando de 120 cm de comprimento); sistema radicular vigoroso; e ampla faixa de adaptação a diferentes tipos e pH de solo (FERREIRA et al., 2019).

Os cultivares de lúpulos originários da Grã-Bretanha se enquadram na categoria “B”, enquanto os cultivares de lúpulos originários da Europa continental (Alemanha, França e Bélgica) se enquadram na categoria “C”. Como características, os cultivares das categorias “B” e “C”, em geral, são plantas que exibem menor porte, sistemas radiculares menores e mais finos, e inferior adaptação às diferentes condições edafoclimáticas, como tipos de solo, níveis de pH e de umidade. Desse modo, o rendimento e o tamanho dos cones tendem a ser menores, com ramos laterais mais curtos (FERREIRA et al., 2019).

A seguir são descritos os principais cultivares de lúpulo, introduzidos na região serrana fluminense, e sua caracterização sensorial e fitoquímica média (Tabela 3), conforme WOODSKE (2012).

Categoria A:

- **Cascade**

Primeiro cultivar comercial produzido pelo programa de melhoramento do USDA-ARS (1956) foi lançado em 1972. A Cascade representa 10% de todo lúpulo produzido nos Estados Unidos.

- **Centennial**

Cultivar desenvolvido nos EUA, lançada em 1974, muito popular e considerado um "super Cascade" entre os cervejeiros artesanais, por conta de suas características cítricas e elevado conteúdo de alfa ácidos.

- **Nugget**

Esse cultivar foi lançado em 1970 para atender a uma demanda crescente de lúpulos com alto teor de alfa ácido e, desde então, permanece sendo um dos cultivares mais cultivados nos EUA.

- **Tahoma**

Essa variedade foi lançada pela Washington State University em 2013 e possui leve semelhança com o Cascade, por apresentar um agradável e predominante perfil de aroma cítrico.

- **Chinook**

A Chinook foi desenvolvida pelo Programa de melhoramento dos EUA e lançada em 1985 como um cultivar de elevada concentração de alfa ácidos e acentuado sabor e aroma cítrico.

Categoria B:

A Fuggle foi lançada em 1875 na Inglaterra e até 1949 representou 78% dos lúpulos produzidos no mundo. Esse cultivar possui típico aroma “inglês”, cujo caráter robusto contribui muito para o sabor da cerveja.

Categoria C:

- Saaz

A Saaz é originária da República Tcheca, onde foi desenvolvida, em região de mesmo nome, em programa de melhoramento nacional. Lançada em 1952, é um dos mais antigos cultivares de lúpulo. Possui aroma nobre e muito associado à cerveja Pilsner no estilo Tcheco.

- Hallertau Mittelfruh

Esse cultivar foi desenvolvido na região de hallertauer na Alemanha e é considerado um lúpulo nobre de aroma, apresentando aroma complexo de ervas condimentadas e picantes que produz um amargor suave que se encaixa bem nos perfis de sabor da maioria das cervejas Lager e Pilsner.

Tabela 3. Caracterização sensorial e fitoquímica dos cultivares Cascade, Centennial, Fuggle, Nugget, Tahoma, Cinook, Hallertau Mittelfruh e Saaz.

Cultivares	Categoria	Aptidão	Caracterização			
			Sensorial		Fitoquímica	
			Aroma	Sabor	Alfa ácidos	Beta ácidos
Cascade	A	Aroma	Floral	Cítrico	4.5 - 7.0 %	4.8 - 7.0 %
Centennial	A	Dupla	Floral	Cítrico	9,5 -11,5 %	3,4 - 4.5 %
Fuggle	A	Aroma	Amadeirado	Hortelã	3 - 5,6 %	2 - 3.0 %
Tahoma	A	Aroma	Floral	Cítrico	6.0 - 7.5 %	7.0 - 8.0 %
Chinook	A	Dupla	Cítrico	Picante	12 - 14 %	3 - 4 %
Nugget	B	Amargor	Ervas	Frutas	9,5 - 14 %	4,2 - 5.8 %
Hallertau Mittelfruh	C	Aroma	Floral	Picante	3 – 5,5 %	3,5 – 5,5 %
Saaz	C	Aroma	Herbal	Picante	3 - 6 %	4,4 - 8.0 %

Fonte: Adaptado de Woodske (2012).

2.2. Nutrição Mineral, Adubação Orgânica e manejo da Fertilidade do Solo

Devido ao rápido crescimento e expressivo acúmulo de biomassa vegetal na parte aérea, que pode chegar a 7 m de altura em 90 dias, o lúpulo apresenta elevada demanda nutricional. Quantidades consideráveis de nutrientes são exportadas do solo e da planta na colheita, tornando o manejo de reposição desses nutrientes determinante para a manutenção da fertilidade do solo e a sustentabilidade da produção (RYBACEK, 1991; GINGRICH et al., 2000; DODDS, 2017; ISKRA et al., 2019).

A programação da adubação do lúpulo deve ser baseada em estudos de marcha de absorção de todos os macro e micronutrientes e as fases de maior demanda da planta para cada nutriente. Entretanto, no Brasil ainda não se tem esses estudos e, consequentemente, não existe recomendações técnicas consolidadas para programas de fertilização de plantas de lúpulo desenvolvidos no país. As diretrizes relacionadas às recomendações de adubação disponíveis são baseadas em referências de outros países, mas que precisam ser ajustadas às condições edafoclimáticas locais, além do monitoramento constante da fertilidade através de

análises de solo e de tecidos vegetais, possibilitando a identificação de desequilíbrios nutricionais e estratégias de reposição.

Entre os macronutrientes essenciais, os de maior relevância, do ponto de vista de desempenho fitotécnico e de metabolismo de alfa e beta ácidos e óleos essenciais no lúpulo, destaca-se o Nitrogênio (N), Potássio (K), Cálcio (Ca) e Fósforo (P) e entre os micronutrientes o Boro (B), Zinco (Zn) e Manganês (Mn).

O Nitrogênio (N), parte essencial de todos os compostos proteicos dos vegetais, é o nutriente mais demandado pela cultura, sendo o maior responsável pelo crescimento vegetativo da planta, tanto dos ramos principais como dos ramos laterais, de modo que, sem um aporte adequado desse nutriente nos dois primeiros meses do estágio vegetativo, período de maior demanda de N pela planta, a produção poderá ser reduzida ou mesmo poderá não ocorrer (VAVERA, 2017; DODDS, 2017). A aplicação próxima ao estágio reprodutivo e logo após a floração deve ser evitada, pois acarreta na permanência de seu crescimento vegetativo, inibindo a floração. Vale destacar o cuidado com a aplicação de nitrogênio em excesso, visto que pode favorecer o surgimento de doenças, inibir a absorção de outros nutrientes como zinco, cobre e enxofre, causar crescimento intensificado e alongamento de períodos fenológicos e interferência na qualidade dos compostos químicos dos cones de lúpulo (RYBÁČEK, 1980; NEVE, 1991; DODDS, 2017). A deficiência de N, por sua vez, pode apresentar crescimento atrofiado dos ramos, surgimento de folhas pequenas, sintomas de necrose nas folhas velhas, com coloração pálida à amarelada, que rapidamente entram em senescência, com consequente encurtamento do ciclo vegetativo e baixo rendimento de cones (VAVERA, 2017; JONES, 1998; MC CAULEY et al., 2011).

O nitrogênio pode influenciar o rendimento e a qualidade dos cones, conforme estudo de Iskra et al. (2019), que observou redução no rendimento de alfa e de beta ácidos e de óleos essenciais com o aumento do fornecimento de nitrogênio, o que pode ser explicado pelo favorecimento do crescimento vegetativo, em detrimento da síntese de metabólitos secundários. Esses autores demonstraram como a qualidade dos cones pode variar em função de diferentes doses e épocas de aplicação de distintos fertilizantes nitrogenados, sendo o rendimento de metabólitos secundários mais afetados pela taxa de N aplicado do que da época de fornecimento. Nesse estudo foi relatado que elevadas taxas de fornecimento de N nem sempre resultam em rendimentos superiores, sugerindo fatores ambientais, como chuva ou temperatura, como influências no rendimento da planta.

Observa-se que as recomendações de nitrogênio em cultivos de lúpulo variam muito nos diversos ambientes de cultivo e para as diversas idades da planta. Em plantas de primeiro ano comumente aplica-se 85 kg ha^{-1} de nitrogênio, dividido em várias aplicações e de acordo com os níveis de matéria orgânica (MO) no solo, conforme apontado por Darby (2013) e Gingrich et al. (2000) em cultivos nos Estados Unidos. Em solos com moderados níveis de M.O. pode-se utilizar entre $120\text{--}170 \text{ kg ha}^{-1}$ de N, enquanto em solos com baixos níveis de M.O. a quantidade de N pode ser ajustada para até 230 kg ha^{-1} .

Sirrinc et al. (2010) em estudo nos EUA mostraram que são exportados cerca de $112 \text{ kg de N ha}^{-1}/\text{ano}^{-1}$ em plantações de lúpulo, enquanto estudo de Burgess (1964) na Inglaterra relatou aplicações máximas de 300 kg ha^{-1} de N. A recomendação oficial neste país varia de 150 a 225 kg ha^{-1} , de acordo com o teor de matéria orgânica presente no solo, enquanto que na Alemanha as taxas recomendadas, baseadas nas quantidades de nutrientes removidas pela safra anterior, são de 120 kg ha^{-1} de N (NEVE, 1991). Estudo de Marcos et al. (2011) na Espanha, recomenda a aplicação de N conforme a textura do solo, podendo-se fornecer de 180 a 200 kg ha^{-1} para solos argilosos e 200 a 220 kg ha^{-1} para solos de textura arenosa.

O Potássio (K), utilizado na biossíntese de proteínas e no metabolismo e resistência dos tecidos vegetais aos danos por doenças e pragas, tem um efeito positivo na maturação dos cones de lúpulo (VAVERA, 2017; DODDS, 2017). O K é o segundo nutriente de maior

demanda pelas plantas de lúpulo durante cada ciclo, com exigência nas épocas de florescimento e maturação dos cones, sendo que até 25% do que é absorvido de K pela planta de lúpulo é encontrada nos cones (GINGRICH et al., 2000). O excesso de potássio pode impedir a absorção do boro, cálcio e manganês e contribuir para a deterioração da qualidade dos cones, que conterá baixos teores de compostos químicos (VAVERA, 2017). Os sintomas de deficiência de potássio se manifestam em folhas que começam a desbotar e apresentar manchas amarronzadas até sua total senescência e queda, além de sintomas de queima das folhas marginais e reduzido crescimento de parte aérea que, por sua vez, perde a dominância apical (VAVERA, 2017; DODDS, 2017).

Nos EUA, as recomendações de potássio em solos com moderados níveis desse nutriente podem ser encontradas no estudo de Dodds (2017), que recomenda na faixa de 90-115 kg ha⁻¹, e no de Sirrine et al. (2010) e Gingrich et al. (2000), que recomendam a faixa de 90 a 170 kg de K₂O ha⁻¹. Na Espanha, Marcos et al. (2011) estimam a exportação média de 181 a 209 kg ha⁻¹ de K₂O.

O Cálcio (Ca), importante na formação da membrana celular e nos processos de divisão e alongamento celular, é o terceiro macronutriente mais demandado pelo lúpulo, com importância na estruturação da parede celular, conferindo ao lúpulo maior resistência ao ataque de pragas e doenças. A deficiência desse nutriente é manifestada nos órgãos mais jovens, e com o avanço dos sintomas de necrose as folhas senescem. A deficiência de cálcio também está frequentemente associada a excesso de potássio, que desloca o cálcio presente na planta. O excesso de cálcio na planta, por sua vez, pode ocasionar amarelecimento dos cones e também reduzir a absorção de outros cátions, especialmente Mg, K e Fe, causando clorose na planta (VAVERA, 2017; DODDS, 2017).

O Fósforo (P), componente essencial de muitos compostos orgânicos nas células vegetais, com participação na fotossíntese e em vários processos enzimáticos, além do estabelecimento do sistema radicular da planta, é demandado em menores quantidades quando comparado aos demais macronutrientes abordados anteriormente. Entretanto, se apresenta como fundamental para o rendimento da cultura, visto que até 30% do que a planta de lúpulo absorve desse nutriente é encontrado nos cones, e o restante no caule e nas folhas (GINGRICH et al., 2000). O conteúdo excessivo de fósforo na planta pode acarretar no florescimento prematuro do lúpulo e o amadurecimento acelerado dos cones, antes que a planta tenha atingindo crescimento vegetativo adequado para o alto rendimento produtivo, além do excesso desse nutriente limitar a absorção de zinco pela planta (VAVERA, 2017).

As recomendações comumente observadas para o fósforo (P) se encontram na faixa de 20 kg de P₂O₅ ha⁻¹ (DODDS, 2017), 23 a 34 kg de P₂O₅ ha⁻¹ (SIRRINE et al., 2010) e 50-59 kg ha⁻¹ de P₂O₅ (MARCOS et al., 2011), sendo que, geralmente, o lúpulo não responde às aplicações de fertilizantes fosfatados (GINGRICH et al., 2000). Devido à baixa mobilidade desse nutriente no solo, realiza-se a aplicação de P integralmente na época de plantio, mediante a sua incorporação no solo (DODDS, 2017).

Os micronutrientes que possuem maior importância no lúpulo são o Boro (B), Zinco (Zn) e Manganês (Mn), que junto ao macronutriente Potássio, são determinantes para o crescimento e obtenção de ramos laterais vigorosos e elevada produtividade de cones (GINGRICH et al., 2000; VAVERA, 2017). A deficiência desses micronutrientes pode ocasionar sintomas de clorose nas plantas, e, por estarem envolvidos na formação dos cones, no metabolismo da planta e acúmulo de metabólitos secundários, esses micronutrientes desempenham papel fundamental na qualidade do lúpulo (NEVE, 1991).

Estudo de Rodolfi et al. (2021), demonstrou que a aplicação de micronutrientes em programas de fertilização são fundamentais, em especial próximo ao estágio reprodutivo, por estarem envolvidos na biossíntese dos óleos essenciais.

Gingrich et al., (2000) relata estudos nos EUA, Europa e Nova Zelândia nos quais as plantas de lúpulo responderam à aplicação de boro (B), destacando que sua deficiência no solo gera alguns sintomas na planta, como o atraso no desenvolvimento de novos brotos, folhas enrugadas e distorcidas, e o encurtamento de entrenós, enquanto que o excesso desse micronutriente pode causar toxidez (NEVE, 1991; DODDS, 2017). Os sintomas de deficiência de zinco na planta, a partir de concentrações nas folhas inferiores a 15 ppm, é expressado por folhas pequenas, enroladas e cloróticas, com baixo crescimento de ramos, impactando o rendimento e a qualidade dos cones (DODDS, 2017; VAVERA, 2017).

O excesso dos níveis de Manganês (Mn) apresentou influência negativa no crescimento do lúpulo, relatado, sobretudo, em solos ácidos, com sintomas de toxicidade manifestados pela diminuição da biomassa e senescência foliar precoce (GINGRICH et al. 2000).

No Brasil, a agricultura orgânica é estabelecida pela Lei nº 10.831, de 23 de dezembro de 2003, definindo os dispositivos para a produção orgânica no país (BRASIL, 2003). Diante disso, é importante salientar que o uso de fertilizantes nitrogenados sintéticos, comumente utilizados na agricultura convencional, não são permitidos nesses sistemas de produção (ALMEIDA et al., 2007). Nesse cenário, a elevada exigência do lúpulo em nitrogênio desafia e exige estratégias para a gestão desse nutriente em sistemas orgânicos (PANG e LETEY, 2000).

Por outro lado, a fertilidade do solo é um dos alicerces do manejo orgânico e sua manutenção e melhoria depende da adoção de técnicas de manejo que conservem a capacidade produtiva do solo, produto das interações entre as características químicas, físicas e biológicas, com destaque para o uso da adubação orgânica. O emprego da adubação orgânica estimula o funcionamento equilibrado das distintas dimensões da fertilidade do solo, uma vez que não há fornecimento de nutrientes em forma altamente solúvel. Sendo assim, a matéria orgânica assume papel central, uma vez que tem a capacidade de influenciar simultaneamente as características do solo (GUERRA et al., 2014).

2.2.1. Uso de compostos farelados fermentados para fertilização do lúpulo

Entre os diversos tipos de adubos orgânicos permitidos na agricultura orgânica, merecem destaque os compostos orgânicos, esterco de animais, vermicompostos e compostos farelados fermentados do “tipo bokashi”. As formulações desses últimos são definidas como misturas de materiais orgânicos, livres de resíduos tóxicos, submetidas a processos fermentativos controlados em presença de microrganismos eficientes (EM). O centro de origem dessa técnica é o Japão, e através de imigrantes japoneses foi trazida ao Brasil, onde foi adaptada no final da década 1980 (HIGA & PARR, 1994; SIQUEIRA; SIQUEIRA, 2013; PIAN, 2019).

O composto fermentado consiste em um adubo orgânico concentrado contendo elevados teores de nutrientes, podendo ser aplicado tanto na adubação de base quanto de cobertura e, além de fonte de nutrientes, cumpre a função de estimular o aumento e a diversidade de organismos que vivem no solo, proporcionando resultados positivos na melhoria das características físicas, químicas e biológicas do solo, impactando na produtividade das plantas e na qualidade dos produtos agrícolas gerados (OLIVEIRA et al., 2014).

Na produção de compostos fermentados, além da combinação de farelos de alta relação C/N com outros de baixa relação C/N, é necessário o uso de fermentos biológicos que podem ser obtidos a partir de sua captura em solos de mata, ou através de produtos comerciais

conhecidos como aceleradores de compostagem¹, ou mesmo de outros fermentos utilizados na produção de alimentos fermentados. Esses microrganismos funcionam como inoculantes atuando na fermentação da matéria orgânica, com a produção de ácidos orgânicos, vitaminas, enzimas e polissacarídeos, todos envolvidos no estímulo ao desenvolvimento vegetal. Ocorre então a fermentação anaeróbica dos açúcares solúveis em água e sua conversão em ácidos, com redução do pH até a inibição do processo fermentativo, quando o produto está pronto para uso (SIQUEIRA; SIQUEIRA, 2013; OLIVEIRA et al., 2014; PIAN, 2019).

Existem várias formulações de compostos fermentados, geralmente, feitas a partir de farelos e tortas vegetais, como o farelo de trigo, de arroz, de soja, torta de mamona, torta de girassol, entre outros resíduos vegetais, buscando sempre a combinação de materiais feitos a partir de fontes de C com baixos e altos teores de N. Como não existe uma formulação padrão, a composição dos seus ingredientes deve ser ajustada com base nos insumos localmente disponíveis ou de fácil aquisição a preços compatíveis no comércio (OLIVEIRA et al., 2014). Na técnica tradicional para confecção desses compostos adiciona-se água não clorada até cerca de 30 a 40% da massa total e uma solução inoculante contendo microrganismos fermentativos e o material é mantido em recipiente vedado fechado por 21 dias.

Na produção de lúpulo o uso de compostos farelados fermentados para fertilização e condicionamento dos solos apresenta-se como uma oportunidade interessante, enquanto estratégia de economia circular, pela possibilidade de aproveitar o bagaço de malte, resíduo da indústria cervejeira, como fonte de C com baixo teor de N na substituição ao farelo de trigo ou a outros farelos ricos em carboidratos. Mas para tal é importante o desenvolvimento de estudos para o ajuste de formulações do composto, aproveitando-se o teor de umidade natural do bagaço de cevada, bem como relacionados à dose adequada para uso do composto na adubação do lúpulo.

¹No Brasil, esses “microrganismos eficientes” (EM), são comercializados na forma líquida concentrada, com a função de acelerador de compostagem (nome comercial: Embiotic® ou EM®, Korin, SP).

3. CAPITULO I

**AVALIAÇÃO AGRONÔMICA E FITOQUÍMICA DE
INFLORESCÊNCIAS DE CULTIVARES DE LÚPULO
CONDUZIDO EM CULTIVO AGROECOLÓGICO EM SANTA
MARIA MADALENA (RJ)**

3.1 RESUMO

O lúpulo (*Humulus lupulus* L.) é uma planta trepadeira, da família botânica Cannabaceae, originária do hemisfério norte em local de clima temperado, que, tradicionalmente, é cultivada entre as latitudes de 30° a 55° N e S. Ao introduzir a cultura em novos ambientes de cultivo, entre os critérios recomendados para a definição dos cultivares adotado pelos produtores, podem-se destacar os relacionados à demanda da indústria cervejeira por determinados cultivares de lúpulo e o potencial de adaptação agrônômica das plantas, no que se refere à produtividade e qualidade de cones, especificamente os valores de alfa e beta ácidos. Os teores desses compostos químicos presentes nos cones são característicos de cada cultivar, mas sofrem influência dos fatores clima, solo, manejo, época e condições de colheita e pós-colheita. Componentes fitotécnicos também são influenciados pelos fatores de manejo da cultura e constituem critério na escolha de cultivares mais adaptados às condições climáticas de determinada região e vem sendo estudados nos principais países produtores de lúpulo e, recentemente no Brasil, a partir de características como altura de planta, número de ramos laterais, comprimento de ramos laterais, número de cones e produção de fitomassa fresca de cones. O objetivo desse estudo é avaliar o desempenho agrônômico e o fitoquímico de inflorescências de oito cultivares de lúpulo submetidos ao manejo agroecológico nas condições climáticas de Santa Maria Madalena (RJ). O experimento foi conduzido em delineamento em blocos casualizados (DBC), em esquema de análise conjunta entre safras com quatro repetições. As fontes de variação foram cultivares (08) e safras (02). Nas condições ambientais do estudo de avaliação de cultivares de lúpulo, somente Cascade, Centennial e Saaz emitiram inflorescências. As plantas do cultivar Cascade apresentaram desempenho significativamente superior ao dos demais cultivares para as características altura de planta (6,03 m), número de cones (162,88 planta⁻¹) e produção de fitomassa fresca de cones (110,25 g planta⁻¹) na avaliação da média geral das safras. As plantas de Cascade e Centennial não apresentaram diferenças estatísticas para número de ramos laterais, com média geral de 8,13 e 7,06, respectivamente. Para comprimento de ramos laterais, as plantas de Cascade (162,75 cm) e Saaz (154,25 cm) foram superiores às dos demais cultivares na primeira safra, mas sem diferenças estatísticas entre si, enquanto que na segunda safra as plantas de Cascade apresentaram desempenho superior, obtendo valores de 116,43 cm, apesar de ter diminuído seu desempenho entre safras. Para o total de α -ácidos, os valores encontrados nos cones das plantas de Saaz e Centennial foram superiores às de Cascade na primeira safra, mas sem diferenças estatísticas entre si, com valores de 4,72% e 4,11%, respectivamente. Na segunda safra as plantas de Cascade apresentaram melhor desempenho que as dos demais cultivares, com valores médios de 5,72%. Para o total de β -ácidos, os valores obtidos para as plantas do cultivar Saaz foram superiores estatisticamente aos encontrados para as dos outros cultivares na primeira safra, com valores de 2,29%. Na segunda safra as plantas do cultivar Cascade apresentaram melhor desempenho que as dos demais cultivares, com valores médios de 3,93%. Os valores de α -ácidos dos cultivares Cascade e Saaz encontram-se dentro de faixas reportadas em estudos conduzidos em condições climáticas de regiões de clima temperado.

Palavras chave: *Humulus lupulus*. Produtividade. Fitoquímica.

3.2 ABSTRACT

Hops (*Humulus lupulus* L.) is a climbing plant, from the botanical family Cannabaceae, originating in the northern hemisphere in a temperate climate, which is traditionally cultivated between latitudes from 30° to 55° N and S. In new cultivation environments, among the criteria recommended for the definition of cultivars adopted by producers, we can highlight those related to the demand of the brewing industry for certain hop cultivars and the potential of agronomic adaptation of the plants, with regard to productivity and quality of cones, specifically alpha and beta acid values. The levels of these chemical compounds present in the cones are characteristic of each cultivar, but are influenced by factors such as climate, soil, management, time and harvest and post-harvest conditions. Phytotechnical components are also influenced by crop management factors and constitute a criterion in choosing cultivars that are more adapted to the climatic conditions of a given region and have been studied in the main hop producing countries and, recently, in Brazil, based on characteristics such as hop height plant, number of lateral branches, length of lateral branches, number of cones and production of fresh phytomass of cones. The objective of this study is to evaluate the agronomic performance of plants and the phytochemical characteristics of the inflorescences of eight hop cultivars, subjected to agroecological management in the climatic conditions of Santa Maria Madalena (RJ). The experiment was conducted in a randomized block design (DBC), in a joint analysis scheme between seasons with four replications. The factors were cultivars (08) and seasons (02). Under the environmental conditions of the hop cultivar evaluation study, only Cascade, Centennial and Saaz emitted inflorescences. Plants of the Cascade cultivar performed significantly better than the other cultivars for the characteristics of plant height (6.03 m), number of cones (162.88 plant⁻¹) and production of fresh cone mass (110.25 g plant⁻¹) in the evaluation of the general average of the harvests. The Cascade and Centennial plants showed no statistical differences for the number of lateral branches, with an overall average of 8.13 and 7.06, respectively. In terms of lateral branch length, the Cascade (162.75 cm) and Saaz (154.25 cm) plants were superior to the other cultivars in the first harvest, but without statistical differences between them, while in the second harvest the Cascade plants presented superior performance, obtaining values of 116.43 cm, despite having reduced their performance between harvests. For total α -acids, the values found in the cones of Saaz and Centennial plants were higher than those of Cascade in the first harvest, but without statistical differences between them, with values of 4.72% and 4.11%, respectively. In the second harvest, Cascade plants performed better than those of the other cultivars, with average values of 5.72%. For total β -acids, the values obtained for plants of the Saaz cultivar were statistically higher than those found for those of other cultivars in the first harvest, with values of 2.29%. In the second harvest, Cascade cultivar plants performed better than those of the other cultivars, with average values of 3.93%. The α -acid values of the Cascade and Saaz cultivars are within the ranges reported in studies conducted under climatic conditions in temperate regions.

Key words: *Humulus lupulus*. Productivity. Phytochemistry.

3.3 INTRODUÇÃO

O lúpulo é uma planta trepadeira, da família Cannabaceae, sendo a espécie *Humulus lupulus* L. amplamente utilizada no processo de produção de cerveja, a partir das flores femininas ricas em glândulas que armazenam lupulina contendo elevadas quantidades de resinas e óleos essenciais (DODDS, 2017). As resinas são constituídas por α -ácidos e β -ácidos, sendo estas substâncias responsáveis pelo sabor amargo característico da cerveja, além de garantir estabilidade à espuma, poder de conservação e propriedades antissépticas presentes na bebida (CANBAŞ et al., 2001). O lúpulo tem porte herbáceo e crescimento rápido, podendo atingir nove metros de altura. Apesar de ser uma planta perene, sua parte aérea senesce totalmente e rebrota anualmente. Originária do hemisfério Norte e comumente cultivada entre as latitudes de 30° a 55°, a planta no campo pode permanecer produzindo por 10 a 20 anos, dependendo das condições de cultivo e manejo (SPÓSITO et al., 2019).

Ao introduzir a cultura em novos ambientes de cultivo os critérios que definem as recomendações aos produtores sobre quais cultivares de lúpulo adotar, geralmente estão relacionados às características de rendimento de α e β ácidos e óleos essenciais, demandados pela indústria. Os teores desses compostos químicos, de interesse para a indústria cervejeira, presentes nas flores de lúpulo, são característicos de cada cultivar, mas podem variar sob influência dos fatores clima, solo, manejo, época e condições de colheita e pós-colheita (DURELLO et al., 2019). Parâmetros agronômicos, como a produtividade de cones, também são diretamente influenciados pelos fatores de manejo da cultura e constitui critério na escolha de cultivares, sendo empregados em programas de melhoramento vegetal para seleção de materiais mais promissores e, dentre eles, destacam-se as características vegetativas e componentes de produção. Critérios para a seleção de cultivares mais adaptados às condições edafoclimáticas de determinada região vem sendo estudados nos principais países produtores de lúpulo e, recentemente, no Brasil, a partir de características vegetativas como altura de planta, número de ramos laterais e comprimento de ramos laterais, ao passo que, entre os componentes produtivos destaca-se número de cones e produção de fitomassa fresca de cones (ROSSINI et al., 2016; FAGHERAZI, 2020; GONSAGA, 2021).

Na região Serrana Fluminense a introdução da espécie tem ocorrido em pequenas áreas, utilizando-se diversos cultivares que vem sendo testados por agricultores incentivados pela perspectiva de mercado diferenciado e promissor das cervejas artesanais, especialmente pelo reconhecimento do Polo Cervejeiro Artesanal de Nova Friburgo e Região, o qual conta com marcas oriundas de inúmeras fábricas (MULTIPLIX, 2019). Todavia, com o incremento de novas áreas de produção de lúpulo no país e a carência de trabalhos de pesquisa acerca do desempenho dos cultivares, principalmente no que diz respeito às características produtivas e de qualidade das flores, torna-se oportuno a implantação de trabalhos de pesquisa.

Em 2019 foi implementada uma parceria com a cervejaria artesanal Buzzi para a implantação de uma área experimental de lúpulo na fazenda Minas Gerais, localizada no município de Santa Maria Madalena (RJ), com vista à identificação de cultivares de interesse, adaptados ao clima tropical de altitude, a partir de um protocolo de manejo apropriado a sistema de produção orgânico. Diante do exposto, a hipótese assumida nesse trabalho é a de que cultivares de lúpulo produzidos nas condições climáticas da região Serrana Fluminense e submetidos a um sistema de manejo de base agroecológica apresentam características adaptativas próprias que repercutem em distintos desempenhos produtivos de inflorescências.

O objetivo desse trabalho foi avaliar o desempenho agronômico das plantas e as características fitoquímicas das inflorescências de oito cultivares de lúpulo submetidos a manejo agroecológico nas condições climáticas de Santa Maria Madalena (RJ).

3.4 MATERIAL E MÉTODOS

3.4.1 Descrição do local de estudo

Os ensaios de campo foram realizados em duas safras agrícolas, 2020/2021 e 2021/2022 na fazenda Minas Gerais no município de Santa Maria Madalena, localizado na região Serrana do estado do Rio de Janeiro. O local possui coordenadas geográficas de 22° 16' 55" S e 42° 31' 52" W e altitude de 650 m. A região é classificada, segundo Köppen, como clima tropical com estação seca (Aw). Na Figura 1 é apresentada a localização dos blocos experimentais em área da Fazenda Minas Gerais, na qual também está localizada a fábrica da Cervejaria Buzzi, e na Figura 2 são apresentados os dados climáticos do local de estudo durante o período de condução do experimento.

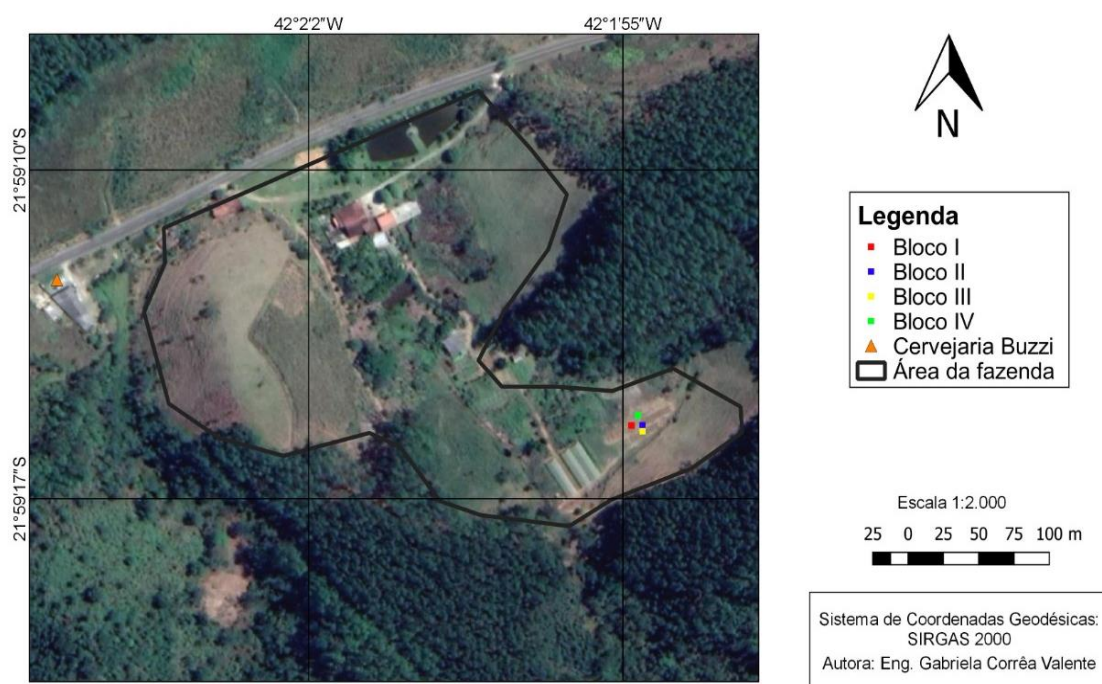
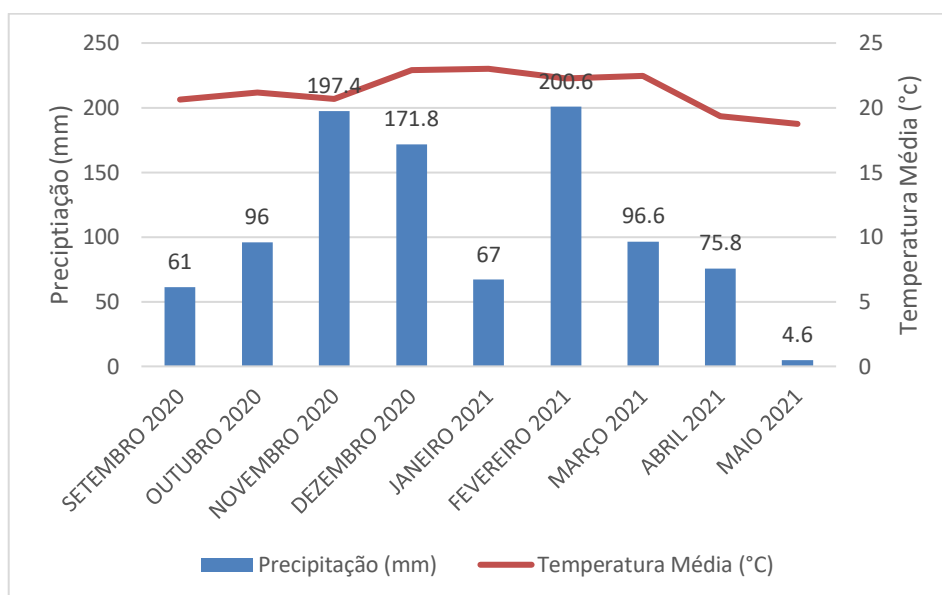


Figura 1. Localização da área experimental e da fábrica da Cervejaria Buzzi (elaborado no Quantum GIS). Fonte: Gabriela Corrêa Valente (2019).

3.4.2 Dados climáticos

A Figura 2 apresenta os dados de temperatura e precipitação mensais durante o período de realização do experimento.

A)



B)

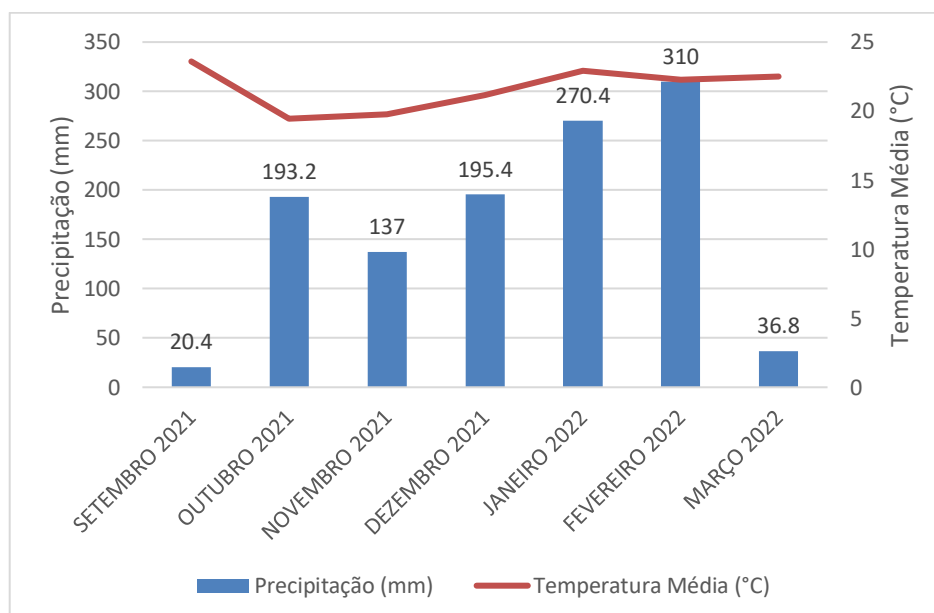


Figura 2. Dados de temperatura e precipitação mensais durante o período de cultivo do lúpulo (início do crescimento à colheita) do 1º ciclo (A) e do 2º ciclo (B) do experimento. Fonte: Inmet (2022).

3.4.3 Delineamento experimental

O experimento foi realizado em delineamento em blocos casualizados (DBC), em esquema de análise conjunta entre safras com quatro repetições. Os fatores foram formados por cultivares, totalizando oito, e safras, correspondente aos anos agrícolas 2020/2021 e 2021/2022. Cada parcela foi constituída por cinco plantas, sendo duas úteis e três utilizadas como bordadura, com espaçamento 1,0 m entre plantas e de 3,0 m entre linhas de plantio, totalizando 160 plantas, equivalente a uma densidade de 3.333 plantas ha⁻¹ (Figura 3).

3.4.4 Implantação e condução do experimento

Inicialmente, em setembro de 2019, foi realizada a coleta de amostras de terra para análise da fertilidade química do solo. A partir disso, o preparo do solo foi feito com uma aração e gradagem, e adubação corretiva foi incorporada na área total com base nos resultados da análise inicial (Tabela 4), utilizando 2,5 Mg de calcário agrícola ha^{-1} (PRNT 76%); 625 kg de gesso agrícola ha^{-1} ; 208 kg de fosfato natural de rocha ha^{-1} (20% P_2O_5); e 625 kg de cinzas da caldeira da cervejaria ha^{-1} .

Assim, e tendo por base a recomendação de 230 kg de N total ha^{-1} , 120 kg de P_2O_5 ha^{-1} e 130 kg de K_2O ha^{-1} , na adubação de plantio, realizada em 07/08/2020, foi aplicado em cada cova (dimensões de 0,4 x 0,4 x 0,4 m) 1,0 kg de composto fermentado (5,7% N); 0,20 kg de termofosfato (Yoorin master® 17,5% de P_2O_5) e 0,03 kg planta⁻¹ de sulfato de potássio (Paulivida® 50% de K_2O).

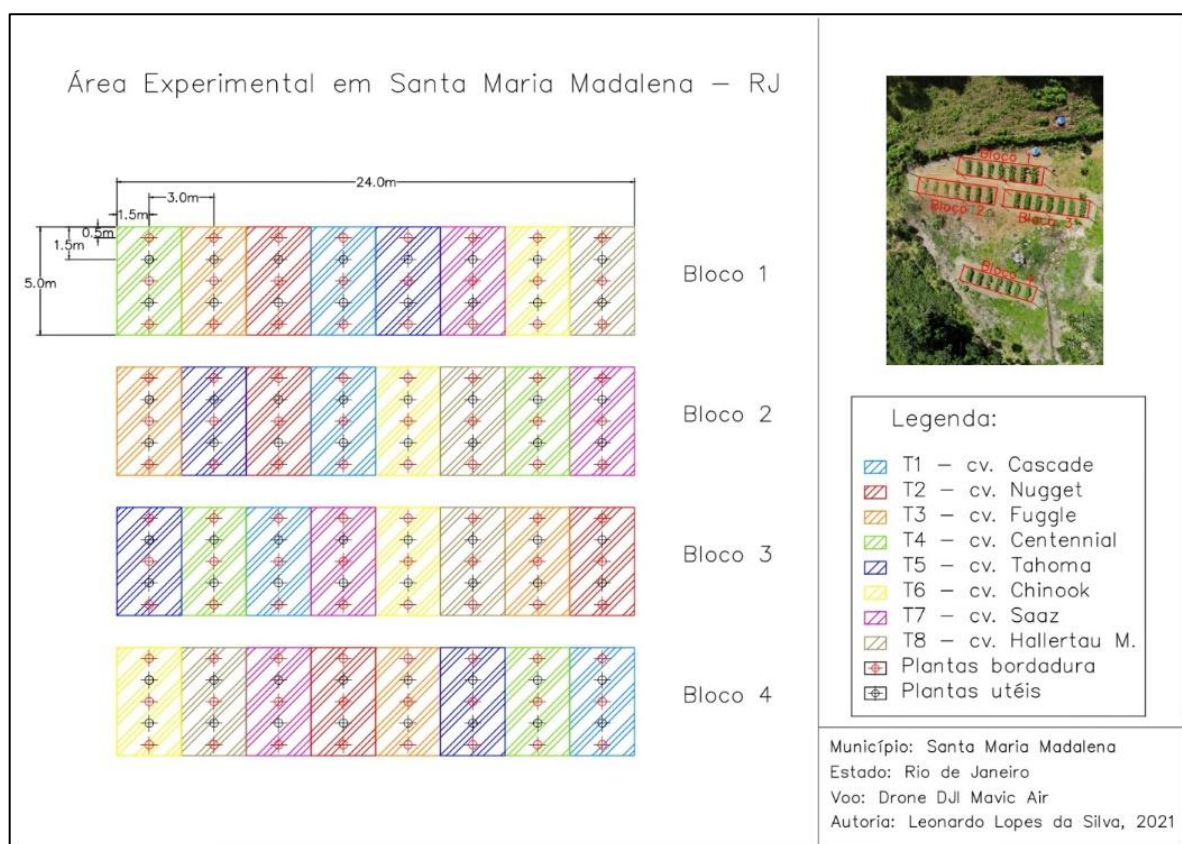


Figura 3. Croqui da área experimental (elaborado no Quantum GIS). Fonte: O autor (2021).

O plantio das mudas ocorreu em 15/08/2020 e com sete dias após o plantio (DAP) realizou-se uma poda da parte aérea de todas as plantas, com intuito de uniformizar a brotação dos novos ramos. O sistema de condução das plantas foi implantado em treliças altas, com tutoramento das plantas em dupla haste de sisal (sistema em “V”), com dois ramos por haste com cinco metros de altura. As demais brotações emergentes foram podadas no momento de condução dos ramos selecionados. A irrigação adotada foi por sistema de gotejamento, com fornecimento de água sempre que necessário, a partir de uma linha de fita gotejadora em cada linha de plantio, com espaçamento entre os emissores de 0,2m.

A segunda e terceira dose da adubação nitrogenada foi realizada em cobertura com composto fermentado aos 40 e 55 DAP, respectivamente, utilizando 0,5 kg de composto por

planta. Por sua vez, a adubação potássica foi complementada com mais duas doses em cobertura de 0,025 kg de sulfato de potássio aos 65 e 80 DAP.

Após o término do primeiro ciclo de cultivo (maio de 2021) foi realizada nova coleta e análise da fertilidade química do solo (Tabela 4). Em seguida foi realizada a aplicação de 1,0 Mg de calcário agrícola ha⁻¹ (PRNT 76%), no dia 21/06/2021, antecedendo 60 dias do início da brotação das plantas de lúpulo da segunda safra.

Tabela 4. Resultado da análise físico-química do solo na área experimental na primeira e na segunda safra, nas profundidades de 0 a 20 cm e de 20 a 40 cm. Santa Maria Madalena, RJ.

Prof. cm	pH H ₂ O	1º ciclo de cultivo (safra 2020/2021)					
		Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H+Al	P	K ⁺
		----- cmolc dm ⁻³ -----				----- mg dm ⁻³ -----	
0-20	4,9	0,2	0,5	0,9	4,6	1,6	33
20-40	4,8	0,2	0,4	1,3	5,4	1,3	21
2º ciclo de cultivo (safra 2021/2022)							
0-20	6,4	2,6	1,0	0,0	1,9	22,0	112
20-40	6,0	2,0	0,8	0,3	2,3	20,2	98

Na segunda safra a primeira adubação em cobertura com composto fermentado foi realizada no dia 25/08/2021. As plantas iniciaram a emergência dos brotos com aproximadamente 15 dias após esta adubação, contudo, apresentando crescimento vegetativo bastante desuniforme entre os cultivares. Desse modo, no dia 17/09/2021 foi realizada uma poda de uniformização das plantas, em todos os cultivares. Após 25 e 40 dias dessa poda foram aplicadas em cobertura mais duas doses de adubo com composto fermentado, utilizando 1 kg planta⁻¹.

A adubação fosfatada, com termofosfato (17,5% de P₂O₅) e fosfato natural de rocha (20% P₂O₅), também foi realizada em cobertura e no dia 25/08/2021, utilizando 0,2 kg e 0,1 kg planta⁻¹, respectivamente. A adubação potássica, com sulfato de potássio (50% de K₂O) foi realizada em cobertura, parceladas em duas épocas: aos 40 e 70 dias após a poda, com 0,04 kg planta⁻¹.

Foram realizados tratos culturais durante a condução do experimento, sendo realizado o controle de plantas espontâneas através de roçadas nas entrelinhas de plantio, e capinas e arranquio nas linhas de lúpulo, conforme necessidade. O controle de pragas ocorreu em diversos momentos, utilizando produtos biológicos permitidos na legislação da agricultura orgânica no Brasil, sendo eles o BMBIO[®] (*Beauveria bassiana* + *metarhizium*) para controle do ácaro rajado (*Tetranychus urticae*), vaquinhas (*Diabrotica speciosa*) e cigarrinhas (*Empoasca fabae*), e o BACILLUSBIO[®] (*Bacillus thuringiensis*) para controle de lagartas (*Spodoptera* spp.). Além disso, foi realizado um monitoramento a campo da infestação do ácaro rajado nos cultivares de lúpulo durante o período vegetativo das plantas na primeira safra, sendo que, por questões de limitação de mão de obra operacional, naquele momento optou-se pela não continuidade do monitoramento para a segunda safra do estudo. Conforme metodologia empregada por Fernandez (2020) foram realizadas coletas quinzenais de folhas para, posteriormente, realizar a contagem dos ácaros em laboratório sob estereomicroscópio, de forma a determinar os níveis de infestação.

3.4.5 Preparo do composto farelado fermentado

Para o processo fermentativo do composto utilizou-se no produto comercial Embiotic® (*Lactobacillus plantarum* 10^4 UFC/ml e *Saccharomyces cerevisiae* 10^3 UFC/ml), inoculante líquido concentrado com um conjunto de microrganismos que foram ativados por meio da transferência do produto comercial para solução aquosa de açúcar mascavo, obedecendo às proporções de 80% de água destilada, 10% de açúcar mascavo e 10% do inóculo microbiano. Em seguida, a suspensão obtida foi mantida em garrafas plásticas vedadas por um período de sete dias até sua aplicação no processo de confecção do composto.

A confecção do composto fermentado foi realizada na Fazenda Minas Gerais, local do experimento (Figura 4), utilizando as seguintes matérias-primas: farelo de trigo (FT), bagaço de malte (BM) e farelo de mamona (FM), na proporção 15:45:40, respectivamente. As proporções das matérias-primas citadas foram calculadas com base em matéria seca, seguindo protocolo de adoção de uma combinação de farelos de alta relação C/N (FT e BM) com um de baixa relação C/N (FM).

A alta umidade comumente encontrada no bagaço de malte fresco, subproduto obtido logo após ser utilizado no processo (Tabela 5), é inadequada para uso imediato na preparação do composto fermentado. Para dirimir esse problema retirou-se o excesso de água gravitacional do bagaço por escoamento por dois dias antes do processo de mistura das matérias-primas, acondicionando-o em um recipiente plástico (bombona) com furos no fundo realizados com auxílio de uma furadeira.

Em seguida os materiais (FT + BM + FM) foram misturados e inoculados com a suspensão ativada de Embiotic® e água. Após a homogeneização, a mistura obtida foi acondicionada e compactada em bombonas plásticas de 200 dm³, que foram fechadas, de forma a estabelecer ambiente microaerofílico para a fermentação da mistura durante 21 dias em temperatura ambiente.



Figura 4. Processo de preparo do composto fermentado: (A) Preparo da mistura FT + BM + FM; (B) inoculantes microbianos ativados; e (C) bombona plástica aberta após permanecer 21 dias em condição microaerofílica.

A Tabela 5 apresenta os resultados das análises dos teores de umidade, carbono e nitrogênio e a relação C/N das matérias-primas utilizadas no preparo do composto, avaliadas separadamente antes do seu preparo, assim como da mistura logo depois de inoculada com o Embiotic® ativado. As determinações foram realizadas na Embrapa Agrobiologia.

Tabela 5. Teores de umidade, carbono (C), nitrogênio (N) e relação C:N das matérias-primas e da formulação recém inoculada utilizada na confecção do composto fermentado.

Matéria-prima	C [%]	N [%]	C:N	Umidade [%]
Bagaço de malte (BM)	44,64	3,24	13,77	73,7
Farelo de mamona (FM)	40,78	9,95	4,10	8,69
Farelo de trigo (FT)	43,29	2,68	16,14	10,5
Formulação (FT+BM+FM) inoculada				
15:45:40	41,21	5,76	7,15	38,80

3.4.6. Variáveis fitotécnicas avaliadas

Foram avaliadas características vegetativas, componentes de produção e características fitoquímicas de cones, em duas safras agrícolas (2020/2021 e 2021/2022), sendo elas:

- Altura de planta (m): medida da base do caule até a última gema do ramo principal, com auxílio de trena, após a colheita da planta;
- Comprimento de ramos laterais (cm): medida da base do ramo lateral até a ponta do ramo, com auxílio de trena;
- Número de ramos laterais (unidade): medida da quantidade de ramos laterais (secundários) por planta;
- Número de cones (unidade): medida da quantidade de cones colhidos por planta;
- Produção de Fitomassa fresca de cone (g planta^{-1}): medida do peso fresco (úmido) de cones colhidos por planta, determinado após a colheita, a partir de uma balança analítica;

Os valores obtidos para cada planta útil foram utilizados para se ter os valores médios referentes a cada parcela experimental.

3.4.7. Rendimento dos α e β ácidos das inflorescências do lúpulo

Para determinar o ponto de colheita foi utilizado um teste de maturidade de cones. Nesse teste coletou-se uma amostra de 10 cones frescos, por parcela experimental, para determinação do teor de umidade utilizando-se um forno micro-ondas para secagem até os cones atingirem um peso constante. Após esse procedimento realizou-se os cálculos para o teor de matéria seca (MS) das amostras, a partir da Equação 1:

$$\% \text{ MS} = (\text{Peso constante dos cones (g)} \times 100) / \text{Peso dos cones frescos (g)} \quad (1)$$

Com os resultados de MS das amostras obtidas no teste anterior e com as mesmas estando dentro da faixa de MS recomendada, entre 21 a 25% (FONSECA et al., 2022), realizou-se a colheita dos cones do experimento. A partir disso, o material foi pesado e levado à estufa de circulação de ar forçado, com temperatura de 35°C por 24 h ou até a obtenção de 10% de umidade (90% de MS). A determinação da umidade dos cones foi realizada a partir da Equação 2:

$$\text{Peso (g)} = (\% \text{ de MS da colheita} \times \text{peso fresco (g)}) / 90\% \quad (2)$$

Após esse procedimento as amostras de cones desidratados foram embaladas à vácuo e mantidas refrigeradas à -2 °C. Posteriormente, as amostras foram encaminhadas para avaliação dos compostos químicos no laboratório de cromatografia da Embrapa Agroindústria de Alimentos. Devido não ter sido possível a coleta de amostras de lúpulo em quantidades

suficientes para determinações dos compostos químicos por repetição, juntou-se amostras das repetições, por cultivar, obtendo-se amostras compostas para análise em triplicata.

Os compostos químicos avaliados foram: α -ácidos totais (Cohumulona + n-Adhumulona), β -ácidos totais (Colupulona + n-Adlupulona) e $\alpha + \beta$ ácidos totais.

A análise dos compostos químicos presentes nos cones de lúpulo, principalmente as resinas constituídas pelos α e β -ácidos, é de fundamental importância para avaliação da qualidade do lúpulo e seu valor de mercado, sendo os α -ácidos representados pela humulona e seus homólogos, com destaque para a cohumulona e a adhumulona, enquanto que nos β -ácidos estão incluídos a lupulona e seus homólogos, com destaque para a colupulona e a adlupulona. Essas substâncias conferem o amargor característico da cerveja, proporcionam a estabilidade da espuma e poder de conservação, além de atuarem com propriedades antissépticas (DURELLO et al., 2019).

O método oficial de análise da American Society of Brewing Chemists (HOPS 14) utiliza 10 g de amostra para essa determinação. Com o objetivo de otimizar o método e reduzir a quantidade de amostra, as análises foram determinadas pelo método validado no Laboratório de Cromatografia Líquida da Embrapa Agroindústria de Alimentos, denominado Método Reduzido (MR), utilizando apenas 1 g de amostra triturada (SOUZA et al., 2021). A extração seguiu o mesmo procedimento do Método Oficial de extração da American Society of Brewing Chemists, (HOPS 14), em 30 min de extração em agitador orbital, contudo, os solventes foram reduzidos na mesma proporção (SOUZA et al., 2021).

Na preparação do padrão, a amostra de referência utilizada para os cálculos das concentrações de cohumulona, n- + ad-humulona, co-lupulona e n- + ad-lupulona foi o Extrato de Calibração Internacional (International Calibration Extract 4 - IEC-4) adquirida na American Society of Brewing Chemists) pelo Laboratório de Cromatografia Líquida da Embrapa Agroindústria de Alimentos. A amostra foi então preparada em triplicata dissolvendo-se 0,5 g do extrato em metanol, transferida para balão volumétrico (BV) de 100 ml e o volume foi ajustado com metanol. Posteriormente uma alíquota de 10 ml da solução foi transferida para um BV de 50 ml e o volume mais uma vez ajustado com metanol. Por fim, a solução foi centrifugada e inserida em vial (recipiente pequeno) para injeção no cromatógrafo (SOUZA et al., 2021).

3.4.8 Análise estatística

As pressuposições básicas para a realização da análise de variância (ANOVA) foram verificadas antes da realização da mesma (homocedasticidade e normalidade) e, posteriormente, quando houve significância entre níveis dos fatores avaliados pelo teste F da ANOVA, foi realizada a comparação de médias entre os níveis de safra pelo próprio teste F e entre os níveis dos cultivares pelo teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade de significância. As análises estatísticas foram realizadas por meio dos programas R (R CORE TEAM, 2022) e SISVAR (FERREIRA, 2011).

3.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.5.1 Características vegetativas e componentes de produção

Na cultura do lúpulo diversas características vegetativas de crescimento são apontadas como fundamentais na avaliação do rendimento da planta. Dentre elas, destaca-se os ramos laterais, com as respectivas quantidades e comprimentos e a altura de planta, ao passo que os parâmetros relacionados aos componentes de produção podem ser analisados por meio do número de cones e produção de fitomassa fresca de cones, entre outros (RYBAČEK, 1991). Essas características podem ser afetadas pelo sistema de manejo adotado, pelas condições edafoclimáticas que as plantas sejam submetidas, bem como podem variar conforme o cultivar analisado (DE KEUKELEIRE, 2007).

Para as variáveis altura, número de ramos laterais, número de cones e produção de fitomassa fresca de cones, a interação entre os fatores safra e cultivar não foi significativa ($p>0,05$), conforme pode ser verificado na Tabela 6, onde constam os valores das médias gerais respectivos para cada um desses parâmetros. Para o fator safra não houve diferença entre eles, demonstrando que os cultivares se desenvolveram da mesma forma nos dois ciclos produtivos. Quanto ao fator cultivar, Cascade proporcionou, com exceção do número de ramos laterais, os melhores resultados nas duas safras.

Apesar do comportamento semelhante estatisticamente para os componentes fitotécnicos dos cultivares em ambas as safras, observou-se uma duração distinta nos dois ciclos produtivos, o que pode estar atrelado aos registros de precipitação acumulada nas diferentes épocas, quando se observou valores inferiores na primeira safra, ocasionando maior duração do ciclo das plantas (Figura 2).

Em relação aos componentes fitotécnicos, para número de cones o Cascade produziu 71 e 930% a mais que Centennial e Saaz, respectivamente, ao passo que, para a produção de cones a superioridade do Cascade foi de 76 e 990 %, respectivamente.

Para a característica comprimento de ramos laterais houve efeito interativo entre os fatores safra e cultivar à $p>0,05$ (Tabela 7).

Em relação à altura de planta, o Cascade apresentou média geral estatisticamente superior aos demais cultivares. O sistema de treliças para sustentação das plantas foi projetado a 5 m de altura, garantindo que as plantas de lúpulo tivessem o máximo de suas folhas expostas à luminosidade. Os cultivares Cascade, Centennial e Saaz alcançaram o topo do sistema, obtendo valores de média geral de 6,03m, 5,43m e 5,13m, respectivamente, e foram os cultivares que produziram cones. Rossini et al. (2016) relataram a presença de variações na altura de plantas entre cultivares e relação positiva no rendimento das plantas. Os baixos valores encontrados para a característica altura nos demais cultivares podem estar atrelados à resposta ao fotoperíodo local, tornando-se um limitante para a produção desses cultivares na Região Serrana Fluminense sem o emprego de iluminação artificial suplementar.

Ainda em relação à altura, a média para os cultivares Saaz e Nugget de 3,86 m e 2,88 m, respectivamente foram superiores às encontradas por Gonsaga (2021) em estudo conduzido em Jaboticabal-SP. E, na região sul do país, estudo de Fagherazzi (2020) obteve maiores alturas de plantas para Cascade (5,13 m) entre os cultivares analisados, desempenho inferior ao encontrado no presente estudo para este cultivar (6,03 m). Já em relação à característica relacionada ao número de ramos laterais produzidos pelas plantas, destacaram-se os cultivares Cascade e Centennial, não sendo observadas diferenças estatísticas entre eles, com média geral de 8,13 e 7,06, respectivamente (Tabela 6).

A presença de ramos laterais indica potencial de produtividade de plantas de lúpulo, visto que deles surgem as inflorescências que irão gerar vários cones, diferentemente de plantas onde os cones surgem do ramo principal, geralmente em quantidade menor

(GONSAGA, 2021). Fato que se comprovou neste estudo, pois todas as plantas que produziram cones apresentaram ramos laterais, verificando-se ainda que os maiores valores médios para comprimento dos ramos laterais na primeira safra foram para os cultivares Cascade (162,75 cm) e Saaz (154,25 cm), sem diferenças significativas entre eles, conforme Tabela 7. Na segunda safra o Cascade obteve desempenho superior aos demais cultivares, com resultados de 116, 43 cm, apesar de ter diminuído seu desempenho em relação à safra anterior, assim como os cultivares Fuggle, Nugget e Saaz.

Em relação ao número de cones, apenas os cultivares Cascade, Saaz e Centennial apresentaram resultados, com média geral respectivamente de 162,88, 120,13 e 101,30 (Tabela 6), sendo o valor obtido para Cascade estatisticamente superior aos demais. Os cultivares Nugget, Fuggle, Tahoma, Chinook e Hallertau Mittelfruh não produziram cones nesse estudo, e Saaz não produziu cones na segunda safra.

As características altura de planta, comprimento de ramos laterais e número de ramos laterais de plantas de lúpulo podem variar de acordo com o cultivar, o clima e as condições de cultivo e afetar a produção de fitomassa fresca e produtividade de cones. Os cultivares de lúpulo com origem nos Estados Unidos, como Cascade, Centennial, Tahoma, Nugget e Chinook apresentam características agrônômicas como robustez, alto rendimento de cones, ramos laterais longos, sistema radicular vigoroso, e ampla faixa de adaptação a diferentes características físicas e químicas de solo, o que pode explicar o melhor desempenho de alguns desses cultivares, no caso Cascade e Centennial, para as características avaliadas nesse estudo. Por outro lado, cultivares europeus, como o Fuggle, Hallertau Mittelfruh e Saaz, possuem características como menor porte de planta, ramos laterais mais curtos, sistemas radiculares menores e mais finos, e adaptação inferior a diferentes condições edafoclimáticas e características físicas e químicas de solo (FERREIRA et al., 2019), o que pode explicar a baixa adaptação desses cultivares no local estudado.

Estudo de Krajl (1982), na Eslovênia, apontou uma correlação positiva entre a característica comprimento de ramos laterais e o rendimento de cones, enquanto Rigr et al.(1997) destacaram que os cultivares mais produtivos comumente caracterizavam-se por ramos laterais com mais de 100 cm. Nesse trabalho os cultivares que produziram cones na primeira safra exibiram valores médios de ramos laterais acima de 100 cm de comprimento, enquanto que na segunda safra apenas o Cascade obteve o mesmo feito.

Fortuna (2022), em Botucatu (SP), avaliou esta característica em cultivares de lúpulo em dois sistemas de cultivo, orgânico e convencional, obtendo valores médios para as plantas do cultivar Cascade de 58,6 cm e 37,8 cm, respectivamente, sendo esses valores inferiores ao encontrado no presente estudo, que foi de 162,7 cm na primeira safra e 116,4 cm na segunda. Este autor obteve ainda valores médios de ramos laterais respectivamente nos sistemas de cultivo orgânico e convencional de 50,9 cm e 39,7 cm para as plantas do cultivar Nugget, 63,9 cm e 52,3 cm para as de Chinook e 50,1 cm e 62,3 cm para as plantas de Hallertau Mittelfruh, respectivamente.

Conforme estudo de Rybaček (1991), a produtividade de plantas de lúpulo é determinada pela quantidade de cones e de sua matéria fresca, de modo que, considerando que plantas de alto rendimento exibem cones nos ramos laterais, quanto maior o número desses ramos e de seus comprimentos, maior é o potencial produtivo das plantas.

Rangel et al., (2021) avaliando o rendimento de cultivares relataram três cultivares que não produziram cones naquele estudo, enquanto em Simieli et al. (2021) os cultivares Cascade, Millenium e Chinook não apresentaram cones na primeira safra, e na segunda os cultivares Cascade e Chinook permaneceram sem produzi-los.

O lúpulo é uma planta sensível a dias curtos, com melhor eficiência de floração e produção de cones quando a planta recebe mais de 15 horas de luz durante o estágio vegetativo (KREBS, 2019). Quando o fotoperíodo é abaixo do ideal, como é o caso da região

desse estudo, pode acarretar em desenvolvimento vegetativo pouco vigoroso, com baixa formação de nós no caule e de parte aérea vegetal, com reduzida produtividade ou até mesmo com a inibição na formação de cones (JASTROMBEK et al., 2022).

Sugere-se que esta condição relatada, atrelada a constatação da presença de ácaro rajado (*Tetranychus urticae*) em todos os cultivares durante o período de crescimento vegetativo (MACHADO et al., 2022), tenha influenciado o desenvolvimento das plantas e seja a explicação para o não florescimento de alguns cultivares em ambas as safras. Embora o monitoramento não tenha sido aplicado na segunda safra, observou-se visualmente que sintomas do ataque de ácaros também ocorreram nas folhas de lúpulo de todos os cultivares.

Assim, o baixo crescimento vegetativo e, conseqüentemente, a indução da dormência antes que a floração dos cultivares Tahoma, Hallertau Mittelfruh, Fuggie, Nugget e Chinook ocorresse. Por sua vez, os cultivares Saaz, Centennial e Cascade, ainda que submetidos ao mesmo fotoperíodo, apresentaram respostas diferentes, tendo desenvolvido parte aérea necessária antes da indução ao florescimento, como pode ser visto nos valores de altura, quantidade e comprimento de ramos laterais para essas plantas, apesar dos valores de produção terem sido baixos, como pode ser observado para a característica número de cones.

O cultivar Saaz, embora tenha produzido cones na primeira safra, o valor médio para número de cones foram baixos, sendo 930% e 501% menor comparado com o que foi obtido respectivamente para os cultivares Cascade e Centennial, assim como para produção de fitomassa fresca de cones, em que o valor médio observado para Saaz foi 991% e 518% inferior ao verificado respectivamente para Cascade e Centennial.

Estudo de Gonsaga (2021) observou produção média de 52 cones planta⁻¹ para o cultivar Saaz, valor semelhante ao encontrado nesse trabalho. Enquanto que para o cultivar Cascade, Fagherazzi (2020) também encontrou resultado próximo ao obtido no presente estudo na primeira safra. Estudo de Ruth (2018) com cultivares de lúpulo em distintos ambientes descreveu uma diferença superior a 700 cones planta⁻¹ colhidos para o mesmo cultivar.

O cultivar Cascade se mostrou superior estatisticamente aos demais quanto à produção de fitomassa fresca de cones, com média geral de 110,25 g planta⁻¹ (Tabela 6).

De acordo com Great Lakes Hops (2018) e Dodds (2017), a produtividade do lúpulo na primeira safra é baixa, elevando-se nos anos seguintes, até atingir a maturidade e estabilidade, o que geralmente ocorre a partir do terceiro ano de cultivo. Além disso, como a produtividade está relacionada diretamente ao pleno atendimento da luminosidade exigida durante o crescimento vegetativo, alcançado por dias longos antes que a floração seja induzida. Como nesse trabalho não houve fornecimento suplementar de iluminação artificial, os resultados demonstram que o cultivo dessas plantas nas condições climáticas a que foram submetidas pode ser um limitante para diversos cultivares, incluindo as que produziram cones, visto que o rendimento foi parecido com a de outros estudos no Brasil, porém, inferior à produtividade em outros países que possuem fotoperíodo longo.

Estudando o desempenho agrônômico de 13 cultivares de lúpulo, Judd (2018) relatou diferenças de produção entre os genótipos, com destaque para o cultivar Cascade apresentando a maior média de produção, com valores de 945 g planta⁻¹, desempenho superior ao obtido nesse trabalho. Fagherazzi (2020), comparando a produção de cones por planta de Cascade em dois anos consecutivos, encontrou aumento de produção, sendo os valores na primeira safra semelhantes ao encontrado no presente trabalho. O estudo de Sasso (2021) encontrou produção média de 11,16 g planta⁻¹ de cones frescos para o cultivar Saaz e 8 g planta⁻¹ para o cultivar Cascade no primeiro ano de cultivo de lúpulo, enquanto Fortuna (2022), avaliando o desempenho de produção de fitomassa fresca de cones de Cascade em sistema orgânico e convencional, obteve valores médios de 940,4 e 433,91 g planta⁻¹, respectivamente.

Tabela 6. Médias gerais da altura de planta, número de ramos laterais, número de cones e produção de fitomassa fresca de cones dos cultivares de lúpulo nas safras 2020/2021 e 2021/2022, nas condições climáticas de Santa Maria Madalena, RJ.

Safr (S)	Componentes fitotécnicos			
	Altura de planta	Número de Ramos Laterais	Número de Cones	Produção de Fitomassa Fresca de Cones
	(m)	(und)	(und)	(g planta ⁻¹)
2020/2021	4,28 A	3,01 A	35,98 A	22,56 A
2021/2022	4,40 A	2,38 A	32,45 A	23,16 A
Cultivares (C)				
Centennial	5,43 B	7,06 A	95,00 B	62,50 B
Fuggle	3,68 D	0,42 C	0,00 C	0,00 C
Nugget	4,44 C	1,13 C	0,00 C	0,00 C
Cascade	6,03 A	8,13 A	162,8 A	110,2 A
Saaz	5,13 B	4,83 B	15,8 C	10,1 C
Tahoma	2,22 E	0,00 C	0,00 C	0,00 C
Chinook	4,05 C	0,00 C	0,00 C	0,00 C
Hallertau Mittelfruh	3,73 D	0,00 C	0,00 C	0,00 C
Interação (S x C)	0,313	0,188	0,139	0,236
CV (%)	13,12	62,44	61,70	66,19

Médias seguidas de letras iguais na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott no nível de 5% de probabilidade.

Tabela 7. Valores médios entre cultivares de lúpulo por safra e média das duas safras para característica Comprimento de ramos laterais nas condições climáticas de Santa Maria Madalena, RJ.

Cultivares	Comprimento de ramos laterais (cm planta ⁻¹)	
	Safras	
	2020/2021	2021/2022
Centennial	103,75 bA	98,88 bA
Fuggle	52,83 cA	0,00 cB
Nugget	79,88 bA	0,00 cB
Cascade	162,75 aA	116,43 aB
Saaz	154,25 aA	86,00 bB
Tahoma	0,00 dA	0,00 cA
Chinook	0,00 dA	0,00 cA
Hallertau Mittelfruh	0,00 dA	0,00 cA
CV%	46,81	

Médias seguidas de letras distintas, minúsculas na coluna (entre cultivares) e maiúsculas na linha (entre safras), diferem entre si pelo método de agrupamento de Scott-Knott e F da análise de variância a 5% de probabilidade, respectivamente.

3.5.2 Características dos compostos químicos das inflorescências

A maturidade fisiológica da planta e a estabilização dos compostos químicos dos cultivares ocorrem geralmente a partir do terceiro ano de produção (SIRRINE et al., 2015; ROSSINI et al., 2020). Além disso, outros fatores como condições edafoclimáticas, manejo, época de colheita e o armazenamento pós-colheita podem interferir na concentração desses compostos do lúpulo (PAVLOVIC et al., 2012; DURELLO et al., 2019; FORTUNA, 2022).

Na primeira safra (2020/2021) os cultivares que produziram cones foram Centennial, Cascade e Saaz, os quais foram analisados quanto aos teores químicos de suas resinas e os

resultados estão apresentados na Tabela 8, onde verifica-se que houve diferenças estatísticas entre os cultivares para todas as variáveis, exceto para os teores de Colupulona. Isso confirma a literatura que aponta que diferentes cultivares apresentam distintas concentrações de compostos químicos (PAVLOVIC et al., 2012). As concentrações de α e β ácidos encontrados nas plantas de Centennial, Cascade e Saaz ficaram abaixo das faixas observadas para esses cultivares quando produzidos em seus países de origem, exceto o teor de α - ácidos em Saaz, cujo valor obtido de 4,72 % está dentro da faixa de 3 - 6%, referente aos valores normalmente verificados para este cultivar quando produzido na República Tcheca, seu local de origem (WOODSKE, 2012, HOP VARIETIES, 2019).

Tabela 8. Valores médios entre cultivares de lúpulo na primeira safra (2020/2021) para as variáveis α -ácidos totais, cohumulona, n+ adhumulona, β -ácidos totais, colupulona, n+adlupulona, e $\alpha + \beta$ ácidos totais nas condições climáticas de Santa Maria Madalena, RJ.

Resinas Totais (%)							
Cultivar	α -ácidos			β -ácidos		$\alpha + \beta$ totais	
	α -ácidos totais	cohumulona	n + Adhumulona	β -ácidos totais	Colupulona	n + Adlupulona	
Centennial	4,211 a	1,22 a	2,89 b	1,65 b	0,91 a	0,74 b	5,76 b
Cascade	2,08 b	0,63 b	1,45 c	1,85 b	0,99 a	0,86 b	3,93 c
Saaz	4,72 a	1,11 a	3,62 a	2,29 a	1,10 a	1,18 a	7,01 a
CV (%)	10,29	9,79	10,57	7,74	8,7	6,84	9,38

Médias seguidas de letras distintas diferem entre si pelo método de agrupamento de Scott-Knott, a 5% de probabilidade.

Ainda em relação a primeira safra, os valores encontrados nesse estudo para α - ácidos e β ácidos no cultivar Cascade foram superiores aos obtidos em alguns trabalhos desenvolvidos no Brasil, como os de Fortuna (2022) e Fagherazzi (2020), que relataram valores de 0,43 % e 0,87% e 2,6% e 1,78%, respectivamente.

Apesar do desempenho igual ou superior estatisticamente aos demais cultivares para as variáveis fitoquímicas analisadas na primeira safra, as plantas de Saaz não produziram cones na segunda safra. Diante disso, considerando o desempenho satisfatório acerca dos α - ácidos obtidos nesse estudo na primeira safra, recomenda-se novos estudos fitotécnicos para ajustes de manejo específico para esse cultivar. Silva (2019) avaliando duas épocas de colheita de Saaz cultivado no Brasil obteve valores médios entre épocas de: 1,5%, 0,97%, 0,32%, 1,19%, 0,47% e 0,51%, respectivamente para α -ácidos, β -ácidos, Cohumulona, n+adhumulona, Colupulona e n+adlupulona.

Na segunda safra os cultivares Centennial e Cascade, mantiveram-se produtivos, permitindo então análise comparada entre safras das características químicas dos cones desses dois cultivares, verificando-se que para as variáveis Cohumulona, n+ Adhumulona, α -ácidos, Colupulona, n+Adlupulona, β -ácidos e $\alpha + \beta$ ácidos houve efeito interativo entre os fatores safra e cultivares a $p > 0,05$ (Tabela 9).

Observa-se na Tabela 9 que houve diferença estatística entre os cultivares para as variáveis Cohumulona, n+ Adhumulona, α -ácidos, n+Adlupulona e $\alpha + \beta$ ácidos, em ambas as safras avaliadas. Os valores médios de Cohumulona, n+adhumulona e α ácidos, aumentaram nas plantas do cultivar Cascade, enquanto que nas plantas do cultivar Centennial esses valores diminuíram na segunda safra. Fagherazzi (2020) encontrou valores médios de 0,59% de Cohumulona, 2% de n+adhumulona e 2,6% de α -ácidos para o cultivar Cascade, enquanto

Silva (2019) teores de 0,56%, 1,27% e 1,83%, respectivamente. Em ambos os estudos citados os valores foram inferiores aos encontrados nesse trabalho.

Em relação aos valores médios de n+Adlupulona nas plantas do cultivar Cascade verificou-se que em ambas as safras estes foram superiores estatisticamente aos observados nas plantas do cultivar Centennial, apesar do melhor desempenho destas na segunda safra. Por sua vez, em relação a variável $\alpha + \beta$ ácidos as plantas do cultivar Centennial tiveram desempenho estatisticamente superior as do cultivar Cascade na primeira safra, enquanto que na segunda safra essa relação se inverteu.

Por fim, para as variáveis Colupulona e β -ácidos não houve diferença estatística entre os cultivares na primeira safra, enquanto que na segunda safra as plantas do cultivar Cascade apresentaram melhor desempenho para essas variáveis, com valores médios de 2,12% e 3,93 %, respectivamente. Os valores de α e β ácidos do Centennial em ambas as safras foram inferiores aos obtidos no Nordeste do Brasil por Marques et al. (2023).

Apesar de ser esperado aumento dos teores de compostos químicos dos cones de uma safra em relação à anterior, até as plantas atingirem a maturidade fisiológica (SIRRINE et al., 2015; ROSSINI et al., 2020), comumente a partir do terceiro ano de produção, como foi observado nos valores médios de α -ácidos em Cascade e nos valores médios de β -ácidos em Cascade e Centennial, verificou-se comportamento diferente em relação aos valores médios de α -ácidos em Centennial, com redução dos teores na segunda safra.

As concentrações de α - ácidos encontrados nas plantas de Cascade, cujo valor obtido foi de 5,72%, ficaram dentro das faixas verificadas para esse cultivar quando cultivado em seu país de origem, referente a 4,5 - 7% (WOODSKE, 2012, HOP VARIETIES, 2019).

Ressalta-se que além da idade da planta, outros fatores podem ter influenciado os resultados obtidos nesse trabalho, como manejo, fatores climáticos e tempo de armazenamento das amostras até o momento da análise cromatográfica (PAVLOVIC et al., 2012; DURELLO et al., 2019).

Nas condições de manejo que as plantas foram submetidas a campo, embora se tenha verificado produtividade de cones 76 % maior para as plantas de Cascade, comparativamente às de Centennial (Tabela 6), o rendimento de α - ácidos nos cones das plantas de Cascade não teve a mesma tendência, sendo 98% inferior às de Centennial, ao passo que para β - ácidos os valores foram semelhantes nas plantas de ambos os cultivares.

Os valores de chuva acumulada durante o mês de colheita das safras avaliadas foram distintos (Figura 2). Na primeira safra foram coletados dados de 4,6 mm em maio, mês da colheita, e 75,8 mm no mês anterior, enquanto que na segunda safra, ocorrida no mês de março, observou-se 36,8 mm, e 310 mm no mês anterior. Dessa forma, as variações observadas nas concentrações desses compostos em uma mesma cultivar nas duas safras, podem estar relacionadas ao aumento de precipitações, conforme relatado na literatura (DE KEUKELEIRE et al., 2007; MOZNY et al., 2009; e SRECEC et al., 2011). Contudo, apesar da segunda safra ter apresentado os maiores índices pluviométricos quando comparada à primeira, os teores de α -ácidos nas plantas do cultivar Centennial não aumentaram.

As análises dos compostos químicos das amostras das duas safras foram realizadas em setembro de 2022. Desse modo, o tempo de armazenamento das amostras da primeira e da segunda safra foi de 16 e 6 meses, respectivamente. E de acordo com Fonseca et al. (2022), as amostras mantidas em ambiente refrigerado podem ter sua qualidade preservada por até 12 meses. Isto também pode explicar os teores menores de α -ácidos nas plantas do cultivar Centennial na primeira safra.

Tabela 9. Valores médios dos cultivares Centennial e Cascade nas safras de 2020/2021 e 2021/2022 para as variáveis α -ácidos totais, Cohumulona, n+ Adhumulona, β -ácidos totais, Colupulona, n+Adlupulona e α + β ácidos totais nas condições climáticas de Santa Maria Madalena, RJ.

Resinas Totais (%)		
Cultivar	Safras	
	2020/2021	2021/2022
α-ácidos totais (%)		
Centennial	4,11 aA	2,93 bB
Cascade	2,08 bB	5,72 aA
CV (%)	8,49	
cohumulona (%)		
Centennial	1,22 aA	0,92 bB
Cascade	0,63 bB	1,91 aA
CV (%)		
n+adhumulona (%)		
Centennial	2,89 aA	2,00 bB
Cascade	1,45 bB	3,80 aA
CV (%)	9,35	
β-ácidos totais (%)		
Centennial	1,65 aB	2,20 bA
Cascade	1,85 aB	3,93 aA
CV (%)	5,29	
colupulona (%)		
Centennial	0,91 aB	1,17 bA
Cascade	0,99 aB	2,12 aA
CV (%)	5,81	
n+adlupulona (%)		
Centennial	0,74 bB	1,04 bA
Cascade	0,86 aB	1,82 aA
CV (%)	4,71	
α-ácidos +β-ácidos totais (%)		
Centennial	5,76 aA	5,13 bA
Cascade	3,93 bB	9,65 aA
CV (%)	7,17	

Médias seguidas de letras distintas, minúsculas na coluna (entre cultivares) e maiúsculas na linha (entre safras), diferem entre si pelo método de agrupamento de Scott-Knott e F da análise de variância a 5% de probabilidade, respectivamente.

3.6 CONCLUSÕES

Nas condições ambientais do estudo de avaliação de cultivares de lúpulo, somente Cascade, Centennial e Saaz emitiram inflorescências.

O cultivar Cascade de lúpulo mostra desempenho fitotécnico superior aos demais cultivares avaliados no que se refere às características fitotécnicas altura de planta, número de cones e produção de fitomassa fresca de cones.

No que se refere ao rendimento fitoquímico das inflorescências de lúpulo, destaca-se que os valores de α - ácidos dos cultivares Saaz e Cascade encontram-se dentro de faixas reportadas em estudos conduzidos em regiões de condições de clima temperado.

3.7 APÊNDICES

Tabela 10. Resumo da análise de variância com Quadrados Médios das variáveis altura da planta (AP-m), número de ramos laterais (NRL-un.), comprimento de ramos laterais (CRL-m), número de cones (NCP-un.) e produção de fitomassa fresca de cones (PFFC-kg planta⁻¹) dos cultivares de lúpulo. Santa Maria Madalena, RJ.

FV	GL	Quadrados médios				
		Variáveis analisadas				
		AP	NRL	CRL	NCP	PFFC
Bloco (Safra)	6	0,54 ^(ns)	5,6 ^(ns)	316 ^(ns)	508 ^(ns)	255 ^(ns)
Cultivar	7	11,5 ^(*)	94,3 ^(*)	27017 ^(*)	30214 ^(*)	13695 ^(*)
Safra	1	0,2 ^(ns)	6,4 ^(ns)	15894 ^(*)	199 ^(ns)	5,7 ^(ns)
Cultivar*Safra	7	0,4 ^(ns)	4,3 ^(ns)	2300 ^(*)	750 ^(ns)	317 ^(ns)
Resíduo	42	0,3	2,8	625	445	228
Total corrigido	63					
CV (%)		13,1	62,4	46,8	61,7	66,2

* Significativo pelo teste F a 5% de probabilidade. n.s - não significativo.

Tabela 11. Resumo da análise de variância com Quadrados Médios das variáveis Cohumulona, n+ Adhumulona, α -ácidos, Colupulona, n+Adlupulona, β -ácidos e $\alpha + \beta$ ácidos dos cultivares na primeira safra (2020/2021). Santa Maria Madalena, RJ.

FV	GL	Quadrados médios						
		Variáveis analisadas						
		Cohumulona	n + Adhumulona	α -ácidos	Colupulona	n + Adlupulona	β -ácidos	Alfa+Beta
Tratamento	2	0,29 ^(*)	3,64 ^(*)	5,72 ^(*)	0,02 ^(ns)	0,15 ^(*)	0,31 ^(*)	7,1 ^(*)
Resíduo	6	0,009	0,78	0,14	0,007	0,004	0,02	0,3
Total corrigido	8							
CV (%)		9,8	10,6	10,3	8,7	6,8	7,7	9,4

Significativo pelo teste F a 5% de probabilidade. n.s - não significativo.

Tabela 12. Resumo da análise de variância com Quadrados Médios das variáveis Cohumulona, n+ Adhumulona, α -ácidos, Colupulona, n+Adlupulona, β -ácidos e $\alpha + \beta$ ácidos dos cultivares de lúpulo. Santa Maria Madalena, RJ.

FV	GL	Quadrados médios						
		Variáveis analisadas						
		Cohumulona	n + Adhumulona	α -ácidos	Colupulona	n + Adlupulona	β -ácidos	Alfa+Beta
Rep. (safra)	4	0,01 ^(ns)	0,08 ^(ns)	0,15 ^(ns)	0,01 ^(ns)	0,008 ^(ns)	0,04 ^(ns)	0,36 ^(ns)
Cultivar	1	0,11 ^(*)	0,09 ^(ns)	0,44 ^(ns)	0,80 ^(*)	0,60 ^(*)	2,78 ^(*)	5,44 ^(*)
Safra	1	0,73 ^(*)	1,60 ^(*)	4,51 ^(*)	1,44 ^(*)	1,19 ^(*)	5,20 ^(*)	19,4 ^(*)
Cultivar*Safra	1	1,86 ^(*)	7,82 ^(*)	17,4 ^(*)	0,57 ^(*)	0,32 ^(*)	1,76 ^(*)	30,2 ^(*)
Resíduo	4	0,007	0,05	0,09	0,005	0,002	0,01	0,19
Total corrigido	11							
CV (%)		7,17	9,35	8,49	5,81	4,71	5,29	7,17

Significativo pelo teste F a 5% de probabilidade. n.s - não significativo.

4. CAPÍTULO II

DESEMPENHO FITOTÉCNICO DE LÚPULO CV. CASCADE EM FUNÇÃO DE FERTILIZAÇÃO COM COMPOSTO FERMENTADO EM TERESÓPOLIS (RJ)

4.1 RESUMO

O lúpulo é uma planta trepadeira, da família Cannabaceae, sendo a espécie *Humulus lupulus* L. amplamente utilizada no processo de produção de cerveja. A espécie tem como característica crescimento acelerado e expressivo acúmulo de biomassa vegetal de parte aérea, podendo alcançar sete metros de altura em 90 dias, ocasionando alta demanda de nutrientes. No Brasil, as pesquisas voltadas a nutrição do lúpulo em sistemas agroecológicos são incipientes, sendo necessários estudos direcionados a avaliação da eficiência agrônômica dos fertilizantes orgânicos. A partir disso, objetivou-se avaliar o efeito da fertilização em cobertura com um composto farelado fermentado, formulado com bagaço de malte de cervejaria nos teores de nutrientes essenciais e no rendimento produtivo das inflorescências de lúpulo cv. Cascade, submetido a manejo agroecológico nas condições climáticas de Teresópolis (RJ). O experimento foi conduzido em condições de campo em safra única (2021/2022). O delineamento experimental foi em blocos casualizados com cinco tratamentos referentes as doses de composto fermentado (0, 2, 4, 8 e 16 Mg ha⁻¹), com quatro repetições. Em relação aos teores foliares dos nutrientes essenciais, com exceção do boro, os nutrientes potássio, zinco e manganês tiveram uma resposta crescente em função do aumento das doses de composto. A dose de 16 Mg de composto ha⁻¹ proporcionou os melhores resultados para as características fitotécnicas número de cones (639,13 cones planta⁻¹) e produção de fitomassa fresca (0,51 kg planta⁻¹), demonstrando a eficiência agrônômica dessa fonte de fertilização orgânica. Essas características fitotécnicas apresentaram aumento linear e proporcional à dose aplicada de composto fermentado até a dose aplicada equivalente à 16 Mg ha⁻¹, não obtendo um ponto de máxima, o que indica que a cultura não expressou o máximo potencial, sendo necessárias maiores dosagens do fertilizante para que isso ocorra.

Palavras chave: *Humulus lupulus*. Adubação orgânica. Produção.

4.2 ABSTRACT

Hops are a climbing plant from the Cannabaceae family, with the *Humulus lupulus* L. species being widely used in the beer production process. The species is characterized by accelerated growth and significant accumulation of aerial plant biomass, reaching seven meters in height in 90 days, causing a high demand for nutrients. In Brazil, research focused on hop nutrition in agroecological systems is incipient, requiring studies aimed at evaluating the agronomic efficiency of organic fertilizers. From this, the objective was to evaluate the effect of top dressing fertilization with a fermented mash compound, formulated with brewer's malt bagasse on the contents of essential nutrients and the productive yield of hop inflorescences cv. Cascade, subjected to agroecological management in the climatic conditions of Teresópolis (RJ). The experiment was conducted under field conditions in a single harvest (2021/2022). The experimental design was in randomized blocks with five treatments referring to doses of fermented compound (0, 2, 4, 8 and 16 Mg ha⁻¹), with four replications. In relation to the foliar contents of essential nutrients, with the exception of boron, the nutrients potassium, zinc and manganese had an increasing response due to the increase in compost doses. The dose of 16 Mg of compound ha⁻¹ provided the best results for the phytotechnical characteristics number of cones (639.13 cones plant⁻¹) and production of fresh biomass (0.51 kg plant⁻¹), demonstrating the agronomic efficiency of this source of organic fertilization. These phytotechnical characteristics showed a linear and proportional increase to the applied dose of fermented compound up to the applied dose equivalent to 16 Mg ha⁻¹, not reaching a maximum point, which indicates that the culture did not express its maximum potential, requiring higher dosages of fertilizer for this to happen.

Key words: *Humulus lupulus*. Organic fertilization. Production.

4.3 INTRODUÇÃO

O lúpulo é uma planta trepadeira, da família Cannabaceae, sendo a espécie *Humulus lupulus* L. amplamente utilizada no processo de produção de cerveja (DODDS, 2017). Devido ao rápido crescimento e expressivo acúmulo de biomassa vegetal na parte aérea, a espécie apresenta elevada demanda nutricional, tornando o manejo de nutrientes determinante para a manutenção da fertilidade do solo e a sustentabilidade da produção (RYBACEK, 1991; GINGRICH et al., 2000; DODDS, 2017; ISKRA et al., 2019; GENT et al., 2019). Entretanto, como o cultivo de lúpulo em escala comercial no Brasil é recente, ainda não existem programas de adubação para a cultura, sendo esta, comumente realizada empregando propostas de fertilização baseadas em recomendações consolidadas para outros países, e as exigências nutricionais do lúpulo variam dependendo do cultivar, do potencial de rendimento e da região de cultivo.

No manejo agroecológico a eficiência da fertilização relaciona-se ao emprego de fontes compatíveis com as demandas nutricionais dos cultivos, com destaque para o uso de compostos orgânicos fermentados, definidos como sendo uma técnica que envolve as misturas de farelos e inoculante microbiano, submetidas a processos fermentativos (PIAN, 2019). O composto farelado fermentado apresenta-se como excelente fertilizante orgânico, devido aos elevados teores de nutrientes em sua composição, atendendo culturas exigentes em nutrição, com recomendação de aplicação tanto no plantio quanto em fertilização de cobertura (PENTEADO, 2010).

O efeito da aplicação de diversos tipos de compostos farelados fermentados como fertilizantes orgânicos em outras culturas agrícolas foi observado em diferentes trabalhos, como os de Fonseca et al. (2014), Saiter et al. (2016) e Lima (2018), motivando estudos relativos a alternativas para atender às demandas nutricionais da cultura do lúpulo.

Na Região Serrana Fluminense observa-se iniciativas de cultivo, com destaque para o incremento da área de cultivo pelo Grupo Petrópolis, no município de Teresópolis, determinando a necessidade de estratégias de pesquisas sobre o manejo da cultura nessas condições edafoclimáticas a fim de otimizar sua produtividade, dentre as quais uma adequada fertilização. Nesse cenário, a utilização de resíduos de cervejaria, especialmente o bagaço de malte na confecção de compostos fermentados, pode ser promissora, devido a essa matéria-prima ser acessível localmente, gerando oportunidade como estratégia de economia circular, ao aproveitar esse resíduo da produção cervejeira na substituição a outros farelos vegetais, normalmente utilizados nessa forma de compostagem.

Nesse trabalho assume-se as seguintes hipóteses: a) A fertilização orgânica em cobertura utilizando um composto farelado fermentado, formulado com bagaço de malte de cervejaria, proporciona aumento no rendimento produtivo de inflorescências e nos teores foliares de nutrientes essenciais ao metabolismo do lúpulo cv. Cascade nas condições climáticas da região Serrana Fluminense; e b) Há um rendimento produtivo ótimo de inflorescências do lúpulo, cv. Cascade, alcançado em função de uma dose máxima de composto farelado fermentado, formulado com bagaço de malte de cervejaria aplicado em cobertura, em um sistema de manejo de base ecológica, nas condições climáticas da região serrana fluminense.

O objetivo foi avaliar o efeito da fertilização em cobertura com um composto farelado fermentado, formulado com bagaço de malte de cervejaria, nos teores de nutrientes essenciais e no rendimento produtivo das inflorescências de lúpulo cv. Cascade, submetido a manejo agroecológico nas condições climáticas de Teresópolis (RJ).

4.4. MATERIAL E MÉTODOS

4.4.1 Descrição do local de estudo

O ensaio de campo foi realizado em safra única (2021/2022) na fazenda São Francisco, do Grupo Petrópolis, localizada na Serra do Capim, no município de Teresópolis, na região Serrana do estado do Rio de Janeiro. O local possui coordenadas geográficas de 22° 24' 44" S e 42° 57' 59" W e altitude de 730 m. A região é classificada, segundo Köppen, como subtropical de altitude com inverno seco (Cwb).

A área de produção de lúpulo na fazenda do Grupo Petrópolis foi implantada em 2019, a partir do cultivo de diversas cultivares. A partir de 2021 foi selecionada uma gleba dentro da área produtiva de lúpulo na fazenda, na qual estava plantada o cultivar Cascade, e a partir de então foi implantado um delineamento experimental e conduzido o ensaio de campo com fertilização em cobertura com composto fermentado. A escolha por este cultivar para a pesquisa foi determinada a partir do primeiro experimento com cultivares de lúpulo (Capítulo I), onde o mesmo se mostrou promissor, além do cultivar estar entre os mais plantados entre os produtores fluminenses na ocasião do início deste estudo.

A Figura 5 apresenta a localização dos blocos experimentais na área da fazenda, como também a localização contígua a esta da fábrica da Cervejaria do Grupo Petrópolis.

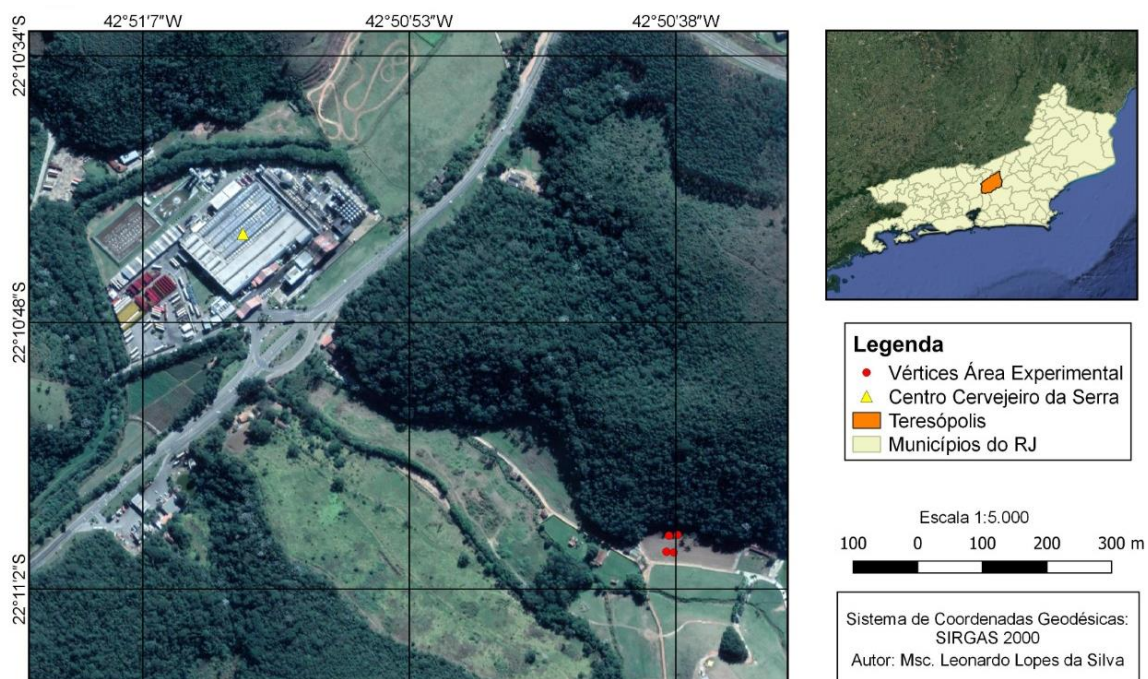


Figura 5. Localização da Área Experimental de lúpulo e da fábrica da cervejaria do Grupo Petrópolis (elaborado no Quantum GIS). Fonte: O autor (2021).

4.4.2 Dados climáticos

A Figura 6 apresenta os dados de temperatura e precipitação mensais durante o período de realização do experimento.

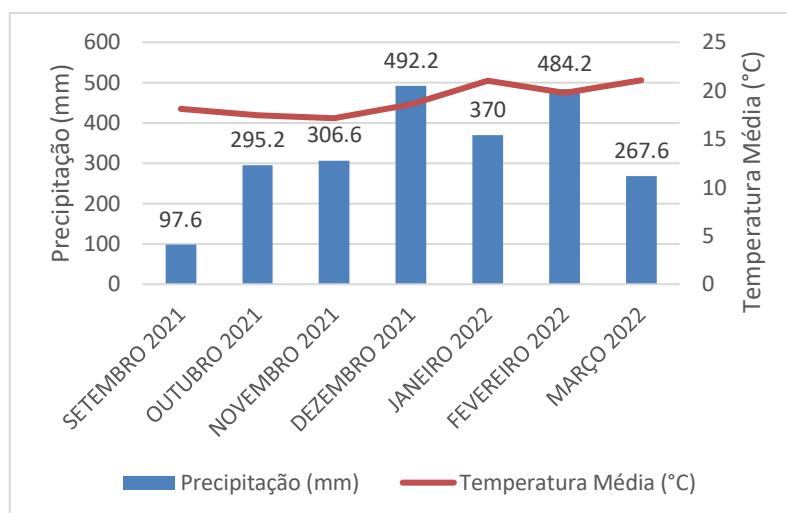


Figura 6. Dados de temperatura e precipitação mensais durante o período de realização do experimento (início do crescimento à colheita). As amostragens avaliadas foram realizadas no período de colheita dos cones. Fonte: Inmet (2022).

4.4.3 Delineamento experimental

O delineamento experimental foi em blocos casualizados com quatro repetições e cinco tratamentos referentes as doses do composto fermentado considerando o percentual de matéria seca (0, 2, 4, 8 e 16 Mg ha⁻¹).

Considerando as respectivas doses do composto, com exceção do controle (0), foram aplicados 83,6; 167,2; 334,4 e 668,8 kg de N total ha⁻¹. Além disso, foram aplicadas quantidades de P, K, Ca e Mg contidas no composto, equivalentes as doses de 9,2, 18,4, 36,8 e 73,6 kg de P ha⁻¹; 14,1, 28,2, 56,4 e 112,8 kg de K ha⁻¹; 11,9, 23,8, 47,6 e 95,3 kg de Ca ha⁻¹ e 6,1, 12,2, 24,4 e 48,8 kg de Mg ha⁻¹.

Cada parcela foi constituída por cinco plantas, sendo duas plantas úteis e três utilizadas como bordadura. O espaçamento adotado foi de 3,0 m entre as linhas de cultivo e 1,0 m entre plantas, totalizando 100 plantas na área experimental. O espaçamento em questão equivale a uma população de 3333 plantas ha⁻¹.

4.4.4 Condução do experimento

Anteriormente a condução do experimento, foram realizadas coletas de terra na área experimental para análise de fertilidade na camada de 0-20 cm de profundidade. Os resultados analíticos referentes as análises química e físico-química do solo são apresentados na tabela 19.

No dia 28 de setembro de 2021 realizou-se poda das plantas rente à superfície do solo de todos os brotos emergentes pós-dormência, no intuito de uniformizar a brotação dos ramos. Além disso, esse manejo de podas confere a eliminação de ramos ladrões e favorece o desenvolvimento de novos ramos mais vigorosos.

Tabela 13. Resultado da análise físico-químico do solo na área experimental de lúpulo, na profundidade de 0 a 20 cm.

Prof. cm	pH H ₂ O	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H+Al	Na ⁺	K ⁺	P
		cmolc dm ⁻³			cmolc dm ⁻³		mmolc dm ⁻³	mg dm ⁻³
0-20	5,7	2,85	1,05	0,03	4,55	0,13	3,49	31

A adubação em cobertura, considerando os teores de 41% de umidade do composto fermentado, foi parcelada em três épocas para cada tratamento, ocorrendo aos 10, 55 e 85 dias após a poda (DAP). Em cada aplicação utilizou-se as doses de 0, 340, 680, 1.360 e 2.720 g planta⁻¹, considerando a progressão das doses, respectivamente. Aplicou-se também 600 g planta⁻¹ de Ekosil® (8% de K₂O total), parcelado em duas aplicações de 300g, em todas as plantas, inclusive nas bordaduras, equivalente a 160 kg de K₂O ha⁻¹, sendo realizada aos 10 e 55 DAP, respectivamente. O fósforo foi aplicado na dose de 150 g planta⁻¹ utilizando como fonte a farinha de osso (16% de P₂O₅ total), equivalente a 80 kg de P₂O₅ ha⁻¹, aos 10 DAP.

O sistema de condução das plantas foi em treliças altas, com tutoramento em dupla haste de sisal (sistema em “V”), com dois ramos por haste e seis metros de altura. As demais brotações emergentes foram podadas no momento de condução dos dois ramos selecionados. A irrigação adotada foi por sistema de gotejamento, com fornecimento de água sempre que necessário, a partir de uma linha de fita gotejadora em cada linha de plantio, com espaçamento entre os emissores de 0,2m.

Foram realizados tratos culturais durante a condução do experimento, destacando-se o controle de plantas espontâneas por meio de roçadas nas entrelinhas de plantio e capinas nas linhas de lúpulo, conforme necessidade. O controle de pragas, especificamente o ácaro rajado (*Tetranychus urticae*), ocorreu em diversos momentos, empregando o produto comercial Auin® (*Beauveria bassiana* isolado IBCB 66), permitido pela legislação brasileira da agricultura orgânica.

A colheita do experimento foi escalonada, em duas épocas, sendo a primeira colheita no dia 22/02/2022, com o uso de escada, colhendo cone a cone no ponto de maturação de modo manual, e a segunda colheita aos 20 dias após a primeira, realizada a partir do corte raso e integral da parte aérea das plantas no campo para posterior separação dos cones em galpão da fazenda (Figura 7).



Figura 7. (A) Colheita manual do lúpulo com auxílio de escada e (B) cones colhidos e separados por tratamentos.

4.4.5 Preparo do inoculante e do composto farelado fermentado

Para a inoculação do composto orgânico utilizou-se *Lactobacillus plantarum* 10⁴ UFC/ml e *Saccharomyces cerevisiae* 10³ UFC/ml, ambos contidos no produto comercial Embiotic®. Antes da inoculação foi utilizado procedimento de ativação dos microrganismos, por meio da transferência dos inóculos concentrados para solução aquosa de açúcar mascavo, obedecendo as proporções de 80% de água destilada, 10% de açúcar mascavo e 10% de

inóculo microbiano. Em seguida, essas suspensões foram mantidas em garrafas plásticas vedadas por um período de sete dias até sua utilização no processo de confecção do composto.

A confecção do composto fermentado foi realizada em uma área da fazenda, utilizando as seguintes matérias-primas: bagaço de cevada e torta de mamona, na proporção 60%:40%, respectivamente (Figura 8). As proporções dos resíduos citados foram calculados com base em matéria seca, seguindo protocolo de adoção de uma combinação de fontes energéticas e fontes complementares. Desse modo, como fonte de carboidratos usou-se o bagaço de cevada e como fonte complementar a torta de mamona.

Uma amostra do composto foi avaliada quanto aos teores de nutrientes e a relação C/N, sendo as determinações realizadas em laboratório na Embrapa Agrobiologia. Os resultados foram: 436g de C kg⁻¹; 41,8g de N kg⁻¹; 5,96g de Ca kg⁻¹; 7,08g de K kg⁻¹; 4,61g de P kg⁻¹; 3,04g de Mg kg⁻¹; e 10,34 (relação C/N). Em seguida, os resíduos foram misturados e inoculados com as suspensões ativadas de Embiotic® e água. Após a homogeneização, o composto orgânico foi compactado em uma caixa d'água com capacidade para 1000 dm³, posteriormente vedada, cujo composto foi mantido em condições microaerófilas por um período de 21 dias.



Figura 8. (A) Mistura dos farelos na betoneira; (B) diluição dos inoculantes microbianos ativados em bombona plástica com água; e (C) composto orgânico compactado em caixa d'água para fermentação por 21 dias nas condições anaeróbicas e a temperatura ambiente.

4.4.6 Características avaliadas

Neste experimento, para a caracterização produtiva das plantas, os seguintes componentes de produção foram avaliados:

- Número de cones (unidade planta⁻¹): medida da quantidade de cones colhidos por planta;
- Produção de fitomassa fresca de cone (kg planta⁻¹): peso fresco (úmido) de cones colhidos por planta, determinado após a colheita, por meio de uma balança analítica;
- Produção de fitomassa fresca de planta (kg planta⁻¹): análise com balança eletrônica de alta precisão, pesando-se a planta toda sem os cones;
- Produção de fitomassa seca de planta (kg planta⁻¹): análise com balança eletrônica de alta precisão, pesando-se uma subamostra de planta por parcela sem os cones, após secagem a 65° C até atingir massa constante (ROSSINI et al., 2016; FAGHERAZI, 2020; GONSAGA, 2021).

Para caracterização do estado nutricional nos tecidos foliares das plantas foram avaliados os seguintes nutrientes: N, P, K, Ca, Mg, S, Fe, Cu, Zn, Mn, B.

Em relação à amostragem, a coleta de tecido foliar foi realizada aos 120 DAP, quando foram coletadas 15 folhas pecioladas de cada planta da área útil (02 plantas úteis x 15 folhas = 30 folhas por amostra em cada parcela), totalizando 600 folhas (20 parcelas x 30 folhas). O critério adotado nessa amostragem foi com base em folhas pecioladas totalmente expandidas, localizadas no caule principal e imediatamente abaixo da 1ª inflorescência da planta (GINGRICH et al., 2000), conforme Figura 9.

Após secas e moídas, as amostras foram enviadas a laboratório da FUNDENOR (Fundação Norte Fluminense de Desenvolvimento Regional) e analisadas quanto aos teores de nutrientes, a partir do método de Bremner e Mulvaney (1982) para nitrogênio; método de digestão nítrico-perclórica para fósforo e potássio; por análises em espectrofotometria de absorção atômica, depois da digestão nítrico-perclórica para cálcio e magnésio (BATAGLIA et al., 1983), método por turbidimetria depois da digestão nítrico-perclórica para enxofre, método por espectrometria de absorção atômica para ferro, cobre, zinco e manganês; e por colorimetria para boro. O acúmulo de nutrientes foi obtido pelo produto da massa de matéria seca com o teor do nutriente no tecido das plantas.



Figura 9. (A) Amostragem de folhas por parcela experimental e (B) detalhe de folha peciolada, localizada no caule principal e imediatamente abaixo da 1ª inflorescência da planta. Teresópolis, RJ.

Para caracterização da fertilidade do solo foram avaliados os seguintes elementos: fósforo e potássio disponíveis, cálcio e magnésio trocáveis, além do pH. Foram realizadas duas coletas de terra para análise de nutrientes contidos nas amostras compostas de cada parcela do experimento, na camada de 0-20 cm de profundidade. A primeira coleta foi realizada aos 15 dias após a primeira adubação e a segunda coleta aos 15 dias após a terceira adubação. As amostras foram analisadas em laboratório da FUNDENOR e os resultados obtidos foram determinados segundo metodologia de Donagema et al. (2011). A figura 10 mostra a etapa de coleta de terra para análise química do solo. Todas as avaliações foram analisadas em função das doses de adubação, conforme já descrito acima.

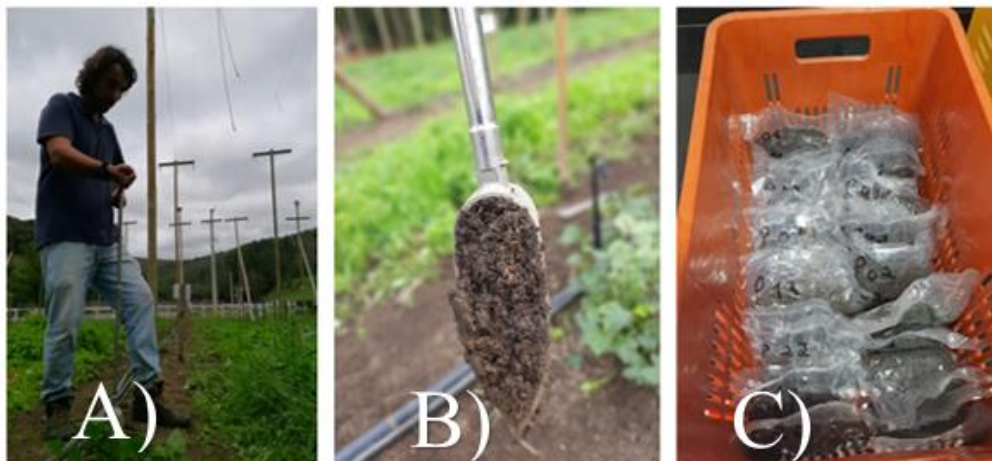


Figura 10. (A) Amostragem de pontos na parcela experimental; (B) coleta de terra com auxílio de trado tipo holandês; e (C) amostras devidamente identificadas e prontas para envio para análise. Teresópolis, RJ.

4.4.7 Análise estatística

Os dados obtidos nos tratamentos para todas as características avaliadas foram comparados pelo teste F da análise de variância (ANAVA) e por modelos de regressão, a 5% e 10% de probabilidade, por meio dos programas R (R CORE TEAM, 2022) e Sisvar (FERREIRA, 2011).

4.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.5.1 Características químicas do solo em função das doses aplicadas de composto fermentado

Foram observados efeitos significativos das doses de composto fermentado para os teores de P, K⁺, e Mg²⁺ do solo na produção do lúpulo cv. Cascade, no qual o modelo linear crescente proporcionou o melhor ajuste dos dados para os teores de fósforo disponível e potássio trocável, ao passo que, para os teores de magnésio trocável, o modelo quadrático foi o mais adequado (Figuras 11, 12, e 13).

Embora tenha sido aplicado quantidades de fósforo, potássio, cálcio e magnésio no solo via composto, para o cálcio não foi observado efeito significativo em função das doses na análise química da terra, ou seja, um aumento gradual desse nutriente no solo. A explicação pode ser devido a adubação ter sido superficial (aproximadamente 5 cm), ao passo que, a amostragem foi de 0 a 20 cm de profundidade, de modo que pode ter ocorrido efeito de diluição de nutrientes, não representando a evolução do nutriente no solo.

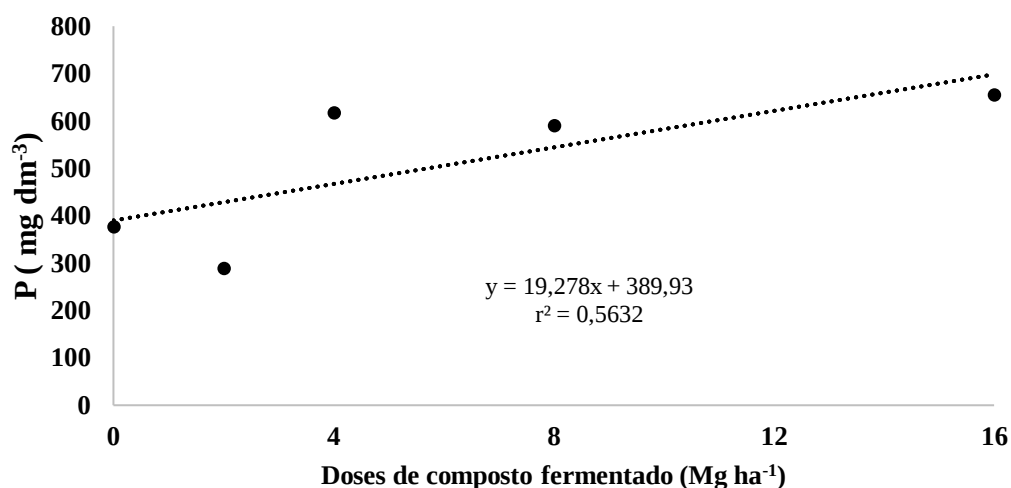


Figura 11. Teores de Fósforo em solo cultivado com lúpulo em função das doses de composto fermentado em cobertura. Teresópolis, RJ. Análise de regressão considerando o nível de significância de 10% de probabilidade.

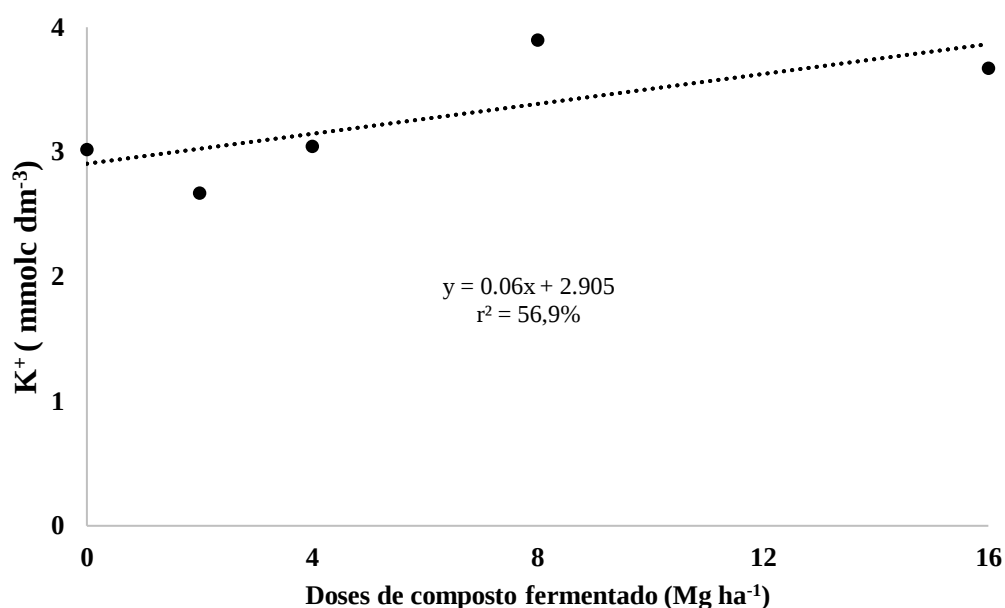


Figura 12. Teores de Potássio em solo cultivado com lúpulo em função das doses de composto fermentado em cobertura. Teresópolis, RJ. Análise de regressão considerando o nível de significância de 5% de probabilidade.

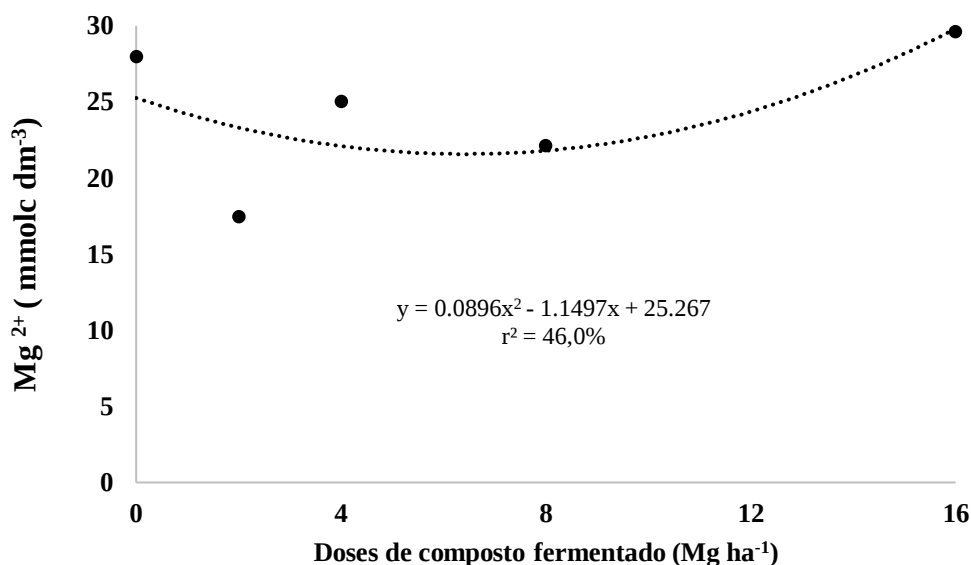


Figura 13. Teores de Magnésio em solo cultivado com lúpulo em função das doses de composto fermentado em cobertura. Teresópolis, RJ. Análise de regressão considerando o nível de significância de 5% de probabilidade.

4.5.2 Teores de nutrientes nas folhas do lúpulo em função das doses aplicadas de composto fermentado

Foram constatados efeitos significativos das doses de composto fermentado a 5% de probabilidade para as variáveis Potássio, Boro, Zinco e Manganês nos tecidos vegetais do lúpulo cv. Cascade, no qual o modelo linear proporcionou o melhor ajuste dos dados. Com exceção do Boro, os nutrientes Potássio, Zinco e Manganês tiveram uma resposta crescente

em função do aumento das doses de composto (Figura 14, 15, 16 e 17). No caso do Boro, possivelmente pode ter ocorrido uma competição com outros micronutrientes, limitando a absorção do boro no tecido vegetal à medida que foi aumentando as doses do composto fermentado.

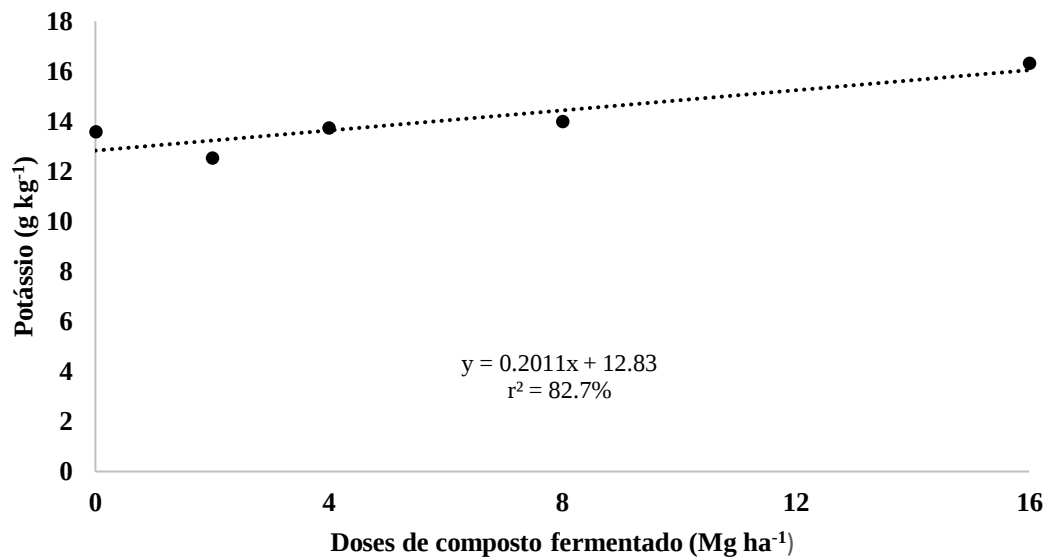


Figura 14. Teores de potássio em folhas de lúpulo Cv. Cascade em função das doses de composto fermentado em cobertura em Teresópolis, RJ. Análise de regressão considerando o nível de significância de 5% de probabilidade.

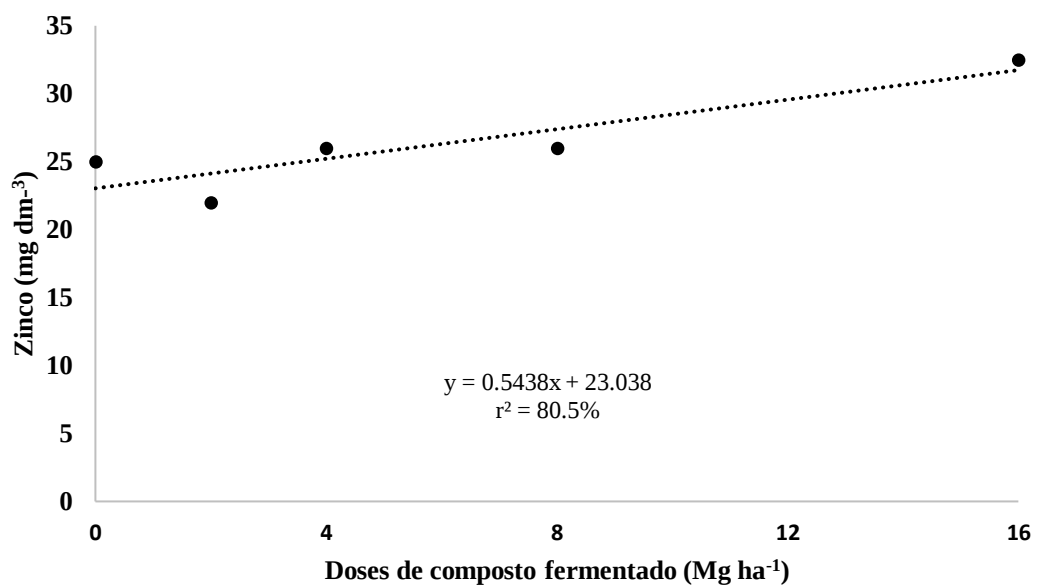


Figura 15. Teores de zinco em folhas de lúpulo Cv. Cascade em função das doses de composto fermentado em cobertura em Teresópolis, RJ. Análise de regressão considerando o nível de significância de 5% de probabilidade.

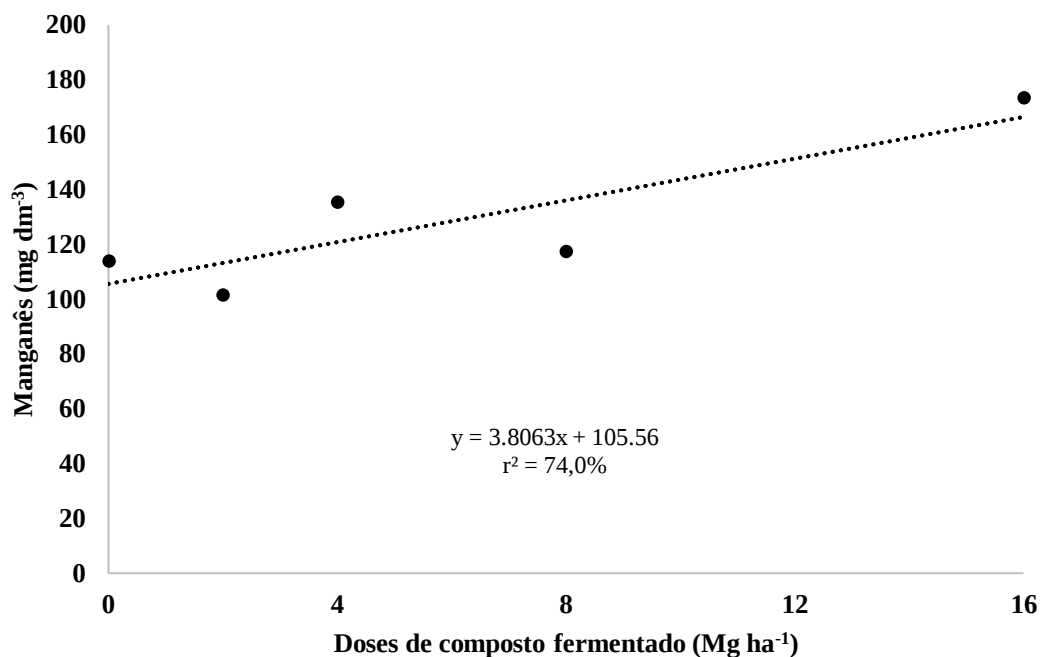


Figura 16. Teores de manganês em folhas de lúpulo Cv. Cascade em função das doses de composto fermentado em cobertura em Teresópolis, RJ. Análise de regressão considerando o nível de significância de 5% de probabilidade.

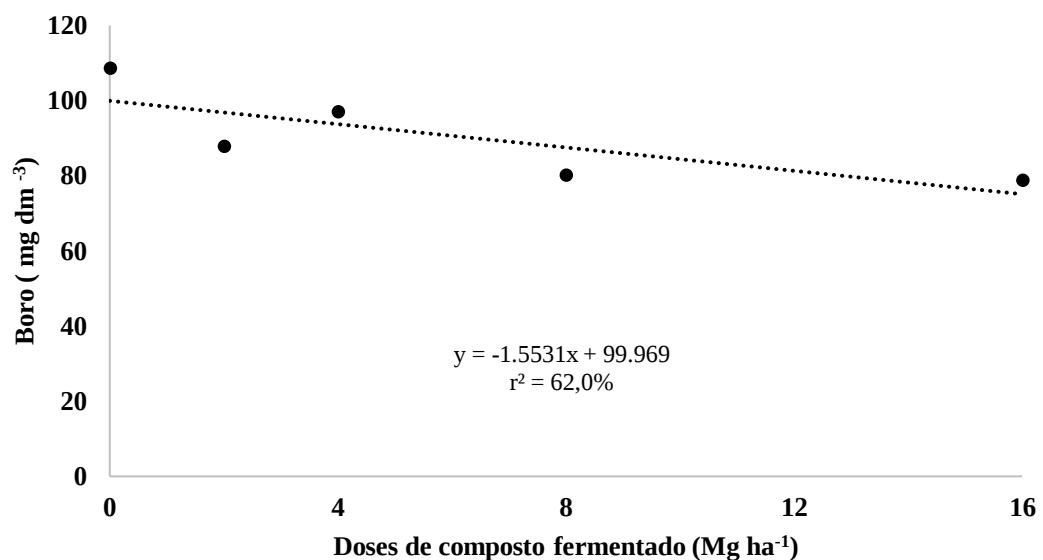


Figura 17. Teores de boro em folhas de lúpulo Cv. Cascade em função das doses de composto fermentado em cobertura em Teresópolis, RJ. Análise de regressão considerando o nível de significância de 5% de probabilidade.

Do ponto de vista de desempenho fitotécnico do lúpulo, destaca-se que o potássio apresenta forte relevância, sendo o nutriente de maior demanda pelas plantas após o nitrogênio, ao passo que, entre os micronutrientes, Boro, Zinco e Manganês desempenham papel fundamental para o crescimento e obtenção de parte aérea vegetal vigorosa e produtividade de cones (GINGRICH et al., 2000; VAVERA, 2017; DODDS, 2017).

Quanto aos nutrientes essenciais na fitomassa da parte aérea do lúpulo, os maiores teores de potássio foram encontrados nas plantas do tratamento 5 (16 Mg ha⁻¹), com uma média de 16,3 g kg⁻¹, ficando dentro dos valores de normalidade para cultura, de 16 a 34 g kg⁻¹ (AFONSO et al., 2021), indicando que ocorreu uma maior absorção desse nutriente quando comparadas com as plantas dos demais tratamentos que, por sua vez, ficaram abaixo da faixa esperada.

A dose de composto fermentado influenciou no teor de zinco no tecido foliar das plantas de lúpulo. Observa-se que os maiores teores foram obtidos nas plantas do tratamento 5, com teores médios de 32,50 mg dm⁻³. Os níveis críticos de zinco estão na faixa de 23 a 108 mg dm⁻³ para o crescimento e produtividade de cones para a cultura (AFONSO et al., 2021). Neste estudo os níveis de zinco de todos os tratamentos ficaram dentro deste intervalo, com exceção do tratamento 2 (2 Mg ha⁻¹).

Os maiores teores médios de manganês na fitomassa da parte aérea foram encontrados no tratamento 5 (16 Mg ha⁻¹), apresentando 173,50 mg dm⁻³. A faixa de suficiência indicada para este elemento é de 54 a 125 mg dm⁻³ (AFONSO et al., 2021), sendo que os tratamentos 3 (4 Mg ha⁻¹), e 5 (16 Mg ha⁻¹), mostraram valores acima desse intervalo.

Os teores de boro encontrados mostraram que o tratamento 1 (0 Mg ha⁻¹), correspondente ao controle, promoveu a maior absorção desse elemento e acúmulo na fitomassa de parte aérea da cultura, onde o teor médio foi de 108,75 mg dm⁻³. Em contrapartida, com o aumento das doses, os teores médios diminuíram significativamente. A maior dose obteve valores médios de 79,00 mg dm⁻³ de boro, ficando acima da faixa adequada, de 18 a 63 mg dm⁻³ (AFONSO et al., 2021).

4.5.3 Desempenho fitotécnico do lúpulo cv. Cascade em função das doses de composto fermentado

Para a variável número de cones por planta o modelo que proporcionou o melhor ajuste matemático dos dados foi o linear crescente (Figura 18), cuja resposta foi proporcional ao aumento das doses, sendo que a dose de 16 Mg de composto ha⁻¹ proporcionou o melhor resultado, 639,13 cones planta⁻¹. Isso indica que a cultura pode não ter expressado o máximo potencial de resposta, sendo necessárias maiores dosagens do fertilizante para que isso ocorra. A maior dosagem utilizada proporcionou aumento de 77% no número de cones em relação a menor dosagem aplicada. O número de cones é um componente que influencia diretamente na produtividade da cultura e pode variar de acordo com o cultivar utilizado (RYBACEK, 1991).

No Brasil o cultivar Cascade tem potencial para alcançar entre 200 a 3.000 cones por planta, como observado no estudo de Fagherazzi (2020) em três localidades distintas. No entanto, a depender das condições climáticas da região e dos tratamentos culturais esse número pode variar como observado nos resultados descritos por Ruth (2018).

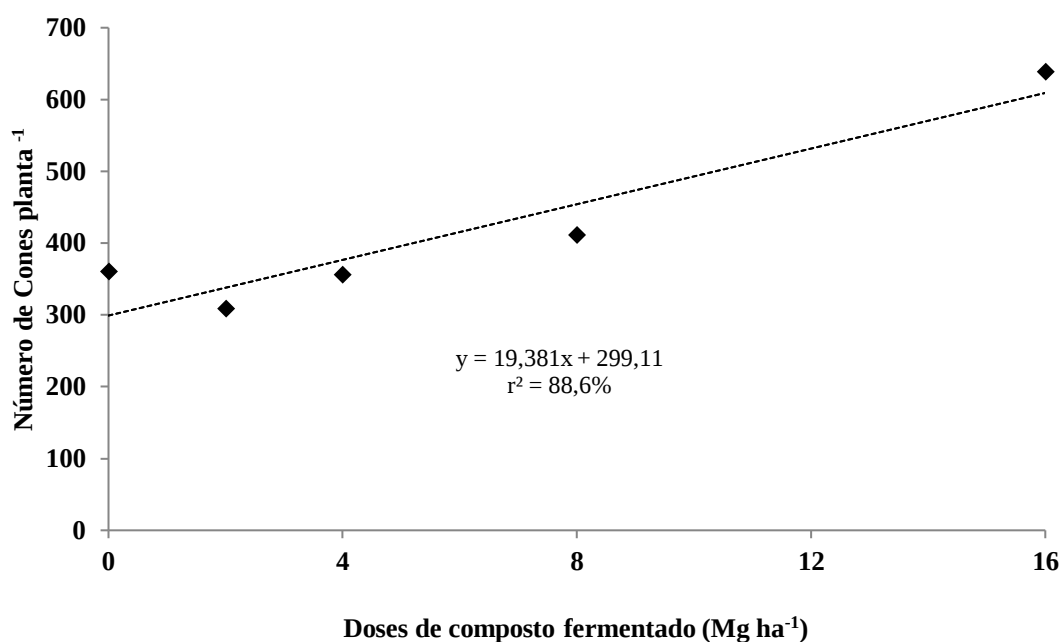


Figura 18. Número de cones de lúpulo em função das doses de composto fermentado em cobertura em Teresópolis, RJ. Análise de regressão considerando o nível de significância de 5% de probabilidade.

Assim como descrito para o número de cones, a dose de 16 Mg ha⁻¹ proporcionou a maior produção de fitomassa fresca de cones de 0,51 kg planta⁻¹. Ressalta-se que a aplicação de 16 Mg ha⁻¹ proporcionou para esse parâmetro, em relação a menor dose (controle) que não recebeu fertilização, aumento de 104% (Figura 19). Assim como relatado anteriormente, a ausência de um ponto de máxima para todas as variáveis analisadas sugere que doses mais elevadas de composto fermentado poderão resultar em maiores respostas para os componentes de produção do lúpulo.

Fortuna (2022) avaliando o desempenho de produção de fitomassa fresca de inflorescências do cv. Cascade, em Botucatu, SP, em dois sistemas de produção obteve valores médios de 940,4 g planta⁻¹ em manejo orgânico e 433,91 g planta⁻¹ no manejo convencional. Os valores encontrados por este autor no trabalho conduzido sob manejo orgânico foi superior ao encontrado na presente pesquisa. A resposta da cultura à fertilização orgânica em cobertura utilizando o composto farelado fermentado formulado com bagaço de malte pode ter sido afetada pela infestação de ácaros rajados (*Tetranychus urticae*) durante o período de desenvolvimento das plantas, influenciando os resultados encontrados para os componentes de produção. Por fim, destaca-se que o solo da área experimental, no momento de implantação do estudo, apresentava teores elevados de nutrientes (Tabela 19), o que pode ter impactado na resposta das variáveis produção de fitomassa fresca e seca por planta às doses aplicadas. Desse modo, avalia-se que os nutrientes contidos no solo foram suficientes para satisfazer as necessidades da planta.

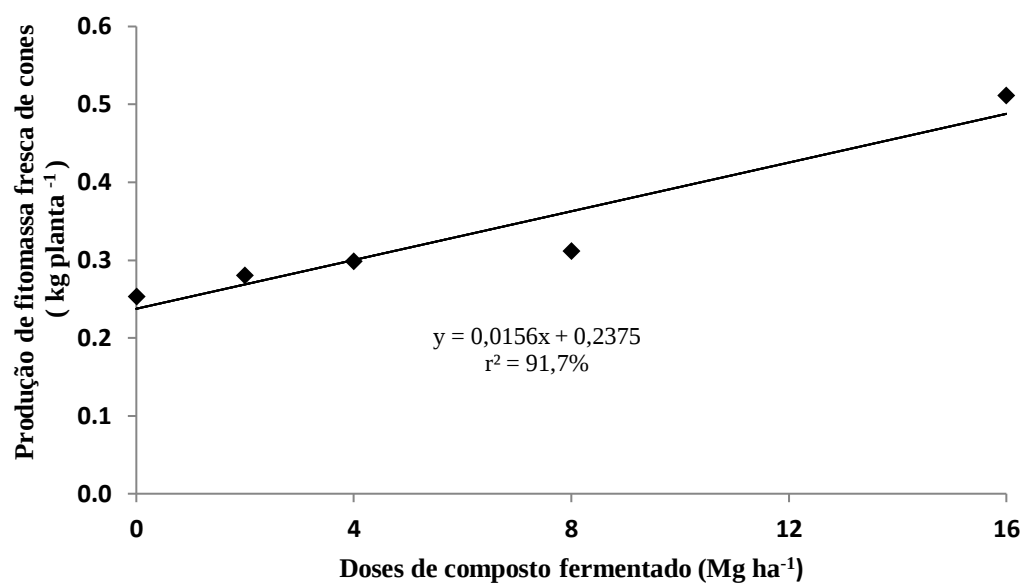


Figura 19. Produção de fitomassa fresca de cones de lúpulo em função das doses de composto fermentado em cobertura. Teresópolis, RJ. Análise de regressão considerando o nível de significância de 10% de probabilidade.

4.6 CONCLUSÕES

A adubação de cobertura utilizando um composto farelado fermentado formulado com o bagaço de malte de cervejaria resulta no aumento de produtividade de inflorescências do lúpulo, cultivar Cascade, nas condições climáticas da região Serrana Fluminense.

A produção de fitomassa fresca de inflorescências de lúpulo, cultivar Cascade, apresenta aumento linear e proporcional à dose aplicada de composto farelado fermentado, formulado com bagaço de malte de cervejaria, até a dose aplicada equivalente à 16 Mg ha⁻¹ nas condições climáticas da região Serrana Fluminense, o que denota a eficiência agrônômica dessa fonte de fertilização orgânica com vistas ao alcance de alto rendimento de inflorescências de lúpulo.

4.7 APÊNDICES

Tabela 14. Resumo da análise de variância com Quadrados Médios das variáveis fitotécnicas número de cones por planta (NCP-un.), produção de fitomassa fresca de cones (PFFC-kg planta⁻¹), produção de fitomassa fresca de planta (PFFP-kg⁻¹) e produção de fitomassa seca de planta (PFSP-kg⁻¹) do cultivo de lúpulo cv. Cascade. (Teresópolis, RJ).

FV	GL	Quadrados médios			
		Variáveis analisadas			
		NCP (un.)	PFFC (kg planta ⁻¹)	PFFP (kg planta ⁻¹)	PFSP (kg planta ⁻¹)
Blocos	3	104058 ^(*)	0,09 ^(*)	0,20 ^(n.s)	0,09 ^(n.s)
Doses de composto	4	67809 ^(*)	0,04 ^(.)	0,21 ^(n.s)	0,03 ^(n.s)
Resíduo	12	21818	0,01	0,10	0,05
Total corrigido	19				
CV(%)		35,5	39,7	17,1	33,1

* Significativo pelo teste F a 5% de probabilidade. Significativo pelo teste F a 10% de probabilidade; n.s - não significativo.

Tabela 15. Resumo da análise de variância das características químicas do solo cultivado com lúpulo cv. Cascade. (Teresópolis, RJ).

FV	GL	Quadrados médios				
		Variáveis analisadas				
		P	K	Ca	Mg	pH
Bloco (coleta)	6	49744 ^(ns)	1,45 ^(*)	73,3 ^(ns)	74,0 ^(*)	0,18 ^(*)
Doses de composto	4	80284 ^(.)	1,57 ^(*)	207,6 ^(ns)	96,6 ^(*)	0,16 ^(ns)
Coleta	1	30730 ^(*)	2,70 ^(*)	4,55 ^(ns)	67,8 ^(ns)	0,52 ^(*)
Doses*coleta	4	44935 ^(ns)	0,05 ^(ns)	66,9 ^(ns)	20,6 ^(ns)	0,02 ^(ns)
Resíduo	24	30985	0,39	85,2	26,2	0,05
Total corrigido	39					
CV(%)		42,1	20,8	15,8	22,1	3,7

* Significativo pelo teste F a 5% de probabilidade. Significativo pelo teste F a 10% de probabilidade; n.s. Não significativo.

Tabela 16. Resumo da análise de variância com os Quadrados Médios das variáveis Nitrogênio (N), Fósforo (P), Potássio (K), Cálcio (Ca), Magnésio (Mg), Enxofre (S), Ferro (Fe), Cobre (Cu), Zinco (Zn), Manganês (Mn) e Boro (B) do tecido vegetal no cultivo de lúpulo cv. Cascade. (Teresópolis, RJ).

FV	GL	Quadrados médios										
		Variáveis analisadas										
		N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Cu	Zn	Mn	B
Blocos	3	24,2 ^(n.s)	0,61 ^(n.s)	4,99 ^(*)	2,05 ^(n.s)	0,11 ^(n.s)	0,009 ^(n.s)	579 ^(*)	19,7 ^(*)	30,6 ^(n.s)	154 ^(n.s)	107 ^(n.s)
Doses composto	4	10,8 ^(n.s)	0,33 ^(n.s)	7,82 ^(*)	0,51 ^(n.s)	0,02 ^(n.s)	0,33 ^(n.s)	324 ^(n.s)	1,70 ^(n.s)	58,8 ^(*)	313 ^(*)	622 ^(*)
Resíduo	12	12,6	0,34	1,28	0,85	0,06	0,18	186	4,90	14,9	572	121
Total corrigido	19											
CV(%)		14,2	18,0	8,08	11,9	12,3	39,7	21,7	50,3	14,6	18,6	12,1

* Significativo pelo teste F a 5% de probabilidade; n.s - não significativo.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados desse estudo são indicativos do potencial produtivo dos cultivares Cascade, Centennial e Saaz nas condições climáticas da região Serrana Fluminense, com destaque para Cascade. Todavia, é imperioso destacar a necessidade de condução de trabalhos de pesquisa, em distintas localidades, envolvendo vários anos agrícolas, de forma que permita alcançar recomendações consistentes a respeito de rendimentos ótimos no que se refere aos aspectos fitotécnicos e fitoquímicos, em sistemas de produção de base ecológica nessa região do estado do Rio de Janeiro.

Cumprе salientar que há, doravante, um importante percurso de pesquisa e experimentação agrícola cuja formação de alianças envolvendo a participação dos produtores dedicados ao cultivo do lúpulo se torna essencial à consolidação de uma cadeia cervejeira com menor dependência quanto à importação de lúpulo, e que permitam identificar o potencial de desenvolver um "terroir" próprio nas condições edafoclimáticas da região Serrana do estado do Rio de Janeiro.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AFONSO, S.; ARROBAS, M.; MORAIS, J. S.; RODRIGUES, M. A. Hop dry matter yield and cone quality responses to amino acid and potassium-rich foliar spray applications. **Journal of Plant Nutrition**, 2021.
- ALMAGUER, C.; SCHONBERGER, C.; GASTL, M.; ARENDT, E. K.; BECKER, T. J. **The Institute of Brewing & Distilling** 120: 289-314. 2014.
- ALMEIDA, D. L. de; GUERRA, J. G. M.; ESPINDOLA, J. A. A. Adubação verde. In: HENZ, G. P.; ALCÂNTARA, F. A. de; RESENDE, F. V. (Eds.). **Produção orgânica de hortaliças: o produtor pergunta, a Embrapa responde**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, p. 99-112. 2007.
- APROLÚPULO **Conheça as regiões produtoras, Santa Catarina (2021)**. Disponível em: Acesso em: 28 mar. 2021.
- AQUINO, A. M. de; ASSIS, R. L. de; TEIXEIRA, A. J.; SILVA, L. L. da. Plantas de cobertura para o plantio do lúpulo. In: AQUINO, A. M. de; TEIXEIRA, A. J.; ASSIS, R. L. de. **Referencial Técnico de Atratividade Agropecuária – Lúpulo**. Nova Friburgo, RJ, Cap. 6. p. 39-48. 2019.
- BAMFORTH, W. C. **Beer is Proof God Loves Us**, 1st ed., FT Press: Upper Saddle River, 2010.
- BATAGLIA, O. C.; FURLANI, A. M. C.; TEIXEIRA, J. P. F.; FURLANI, P. R.; GALLO, J. R. **Métodos de análise química de plantas**. Campinas: Instituto Agrônômico, 1983. (Boletim técnico, 78). p. 48.
- BAUERLE, W. L. Disentangling photoperiod from hop vernalization and dormancy for global production and speed breeding. **Scientific Reports** 9:16003,2019.
- BEATSON, A.; KENNY, S. T.; PETHYBRIDGE, S. J.; GENT, D. H. Hop Production. In: MAHAFFER, W. F.; PETHYBRIDGE, S. J.; GENT, D. H. **Compendium of hop diseases and pests**. St. Paul: American Phytopathological Society 1:5-8. 2009.
- BOWN, D. **Encyclopedia of Herbs and Their Uses**. Dorling Kindersley, London. p. 424. 1995.
- BRASIL. **Instrução normativa nº 46, de 06 de outubro de 2011**. Lei nº 10831, de 23 de dezembro de 2003. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Poder Executivo, Brasília, DF, 06 Outubro. 2011. Seção 1, p. 8.a
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Lei Nº 10831, de 23 de dezembro de 2003**. Publicado no Diário Oficial da União, Brasília, 2003, Seção 1, Página 8.
- BREMNER, J. M.; MULVANEY, C. S. Nitrogen total. In: PAGE, A. L. (Ed.). **Methods of soil analysis**. 2. ed. Madison: Soil Science Society of America. p. 595-624. 1982.

BURGESS, A. H.; POLUNIN, N. (ed.) **Hops, botany, cultivation and utilization**. Interscience. 1964.

CANBAŞ, A.; ERTEN, H.; ÖZŞAHİN, F. The effects of storage temperature on the chemical composition of hop pellets. **Process Biochemistry, Adana**, v. 36, n. 11, p. 1053-1058, 2001.

CARRÉ, I.; COUPLAND, G.; PUTTERILL, J. Photoperiodic Responses and the Regulation of Flowering. **Annual Plant Reviews** online 21:167-190. 2018.

CAULEY, M. C.; JONES, A. C.; JACOBSEN, J. Plant nutrient functions and deficiency and toxicity symptoms. Nutrient management module. 9:1-16. 2011.

CERVBRASIL. Associação Brasileira da Indústria da Cerveja. **Anuário 2016**. Disponível em: <http://www.cervbrasil.org.br/novo_site/anuarios/CervBrasil-Anuario2016_WEB.pdf>. Acesso em 02 set. 2018.

CHAVES, F. C. M. **Produção de biomassa, rendimento e composição de óleo essencial de alfavaca-cravo (*Ocimum gratissimum* L.) em função de adubação orgânica e épocas de corte**. Botucatu, SP. 144 p., 2002. Tese de doutorado.

DARBY H. **Nitrogen management in hops**. www.uvm.edu/extension/cropsoil/hops University of Vermont Extension, Vermont , USA, 2013.

DE KEUKELEIRE, J.; JANSSENS, I.; HEYERICK, A.; GHEKIERE, G.; CAMBIE, I.; N-RUIZ, I. R.; BOCKSTAELE, E. V.; DE KEUKELEIRE, D. Relevance of organic farming and effect of climatological conditions on the formation of r-Acids, â-Acids, Desmethyloxanthohumol, and Xanthohumol in Hop (*Humulus lupulus* L.). **J. Agric. Food Chem.** 55, 61-66. 2007.

DENOMA, J. S. **Humulus Genetic Resources**. Hop. USDA ARS National Clonal Germplasm Repository, Corvallis, Oregon, 2000.

DIETZ C, COOK D, HUISMANN M, WILSON M, FORD R (2020) The multisensory perception of hop essential oil: a review. **Journal of the Institute Brewing** 126:320-342.

DODDS, K. **Hops – a guide for new growers**. Development Officers – Temperate Fruits – NSW Department of Primary Industries. Austrália, 2017.

DURELLO, R. S.; SILVA, L. M.; BOGUSZ JR., S. QUÍMICA DO LÚPULO. **Química Nova**, São Paulo, v. 42, n. 8, p. 900-919, Ag. 2019.

EVANS, R. **Hop management in water-short periods**. Washington State University Fact Sheet: EM4816, Drought Advisory. 2003. <http://cru.cahe.wsu.edu/CEPublications/em4816/em4816.pdf> (Accessed 08 March 2012).

FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. **FAOSTAT 2015**, Roma, Itália. Disponível em: . Acessado em: Ago de 2019.

FAGHERAZZI, M. M. **Adaptabilidade de Cultivares de Lúpulo na Região do Planalto Sul Catarinense**. 2020.116f. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) – Centro de Ciências Agroveterinárias, Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages. 2020.

FARAG, M. A.; WESSJOHANN, L. A. Cytotoxic effect of commercial *Humulus lupulus* L. (hop) preparations – In comparison to its metabolomic fingerprint. **Journal of Advanced Research**, Cairo, v. 4, n. 4, p. 417-421, 2012.

FERNANDEZ, P. S. C. **Ácaros e Insetos Associados a Diferentes Variedades de Lúpulo em Quatro Municípios do Estado do Rio de Janeiro**. 2020. 117f. Dissertação (Mestrado em Agricultura Orgânica) – Programa de Pós-Graduação em Agricultura Orgânica, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica. 2020.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia (UFLA)**, v. 35, n.6, p. 1039-1042, 2011.

FERREIRA, M. B. C.; SILVA, M. L. P.; OZASSA, T. Y.; TEIXEIRA, A. J. Manejo e condução da cultura do lúpulo. In: AQUINO, A. M. de.; TEIXEIRA, A. J.; ASSIS, R. L. de. **Referencial Técnico de Atratividade Agropecuária – Lúpulo**. Nova Friburgo, RJ, 2019. Cap. 4. p. 31-34.

FILHO, V.; GASTONI, W. **Bebidas alcoólicas: Ciência e Tecnologia**. 2 ed. São Paulo: Editora Blucher. 2016, v.1, 576 p.

FISHER, J.; FISHER, D. **The homebrewer's garden: How to easily grow, prepare, and use your own, hops, malts, brewing herbs**. Massachusetts: Storey, 1998.

FONSECA, J. O. G.; DE OLIVEIRA, E. A. G.; RIBEIRO, R. DE L. D.; ARAÚJO, E. da S.; GUERRA, J. G. M.; ESPINDOLA, J. A. A.; Desempenho agrônômico de alface e rúcula em sucessão, em função de diferentes doses de composto fermentado, sob manejo orgânico. **Cadernos de Agroecologia**, v. 9, n. 3, 2014.

FONSECA, M. J. de. O.; NOGUEIRA, R. I.; CORNEJO, F. E.; BIZZO, H. R.; OZASSA, T. Y.; SILVA, M. L. P. Colheita e Tecnologias pós-colheita para preservação da qualidade de estróbilo ou cone de *Humulus Lupulus* L. In: AQUINO, A. M. de.; TEIXEIRA, A. J.; FONSECA, M. J. de. O.; ASSIS, R. L. de.; OZASSA, T. Y. **Produção de lúpulo na Região Serrana Fluminense: manual de boas práticas**. Nova Friburgo, RJ, 2022. Cap. 10. p. 127-132.

FORTUNA, G. C. **Desempenho Agrônômico e Fitoquímico de variedades de lúpulo produzidas em condições tropicais sob manejo orgânico e convencional**. 2022.87f. Tese (Doutorado em Agronomia- Horticultura) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista (Unesp), Botucatu. 2022.

FREIRE, L. R. (Coord.). **Manual de calagem e adubação do Estado do Rio de Janeiro**. Brasília, DF: Embrapa; Seropédica: Universidade Rural, 2013. 430 p. il. color. Disponível em: <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/177352/1/Manualde-calagem-e-adubacao-RJ-2013.pdf>

GENT, D. H.; SIRRINE, R.; DARBY, H. **Nutrient Management and Imbalances**. Hop Growers of America, 2019. Disponível em: <https://www.usahops.org/cabinet/data/9.pdf>. Acesso em: mar. 2022.

GEORGE, E. A. **Crop profiles for hops in Washington (2001)**. acesso em 20 de junho 2019.

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

GONÇALVES, J. L.; FIGUEIRA, J. A.; RODRIGUES, F. P.; ORNELAS, L. P.; BRANCO, R. N.; SILVA, C. L.; CAMARA, J. S. A powerful methodological approach combining headspace solid phase microextraction, mass spectrometry and multivariate analysis for profiling the volatile metabolomic pattern of beer starting raw materials. **Food chemistry**. v. 160, p. 266-280, 2014.

GONSAGA, R. F. **Desenvolvimento de híbridos de lúpulo adaptado às condições tropicais**. 2021. 113f. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal. 2021.

GUERRA, J. G. M.; ESPINDOLA, J. A. A.; ARAÚJO, E. da S.; LEAL, M. A. de A.; ABOUD, A. C. de S.; ALMEIDA, D. L. de; DE-POLLI, H.; NEVES, M. C. P.; RIBEIRO, R. de L. D. Adubação verde no cultivo de hortaliças. In: LIMA FILHO, O.F.D. AMBROSANO, E.J. ROSSI, F. CARLOS, J.A.D. (Orgs.) **Adubação Verde e plantas de cobertura no Brasil: fundamentos e prática**. Brasília, DF: Embrapa, 2014. Cap. 20.p 243-267.

GREATLAKES HOPS. **Greatleakes Hops** – Consulta. Disponível em: acesso em: 20 de junho de 2018.

HIGA, T.; PARR, J. F. **Beneficial and effective microorganisms for a sustainable agriculture and environment**. Okinawa, Japão: International Nature Farming Research Center, 1994.

HOP VARIETIES. **Hope Varieties 2019** - Consulta. Disponível em: <https://www.yakimachief.com/hop-varieties/>. Acesso em: 26 fev. 2023.

HORNOK, L. Influence of nutrition on the yield and content of active compounds in some essential oil plants. **Acta Horticulturae** 132: 239-247. 1983.

HOWARD, G. A.; SLATER, C. A. Essential Oil of Hops. **Journal of the Institute of Brewing** , v. 63, n. 6, p. 491- 507, 1957.

INMET. **Site do INMET** – Consulta. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/>. Acesso em: 15 de maio de 2022

ISKRA, A. E., S. R. LAFONTAINE, K. M. TRIPPE, S. T. MASSIE, C. L. PHILLIPS, M. C. TWOMEY, T. H. SHELLHAMMER, D. H. GENT. Influence of nitrogen fertility practices on hop cone quality. **J. Amer. Soc. Brewing Chemists**. 77:199-209. 2019.

JASTROMBEK, J. M.; FAGUERAZZI, M. M.; DE CÁSSIO PIEREZAN, H.; RUFATO, L.; SATO, A. J.; DA SILVA RICCE, W.; MARQUES, V. V.; LELES, N. R.; ROBERTO, S. R. Hop: An Emerging Crop in Subtropical Areas in Brazil. **Horticulturae**, 8, 393. 2022. <https://doi.org/10.3390/horticulturae8050393>

JONES, J. R. **Plant nutrition manual**. p. 149 CRC Press. Boca Raton, FL. 149 p. 1998.

JUDD, B. D. **Hops Production in Virginia: Nutrition, Fungal Pathogens, and Cultivar Trials** Thesis submitted to the faculty of the Virginia Polytechnic Institute and State University. 2018.

KARABÍN, M.; HUDCOVA, T.; DOSTÁLEK, P. Biologically active compounds from hops and prospects for their use. **Comprehensive Reviews in Food Safety**, vol. 15, p. 542-567, 2016.

KIRBY, E.; GRANATSTEIN, D. **Certified organic acreage and sales in Washington State: 2009- 2017**. Organic Trends series, Center for Sustaining Agriculture and Natural Resources, Washington State University, Wenatchee, WA. 17 pp. 2018.

KRALJ, D. Investigation of the properties of male plants in hop breeding. **Genetica** 14(1):49-58 (in Slovenian). 1982.

KREBS, C. Hops: A Viable Alternative Crop for the Central/Southern Plains? **Crops and Soils** 52:4-6. 2019.

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

LANGEZAAL, C. R.; CHANDRA, A.; SCHEFFER, J. J. Antimicrobial screening of essential oils and extracts of some *Humulus lupulus* L. cultivars. **Pharmaceutisch Weekblad Scientific Edition** 4:353-356. 1992.

LESKOVAR L. **El lúpulo: su cultivo y procesamiento**. Buenos Aires. Argentina. 145 p, 1978.

LIMA, P. H. **Avaliação da adubação orgânica com composto fermentado aliada a cobertura morta do solo no desempenho agroecômico de hortaliças em sucessão**. Doutorado em Fitotecnia – Seropédica – RJ: Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 2018.

LINKE, W. **La culture du houblon**. Dunod, Paris. 306 p. 1958.

MACHADO, C. M.; SILVA, L. L. da.; SCHEIFFER, T. G.; AQUINO, A. M. de.; ASSIS, R. L. de.; MENEZES, E. de. L. A.; TEIXEIRA, A. J.; ROUWS, J. R. C. **Níveis de infestação do ácaro rajado em oito variedades de lúpulo sob manejo orgânico no município de Santa Maria Madalena, RJ. 2022. Disponível em: <<https://www.even3.com.br/anais/eenbralupulo/438013-NIVEIS-DE-INFESTACAO-DO->**

ACARO-RAJADO-EM-OITO-VARIEDADES-DE-LUPULO-SOB-MANEJO-ORGANICO-NO-MUNICIPIO-DE-SANTA-MARIA>. Acesso em: 17 de maio 2023.

MARCEDDU, R.; CARRUBBA, A.; SARNO, M. Cultivation trials of hop (*Humulus lupulus* L.) in semi-arid environments. **Heliyon** 6(10):05114. (2020).

MARCOS, J. A. M.; NADAL, J. L. O.; ANDIÓN, J. P.; ALONSO, J. V.; PEDREIRA, J. M. G.; PAZ, J. F. **Guia del cultivo del lúpulo**. [Galícia]: :[s.n.], 2011.

MARQUES, S. P. D.; TREVISAN, M. T. S; OWEN, R. W.; SILVA, A. M. A.; NASCIMENTO, F. F. S. L.; LIMA, T. C.; BRITO, E. S. D.; MAGALHÃES, H. C. R.; SILVA, F. L. F. da. 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, 2023.

MAROV, T. M. **Vpliv gostote in razporeditve rastlin na rast, razvoj in kakovost hmelja (*Humulus Lupulus* L.) kultivarja**. 279D112. 2007. 51 f. TCC (Graduação) - Curso de Agronomia, Univerza V Ljubljani, Ljubljana, 2007.

MARTINS ER; CASTRO DM; CASTELLANI DC; DIAS JE. 1995. Plantas medicinais. Viçosa: UFV, Imprensa universitária. 22p.

MEGA, J. F.; NEVES, E.; ANDRADE, C. J. de. A Produção de Cerveja no Brasil. **Revista Citino**, Mato Grosso, v. 1, n. 1, p.34-42, dez. 2011.

MINISTÉRIO DA INDÚSTRIA, COMÉRCIO EXTERIOR E SERVIÇOS. **Exportação e Importação Geral**. Disponível em: <http://comexstat.mdic.gov.br/pt/geral/39550>. Acesso em: 27 jul. 2023.

MOZNY, M. PEREIRA, L. S., CORDERY, I., IACOVIDES, I. The impact of climate change on the yield and quality of Saaz hops in the Czech Republic. **Agric. For. Meteorol.** 149, 913-919. 2012. 2009.

MULTIPLIX. **Nova Friburgo terá festival de cervejas artesanais neste sábado, 13**. Disponível em: <https://www.portalmultiplex.com/noticias/nova-friburgo-tera-festival-de-cervejas-artesanaisneste-sabado-13>. Acesso em: 10 de maio 2019.

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

OLIVEIRA, E. A. G.; RIBEIRO, R. L. D.; LEAL, M. A. A.; GUERRA, J. G. M.; ARAUJO, E. S.; ESPINDOLA, J. A. A.; ROCHA, M. S.; BASTOS, T. C.; SAITER, O. **Compostos orgânicos fermentados tipo “bokashi” obtidos com diferentes materiais de origem vegetal e diferentes formas de inoculação visando sua utilização no cultivo de hortaliças**. Boletim Técnico 98. Embrapa Agrobiologia: Rio de Janeiro. 2014. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/126213/1/bot098-2014.pdf>. Acesso em: 12 de nov de 2019.

PANG, X., J. LETEY. Organic farming: Challenge of timing nitrogen availability to crop nitrogen requirements. **Soil Sci.** 2000.

PARKES, S. **Hop Chemistry**: Homebrew Science. Disponível em: <http://www.byo.com/departments/884.html>. 2002.

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

PENTEADO, S. R. **Manual prático de agricultura orgânica**: fundamentos e práticas. 2. ed. Campinas: Via Orgânica, 2010. 232 p.

PERAGINE, J. **Growing your own hops, malts, and brewing herbs**. Ocala: Atlantic, 2011.

PEREIRA, I. C. **Fitoquímica e aspectos morfofisiológicos de aniba parviflora (lauraceae) cultivadas no município de Santarém- PA**. Monografia. 2012.

PIAN, L. B. **Influência da Fertilização de Origem Vegetal em Atributos Biológicos e Químicos do Solo e no Desempenho Agroeconômico de Hortaliças em Sistemas Orgânicos**. 2019. Tese de Doutorado. UFRRJ. 193f. 2019.

RANGEL, A. A.; RECHCIGL, J.; BOLLIN, S.; DENG, Z.; AGEHARA, S. Hop (*Humulus lupulus* L.) phenology, growth, and yield under subtropical climatic conditions: Effects of cultivars and crop management. **Australian Journal of Crop Science**. 2021.

RAUT, J. S.; KARUPPAYIL, S. M. A status review on the medicinal properties of essential oils. **Industrial Crops and Products**, 62, 250-264. 2014. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2014.05.055>

RAUT, S.; VON GERSDORFF, G. J. E.; MÜNSTERER, J.; KAMMHUBER, K.; HENSEL, O.; STURM, B. Influence of pre-drying storage time on essential oil components in dried hops (*Humulus lupulus* L.). **J. Sci. Food Agric**. 2021.

R CORE TEAM (2022). **R**: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.

REDE LÚPULO **Rede Lúpulo Serra Fluminense** – consulta. Disponível em: <http://www.redelupulo.com.br/>. Acesso em: 19 de maio 2019.

RIGR, A.; NESVADBA, V.; BERANEK, F. Evaluation of important characteristics of selected varieties of the world hop collection. **Rostlinna Vyroba** 43:319-324. 1997.

RNC Registro Nacional de Cultivares. **Site do RNC** - Consulta. 2021. http://sistemas.agricultura.gov.br/snpc/cultivarweb/cultivares_registradas.php

ROCHA, F. **A cultura do lúpulo**. Jornadas técnicas anuais da Associação Portuguesa dos Técnicos de Cerveja e Malte (APTCM). Mosteiro de São Martinho de Tibães, Braga, 2007.

RODOLFI, M.; BARBANTI, L.; GIORDANO, C.; RINALDI, M.; FABBRI, A.; PRETTI, L.; CASOLARI, R.; BEGHÉ, D.; PETRUCCELLI, R.; GANINO, T. The Effect of Different

Organic Foliar Fertilization on Physiological and Chemical Characters in Hop (*Humulus lupulus* L., cv Cascade) Leaves and Cones. **Appl. Sci.** 2021.

RODRIGUES, M. A.; MORAIS, J. S.; CASTRO, J. P. O lúpulo: da cultura ao extrato. Técnica Cultural tradicional. In: RODRIGUES, M. A.; MORAIS, J. S.; CASTRO, J. P. (org). **Jornadas de Lúpulo e Cerveja: novas oportunidades de negócio**. Bragança, Instituto Politécnico de Bragança, 2015. Cap. 1. p. 1-10.

ROSA, N. A.; AFONSO, J. C. A química da cerveja. **Química Nova** esc. São Paulo. v. 37, n. 2, p. 98-105, 2015.

ROSSBAUER I. **Compendium of growth stage identification keys for mono and dicotyledonous plants, extended BBCH scale**. 2nd Edition. Bayer, Novartis: 1-2. 1995.

ROSSINI, F.; LORETI, P.; PROVENZANO, M.E.; SANTIS, D. Agronomic performance and beer quality assessment of twenty hop cultivars grown in Central Italy. **Italian Journal of Agronomy** 11:746. 2016.

RUTH, P. **Evaluation of the properties of finnish hops**. Degree program in horticulture Lepaa p. 99. 2018.

RYBACEK, V. **Hop Production**. Amsterdam: Elsevier Science. 1991. 286 p.

SAITER, O., OLIVEIRA, L. A. A., OLIVEIRA, E. A. G., ARAUJO, D. B. 2016. Efeito do adubo orgânico fermentado bokashi no desempenho agrônômico de brócolis americano. Programa Rio Rural, Teresópolis. **Revista Ceres, Viçosa**, v. 60, n. 1, p. 079-085, 2013.

SANTOS, R. S. D.; SILVA, C. H. Manejo e controle fitossanitário da cultura do lúpulo. In: AQUINO, A. M. de.; TEIXEIRA, A. J.; ASSIS, R. L. de. **Referencial Técnico de Atratividade Agropecuária – Lúpulo**. Nova Friburgo, RJ, 2019. Cap. 8. p. 52-57.

SASSO, A. S. **Caracterização de cultivares de lúpulo (*Humulus lupulus* L.) nos dois primeiros ciclos produtivos em Curitiba, SC**. 2021.58f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia) – Universidade Federal de Santa Catarina, Curitiba. 2021.

SHARPE, F. R.; LAWS, D. R. J. The essential oils of hops **Institute of Brewing & Distilling**. 1981.

SIQUEIRA, A. P. P.; SIQUEIRA, M. F. B. **Bokashi: adubo orgânico fermentado**. Niterói: Programa Rio Rural, 2013. 16p. Disponível em: http://www.pesagro.rj.gov.br/downloads/riorural/40_Bokashi_Adubo_organico_fermentado.pdf. Acesso em: 12 de nov de 2019.

SILVA, A. R. da. **Aromaterapia em dermatologia e estética**. 1. ed. São Paulo. Roca, p. 76-94, 100-104, 159-164, 217-220, 238-280, 275-280, 2004.

SILVA, C. T. D. **Caracterizações Químicas dos primeiros Cultivares de Lúpulo (*Humulus lupulus* L.) produzidos no Brasil**. 2019. 90f. Dissertação (Mestrado em

Agroquímica) – Centro De Ciências Exatas, Naturais e da Saúde – CCENS, Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre, ES, 2019.

SIMIELI, M. B.; GAZOLA, R. P. D.; PAGLIARINI, M. K.; VARGAS, P. F.; CASTILHO, R. M. M. de. Development and production of hop in a high temperature region. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 13, 2021.

SIRRINE, R., ROTHWELL N., LIZOTTE E., GOLDY R., MARQUIE S., BROWNYRITLEWSKI, D., **Sustainable hop production**. Michigan State University Extension in the Great Lakes Region. Boletim de Extensão E-3083, 2010.

SKOMRA, U.; MOLDOCH, M. A.; BOCIANOWSKI, J. Agro-morphological differentiation between European hop (*Humulus lupulus* L.) cultivars in relation to their origin. **Journal of Food Agriculture & Environment**, v. 11, n. 3-4, p. 1123-1128. 2013.

SMALL, E. A numerical and nomenclatural analysis of morpho-geographic taxa of *Humulus*. **Syst. Bot.** 3:37-76. doi:10.2307/2418532 [Web of Science]. 1978.

SOUSA, M. J. A. C. **Obtenção de plantas de *Humulus lupulus* L. resistentes a vírus**. Lisboa. 2005. Tese (Doutorado em Biotecnologia Vegetal. Universidade de Lisboa. Lisboa 2005.

SOUZA, M. de L. M. de; JESUS, M. S. C. de; ANTONIASSI, R. **validação do método de análise de alfa e beta-ácidos em lúpulo utilizando menor quantidade de amostra**. 2021. Disponível em: <<https://www.even3.com.br/anais/eenbralupulo/443784-VALIDACAO-DO-METODO-DE-ANALISE-DE-ALFA-E-BETA-ACIDOS-EM-LUPULO-UTILIZANDO-MENOR-QUANTIDADE-DE-AMOSTRA>>. Acesso em: 09/05/2022.

SPÓSITO, M. B.; ISMAEL, R. V.; BARBOSA, C. M. A.; TAGLIAFERRO, A. L. **A cultura do lúpulo**. Série Produtor Rural nº 68. Universidade de São Paulo – USP. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – ESALQ. Divisão de Biblioteca – DIBD. Piracicaba, 2019. p.7.

SRECEC, S.; KVATERNJAK, I.; KAUCIC, D.; MARIC, V. **Dynamics of hop growth and accumulation of α -acids in normal and extreme climatic conditions**. Agriculturae Conspectus Scientificus. 2011.

THOMAS, G. G.; SCHWABE, W. W. Factors Controlling Flowering in the Hop (*Humulus lupulus* L.). **Annals of Botany** 33:781-793. 1969.

TURNER, S. F.; BENEDICT, C. A.; DARBY, H.; HOAGLAND, L. A.; SIMONSON, P.; SIRRINE, J. R.; MURPHY, K. M. Challenges and Opportunities for Organic Hop Production in the United States. **Agronomy Journal**, v. 103, 2011.

VAVERA, R.; KŘIVÁNEK, J.; PECHOVÁ, M. **Výživa a hnojení produkčních chmelnic**. Praha: Výzkumný ústav Rostlinné Výroby. 37 p. 2017.

WAGNER, T. Vpliv temperature in vlage na pridelek hmelja v Sloveniji. **Hmeljarski bilten**, 3: 81-88. 1975.

WOODSKE, D. **Hop Variety Handbook: Learn More About Hops. Create Better Beer**. CreateSpace Independent Publishing Platform, 2012.