

PRODUÇÃO DE SUBSTRATO ALTERNATIVO PARA  
CULTIVO SEMI-HIDROPÔNICO DE MORANGOS

**RAFAEL SILVA RIBEIRO**

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO NORTE FLUMINENSE DARCY RIBEIRO

CAMPOS DOS GOYTACAZES - RJ  
OUTUBRO – 2025

PRODUÇÃO DE SUBSTRATO ALTERNATIVO PARA  
CULTIVO SEMI-HIDROPÔNICO DE MORANGOS

**RAFAEL SILVA RIBEIRO**

“Tese apresentada ao Centro de Ciências e  
Tecnologias Agropecuárias da Universidade  
Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro,  
como parte das exigências para obtenção do  
título de Doutor em Produção Vegetal”

Orientador: Prof. Dr Silvério de Paiva Freitas  
Coorientador: Prof. Dr Sávio da Silva Berilli

CAMPOS DOS GOYTACAZES - RJ  
OUTUBRO – 2025

### FICHA CATALOGRÁFICA

UENF - Bibliotecas

Elaborada com os dados fornecidos pelo autor.

R484

Ribeiro, Rafael Silva.

Produção de substrato alternativo para cultivo semi-hidropônico de morangos / Rafael Silva Ribeiro. - Campos dos Goytacazes, RJ, 2026.

48 f. : il.

Bibliografia: 33 - 42.

Tese (Doutorado em Produção Vegetal) - Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias, 2026.

Orientador: Silverio de Paiva Freitas.

Coorientador: Savio da Silva Berilli.

1. *Fragaria* × *ananassa*. 2. Substrato. 3. Resíduos agroindustriais. 4. Cultivo protegido. 5. Sustentabilidade. I. Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. II. Título.

CDD - 630

# PRODUÇÃO DE SUBSTRATO ALTERNATIVO PARA CULTIVO SEMI-HIDROPÔNICO DE MORANGOS

**RAFAEL SILVA RIBEIRO**

“Tese apresentada ao Centro de Ciências e  
Tecnologias Agropecuárias da Universidade  
Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro,  
como parte das exigências para obtenção do  
título de Doutor Em Produção Vegetal”

Aprovada em 31 de outubro de 2025.

Comissão Examinadora:



Documento assinado digitalmente

**JULIO CESAR FIORIO VETTORAZZI**

Data: 25/02/2026 14:55:35-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

Julio Cesar Fiorio Vettorazzi (D.Sc. Genética e Melhoramento de Plantas) – UENF



Documento assinado digitalmente

**SILVIO DE JESUS FREITAS**

Data: 04/03/2026 15:07:58-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

Silvio de Jesus Freitas (D.Sc. Produção Vegetal) – UENF



Documento assinado digitalmente

**SAVIO DA SILVA BERILLI**

Data: 04/03/2026 18:55:29-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

Sávio da Silva Berilli (D.Sc. Produção Vegetal) – IFES  
Coorientador



Documento assinado digitalmente

**SILVERIO DE PAIVA FREITAS**

Data: 04/03/2026 15:39:02-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

Silvério de Paiva Freitas (D.Sc. Produção Vegetal) – UENF  
Orientador

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente, quero agradecer a Deus, pela oportunidade de viver cada dia em Sua Presença;

À minha família, agradeço por estarem ao meu lado, durante os vários desafios deste longo percurso. Clara e Miguel, esta conquista não tem sentido sem vocês ao meu lado!

A banca examinadora, agradeço a todas as considerações e críticas para aprimorar a qualidade deste trabalho, sobretudo aos professores Silvério de Paiva Freitas e Sávio da Silva Berilli que foram excelentes orientadores neste processo;

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Espírito Santo (Ifes) e ao projeto de Fortalecimento da Agricultura Capixaba (FortAC), que forneceram condições técnicas e financeiras para a realização deste trabalho. Grato também a Usina de Compostagem de Viana-ES, que permitiu que a ideia inicial da pesquisa fosse desenvolvida;

Um agradecimento mais que especial ao senhor Álvaro Brandt e à sua família, por disponibilizarem sua propriedade para o desenvolvimento desta pesquisa;

Por fim, quero agradecer ao apoio técnico do senhor Júlio Vetorazzi e todos os bolsistas do Laboratório de Agricultura Sustentável do Ifes campus de Alegre, que contribuíram muito em todas as etapas da pesquisa. Este trabalho não teria sido possível sem a contribuição valiosa de cada um de vocês!

## SUMÁRIO

|   |    |
|---|----|
| RESUMO.....   | iv |
| ABSTRACT.....   | v  |
| 1 INTRODUÇÃO.....   | 1  |
| 2 OBJETIVOS.....  | 3  |
| 2.1 Objetivo geral.....   | 3  |
| 2.2 Objetivos específicos.....  | 3  |
| 3 REVISÃO DE LITERATURA.....  | 4  |
| 3.1 Características gerais do morangueiro ( <i>Fragaria × ananassa</i> Duch)..... | 4  |
| 3.2 Dados econômicos e tipos de produção de morango.....                          | 6  |
| 3.3 Revisão sistemática: substratos utilizados na produção de morangos....        | 9  |
| 3.4 Materiais alternativos utilizados como substratos.....                        | 12 |
| 4 MATERIAL E MÉTODOS.....   | 15 |
| 4.1 Caracterização do substrato utilizado no experimento.....                     | 15 |
| 4.2 Análise de produção dos substratos.....                                       | 17 |
| 4.3 Análise morfofisiológica das plantas.....                                     | 18 |
| 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....   | 20 |
| 5.1 Características dos substratos.....   | 20 |
| 5.2 Análise de produção de frutos.....  | 23 |
| 5.3 Análise morfofisiológica das mudas.....                                       | 27 |
| 6 CONCLUSÕES.....   | 32 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....   | 33 |

## RESUMO

RIBEIRO; Rafael Silva; D.Sc.; Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. Mês de outubro. PRODUÇÃO DE SUBSTRATO ALTERNATIVO PARA CULTIVO SEMI-HIDROPÔNICO DE MORANGOS. Orientador: Prof.º. Dsc. Silvério de Paiva Freitas. Coorientador: Prof.º. D.Sc. Savio da Silva Berilli.

A produção de morangos apresentou um grande crescimento nos últimos anos. Um dos fatores principais é a transição do plantio em solo para sistemas mais modernos, como o cultivo semi-hidropônico em substratos inertes suspensos do solo. Nesse contexto, os ingredientes que compõem os substratos são determinantes para o crescimento, desempenho e produção dos morangos. O presente estudo tem como objetivo principal avaliar o potencial de um substrato produzido para o plantio de morangos no sistema semi-hidropônico, apresentando uma alternativa aos substratos utilizados atualmente. Inicialmente, a revisão de literatura constituiu um referencial teórico com características gerais do morangueiro, tipos de cultivo e principais elementos utilizados na composição de substratos para o cultivo de morangos. Os resultados do experimento mostraram que os tratamentos com 60–80% de moinha de carvão apresentaram desempenho físico-químico, produtivo e fisiológico semelhantes aos controles comerciais, demonstrando potencial agrônômico e viabilidade técnica. Assim, o trabalho aponta opções sustentáveis de aproveitamento de resíduos agroindustriais como alternativa aos materiais convencionais.

Palavras-chave: *Fragaria* × *ananassa*; substrato; resíduos agroindustriais; cultivo protegido; sustentabilidade.

## ABSTRACT

RIBEIRO; Rafael Silva; Dr.; Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. October. PRODUCTION OF ALTERNATIVE SUBSTRATE FOR SEMI-HYDROPONIC CULTIVATION OF STRAWBERRIES. Advisor: Prof. Dr. Silvério de Paiva Freitas. Coadvisor: Prof. Dr. Sávio da Silva Berilli.

Strawberry production has experienced substantial growth in recent years. One of the main factors driving this increase is the transition from soil-based cultivation to more modern systems, such as semi-hydroponic cultivation in inert, soil-free substrates. In this context, the components that make up the substrates are decisive for strawberry growth, performance, and yield. The present study aims to evaluate the potential of a substrate developed for strawberry cultivation under a semi-hydroponic system, offering an alternative to the substrates currently in use. Initially, the literature review provided a theoretical framework addressing general characteristics of the strawberry plant, cultivation systems, and the main elements used in substrate composition for strawberry production. Experimental results showed that treatments containing 60–80% charcoal fines exhibited physicochemical, productive, and physiological performance comparable to commercial controls, demonstrating agronomic potential and technical feasibility. Thus, this study highlights sustainable options for the use of agro-industrial residues as an alternative to conventional materials.

Keywords: *Fragaria* × *ananassa*; substrate; agro-industrial residues; protected cultivation; sustainability.

## 1 INTRODUÇÃO

O cultivo do morangueiro (*Fragaria × ananassa* Duch.) apresenta grande importância socioeconômica, destacando-se pela alta demanda de frutos destinados tanto ao consumo in natura quanto à indústria de processamento (Ouazzani-Touhami et al., 2023; Prasad et al., 2022). Nas últimas décadas, a expansão da produção mundial de morangos esteve associada ao melhoramento genético (Oliveira & Antunes, 2016) e ao avanço de sistemas de cultivo protegidos, que possibilitam maior produtividade, sanidade e qualidade do fruto (Antunes et al., 2016; Estrada-Chavira et al., 2017). Entre os modelos adotados, o cultivo semi-hidropônico em substratos inertes suspensos do solo, aparecem como alternativa ao plantio convencional em solo. Este sistema traz muitas vantagens como a possibilidade de cultivo em área de solos não produtivos, a redução na aplicação de defensivos, o período de colheita prolongado, maior controle de irrigação e adubação e obtenção de produtos mais uniformes e de maior qualidade, além de maior produtividade (Lopes, 2019; Chiomento et al., 2021).

O substrato é componente central desse sistema produtivo, pois exerce funções de sustentação, retenção e disponibilidade de água e nutrientes, além de influenciar diretamente no desenvolvimento radicular e no desempenho fisiológico das plantas (Tang et al., 2024). Dessa forma, sua composição deve ter propriedades físico-químicas necessárias para garantir o desenvolvimento adequado das plantas (Antunes et al., 2016). Além desses aspectos técnicos, fatores econômicos, logísticos e ambientais, como custo, disponibilidade, proximidade das fontes dos materiais e utilização de resíduos agroindustriais, devem ser considerados na escolha do substrato (Lopes et al., 2019). Atualmente, a turfa é o principal material utilizado, em virtude de suas propriedades físico-químicas favoráveis e eficiência produtiva (Hu et al., 2025; Woznicki et al., 2024). Entretanto, a turfa é um recurso não renovável, cuja exploração compromete importantes ecossistemas naturais (Woznicki et al., 2024).

Nesse contexto, torna-se essencial identificar alternativas sustentáveis que conciliem produtividade, fatores econômicos e redução de impactos ambientais. Além da avaliação experimental desses materiais, há necessidade de sistematizar os conhecimentos existentes sobre substratos e sobre a morfologia e fisiologia do morangueiro, de modo a oferecer um referencial abrangente para futuras pesquisas e práticas de cultivo.

Dessa forma, esta tese foi estruturada da seguinte forma. A revisão de literatura inicial versa sobre aspectos econômicos, botânicos, fisiológicos e de manejo do morangueiro, a fim de construir um referencial teórico atualizado. Além disso, realizou-se uma revisão sistemática de literatura, utilizando a base científica Web of Science, que identificou os principais materiais utilizados como substratos para morangos nas últimas duas décadas. O capítulo seguinte detalha a formulação e a caracterização de substratos feitos à base de palha de café, cama de frango e diferentes dosagens de moinha de carvão vegetal. Avaliando a eficiência do substrato através de um experimento em comparação com substratos comerciais atuais, no cultivo semi-hidropônico de morangos da cultivar *San Andreas*.

Os resultados da análise sistemática mostraram que pesquisas atuais buscam elementos alternativos que possam compor substratos para o cultivo semi-hidropônico de morangos. E, o estudo experimental demonstrou que substratos produzidos a partir da compostagem de palha de café e cama de frango, associados à moinha de carvão vegetal, apresentam características físicas e químicas adequadas e desempenho produtivo equivalente aos substratos comerciais de referência. Assim, os resultados obtidos reforçam a importância de integrar revisão teórica e validação prática no desenvolvimento de novas alternativas de substratos, contribuindo para a redução de impactos ambientais e valorização de resíduos na produção semi-hidropônica de morangos.

Diante disso, o objetivo principal desse trabalho é testar o potencial de um substrato formulado com resíduos agroindustriais, a saber palha de café e cama de frango compostados e moinha de carvão vegetal, integrando análise teórica e experimentação prática, promovendo sustentabilidade e eficiência produtiva no cultivo semi-hidropônico de morangos.

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 Objetivo geral

Testar o potencial agronômico de substratos feitos com a mistura de palha de café e cama de frango compostados e porcentagens de moinha de carvão vegetal, promovendo uma alternativa eficaz e sustentável diante dos substratos comerciais utilizados na atualidade.

### 2.2 Objetivos específicos

Estudar características gerais do morangueiro (*Fragaria* × *ananassa* Duch.) e sobre a produção de morangos;

Ressaltar as vantagens do plantio de morango no sistema semi-hidropônico, destacando o substrato como elemento primordial no processo produtivo;

Identificar em pesquisas atuais quais os elementos utilizados na composição de substratos para a produção de morangos;

Realizar um experimento agronômico utilizando os substratos fabricados, avaliando aspectos dos substratos, além de características morfofisiológicas das plantas e físicas e químicas dos frutos;

Comparar os resultados obtidos com os de substratos utilizados na atualidade;

Indicar os substratos produzidos para produção semi-hidropônica de morangos.

### 3 REVISÃO DE LITERATURA

#### 3.1 Características gerais do morangueiro (*Fragaria* × *ananassa* Duch)

A história da espécie *Fragaria* × *ananassa* Duch, conhecida popularmente como morango, tem menos de três séculos de existência, sendo marcada por eventos de hibridização e seleção artificial. O surgimento do morangueiro moderno ocorreu no início do século XVIII, na Europa, a partir do cruzamento espontâneo entre duas espécies silvestres, *Fragaria chiloensis* e *Fragaria virginiana* (Hardigan et al., 2021). A hibridização inicial natural resultou em um aumento da heterozigosidade, seguida de processo de melhoramento genético contínuo nos últimos trezentos anos. Estudos atuais mostram que estes dois processos revelam uma grande manutenção de sua diversidade e uma boa adaptação a diferentes ambientes ao longo do tempo (Fan & Whitaker, 2023; Hardigan et al., 2021).

O morangueiro é uma planta perene pertencente à família Rosacea e ao gênero *Fragaria*, podendo ser rasteira ou ereta. Possui sistema radicular do tipo fasciculado, herbáceo e superficial, com a função de fixar a planta no solo e absorver água e nutrientes. O caule é rizomático e quase todo subterrâneo. A parte superficial é conhecida como coroa, onde nascem os pecíolos, as folhas e os estolões (Antunes et al., 2016).

As folhas são trifoliadas, ou seja, cada folha é formada por três folíolos unidas por um mesmo pecíolo longo, sendo que as margens das folhas são serrilhadas e pilosas em sua face inferior (Taiz & Zeiger, 2017). Pesquisas recentes mostram que as folhas são ricas em compostos bioativos, que oferecem benefícios à saúde (Salas-Arias et al., 2023).

O surgimento das flores no morangueiro é influenciado por condições ambientais, com dias curtos e temperaturas baixas, promovendo a floração ao converter o meristema apical do caule principal em uma inflorescência terminal, onde cada galho pode produzir várias flores (Koskela & Hytönen, 2018).

As flores são tipicamente hermafroditas, apresentando órgãos reprodutores masculinos (estames) e femininos (pistilos), facilitando a autopolinização, entretanto, a disposição das pétalas e a presença de voláteis nas flores, atraem insetos que auxiliam na polinização, principalmente abelhas melíferas e zangões (Darby & Islam, 2024; Liu et al., 2023; Ziegler et al., 2025).

Após a polinização, ocorre a fecundação dos ovários contidos nos carpelos, em um único receptáculo. Essa estrutura leva ao desenvolvimento dos aquênios, que são pequenas sementes presentes na fruta, que na verdade, são os verdadeiros frutos. A parte carnuda da fruta que é consumida é o receptáculo floral desenvolvido para sustentar os aquênios (Sharma et al., 2019). Por isso, o morango pode ser definido como um pseudofruto.

O morango se destaca em vários atributos físicos, nutricionais e bioquímicos. Possuem tamanhos variados, cor vermelha atraente, aroma característico e sabor distinto (Prasad et al., 2022). Os morangos são ricos em vitamina C, minerais, fibras alimentares, flavonoides e polifenóis, que estão associados a vários benefícios à saúde (Oauzzani-Touhami et al., 2023). É uma das frutas mais populares e consumidas em todo o mundo, sendo que cerca de 80% da produção total de morangos é para consumo in natura, enquanto o restante é destinado ao processamento industrial, como a produção de iogurtes, geleias e compotas (Ornelas-Paz et al., 2013).

O crescimento e desenvolvimento das mudas, estão diretamente relacionados com o desenvolvimento morfofisiológico das plantas. Entre os fatores fisiológicos, o teor de clorofila, por exemplo, está amplamente ligado à eficiência fotossintética da planta e conseqüentemente à sua produção (Taiz & Zeiger, 2017). Compostos polifenólicos como flavonoides e antocianinas também são exemplos de fatores fisiológicos importantes, pois atuam como defesa das plantas contra estresses provocados por fatores externos (Salas-Arias et al., 2023). Já entre os aspectos morfológicos, o sistema radicular é de suma importância, pois tem a função de fixar a planta no solo e absorver água e nutrientes, sendo determinante para o desenvolvimento da parte aérea da planta (Antunes et al., 2016; Hu et al., 2025).

Vários programas de melhoramento genético desenvolvem pesquisas buscando a adaptação do morango para diferentes condições. Dependem de diversos fatores, tais como as exigências de fotoperíodo, tempo de frio, temperatura, sensibilidade e resistência a pragas, produtividade, além de características de qualidade do fruto como sabor, tamanho, firmeza, acidez e teor de vitaminas e sólidos solúveis (Oliveira & Antunes, 2016).

A produção de morangos é feita por meio de mudas. Durante o período em que permanecem nos viveiros, as raízes desempenham papel fundamental no armazenamento de amido, o qual será utilizado pela planta nos primeiros dias após o

plantio (Gonçalves et al., 2016). A produção das mudas pode ser feita de formas diferentes. O método mais tradicional, consiste em aproveitar os estolões desenvolvidos pelas plantas, pois ao entrarem em contato com o solo, formam novas mudas (Gonçalves et al., 2016). Entretanto, esse método é trabalhoso, demorado e não impede a transmissão de patógenos sistêmicos da planta-mãe para as plantas-filhas, causando enormes prejuízos no desenvolvimento da planta (Torrico et al., 2018).

Outro método com mudas previamente selecionadas, cultivadas em substratos ou soluções nutritivas em ambiente controlado é a micropropagação por cultura de tecidos *in vitro*, que são opções mais seguras e rentáveis (Mohamed et al., 2016). Por causa da baixa qualidade das mudas produzidas, os produtores optam muitas vezes em comprar mudas de outros países para evitar a contaminação de toda produção com patógenos (Diel et al., 2024).

A colheita do morango é uma operação de extrema importância, visto que as frutas do morangueiro são altamente perecíveis, principalmente devido à sua suscetibilidade a danos mecânicos, perda de água e decomposição fúngica. Por serem frutos não climatéricos, devem ser colhidos com maturação avançada, mas se forem colhidos muito cedo, a textura, a doçura e a acidez não se desenvolvem completamente, perdendo valor comercial (Sánchez et al., 2012).

A etapa final do ciclo produtivo do morango também requer atenção. As práticas pós-colheita são de vital importância para prolongar a vida útil dos morangos, reduzindo o desperdício e garantindo maior qualidade aos consumidores (Anusha et al., 2024). Para que isso ocorra, ações como a refrigeração, que retarda a ação microbiana prolongando a vida útil e a qualidade do fruto, e o armazenamento adequado, que regula a atividade respiratória e o crescimento microbiano, são essenciais (Maurya et al., 2024).

### **3.2 Dados econômicos e tipos de produção de morango**

Analisando a produção mundial de morangos, os dados da Tabela 1, extraída do site da Faostat (2025), mostram os maiores produtores de morangos no ano de 2023.

Tabela 1: Maiores produtores mundiais de morango em 2023.

| País           | Toneladas |
|----------------|-----------|
| China          | 4209269   |
| Estados Unidos | 1250100   |
| Egito          | 731144    |
| Turquia        | 676818    |
| México         | 641552    |
| Espanha        | 329280    |
| Rússia         | 261168    |
| Polônia        | 194500    |
| Brasil         | 187795    |
| Coreia do Sul  | 177682    |

Fonte: Faostat (2025).

Alguns fatores explicam este ranking. A China lidera de forma absoluta e um fator que explica esta vantagem é o fato de utilizarem alta tecnologia no cultivo de morangos, com utilização de estufas e modelos computacionais que controlam o ambiente interno ideal para o cultivo (Li et al., 2023). Já nos Estados Unidos a combinação de condições ambientais favoráveis com o desenvolvimento de novas cultivares proporciona uma grande produção de morangos. Mas, em geral, o principal fator que justifica o crescimento da produtividade em países como México, Turquia, Egito e Brasil está na técnica de cultivo suspensa do solo, que aumenta a produtividade em relação ao plantio diretamente no solo (El-Borai & Whitaker, 2021; Estrada-Chavira et al., 2017; Marques et al., 2024; Öztornaci et al., 2021).

Analisando o Brasil como exemplo, no ano de 2013, o país produziu 135000 toneladas de morango, mostrando um aumento na produção de 39% em dez anos (Faostat, 2025). Este crescimento acentuado na produção deve-se ao fato de muitos produtores estarem migrando do sistema convencional com plantio de morangos diretamente no solo a céu aberto para o sistema de cultivo suspenso do solo cultivado em substrato (Chiomento et al., 2021). Isso porque o sistema convencional enfrenta grandes problemas como doenças no solo, alto custo de mão de obra, riscos

climáticos como chuvas, ventos e intensidade solar, além de uma maior dificuldade de uso mais racional de água e fertilizantes (Chiomento et al., 2021).

Entre os métodos inovadores, podemos citar os sistemas hidropônicos, onde o cultivo é realizado sem a presença de substratos sólidos inertes, nos quais as raízes das plantas alcançam uma solução nutritiva aerada que pode ser fluida ou estática (Fussy & Papenbrock, 2022). Já no sistema semi-hidropônico as mudas são plantadas em substrato pré-fabricado dentro de sacolas plásticas (slabs) ou calhas dispostas em bancadas, suspensas do solo com ambiente protegido (Antunes et al., 2016). Entre as vantagens do sistema semi-hidropônico, podemos destacar a possibilidade de cultivo em área de solos não produtivos, a redução na aplicação de defensivos, o período de colheita prolongado, maior controle de irrigação e adubação e obtenção de produtos mais uniformes e de maior qualidade, além de maior produtividade (Lopes, 2019).

A composição do substrato com mistura de materiais orgânicos e de origem mineral é recomendável. As propriedades físico-químicas desejáveis de um substrato de qualidade são densidade, porosidade, aeração, absorção e drenagem de água, além de ser inerte, livre de fungos e sementes viáveis de plantas daninhas, assim como parâmetros de pH e condutividade elétrica, que também são fundamentais para garantir o desenvolvimento adequado das plantas (Antunes et al., 2016). A escolha do substrato a ser usado na produção de morango em cultivo protegido consiste em um dos fatores primordiais para o sucesso produtivo da cultura. Isso se deve ao fato de o substrato funcionar como meio essencial para fornecimento de nutrientes necessários para o crescimento e desenvolvimento da fruta (Tang et al., 2024).

Além desses aspectos técnicos, fatores econômicos, logísticos e ambientais, como custo, disponibilidade, proximidade das fontes dos materiais e utilização de resíduos agroindustriais, devem ser considerados na escolha do substrato (Lopes, 2019). Diversos estudos têm demonstrado resultados promissores na utilização desses resíduos na formulação de substratos para diferentes culturas. Trabalhos recentes como os de Chiomento et al. (2021), Diel et al. (2021), Hu et al. (2025), Tang et al. (2024) e Woznicki et al. (2024) evidenciam o potencial agrônômico de materiais alternativos na produção de morangos.

### **3.3 Revisão sistemática: substratos utilizados na produção de morangos**

Além das características essenciais para um substrato de qualidade, os componentes que o integram, têm sido alvo de pesquisas recentes. Isso se deve a busca pela utilização de resíduos agroindustriais como substratos ser uma estratégia sustentável, que contribui para a redução de impactos ambientais e o reaproveitamento de materiais (Berilli et al., 2019).

Para a busca sistematizada, escolheu-se a base científica Web of Science através do Acesso CAFe do Portal de Periódicos da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES). Foram introduzidas as palavras-chave “substrate” e “strawberry” usando como filtro as publicações a partir do ano de 2006, ou seja, nos últimos vinte anos. Todos os resumos dos trabalhos apontados pela busca, foram lidos e aqueles que não tinham em sua metodologia, o uso de substrato para plantio de morangos, foram descartados. Todos os demais trabalhos foram lidos e os materiais utilizados como substratos foram registrados. Há de se registrar também que alguns trabalhos não tinham acesso aberto e não foi possível verificar a questão do substrato utilizado. Nesse caso, foram descartados também.

A busca gerou um montante de 594 trabalhos científicos, sendo que 376 foram descartados em uma análise primária, principalmente porque o substrato não era o objetivo principal da pesquisa. Entre esses objetivos, podemos citar como exemplos, o uso residual de morangos para fabricação de um substrato repelente de insetos (Chen et al., 2020), produção de filme plástico para aumentar a vida útil dos morangos (Cheng et al., 2021) e o desenvolvimento de um indutor de amadurecimento de morangos (Li et al., 2023).

Entre os 218 estudos restantes, fez-se uma separação por categorias. Na primeira, foram registradas 325 menções de materiais de origem vegetal/animal utilizados na composição de substratos para cultivo de morangos, como podemos ver na Figura 1, com suas respectivas distribuições.

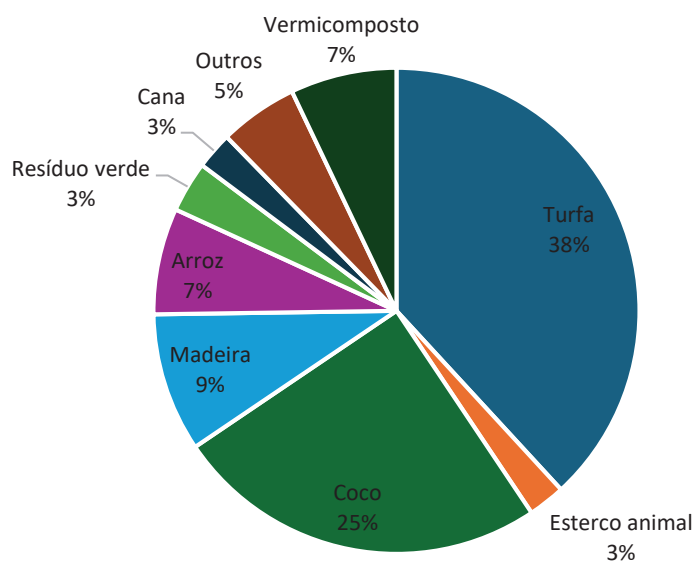


Figura 1: Materiais de origem vegetal/animal utilizados como substrato para produção de morangos. Fonte: Elaborada pelo autor (2025).

A turfa foi o material mais utilizado nas pesquisas (38%), pois é comprovadamente um excelente meio de cultivo para produção de morangos devido à sua boa capacidade de reter água e proporcionar boa aeração às raízes das plantas (Hu et al., 2025). No entanto, a turfa é considerada um recurso não renovável, e sua extração levanta preocupações ambientais, pois ameaça importantes sumidouros de carbono e habitats para muitas espécies. Por causa de regulamentações, seu uso tem se tornado cada vez mais restrito, o que indica que materiais alternativos devem ser investigados (Woznicki et al., 2024).

Em seguida, temos os resíduos da produção de coco aparecendo em 25% dos trabalhos investigados. Este resíduo aparece de forma diversificada como fibra, lascas e até em pó. Oferece vantagens no gerenciamento do teor de água e nas fases gasosas e pode estimular o crescimento e o desenvolvimento das raízes (Kim et al., 2024; Tang et al., 2024). Porém, também enfrenta problemas ambientais, como alta emissão de CO<sub>2</sub> pelo processamento e transporte de uma grande distância entre os maiores produtores e exportadores, mudança no uso da terra durante a produção e poluição da água durante o processamento da fibra de coco (Aurdal et al., 2023; Tang et al., 2024; Woznicki et al., 2024).

Outro material muito utilizado como substrato são os resíduos da produção de arroz, principalmente de forma carbonizada (Diel et al., 2017). No entanto, a carbonização da casca requer conhecimento e técnica, devido à alta concentração de

dióxido de silício. Quando este material carboniza muito, torna-se indesejável para o uso como substrato agrícola (Signorini et al., 2022).

Alguns materiais obtiveram êxito em suas pesquisas, porém com uma porcentagem menor de pesquisas. Podemos destacar as pesquisas com fibra de madeira (Woznicki et al., 2024) com 9%, resíduos de arroz (Diel et al., 2017) com 7% e uso de vermicomposto (Tang et al., 2024) também com 7%. Outros materiais residuais citados aparecem poucas vezes e necessitam de mais pesquisas quanto à sua utilização. Entre eles estão os seguintes resíduos: verdes agrícolas (3%), cana-de-açúcar (3%), cogumelo (1%), além de café, trigo, lodo de esgoto, quitina, azeitona, alpiste, tabaco, fava, cevada que juntos somaram 4% de todos os materiais de origem vegetal/animal utilizados como substrato no plantio de morangos.

Já entre os materiais de origem mineral, obtivemos 133 menções de materiais dessa natureza, cuja distribuição está na Figura 2. O destaque maior é para a perlita, que aparece em 47% das pesquisas. Quando associada a materiais orgânicos, como a turfa, mostrou bom desenvolvimento das raízes e dos frutos (Ameri et al., 2020), porém sem esta associação, o crescimento radicular foi menor e elevou o pH do substrato (Yafuso & Boldt, 2024).

Em seguida, há um equilíbrio entre areia (12%), vermiculita (11%), lã de rocha (11%) e resíduos de pedras vulcânicas com 9%. Vale observar que em 10% dos trabalhos que listaram materiais dessa natureza, o solo foi utilizado como substrato.

A revisão sistemática trouxe ainda 32 trabalhos científicos, que trazem materiais que são compostos com elementos de origem vegetal e mineral. Entre eles, podemos destacar a utilização de substratos comerciais (Chiomento et al., 2021) e resíduos de sedimentos marinhos (Tozzi et al., 2020). Este resultado aponta para a uma tendência de busca de materiais alternativos aos utilizados na atualidade para composição de substratos para o cultivo de morangos no sistema semi-hidropônico.

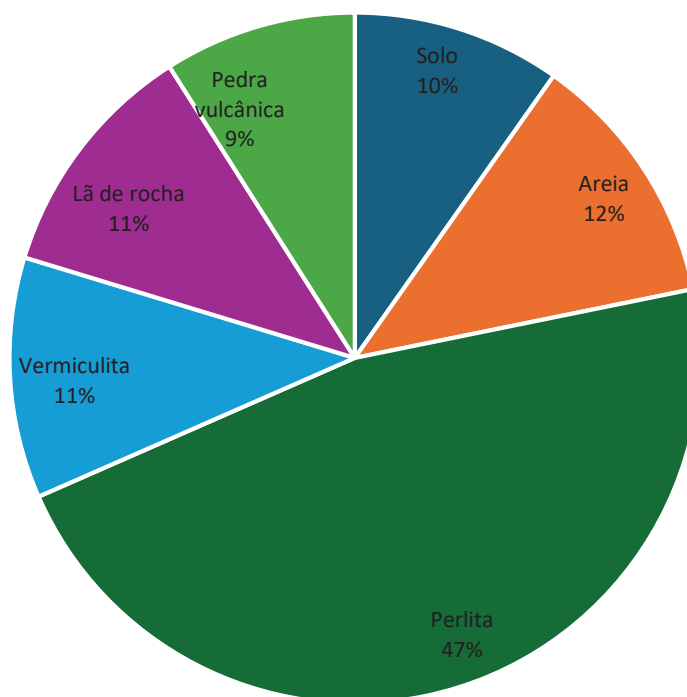


Figura 2: Materiais de origem mineral utilizados como substrato para produção de morangos. Fonte: Elaborada pelo autor (2025).

A revisão sistemática trouxe ainda 32 trabalhos científicos, que trazem materiais que são compostos com elementos de origem vegetal e mineral. Entre eles, podemos destacar a utilização de substratos comerciais (Chiomento et al., 2021) e resíduos de sedimentos marinhos (Tozzi et al., 2020). Este resultado aponta para a uma tendência de busca de materiais alternativos aos utilizados na atualidade para composição de substratos para o cultivo de morangos no sistema semi-hidropônico.

### 3.4 Materiais alternativos utilizados como substratos

Embora a turfa tenha sido amplamente utilizada como composto orgânico, há uma preocupação crescente sobre a sustentabilidade de sua extração de turfeiras. Como alternativa, substratos à base de composto e outros materiais orgânicos estão sendo explorados como substitutos para a turfa na horticultura (Yeganeh et al., 2024). Uma opção para aumentar o teor de matéria orgânica é utilizar compostagem como um dos componentes para o substrato (Tang et al., 2024).

A compostagem envolvendo esterco animal mostrou-se uma boa alternativa. Entretanto, os melhores resultados encontrados envolveram compostagem de matérias de origem animal e vegetal. A pesquisa de López-Fabal e López-López (2023) utilizou esterco de aves compostado com madeira, alcançando propriedades

físicas ideais para os morangos e altas concentrações de nutrientes. Já o trabalho de Avdiu et al. (2022) apresentou resultados mais fracos para cada um dos parâmetros analisados na produção de morangos, com o tratamento utilizando apenas esterco de animais decomposto. E, Burgut et al. (2020) obtiveram resultados superiores em todas as características avaliadas com compostagem de palha de trigo, esterco bovino e de aves em comparação com o substrato controle que utilizou uma combinação de turfa e perlita.

Além da compostagem utilizada como material alternativo, outro destaque é para o uso de biochar, que aparece em 12 trabalhos somente nos últimos cinco anos, indicando um possível componente para futuras pesquisas de substrato para morangos (Chiomento et al., 2021; Tender et al., 2021).

O biochar é um material sólido, semelhante ao carvão vegetal, rico em carbono, obtido por transformação termoquímica de biomassa de diversas matérias-primas, sob condições de oxigênio limitado (Iacomino et al., 2023). Suas principais características incluem elevada área superficial específica, alta porosidade e significativa capacidade de troca catiônica, propriedades que contribuem para a melhoria da estrutura física do meio de cultivo, aumento da retenção de água e maior disponibilidade de nutrientes às plantas (Chiomento et al., 2021; Tang et al., 2024). Também apresenta elevada estabilidade em longo prazo no solo, o que amplia suas possibilidades de uso em meios de cultivo (Vandecasteele et al., 2023).

No contexto da produção de morangos em substratos, estudos indicam que a utilização de biochar combinado com materiais orgânicos pode melhorar significativamente a formação do sistema radicular, promover crescimento vegetal, aumentar a produtividade e elevar a resistência pós-colheita dos frutos (Iacomino et al., 2023; Tang et al., 2024; Tender et al., 2021).

Entretanto, sua adoção em larga escala ainda enfrenta limitações técnicas e científicas. O uso do biochar como material único em meios de cultivo ainda é limitado, principalmente devido a valores elevados de pH e condutividade elétrica quando utilizado de forma isolada (Vandecasteele et al., 2023).

Nesse contexto, o biochar aliado à compostagem de elementos de origem vegetal e animal, torna-se um potencial substituto à turfa e à fibra de coco para comporem substratos em sistema semi-hidropônico para plantio de morangos, em razão de suas propriedades físico-químicas semelhantes, maior estabilidade ao longo

do ciclo de crescimento das plantas e pela utilização de materiais residuais da agricultura e da indústria (Aurdal et al., 2023; Vandecasteele et al., 2023).

## 4 MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1 Caracterização do substrato utilizado no experimento

Essa caracterização foi realizada no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Espírito Santo campus de Alegre (Ifes de Alegre), localizado no município de Alegre-ES, 20°45'44"S, 41°27'42,83" O, com altitude média de 134 m.

Para a formulação da compostagem que compôs os substratos alternativos, utilizaram-se dois resíduos agroindustriais, cama de frango e palha de café, provenientes de municípios localizados nas proximidades da área experimental. Após a coleta, os materiais foram levados para a Usina de Compostagem de Viana-ES para o processo de compostagem em escala industrial, visando à estabilização dos resíduos antes de sua utilização.

Para o processo de compostagem, os materiais foram depositados em um galpão aberto, com paredes laterais de 50 cm de altura, na proporção volumétrica de 3 partes de palha de café para 1 parte de cama de frango. Em seguida, utilizou-se uma máquina revolvedora que, por sete horas por dia, misturou todo o material de forma automática, com intervalo de repouso intermitentes com descanso de três dias a cada período de revolvimento. Durante o processo, água foi adicionada mantendo o material com teor de umidade de aproximadamente 65%. Este processo ocorreu até se completarem trinta dias de compostagem. A compostagem pronta, foi coberta com lona, permanecendo em repouso por 30 dias.

Encerrado o período de maturação, o composto foi homogeneizado com moinha de carvão vegetal triturado, utilizando-se uma betoneira. O carvão foi adquirido em carvoarias da região, e sua incorporação ao composto permitiu a formulação de diferentes tratamentos, conforme descrito na Tabela 1. Para cada um desses tratamentos, foi adicionado 3% da massa total de fertilizante Super Fosfato Simples, para um melhor controle do pH, uma vez que um teste laboratorial indicou pH 8,80 para a compostagem e 7,30 para a moinha de carvão vegetal.

Tabela 2: Descrição dos tratamentos compostos de moinha de carvão triturado (TC) e compostagem (CP).

| <b>Tratamentos</b> | <b>Descrição</b>  |
|--------------------|---|
| CP100              | 100% de compostagem.  |
| CP80TC20           | 80% de compostagem e 20% de carvão.   |
| CP60TC40           | 60% de compostagem e 40% de carvão.   |
| CP40TC60           | 40% de compostagem e 60% de carvão.   |
| CP20TC80           | 20% de compostagem e 80% de carvão.   |
| SC1                | Substrato Comercial 1: Composto orgânico tipo A, casca de pinus, casca de arroz e cinzas de arroz.  |
| SC2                | Substrato Comercial 2: Turfa, vermiculita expandida, casca de arroz carbonizada, calcário dolomítico, gesso agrícola, fertilizante NPK e micronutrientes. |

Para a caracterização do substrato, foram obtidas as medidas de densidade, coeficiente de retenção de água (CRA), pH, umidade e condutividade elétrica (CE). Para a densidade e o CRA, amostras de cada tratamento foram separadas e levadas a uma estufa por 24 h, a uma temperatura de 105°C para secagem. A densidade aparente de cada amostra foi calculada pela relação entre a massa seca (MSA) e o volume do recipiente (VR) utilizado. Para o cálculo do CRA, MAP e a massa da amostra após a drenagem por gravidade, utilizou-se a Equação 1:

$$CRA (\%) = \frac{MAP - MSA}{VR} \quad (\text{Eq 1})$$

Para obtenção da medida do pH, este procedimento foi realizado após a lavagem dos substratos com água e repetido no final do experimento. Três amostras com dez gramas de cada tratamento foram coletadas e colocadas em copos plásticos. Cada copo foi misturado com um bastão de vidro durante um minuto. Após uma hora, as medidas foram realizadas com um phrômetro de bancada devidamente calibrado (Teixeira et al., 2017).

Já a umidade e a condutividade elétrica (CE) foram determinadas pelo aparelho GP2 Data Logger da empresa Delta-T Devices, que registrou estes índices desde o início do experimento até o seu final, sendo 207 dias observados em cada hora a partir do momento da irrigação, totalizando 4968 medidas para cada tratamento.

Os dados obtidos foram submetidos à análise de regressão, sendo o modelo logarítmico aquele que melhor representou o comportamento das variáveis ao longo do tempo. Esse modelo, caracterizado por uma tendência de crescimento ou decréscimo lento até a estabilização, é expresso pela função  $y = a + b \cdot \ln(x)$ , onde 'a' é o valor inicial e 'b' o coeficiente logarítmico entre as duas variáveis, sendo  $x > 0$  (Montgomery et al., 2012).

#### **4.2 Análise de produção dos substratos**

Após a produção dos substratos, foi conduzido um experimento em blocos casualizados com 7 tratamentos e 10 repetições, tendo 5 plantas por parcela. Essa etapa foi realizada em um plantio comercial no distrito de São João do Garrafão, município de Santa Maria de Jetibá – ES, 20°09'01,7"S 40°54'10,8"O, com altitude média de 1064 metros.

Todos os tratamentos foram condicionados em slabs, que são sacolas plásticas brancas de gramatura de 200 micras que possuem 30 cm de largura por 100 cm de comprimento, cuja forma é semelhante a um cilindro. Cada slab constituiu uma repetição de tratamento, sendo que em cada slab foram plantadas cinco mudas de morango (parcela), totalizando 70 mudas por tratamento e 350 mudas no total. Os slabs foram colocados em canteiros de madeira suspensos a um metro do solo cobertos com estrutura de filme plástico. As mudas da cultivar San Andreas foram compradas importadas do Chile e plantadas em agosto de 2023.

O sistema de fertirrigação diário é feito duas vezes ao dia. Em uma delas, diluiu-se 1000 litros de água com 333 g de fertilizante para morangos fase inicial, 250 g de sulfato de magnésio, 250 g de fertilizante Dripsol para morangos e 15 g de ferro. Na outra, mistura-se a 1000 litros de água, 400 g de nitrato de cálcio com 30 g de fertilizante mineral misto Focal.

As características avaliadas nos morangos após as colheitas foram a massa fresca, diâmetro, comprimento, firmeza, sólidos solúveis totais, acidez total titulável e pH realizadas no Ifes de Alegre, de acordo com a metodologia atual utilizada (Cecchi, 2003; Instituto Adolfo Lutz, 2008). A medida da massa fresca dos frutos, expressa em g, foi realizada em balança analítica e as medidas dos diâmetros e dos comprimentos, em mm, foram feitas com um paquímetro digital. A firmeza do fruto foi mensurada por um penetrômetro digital Instrutherm PTR-300 com ponteira de 1 mm de diâmetro.

Já a medida do pH do suco do fruto foi realizada por um peagâmetro de bancada devidamente calibrado. Para a medição dos sólidos solúveis totais, expressos em °Brix, foi utilizado um refratômetro portátil Quimis, em temperatura ambiente de 20°C. E, para a acidez total titulável utilizou-se hidróxido de sódio (NaOH) como titulante a 0,1 N, com pH de viragem 8,2. Por fim, estabeleceu-se o Ratio pela simples relação entre sólidos solúveis totais e a acidez total titulável. A produção de cada tratamento foi avaliada pela razão entre a soma das massas dos frutos coletados em cada tratamento por cinco, que corresponde ao número de plantas contidas em cada slab. Foram estabelecidos quatro meses para colheita de morangos, sendo que em cada mês foram realizadas três colheitas.

As médias das variáveis descritas acima foram submetidas ao teste de normalidade de resíduos de Shapiro-Wilk e ao teste de homogeneidade de variâncias de Levene, seguido pela análise de variância e ao teste Scott-Knott e/ou teste t pareado de Student em 5% de probabilidade, para testar a significância das diferenças entre os tratamentos. As análises estatísticas foram realizadas com o software RStudio e os gráficos pelos programas Microsoft Excel e Geogebra.

#### **4.3 Análise morfofisiológica das plantas**

As mudas foram avaliadas por cinco meses seguidos, sendo a primeira avaliação dois meses após o plantio. As plantas foram avaliadas quanto ao teor de clorofila (CHL), SPAD e total de clorofila por cm<sup>2</sup> (TOTCH), utilizando um medidor de clorofila manual. Também foram medidos níveis de Clorofila (CHLM), flavonoides (FLVM), antocianina (ATNHM) e nitrogênio (NFI), através de um medidor de Multipigmentos. Ao fim dessas medições as plantas passaram por um processo de uma poda drástica para eliminação de folhas velhas, estolões e coroas em excesso, deixando apenas uma média de cinco coroas por planta.

Passados seis meses do processo de poda e de um novo ciclo vegetativo e produtivo, as plantas de quatro blocos do experimento foram encaminhadas ao laboratório do IFES Campus Alegre, para realização de análise destrutiva. A parte aérea das mudas foi avaliada pela Área foliar (AF), medida em cm<sup>2</sup>, com um medidor de área foliar de bancada modelo LI-3100C e o Número de Folhas (NF) por contagem manual. Já a raiz foi avaliada pelas variáveis comprimento de raiz em cm (CR), área de projeção da raiz em cm<sup>2</sup> (APR), volume de raiz em cm<sup>3</sup> (VR), área superficial de

raiz em  $\text{cm}^2$  (ASR) e diâmetro médio de raiz em cm (DMR), utilizando-se o software WinRhizo, empregando um scanner de raiz.

A extração e análise do teor de clorofila por espectrofotometria foi realizada segundo a metodologia descrita por Pirovani et al. (2021) e Wellburn (1994). Foram retirados discos foliares de 3,88 mm de diâmetro de três mudas de cada tratamento, usando dimetilsulfóxido 10 mL/amostra. As amostras serão levadas ao banho-maria por 25 min, a  $65^\circ\text{C}$  e a absorvância da clorofila será medida em 480 nm (A480), 649 nm (A649) E 665 nm (A665) usando o espectrofotômetro Modelo Spectrum SP-2000.

Em seguida foram realizadas as medidas das variáveis massa fresca da parte aérea (MFPA), massa fresca do sistema radicular (MFSR) pela pesagem em balança semianalítica. Foram mensuradas da mesma forma, a massa seca da parte aérea (MSPA) e a massa seca do sistema radicular (MSRA), após secagem das plantas em estufa com circulação de ar por 72 horas a  $65^\circ\text{C}$ .

As médias das variáveis morfológicas foram submetidas ao teste de normalidade de resíduos de Shapiro-Wilk e ao teste de homogeneidade de variâncias de Levene, seguido pela análise de variância e ao teste Scott-Knott em 5% de probabilidade, para testar a significância das diferenças entre os tratamentos. As análises estatísticas foram realizadas com o software RStudio. As médias das variáveis fisiológicas foram apresentadas por gráficos de segmentos feitos pelo programa Microsoft Excel em função dos meses decorridos após início do experimento.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 Características dos substratos

Os substratos produzidos a partir de compostagem de palha de café e cama de frango, com doses de moinha de carvão triturado apresentaram diferenças nas variáveis físicas testadas em relação aos substratos comerciais. Entretanto, ao analisar os resultados de pós-colheita para esses tratamentos, os resultados obtidos revelaram similaridade em relação aos substratos comerciais, indicando não haver diferenças pós-colheita, exceto a característica de pH do fruto, em relação aos substratos comerciais.

Entre as características analisadas para o substrato, tanto a densidade inicial quanto a final apresentou valores satisfatórios. A densidade ideal de um substrato para o plantio de morangos está na faixa de 0,1 a 0,8 g/cm<sup>3</sup> (Tang et al., 2024), fato que ocorreu com todos os tratamentos. Observou-se ainda que tanto a densidade quanto o coeficiente de retenção de água (CRA) dos substratos variaram ao longo do tempo, que pode ser atribuído à decomposição da matéria orgânica e ao crescimento do sistema radicular. Esses processos contribuem para a compactação do substrato, reduzindo poros de aeração, aumentando a retenção hídrica (Valenzuela, 2023). Quanto ao pH do substrato, o valor para manter os nutrientes disponíveis para as plantas, deve estar entre 5,8 e 6,5, com limite máximo em 7,5, onde valores acima deste índice, podem comprometer a absorção de nutrientes e causar inibição no desenvolvimento vegetal (Yu et al., 2023).

Os resultados dos testes descritos na Tabela 3 mostram que não houve diferença significativa entre os tratamentos para o pH do substrato. Isso também ocorreu entre o pH inicial e final para todos os tratamentos, porém CP80TC20 apresentou pH final maior que o limite máximo e SC1 ficou com o pH abaixo do nível ideal, algo não desejado para um substrato.

Analisando a densidade aparente e o CRA, o tratamento CP20TC80 foi o maior destaque. Esse tratamento apresentou diferença significativa nas duas características, inicial e final, porém aumentou sua capacidade de retenção de água tendo o maior índice de CRA final, indicando maior potencial para retenção hídrica. Os tratamentos CP80TC20, CP40TC60 e SC2 não apresentaram diferenças significativas entre os tempos de avaliação, sugerindo melhor estabilidade, porém o

CRA final de SC2 é o mais baixo entre todos os tratamentos. E, o CP100 mostrou-se significativamente diferente dos demais substratos. As densidades variaram em relação ao tempo com índice com baixa retenção de água, apontando indícios de compactação.

Tabela 3: Descrição dos tratamentos seguidos de médias inicial e final de densidade aparente, coeficiente de retenção de água (CRA) e pH.

| <b>Tratamentos</b> | <b>Densidade inicial (g cm<sup>-3</sup>)</b> | <b>Densidade final (g cm<sup>-3</sup>)</b> | <b>CRA Inicial (%)</b> | <b>CRA Final (%)</b> | <b>pH inicial</b> | <b>pH final</b> |
|--------------------|--|--|------------------------|----------------------|-------------------|-----------------|
| CP100              | 0,34Ab                                       | 0,49Ba                                     | 15,30Ad                | 19,45Ab              | 7,38Aa            | 6,97Aa          |
| CP80TC20           | 0,41Aa                                       | 0,36Ab                                     | 30,50Ab                | 22,87Ab              | 6,44Aa            | 7,58Aa          |
| CP60TC40           | 0,42Aa                                       | 0,33Bb                                     | 41,39Ab                | 36,86Aa              | 6,70Aa            | 6,77Aa          |
| CP40TC60           | 0,39Aa                                       | 0,34Ab                                     | 37,66Ab                | 37,70Aa              | 6,53Aa            | 6,81Aa          |
| CP20TC80           | 0,47Aa                                       | 0,37Bb                                     | 35,66Ab                | 46,31Ba              | 6,40Aa            | 6,75Aa          |
| SC1                | 0,25Ac                                       | 0,21Bc                                     | 44,10Aa                | 36,19Aa              | 5,50Aa            | 5,52Aa          |
| SC2                | 0,19Ad                                       | 0,17Ad                                     | 24,17Ac                | 16,25Ab              | 5,90Aa            | 5,78Aa          |
| Média              | 0,35   | 0,32                                       | 32,68                  | 32,08                | 6,41              | 6,60            |
| CV (%)             | 4,36   | 5,76                                       | 10,65                  | 26,53                | 2,40              | 6,46            |

Médias seguidas da mesma letra minúscula nas colunas, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott, em 5% de probabilidade. Médias seguidas por letras maiúsculas iguais nas linhas, dentro da mesma característica, não diferem estatisticamente pelo teste t pareado de Student em 5% de probabilidade.

Outra característica analisada foi a umidade. A Figura 3 mostra o comportamento ajustado de cada tratamento ao longo de um período de 24 horas após a irrigação, com medição a cada hora. Os resultados indicaram que os tratamentos CP20TC80 e CP40TC60 se destacaram nesta característica, possuindo um bom índice inicial de umidade e possuem uma perda lenta de umidade ao longo do tempo. Os tratamentos CP100, CP80TC20, CP40TC60 também possuem um bom índice inicial de umidade, porém reduzem este índice de forma mais rápida que os anteriores. Já os substratos SC1 e SC2 apresentaram os menores valores iniciais. Isso pode indicar que estes cinco últimos substratos necessitam de um número maior de irrigações para melhor disponibilizarem água.

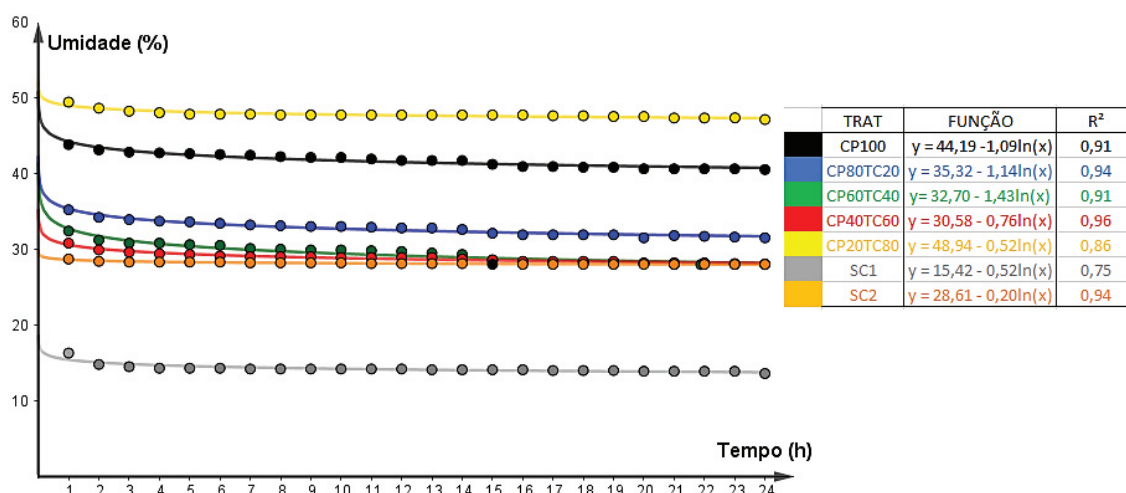


Figura 3: Índices de umidade (%) ao longo do dia a partir da irrigação, seguidas de modelo obtido por análise de regressão e coeficiente de correlação  $R^2$  de cada tratamento. Fonte: Elaborada pelo autor (2025).

Segundo a literatura especializada, para uma boa condutividade elétrica, deve-se manter uma faixa ideal para o plantio de morangos não ultrapassando  $140 \text{ mS m}^{-1}$ , considerando que  $250 \text{ mS m}^{-1}$  pode ser um limite máximo (Prasad et al., 2022). Esta característica deve ser constantemente analisada, pois um alto valor de CE pode significar alta salinidade, não disponibilizando nutrientes necessários para o desenvolvimento da planta (Abbas et al., 2024).

A Figura 4 mostra que os tratamentos CP40TC60, CP20TC80 e SC2 destacam-se nesta característica, pois não ultrapassaram este limite em nenhum momento do experimento e mostraram pouca variação entre os períodos de fertirrigação. Os tratamentos CP80TC20 e CP60TC40 apresentaram a maior variação ao longo do tempo, e juntamente com CP100 e SC1, apresentaram índices maiores que o desejável.

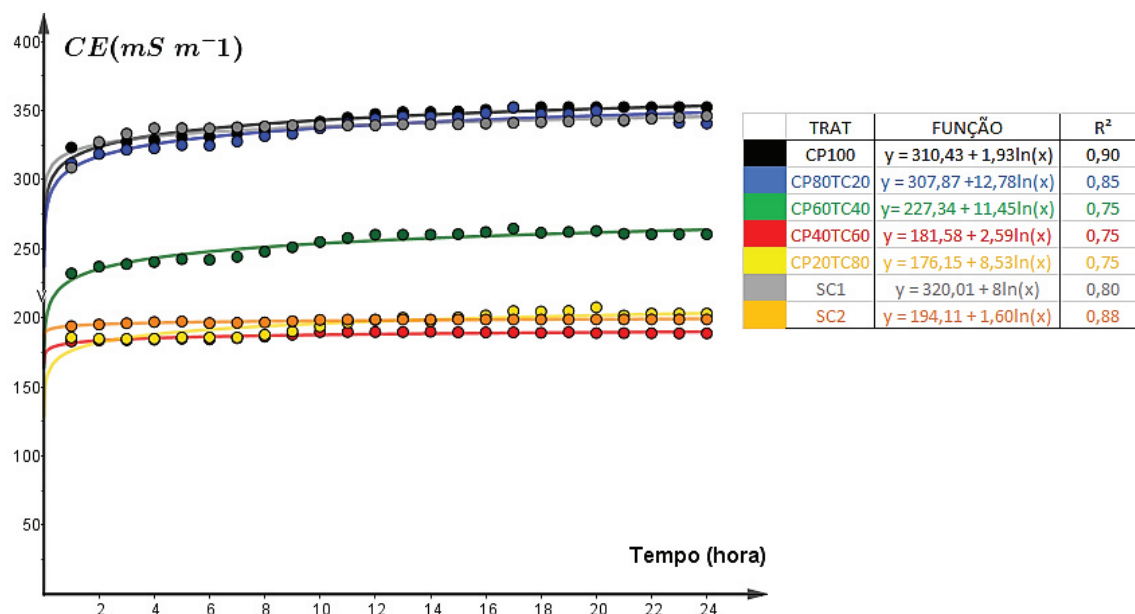


Figura 4: Índices de condutividade elétrica ( $mS m^{-1}$ ) ao longo do dia a partir da irrigação, seguidos de modelo obtido por análise de regressão e coeficiente de correlação  $R^2$  de cada tratamento. Fonte: Elaborada pelo autor (2025).

## 5.2 Análise de produção de frutos

Mesmo com os resultados encontrados indicando diferenças significativas entre os tratamentos para as características físico-químicas dos substratos, isso não acarretou diferenças significativas quanto às características morfológicas do morango. Os resultados descritos na Tabela 4, mostram que apenas para a característica pH do fruto isso ocorreu. O pH para o tratamento CP80TC20 foi de 3,24, único que diferiu estatisticamente dos demais tratamentos que ficaram entre 3,28 e 3,30. Morangos com pH menores que 3,0, são indicados para a indústria, uma vez que não são bem aceitos sensorialmente para consumo (Oliveira & Antunes, 2016).

Tabela 4: Médias semanais dos parâmetros Massa de fruto (MF), Diâmetro de fruto (DF), Comprimento de fruto (CF), Sólidos Solúveis Totais (SST), Acidez Titulável Total (ATT), Ratio, Firmeza do fruto (FF), pH, Número de frutos (NF) e Produção (PROD) de morangos em diferentes tipos de substrato.

| Tratamento | MF (g) | DF (mm) | CF (mm) | SST (°Brix) | ATT (g.100 <sup>-1</sup> g) | RATIO (SST/ATT) | FF (N) | pH    | NF    | PROD (g planta <sup>-1</sup> ) |
|------------|--------|---------|---------|-------------|-----------------------------|-----------------|--------|-------|-------|--------------------------------|
| CP100      | 14,79  | 28,77   | 36,99   | 6,20        | 1,00                        | 6,20            | 3,21   | 3,30a | 10,48 | 29,99                          |
| CP80TC20   | 15,18  | 28,62   | 37,29   | 6,20        | 1,04                        | 6,04            | 3,16   | 3,28a | 10,66 | 31,38                          |
| CP60TC40   | 15,32  | 29,40   | 37,81   | 6,02        | 1,03                        | 5,94            | 3,37   | 3,29a | 10,86 | 32,00                          |
| CP40TC60   | 15,37  | 29,48   | 37,71   | 6,07        | 1,02                        | 5,96            | 3,26   | 3,29a | 12,66 | 38,48                          |
| CP20TC80   | 16,14  | 29,89   | 37,48   | 5,97        | 1,02                        | 5,87            | 3,27   | 3,24b | 11,63 | 36,10                          |
| SC1        | 16,19  | 29,86   | 37,47   | 5,93        | 1,02                        | 5,85            | 3,28   | 3,29a | 12,41 | 39,70                          |
| SC2        | 15,55  | 29,59   | 36,87   | 6,11        | 1,01                        | 6,08            | 3,39   | 3,30a | 14,25 | 41,69                          |
| Média      | 15,50  | 29,37   | 37,37   | 6,07        | 1,02                        | 5,99            | 3,28   | 3,28  | 11,85 | 35,62                          |
| CV (%)     | 28,79  | 11,04   | 11,41   | 9,89        | 11,17                       | 15,27           | 18,41  | 2,08  | 63,91 | 59,95                          |

Médias seguidas da mesma letra nas colunas, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott, em 5% de probabilidade pelo teste de Scott-Knott em nível de 5%.

Observando as variáveis massa, diâmetro e comprimento do fruto, percebemos que o tratamento SC1 apresentou a maior média para massa, seguido muito de perto por CP20TC80. Fato que ocorreu para o diâmetro, porém de forma inversa. Já em comprimento, tratamentos CP60TC40 e CP40TC60 tiveram as maiores médias.

Tanto o teor de SST e a ATT não devem ser analisados isoladamente, e sim pelo Ratio, que é a relação entre SST e ATT. Um alto valor para o Ratio indica um melhor equilíbrio entre o doce promovido pelo SST e a acidez da ATT, resultando em sabor mais agradável para o consumo (Nunes & Novello, 2021). Em Ratio os tratamentos CP100 e SC2 obtiveram as maiores médias. Em número de frutos por planta, o destaque foi SC2 com valor médio de 14,25 frutos, seguido pelo tratamento CP40TC60 com 12,66 frutos em média. A produção mais alta foi também de SC2, seguido de perto por SC1 e CP40TC60.

Para ampliar esta análise, gráficos de regressão foram confeccionados e seus respectivos coeficientes de determinação  $R^2$  foram avaliados logo em seguida. Embora o  $R^2$  seja uma ferramenta importante para avaliar o ajuste do modelo, é essencial considerar suas limitações e o contexto de sua utilização, mas um  $R^2$  mais alto sugere uma melhor relação entre as variáveis, sendo que ele varia de 0 a 1 (Zapf et al., 2024). No caso desta pesquisa, esse índice indica o quanto de variação da característica indicada pode ser explicada pela quantidade de carvão e compostagem adicionada ao substrato (Zhang, 2017). Valores de  $R^2$  acima de 0,75 são considerados

substanciais e entre 0,50 e 0,75 são moderados, e entre 0,25 e 0,50 são considerados fracos (Hair et al., 2019).

Analisando as características massa e diâmetro do fruto, pela Figura 5, percebemos uma tendência linear de crescimento em função da porcentagem de moinha de carvão vegetal aplicada no substrato. Isso mostra que as dosagens mais altas de carvão ocasionam aumento substancial na massa e no diâmetro dos morangos.

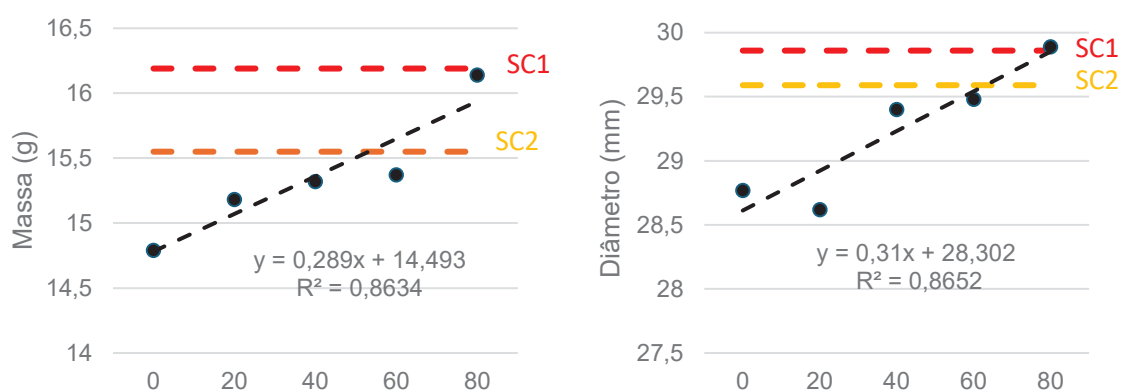


Figura 5: Médias semanais dos parâmetros Massa e Diâmetro de fruto de acordo com porcentagem de compostagem e moinha de carvão vegetal, seguidas de modelo obtido por análise de regressão e coeficiente de correlação  $R^2$ . Fonte: Elaborada pelo autor (2025).

O comprimento do fruto ajustou-se melhor no modelo quadrático, onde a Figura 6 indica este comportamento. Nesta regressão, o valor máximo alcançado para esta variável é para o substrato próximo a 60% de moinha de carvão, acima dos substratos comerciais.

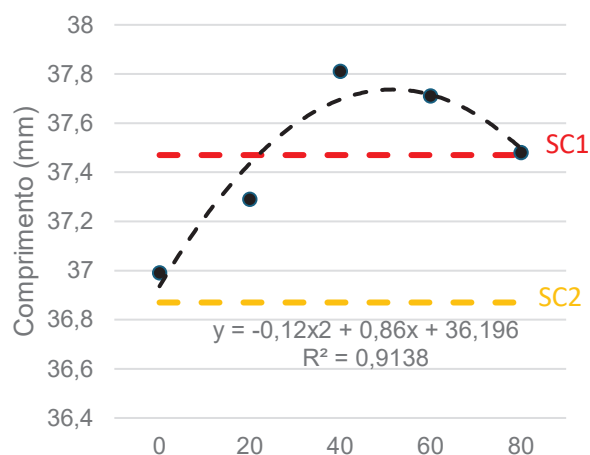


Figura 6: Médias semanal do parâmetro Comprimento de fruto de acordo com porcentagem de compostagem e moinha de carvão vegetal, seguidas de modelo obtido por análise de regressão e coeficiente de correlação  $R^2$ . Fonte: Elaborada pelo autor (2025).

Já as características químicas pH e Ratio dos frutos, analisadas na Figura 7, apresentaram uma tendência quadrática em seus resultados. Esses resultados mostram que uma quantidade maior de moinha de carvão vegetal influencia significativamente no equilíbrio entre acidez e doçura.

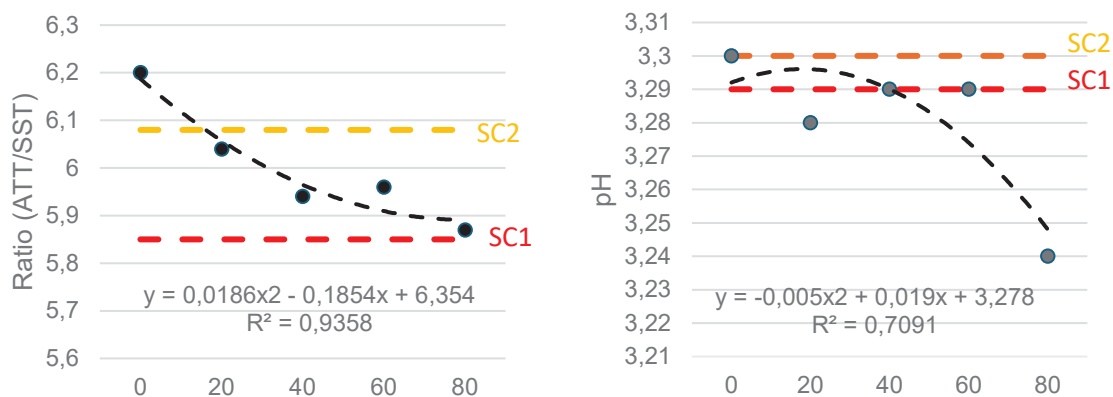


Figura 7: Médias semanais dos parâmetros Ratio e pH de fruto de acordo com porcentagem de compostagem e moinha de carvão vegetal, seguidas de modelo obtido por análise de regressão e coeficiente de correlação  $R^2$ . Fonte: Elaborada pelo autor (2025).

Por fim, a Figura 8 indica que a aplicação de moinha de carvão vegetal influencia positivamente a produção de morangos. O número de frutos por planta pode

ser explicado moderadamente, porém o modelo encontrado para a produção representa boa explicação.

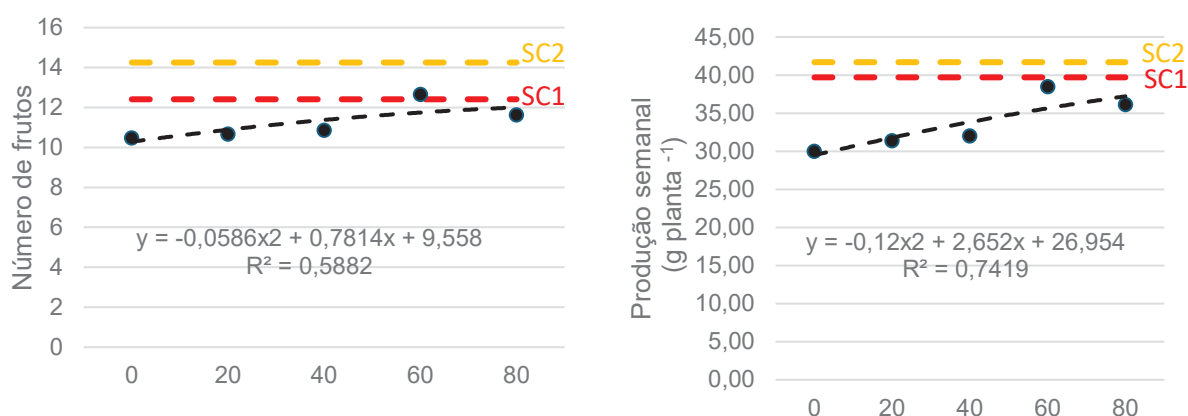


Figura 8: Médias semanais dos parâmetros Número de frutos e Produção de acordo com porcentagem de compostagem e moinha de carvão vegetal, seguidas de modelo obtido por análise de regressão e coeficiente de correlação  $R^2$ . Fonte: Elaborada pelo autor (2025).

### 5.3 Análise morfofisiológica das mudas

Analisando o comportamento das variáveis fisiológicas ao longo do tempo pelas Figuras 9 e 10, foi possível observar diferenças de comportamento entre os tratamentos, onde destacaram-se os tratamentos CP100, CP40TC60 e CP80TC20 em CHL, SPAD e TOTCH. Os substratos comerciais SC1 e SC2 apresentaram maiores índices finais para CHLM, FLVM e o tratamento CP80TC20 sobressaiu em ANTHM e NFI.

A Figura 9 mostra um comportamento similar para os índices de Clorofila (CHL), SPAD e total de clorofila por  $\text{cm}^2$  (TOTCH) em todos os tratamentos. Os índices subiram do 1º para o 2º mês de avaliação e sofreram uma queda nos meses seguintes, voltando a crescer no último mês. Nessas variáveis, os tratamentos CP100, CP40TC60 e CP20TC80, mesmo não tendo os valores iniciais maiores, terminaram o último mês com os maiores índices, indicando que tratamentos com maior porcentagem de compostagem apresentaram melhores condições para atividade fisiológica e fotossíntese (Taiz & Zeiger, 2017).

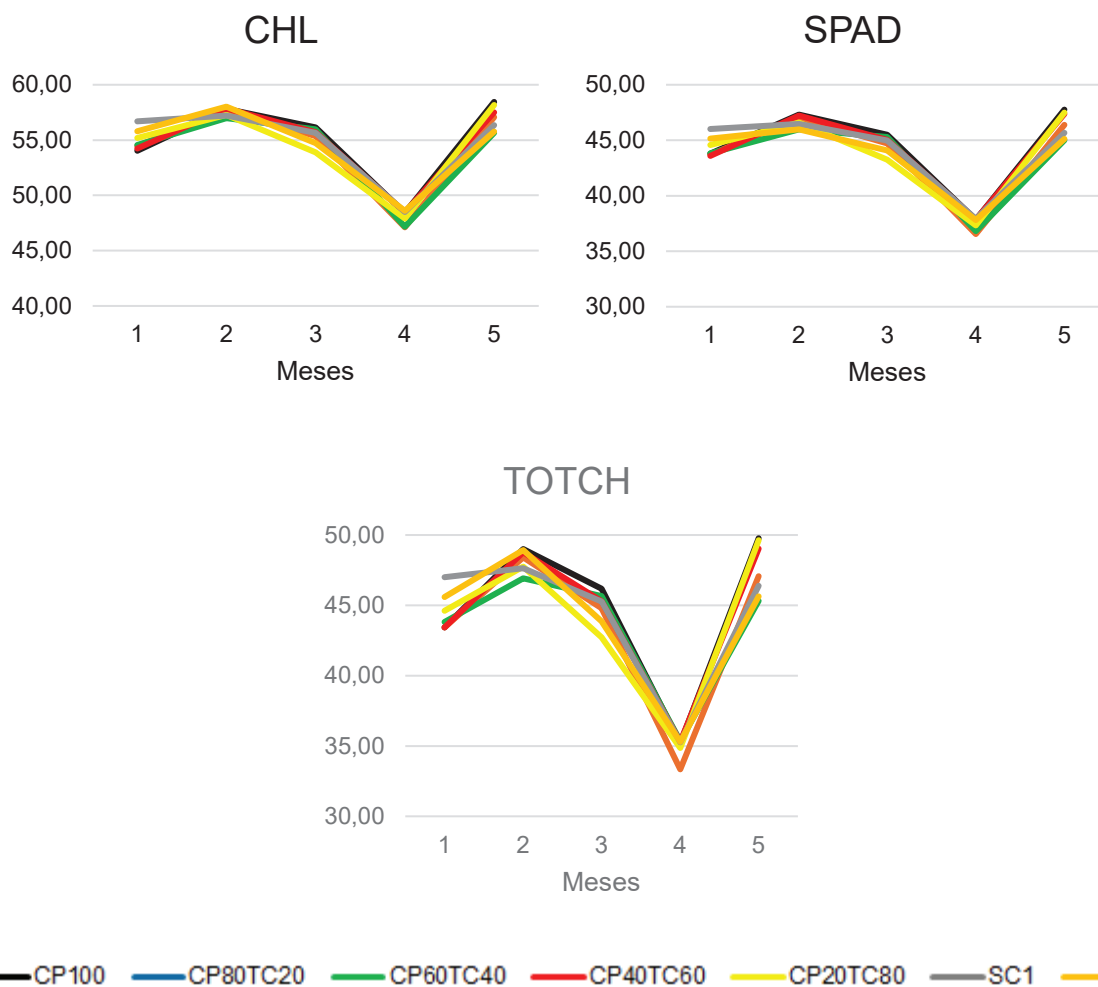


Figura 9: Índices de Clorofila (CHL), SPAD, total de clorofila por  $\text{cm}^2$  (TOTCH) obtidos no medidor de clorofila durante o experimento. Fonte: Elaborada pelo autor (2025).

Já a Figura 10, mostra a variação dos índices de Clorofila (CHLM), Flavonoides (FLVM), Antocianina (ANTHM) e Nitrogênio (NFI) obtidos por um medidor de Multipigmentos. Em CHLM, os tratamentos marcaram uma pequena variação do primeiro para o segundo mês, uma subida grande no terceiro mês, tendo CP100 o pico mais alto (0,90), e uma queda gradual para os dois últimos meses, mostrando uma certa estabilização.

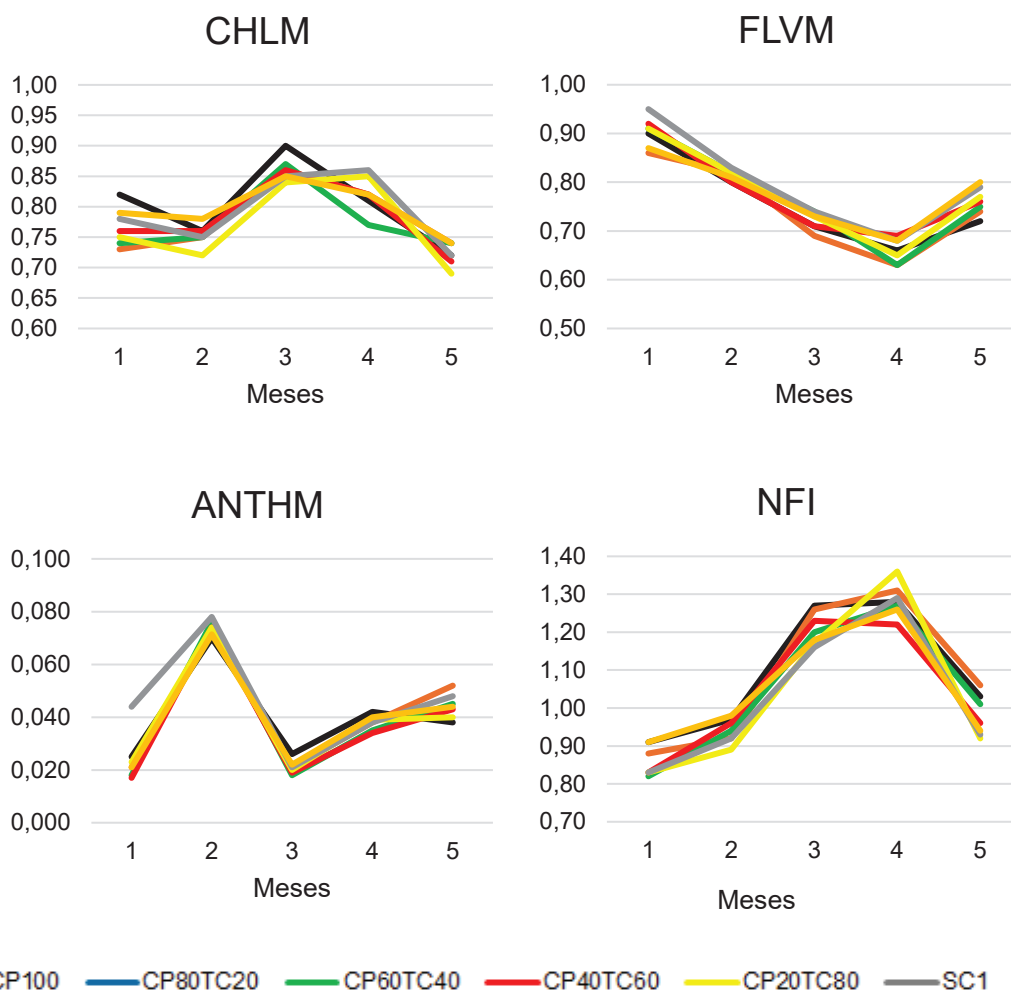


Figura 10: Índices de Clorofila (CHL), SPAD, total de clorofila por  $\text{cm}^2$  (TOTCH) obtidos no medidor de clorofila durante o experimento. Fonte: Elaborada pelo autor (2025).

Ainda na Figura 10, analisando os índices de nitrogênio (NFI), houve uma crescente nos quatro primeiros meses e uma queda no último mês em todos os tratamentos. O tratamento CP20TC80 teve o pico mais alto (1,36) no quarto mês, porém os tratamentos com maior porcentagem de compostagem, CP100, CP80TC20 e CP60TC40, foram mais constantes e tiveram os maiores índices na última avaliação, sugerindo melhor desempenho fisiológico e /ou nutricional e capacidade fotossintética (Cerovic et al., 2012).

Também na figura 10, temos o desempenho das plantas nos índices de Flavonoides (FLVM) e Antocianina (ANTHM), variáveis ligadas à defesa das plantas (Salas-Arias et al., 2023). Em Flavonoides, todos os tratamentos decresceram do primeiro ao quarto mês, tendo uma leve subida no quinto mês, sendo os tratamentos SC1 e SC2 os maiores destaques. Em Antocianina (ANTHM), o pico mais alto foi no segundo mês do tratamento SC1, seguido de queda no terceiro e leve subida nos dois

meses seguintes. Nessa variável, os destaques foram SC1 e CP80TC20 com os maiores valores no mês final.

Entre as variáveis morfológicas, não houve diferença significativa para as variáveis relacionadas à parte aérea da planta e para a massa seca e fresca da raiz. Para as medidas relacionadas às raízes, os substratos SC1 e SC2 tiveram o melhor desempenho. As diferenças significativas encontradas nos resultados foram para as variáveis comprimento (CR), área de projeção (APR), volume (VR) e área superficial (ASR), todas relacionadas às raízes das plantas, como vemos na Tabela 5.

Tabela 5: Médias semanais dos parâmetros comprimento de raiz (CR), área de projeção da raiz (APR), volume de raiz (VR), área superficial de raiz (ASR), diâmetro médio de raiz (DMR), massa fresca da parte aérea (MSPA), massa fresca da raiz (MSRA), massa seca da parte aérea (MSPA), massa seca da raiz (MSRA), área foliar (AF) e número de folhas (NFO) de morangueiros em diferentes tipos de substrato.

| Tratamento | CR<br>(mm) | APR<br>(cm <sup>2</sup> ) | ASR<br>(mm <sup>2</sup> ) | DMR<br>(mm) | VR<br>(cm <sup>3</sup> ) | MFPA<br>(g) | MFRA<br>(g) | MSPA<br>(g) | MSRA<br>(g) | AF<br>(cm <sup>2</sup> ) | NFO   |
|------------|------------|---------------------------|---------------------------|-------------|--------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|--------------------------|-------|
| CP100      | 634,04b    | 116,46b                   | 365,88b                   | 1,92        | 18,29b                   | 231,14      | 97,84       | 36,02       | 12,67       | 1573,46                  | 54,10 |
| CP80TC20   | 594,98b    | 115,60b                   | 363,17b                   | 1,99        | 18,76b                   | 207,87      | 77,18       | 32,68       | 14,43       | 1651,41                  | 46,08 |
| CP60TC40   | 634,27b    | 113,92b                   | 357,91b                   | 1,84        | 17,18b                   | 196,56      | 91,93       | 32,41       | 16,37       | 1499,03                  | 50,37 |
| CP40TC60   | 651,17b    | 107,99b                   | 339,28b                   | 2,01        | 15,85b                   | 163,75      | 71,10       | 26,01       | 17,15       | 1286,43                  | 43,37 |
| CP20TC80   | 553,98b    | 80,89c                    | 254,13c                   | 1,49        | 9,75c                    | 201,04      | 116,49      | 31,99       | 21,81       | 1575,46                  | 55,62 |
| SC1        | 796,87a    | 135,41a                   | 425,43a                   | 1,74        | 19,34b                   | 214,01      | 108,29      | 33,48       | 18,23       | 1463,22                  | 55,66 |
| SC2        | 803,03a    | 155,30a                   | 487,89a                   | 2,05        | 26,34a                   | 198,43      | 115,80      | 30,73       | 18,42       | 1357,80                  | 47,68 |
| Média      | 668,06     | 118,09                    | 371,01                    | 1,86        | 17,94                    | 201,94      | 97,05       | 31,92       | 17,02       | 1486,48                  | 50,46 |
| CV (%)     | 30,30      | 25,20                     | 25,20                     | 32,89       | 46,97                    | 41,21       | 63,15       | 44,52       | 84,34       | 47,69                    | 46,56 |

Médias seguidas da mesma letra nas colunas, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott, em 5% de probabilidade pelo teste de Scott-Knott em nível de 5%.

Os tratamentos SC1 e SC2 destacaram-se nos parâmetros relacionados às raízes, pois mostraram boa estrutura física estável e baixa compactação, favorecendo o desenvolvimento e a formação de raízes funcionais (Bilderback et al., 2013). Esse bom comportamento pode ser atribuído à maior porosidade dos substratos, favorecendo simultaneamente a aeração e a retenção de água (Gruda, 2019).

Em cultivos de morango em substratos, um melhor desenvolvimento na parte vegetativa da planta, está diretamente relacionado ao aumento da eficiência na absorção de água e nutrientes (Savvas et al., 2013). Embora não haja diferença sigficativa para as varáveis massa fresca da parte aérea (MFPA) e massa seca da

parte aérea (MSPA), o tratamento CP100 obteve o melhor resultado nestas duas características, seguido por SC1 e CP80TC20.

O maior desenvolvimento foliar nos tratamentos reforça a hipótese de que esses materiais proporcionaram melhores condições para a fotossíntese e o crescimento vegetativo. Palencia et al. (2013) observaram que o aumento significativo da área foliar e no número de folhas de morangueiros, foram obtidos quando cultivados em substratos com maior capacidade de retenção de água e adequada disponibilidade de nutrientes. Em área foliar (AF), o destaque maior foi para o tratamento CP20TC80, seguido por CP80TC20. E, em número de folhas (NFO), os melhores desempenhos foram para os tratamentos SC1 e CP20TC80.

## 6 CONCLUSÕES

Esta tese mostra dois resultados importantes para o cultivo de morangos, em substratos no sistema semi-hidropônico. O primeiro, a revisão sistemática da literatura mostrou que turfa, resíduos de coco e perlita são, ainda hoje, os materiais mais utilizados e eficientes para essa finalidade. Contudo, suas limitações ambientais, logísticas e econômicas indicam a necessidade em buscar alternativas viáveis, que conciliem produtividade com sustentabilidade.

E o segundo, o estudo experimental demonstrou uma alternativa viável, com os substratos produzidos a partir da compostagem de palha de café e cama de frango, associados à moinha de carvão vegetal. Em especial, as combinações contendo 60–80% de carvão se mostraram promissoras, apontando para a possibilidade de aproveitamento de resíduos agroindustriais locais como estratégia sustentável.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abbas, Y., Jaspers, M., Moalla, R., van Nieuwstadt, J., Zevenbergen, M. A. G. (2024) Electrical conductivity sensor for plant substrates. *Proceedings*, 97:135. DOI [doi.org/10.3390/proceedings2024097135](https://doi.org/10.3390/proceedings2024097135).

Ameri, A., Tehranifar, A., Davarynejad, G., Shoor, M. (2020) Flowering times and some growth indicators of strawberry were affected by physical properties of the growing media. *Scientia Horticulturae*, 272:109601. DOI [doi.org/10.1016/j.scienta.2020.109601](https://doi.org/10.1016/j.scienta.2020.109601).

Antunes, L.E.C., Reisser, C., Jr., Schwengber, J.E. (ed.) (2016) *Morangueiro*. Brasília: Embrapa, 590p.

Anusha, M., Sri, K.R., Lokesh, M., Deepthi, N.M., Malleswari, M.D. (2024) Postharvest management techniques for improved shelf life of horticultural crops: a review. *Journal of Experimental Agriculture International*, 46:362–380. DOI [doi.org/10.9734/jeai/2024/v46i113059](https://doi.org/10.9734/jeai/2024/v46i113059).

Aurdal, S.M., Woznicki, T.L., Haraldsen, T.K., Kusnierek, K., Sønsteby, A., Remberg, S.F. (2023) Wood fiber-based growing media for strawberry cultivation: effects of incorporation of peat and compost. *Horticulturae*, 9:36. DOI [doi.org/10.3390/horticulturae9010036](https://doi.org/10.3390/horticulturae9010036).

Avdiu, V., Dragusha, B., Hajra, E., Hodolli, G. (2022) Effects of different substrates on the runner production of the June-bearing strawberry cv. 'Senga Sengana'. *Horticultural Science*, 49:197-204. DOI [doi.org/10.17221/27/2022-HORTSCI](https://doi.org/10.17221/27/2022-HORTSCI).

Berilli, S.S., Valadares, F.V., Sales, R.A., Ulisses, A.F., Pereira, R.M., Dutra, G.J.A., Silva, M.W., Berilli, A.P.C.G., Salles, R.A., Almeida, R.N. (2019) Use of tannery sludge and urban compost as a substrate for sweet pepper seedlings. *Journal of Experimental Agriculture International*, 34:1-9. DOI [doi.org/10.9734/jeai/2019/v34i430181](https://doi.org/10.9734/jeai/2019/v34i430181).

Bilderback, T., Warren, S.L., Owen, J.S., Jr., Albano, J.P. (2013) Healthy substrates need physicals too!. *HortTechnology*, 15:747-751. DOI doi.org/10.21273/HORTTECH.15.4.0747.

Burgut, A., Sayğı, H., Türemiş, N.F., Büyükyel, Ş., Aktaş, B., Ekinci, K. (2020) The effects of different compost applications on organic strawberry seedling production. *Acta Horticulturae*, 33-38. DOI doi.org/10.17660/ActaHortic.2020.1286.6.

Cecchi, H.M. (2003) *Fundamentos Teóricos e Práticos em Análise de Alimentos*. Campinas: Unicamp, 28p.

Cerovic, Z.G., Masdoumier, G., Ghozlen, N.B., Latouche, G. (2012) A new optical leaf-clip meter for simultaneous non-destructive assessment of leaf chlorophyll and epidermal flavonoids. *Physiologia Plantarum* 146:251-260. DOI doi.org/10.1111/j.1399-3054.2012.01639.x.

Chen Y., Liu H., Tian Y., Du Y., Ma Y., Zeng S., Gu C., Jiang T., Zhou, J. (2020) In situ recyclable surface-enhanced raman scattering-based detection of multicomponent pesticide residues on fruits and vegetables by the Flower-like MoS<sub>2</sub>@Ag Hybrid Substrate. *ACS Appl Mater Interfaces*, 25:14386-14399. DOI doi.org/10.1021/acsami.9b22725.

Cheng, J., Lin, X., Wu, X., Liu, Q., Wan, S., Zhang, Y. (2021) Preparation of a multifunctional silver nanoparticles polylactic acid food packaging film using mango peel extract. *International Journal of Biological Macromolecules*, 188:678-688. DOI doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2021.07.161.

Chiomento, J. L.T., Fracaro, J., Görgen, M., Fante, R., Dal Pizzol, E., Welter, M., Klein, A.P., Trentin, T. dos S., Suzana-Milan, C.S., Palencia, P. (2024) Arbuscular mycorrhizal fungi, ascophyllum nodosum, trichoderma harzianum, and their combinations influence the phyllochron, phenology, and fruit quality of strawberry plants. *Agronomy*, 14:860. DOI doi.org/10.3390/agronomy14040860.

Chiomento, J.L.T., Nardi, F.S. de, Filippi, D., Trentin, T. dos S., Dornelles, A.G., Fornari, M., Nienow, A.A., Calvete, E.O. (2021) Morpho-horticultural performance of strawberry cultivated on substrate with arbuscular mycorrhizal fungi and biochar. *Scientia Horticulturae*, 282:1-8.

Darby, E., Islam, T. (2024) Environmental and molecular regulation of flowering in cultivated strawberry (*Fragaria x ananassa*). *Horticulture Research*, 12:uhae309. DOI doi.org/10.1093/hr/uhae309.

Diel, M.I., Lúcio, A.D., Sari, B.G., Olivoto, T., Pinheiro, M.V.M., Krysczum, D.K., Melo, P.J. de, Schimidt, D. (2021) Behavior of strawberry production with growth models: multivariate approach. *Acta Scientiarum. Agronomy*, 43:1-11. DOI doi.org/10.4025/actasciagron.v43i1.47812.

Diel, M.I., Lucio, A.D.C., Bisognin, D.A., Lopes, G. de A., Santos, V.J. dos (2024) Nonlinear logistic model for describing strawberry fruit production. *Agronomy*, 14:1884. DOI doi.org/10.3390/agronomy14091884.

Diel, M.I., Pinheiro, M.V.M., Cocco, C., Fontana, D.C., Caron, B.O., Paula, G.M. de, Pretto, M.M., Thiesen, L.A., Schmidt, D. (2017) Phyllochron and phenology of strawberry cultivars from different origins cultivated in organic substracts. *Scientia Horticulturae*, 220:226-232. DOI doi.org/10.1016/j.scienta.2017.03.053.

El-Borai, F., Whitaker, V.M. (2021) UF/IFAS Strawberries beyond the USA: a success story from egypt. Series nº HS1411; UF/IFAS Extension. Gainesville: Horticultural Sciences Department, 6p.

Estrada-Chavira, M.E., Portillo-Vázquez, M., Calderón-Zavala, G., Segarra, E., Martínez-Damián, M.A., Medina-Cuéllar, S.E. (2017) Potential for strengthening strawberry exports from Michoacán to the United States. *Revista Chapingo. Série Horticultura*, 23:135-146. DOI doi.org/10.5154/r.rchsh.2017.02.007.

Fan, Z., Whitaker, V.M. (2023) Genomic signatures of strawberry domestication and diversification. *The Plant Cell*, 36:1622:1636. DOI doi.org/10.1093/plcell/koad314.

Faostat (2025) Food and Agriculture Organization of the United Nations. Crops and livestock products. Disponível em: <<http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>>. Acesso em 02 de julho de 2025.

Fussy, A., Papenbrock, J. (2022). An overview of soil and soilless cultivation techniques chances, challenges and the neglected question of sustainability. *Plants*, 11:1153. DOI [doi.org/10.3390/plants11091153](https://doi.org/10.3390/plants11091153).

Gonçalves, M.A., Vignolo, G.K., Picolotto, L., Cocco, C., Antunes, L.E.C. (2016) Crescimento e desenvolvimento. *In*: Antunes, L.E.C., Reisser, C., Jr., Schwengber, J.E. (ed.) *Morangueiro*. Brasília: Embrapa, p. 47-66.

Gruda, N.S. (2019) Increasing sustainability of growing media constituents and stand-alone substrates in soilless culture systems. *Agronomy*, 9:298. DOI [doi.org/10.3390/agronomy9060298](https://doi.org/10.3390/agronomy9060298).

Hair, J.F., Black, W.C., Babin, B.J., Anderson, R.E. (2019) *Multivariate data analysis*. 8<sup>th</sup> ed. São Paulo: Cengage, 832p.

Hardigan, M.A., Lorant, A., Pincot, D.D.A., Feldmann, M.J., Famula, R.A., Acharya, C.B., Lee, S., Verma, S., Whitaker, V.M., Bassil, N.V., Zurn, J., Cole, G.S., Bird, K., Edger, P.P., Knapp, S.J. (2021) Unraveling the complex hybrid ancestry and domestication history of cultivated strawberry. *Molecular Biology and Evolution*, 38:2285–2305. DOI [doi.org/10.1093/MOLBEV/MSAB024](https://doi.org/10.1093/MOLBEV/MSAB024).

Hu, X., Claerbout, J., Vandecasteele, B., Craeye, S., Danny Geelen, D. (2025) The bacterial and fungal strawberry root-associated microbiome in reused peat-based substrate. *BMC Plant Biology*, 25:245. DOI [doi.org/10.1186/s12870-025-06217-2](https://doi.org/10.1186/s12870-025-06217-2).

Iacomino, G., Cozzolino, A., Idbella, M., Amoroso, G., Bertoli, T., Bonanomi, G., Motti, R. (2023) Potential of biochar as a peat substitute in growth media for *Lavandula angustifolia*, *Salvia rosmarinus* and *Fragaria × ananassa*. *Plants*, 12:3689. DOI [doi.org/10.3390/plants12213689](https://doi.org/10.3390/plants12213689).

Instituto Adolfo Lutz (2008). Métodos físico-químicos para análises de alimentos. São Paulo: Instituto Adolfo Lutz, 1022p.

Kim, K.H., Kim, M., Rabbani, M.G., Lee, Y.-B., Choi, K.Y. (2024) Analysis of evapotranspiration using a load cell and precise irrigation amounts for strawberries in a coir slab hydroponic system. *Horticultural Science and Technology*, 42:615-27. DOI [doi.org /10.7235/HORT.20240044](https://doi.org/10.7235/HORT.20240044).

Kitchenham, B., Charters, S. (2007) Guidelines for performing systematic literature reviews in software engineering. Technical report, EBSE Technical Report EBSE-2007-01.

Koskela, E.A., Hytönen, T. (2018) Control of flowering in strawberries. *In*: Hytönen, T., Graham, J., Harrison, R. (ed.) *The Genomes of Rosaceous Berries and Their Wild Relatives*. Compendium of Plant Genomes. Cham: Springer, p.615-627.

Li, X., Martín-Pizarro, C., Zhou, L., Hou, B., Wang, Y., Shen, Y., Li, B., Posé, D., Qin, G. (2023) Deciphering the regulatory network of the NAC transcription factor FvRIF, a key regulator of strawberry (*Fragaria vesca*) fruit ripening. *The Plant Cell*, 35:4020-4045. DOI [doi: 10.1093/plcell/koad210](https://doi.org/10.1093/plcell/koad210).

Liu, J., Chen, M., Ma, W., Zheng, L., Zhang, B., Zhao, H., Jiang, Y. (2023) Composition of strawberry flower volatiles and their effects on behavior of strawberry pollinators, *bombus terrestris* and *apis mellifera*. *Agronomy*, 13:339. DOI [doi.org/10.3390/agronomy13020339](https://doi.org/10.3390/agronomy13020339).

Lopes, H.R.D. (2019) A cultura do morangueiro no Distrito Federal. 2. ed. Brasília: Emater-DF, 92p.

López-Fabal, A., López-López, N. (2023). Using gorse compost as a peat-free growing substrate for organic strawberry production. *Biological Agriculture & Horticulture*, 39:19–35. DOI [doi.org/10.1080/01448765.2022.2091473](https://doi.org/10.1080/01448765.2022.2091473).

Marques, G.N., Peil, R.M.N., Perin, L., Carini, F., Rosa, D.S.B. da, Grolli, P.R. (2024) Production of strawberry cultivars in a closed system of growing on substrate with

transplants of different origins. *Revista Observatório de la Economía Latinoamericana*, 22:1-22. DOI [doi.org/10.55905/oelv22n3-192](https://doi.org/10.55905/oelv22n3-192).

Maurya, H.K., Lata, R., Mitra, D.S., Sundar, S., Yadav, G. C. (2024) A review on advanced preservation techniques for post-harvest quality maintenance of fruits and vegetables. *International Journal of Plant & Soil Science*, 36:186-197. DOI [doi.org/10.9734/ijpss/2024/v36i115133](https://doi.org/10.9734/ijpss/2024/v36i115133).

Mohamed, M., Fekry, W.A., Wahdan, H., Bardisi, A. (2016) Effect of gibberellic acid on strawberry (*Fragaria X ananassa* Duch.) micropropagation during multiplication stage. *Zagazig Journal of Agricultural Research*, 43:755-761. DOI [doi.org/10.21608/zjar.2016.101011](https://doi.org/10.21608/zjar.2016.101011).

Montgomery, D.C., Peck, E.A., Vining, G.G. (2012) *Introduction to Linear Regression Analysis*. New York: Wiley, 672p.

Nunes, G., Novello, D. (2021) Morango (*Fragaria x Ananassa* Duch): produtividade, composição química, nutricional e sensorial. *Revista Valore*, 6:1-19. DOI [doi.org/10.22408/rev602021279e-6002](https://doi.org/10.22408/rev602021279e-6002).

Oliveira, A.C.B., Antunes, L.E.C. (2016) Melhoramento genético e principais cultivares. *In: Antunes, L.E.C., Reisser, C., Jr., Schwengber, J.E. (ed.) Morangueiro*. Brasília: Embrapa, p. 133-148.

Ornelas-Paz, J. De J., Cira-Chávez, L.A., Gardea-Béjar, A.A., Guevara-Arauza, J.C., Sepúlveda, D.R., Reyes-Hernández, J., Ruiz-Cruz, S. (2013) Effect of heat treatment on the content of some bioactive compounds and free radical-scavenging activity in pungent and non-pungent peppers. *Food Research International*, 50:519-525. DOI [doi.org/10.1016/j.foodres.2011.01.006](https://doi.org/10.1016/j.foodres.2011.01.006).

Ouazzani-Touhami, K., Tikito, K., Souissi, N. (2023) Process approach-based simulation Project Life Cycle: PAB-SPLC. *Journal of Computer Science*, 19:925-937. DOI [doi.org/10.3844/jcssp.2023.925.937](https://doi.org/10.3844/jcssp.2023.925.937).

Öztornaci, B., Seçer, A., Emeksiz, F. (2021). Contribution of different production methods to producer income: strawberries production in Turkey. *Çukurova Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi*, 2:201-210. DOI [doi.org/10.36846/CJAFS.2021.48](https://doi.org/10.36846/CJAFS.2021.48).

Palencia, P., Martínez, F., Medina, J.J., López-Medina, J. (2013) Strawberry yield efficiency and its correlation with temperature and solar radiation. *Horticultura Brasileira*, 31:93–99. DOI [doi.org/10.1590/S0102-05362013000100015](https://doi.org/10.1590/S0102-05362013000100015).

Pirovani, C.H.D., Berilli, S.S., Rodrigues, D.D., Ferreira, V.R., Vetorazzi, J.C. F. (2021) Protocolo para extração de clorofila de mudas de hortaliças. Vitória:, Edifes, 11f.

Prasad, R., Lisiecka, J., Raj, K.P. (2022) Strawberry – more than a popular summer fruit: a mini-review. *Advences in Nutrition and Summer Fruit*, 2022:1-5. DOI [doi.org/10.37722/anafs.2022201](https://doi.org/10.37722/anafs.2022201).

Sadik, H., Ouazzani, C., Moustaghfir, A., Er-Ramly, A., Ghammarti, S., Touzani, A., Dami, A., Balouch, L. (2023) Study of the physicochemical characteristics of different strawberries consumed in Morocco. *Current Research in Nutrition and Food Science*, 11:339–350. DOI [doi.org/10.12944/crnfsj.11.1.25](https://doi.org/10.12944/crnfsj.11.1.25).

Salas-Arias, K.M., Irías-Mata, A.P., Sánchez-Kopper, A., Hernández-Moncada, R., Salas-Morgan, B., Villalta-Romero, F., Calvo-Castro, L.A. (2023) Strawberry *Fragaria x ananassa* cv. Festival: a polyphenol-based phytochemical characterization in fruit and leaf extracts. *Molecules*, 28:1865. DOI [doi.org/10.3390/molecules28041865](https://doi.org/10.3390/molecules28041865).

Sánchez, M.-T., De la Haba, M.J, Benítez-López, M., Fernández-Navales, J., Garrido-Varo, A., Pérez-Marín, D. (2012) Non-destructive characterization and quality control of intact strawberries based on NIR spectral data. *Journal of Food Engineering*, 110:102-108. DOI [doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2011.12.003](https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2011.12.003).

Savvas, D., Gianquinto, G., Tuzel, Y., Gruda, N. (2013) Soilless culture. *In*: Dixon, G.K., Aldous, D.E. (ed.) *Horticulture: Plants for people and places*. Oxford: Springer, p. 303-354.

Sharma, R.M., Yamdagni, R., Dubey, A.K., Pandey, V. (ed.) (2019) *Strawberries: Production, postharvest management and protection*. Boca Raton: CRC Press, 568p.

Signorini, C.B., Peil, R.M.N., Neutzling, C., Luz, T.F. da, Grolli, P.R. (2022) Conditioners for raw rice husk substrate to produce strawberry transplants. *Revista de Ciências Agrícolas*, 39:35–49. DOI [doi.org/10.22267/rcia.202239E.194](https://doi.org/10.22267/rcia.202239E.194).

Taiz, L., Zeiger, E. (2017) *Fisiologia Vegetal*. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 888p.

Tang, X., Li, Y., Fang, M., Li, W., Hong, Y., Li, Y. (2024) Effects of different water storage and fertilizer retention substrates on growth, yield and quality of strawberry. *Agronomy*, 14:205. DOI [doi.org/10.3390/agronomy14010205](https://doi.org/10.3390/agronomy14010205).

Teixeira, P.C., Donagemma, G.K., Fontana, A., Teixeira, W.G. (ed.) (2017). *Manual de métodos de análise de solo*. 3. ed. rev. e ampl. Brasília: Embrapa, 574.

Tender, C. de, Vandecasteele, B., Verstraeten, B., Ommeslag, S., Kyndt, T. Debode, J. (2021) Biochar-enhanced resistance to botrytis cinerea in Strawberry Fruits (But Not Leaves) is associated with changes in the rhizosphere microbiome. *Frontiers in Plant Science*, 12:1-14. DOI [doi.org/10.3389/fpls.2021.700479](https://doi.org/10.3389/fpls.2021.700479).

Torrico, A.K., Salazar, S.M., Kirschbaum, D.S., Conci, V.C. (2018) Yield losses of asymptomatic strawberry plants infected with Strawberry mild yellow edge virus. *European Journal of Plant Pathology*, 150:983–990. DOI [doi.org/10.1007/s10658-017-1337-z](https://doi.org/10.1007/s10658-017-1337-z).

Tozzi, F., Del Bubba, M., Petrucci, W.A., Pecchioli, S., Macci, C., García, F.H., Nicolás, J.J.M., Giordani, E. (2020) Use of a remediated dredged marine sediment as a substrate for food crop cultivation: Sediment characterization and assessment of fruit safety and quality using strawberry (*Fragaria x ananassa* Duch.) as model species of contamination transfer. *Chemosphere*, 238:124651. DOI [doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.124651](https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.124651).

Valenzuela, H.L. (2023) Valuation of a substrate organic retaining humidity according to its physical properties. *American Journal of Biomedical Science & Research*, 20:451–455. DOI [doi.org/10.34297/ajbsr.2023.20.002730](https://doi.org/10.34297/ajbsr.2023.20.002730).

Vandecasteele, B., Similon, L., Moelants, J., Hofkens, M., Visser, R., Melis, P. (2023) End-of-life stage of renewable growing media with biochar versus spent peat or mineral wool. *Nutrient Cycling Agroecosystems*, 128:447-61. DOI [doi.org/10.1007/s10705-023-10315-8](https://doi.org/10.1007/s10705-023-10315-8).

Wellburn, A.R. (1994) The spectral determination of chlorophylls a and b, as well as total carotenoids, using various solvents with spectrophotometers of different resolution. *Journal of Plant Physiology*, 144:307-13. DOI [doi.org/10.1016/S0176-1617\(11\)81192-2](https://doi.org/10.1016/S0176-1617(11)81192-2).

Woznicki, T., Jackson, B.E., Sønsteby, A., Kusnierek, K. (2024) Wood fiber from Norway spruce — a stand-alone growing medium for hydroponic strawberry production. *Horticulturae*, 9:815. DOI [doi.org/10.3390/horticulturae9070815](https://doi.org/10.3390/horticulturae9070815).

Woznicki, T., Kusnierek, K., Vandecasteele, B., Sønsteby, A. (2023) Reuse of coir, peat, and wood fiber in strawberry production. *Frontiers in Plant Science*, 14: 1307240. DOI [doi.org/10.3389/fpls.2023.1307240](https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1307240).

Yafuso, E.J., Boldt, J.K. (2024) Development of a hydroponic growing protocol for vegetative strawberry production. *HortScience*, 59:384–93. DOI [doi.org/10.21273/HORTSCI17523-23](https://doi.org/10.21273/HORTSCI17523-23).

Yeganeh, M.A., Shahabi, A.A., Ebadi, A., Abdossi, V. (2024) Vermicompost as an alternative substrate to peat moss for strawberry (*Fragaria ananassa*) in soilless culture. *BMC Plant Biology*, 24:1-12. DOI [doi.org/10.1186/s12870-024-04807-0](https://doi.org/10.1186/s12870-024-04807-0).

Yu, W.Z., Zheng J.F., Wang, Y.L., Ji, F., Zhu, B.Y. (2023) Adjusting the nutrient solution formula based on growth stages to promote the yield and quality of strawberry in greenhouse. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, 16:57-64. DOI [doi.org/10.25165/j.ijabe.20231602.7797](https://doi.org/10.25165/j.ijabe.20231602.7797).

Zapf, A, Wiessner, C, König, I.R. (2024) Regression Analyses and Their Particularities in Observational Studies—Part 32 of a Series on Evaluation of Scientific Publications. *Deutsches Ärzteblatt international*, 121:128-134.

Zhang, D. (2017) A coefficient of determination for generalized linear models. *The American Statistician*, 71:310-16. DOI [doi.org/10.1080/00031305.2016.1256839](https://doi.org/10.1080/00031305.2016.1256839).

Ziegler, F.M.R., Gaston, A., Guy, K., Devers, M., Krüger, E., Brauksiepe, B., Eimert, K., Osorio, S., Denoyes, B., Usadel, B. (2025) Molecular mechanisms underlying the early steps of floral initiation in seasonal flowering genotypes of cultivated strawberry. *Frontiers in Plant Science*, 16:1-43. DOI [doi.org/10.1101/2025.01.20.633581](https://doi.org/10.1101/2025.01.20.633581).