



**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRICULTURA E BIODIVERSIDADE**

**DESEMPENHO PRODUTIVO E QUALIDADE DE
INFRUTESCÊNCIA DE CULTIVARES DE MORANGO SOB A
APLICAÇÃO DE FILME DE PARTÍCULA (CaO) NO ESTADO
DE SERGIPE**

IDAMAR DA SILVA LIMA

2024



**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRICULTURA E BIODIVERSIDADE**

IDAMAR DA SILVA LIMA

**DESEMPENHO PRODUTIVO E QUALIDADE DE
INFRUTESCÊNCIA DE CULTIVARES DE MORANGO SOB A
APLICAÇÃO DE FILME DE PARTÍCULA (CaO) NO ESTADO
DE SERGIPE**

Tese apresentada à Universidade Federal de Sergipe, como parte das exigências do Curso de Doutorado em Agricultura e Biodiversidade, área de concentração em Agricultura e Biodiversidade, para obtenção do título de “Doutor em Ciências”.

Orientador
Prof. Dr. Marcelo Augusto Gutierrez Cernelossi

SÃO CRISTÓVÃO
SERGIPE – BRASIL
2024

**FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE**

L723d Lima, Idamar da Silva.
Desempenho produtivo e qualidade de infrutescência de cultivares de morango sob a aplicação de filme de partícula (CaO) no Estado de Sergipe / Idamar da Silva Lima; orientador Marcelo Augusto Gutierrez Carnelossi. – São Cristóvão, SE, 2024.
76 f.; il.

Tese (doutorado em Agricultura e Biodiversidade) –
Universidade Federal de Sergipe, 2024.

1. Agrobiodiversidade. 2. Morango – Cultivo - Sergipe. 3. Cultivos agrícolas. 4. Morango – Fatores climáticos. I. Carnelossi, Marcelo Augusto Gutierrez, orient. II. Título.

CDU 634.74(813.7)

IDAMAR DA SILVA LIMA

**DESEMPENHO PRODUTIVO E QUALIDADE DE
INFRUTESCÊNCIA DE CULTIVARES DE MORANGO SOB A
APLICAÇÃO DE FILME DE PARTÍCULA (CaO) NO ESTADO
DE SERGIPE**

Tese apresentada à Universidade Federal de Sergipe, como parte das exigências do Curso de Doutorado em Agricultura e Biodiversidade, área de concentração em Agricultura e Biodiversidade, para obtenção do título de “Doutor em Ciências”.

APROVADA em 26 de julho de 2024.

Dra. Ana Veruska Cruz da Silva Muniz	(Embrapa)
Dra. Silvanda de Melo Silva	(UFPB)
Dr. Luiz Fernando Ganassali de Oliveira Junior	(PPGAGRI/UFS)
Dr. Adriano do Nascimento Simões	(UFRPE)

Prof. Dr. Marcelo Augusto Gutierrez Carnelossi
(Orientador)

SÃO CRISTÓVÃO
SERGIPE – BRASIL

*Dedico este trabalho à memória de meu pai,
Joaquim Pereira Lima Neto, sertanejo e
agricultor, que junto a minha mãe nunca
mediram esforços para que esse dia se
tornasse realidade.*
Dedico

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus, fonte de sabedoria e inspiração, por iluminar meu caminho durante esta jornada, que iniciou em 2004 quando deixei meu povoado Lagoa da Volta rumo à Escola Agrotécnica Federal de São Cristóvão, na qual iniciei minha jornada na ciência agrária.

Agradeço à minha família, especialmente minha esposa Thais, e meus filhos Miguel Francisco e Levi Joaquim, pelo amor, incentivo e paciência que foram fundamentais em cada etapa deste processo. Sem o apoio de vocês os desafios teriam sido muito mais difíceis.

Aos meus pais Joaquim Pereira Lima Neto, em memória, agricultor, e Maria Gomes da Silva Lima, professora, que nunca mediram esforços para proporcionar a melhor educação possível para mim e meu irmão.

Ao meu irmão Mario, aos meus tios Pedro, Conceição, Jossilene, Rute, Zélia e Manoel, aos meus primos e primas pelo apoio, incentivo e torcida.

Um agradecimento especial ao meu orientador, Marcelo Augusto Gutierrez Carnelossi, e ao meu coorientador Luiz Fernando Ganassali de Oliveira Junior, pelas orientações, paciência e apoio ao longo de todo esse período. O apoio, orientações, incentivo e compreensão de vocês foram cruciais para o desenvolvimento e conclusão desta pesquisa.

À Universidade Federal de Sergipe e ao Programa de Pós-Graduação em Agricultura e Biodiversidade, por proporcionar todas as condições necessárias para a realização dos estudos de pesquisa. Agradeço também ao corpo docente e administrativo pelo suporte em todos os momentos.

Ao Departamento de Engenharia Agrônômica o qual atuo como técnico de laboratório, nas pessoas do professor Airon e professora Glaucia, coordenadores do departamento durante esse período, o apoio de vocês foi essencial no desenvolvimento do estudo.

Ao Departamento de Tecnologia de Alimentos, Laboratório de Frutas e Hortaliças (LABFRUITH), coordenado pelo professor Marcelo e a técnica Aline, pelo apoio no desenvolvimento da pesquisa nas análises dos parâmetros de qualidade das frutas.

Ao Campus Rural e ao Laboratório de Fitotecnia, coordenado pelo professor Arie, pelo suporte na execução dos experimentos.

Aos meus colegas de trabalho da UFS e todos os amigos, Wendel, Olavo, Lusivaldo, Alessandro, Thiago, Júlio, Carlos, Willian, Kairon, Claudia, Lilian, Patrícia e Conceição, por todos os momentos compartilhados, pelas discussões científicas e pelo apoio na condução dos experimentos.

Um agradecimento sincero também à agência de fomento Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior-CAPES, que financiou parte deste trabalho, proporcionando recursos essenciais para a realização desta pesquisa.

Por fim, agradeço a todos que, direta ou indiretamente, contribuíram e torceram pela realização deste trabalho.

SUMÁRIO

	Página
LISTA DE FIGURAS.....	i
LISTA DE TABELAS.....	ii
LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS.....	iii
RESUMO.....	iv
1. INTRODUÇÃO GERAL.....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	2
3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	8
4. ARTIGO 1.....	14
RESUMO.....	14
ABSTRACT.....	15
4.1. Introdução.....	15
4.2. Material e Métodos.....	17
4.3. Resultados e Discussão.....	19
4.4. Conclusão.....	29
4.5. Referências Bibliográficas.....	29
5. ARTIGO 2.....	33
RESUMO.....	33
ABSTRACT.....	34
5.1. Introdução.....	34
5.2. Material e Métodos.....	36
5.3. Resultados e discussão.....	39
5.4. Conclusão.....	49
5.5. Referências Bibliográficas.....	49
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	56
ANEXOS.....	57

LISTA DE FIGURAS

ARTIGO 1: Desempenho de cultivares de morangueiro cultivadas em solo sob filmes de partículas de CaO no inverno e na primavera

	Página
Figura 1: Dados climáticos da região, (A) temperatura mínima, média e máxima, (B) fotoperíodo, radiação média e máxima diária.....	18
Figura 2: Etapas da curva O, J, I e P na estação do inverno (A, C e E) e estação primavera (B, D e F), para as cultivares Albion (A e B), Monterey (C e D) e San Andreas (E e F), submetidas à aplicação de filme de partícula de cálcio (CaO).....	24
Figura 3: Fluxos fenomenológicos de energia por seção transversal (CS), em resposta aos tratamentos com filme (A, C e E) e estação do ano (B, D e F), para as cultivares Albion, Monterey e San Andreas, respectivamente.....	25
Figura 4: Fluxos fenomenológicos de energia por centro de reação (RC), em resposta aos tratamentos com filme (A, C e E) e estação do ano (B, D e F), para as cultivares Albion, Monterey e San Andreas, respectivamente.....	26

ARTIGO 2: Desempenho produtivo e qualidade de infrutescências morangueiros em sistema semi-hidropônico, sob a aplicação de filme de partícula de CaO no inverno e na primavera

	Página
Figura 1: Dados climáticos, (A) temperatura mínima, média e máxima, (B) fotoperíodo, radiação média diária.....	36
Figura 2: Massa média, número de infrutescências e produtividade por planta, em função das cultivares ao longo do período de avaliação (meses). Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas para cultivares e minúscula para o período (meses) não diferem pelo teste de Tukey. Nível de significância, $p \leq 0,05$	42
Figura 3: Etapas da curva O, K, J, I e P, (A) efeito da aplicação dos filmes de partícula de cálcio (CaO), (B) efeito promovido cultivares. Fluorescência variável relativa $\Delta Vt = ((F_{tratamento} - F_{Otratamento}) / F_{vtratamento}) - ((F_{controle} - F_{Ocontrole}) / F_{vcontrole})$, (C) efeito da aplicação dos filmes de partícula de cálcio (CaO), (D) efeito promovido cultivares, para a estação de inverno.....	47
Figura 4: Fluxos fenomenológicos de energia por centro de reação (RC), (A) em resposta aos tratamentos com filme, (B) resposta das diferentes cultivares, para a estação de inverno.....	47
Figura 5: Etapas da curva O, K, J, I e P, (A) efeito da aplicação dos filmes de partícula de cálcio (CaO), (B) efeito promovido cultivares. Fluorescência variável relativa $\Delta Vt = ((F_{tratamento} - F_{Otratamento}) / F_{vtratamento}) - ((F_{controle} - F_{Ocontrole}) / F_{vcontrole})$, (C) efeito da aplicação dos filmes de partícula de cálcio (CaO), (D) efeito promovido cultivares, para a estação da primavera.....	48
Figura 6: Fluxos fenomenológicos de energia por centro de reação (RC), em resposta aos tratamentos com filme e resposta das diferentes cultivares, para a estação da primavera.....	48

LISTA DE TABELAS

ARTIGO 1: Desempenho de cultivares de morangueiro cultivadas em solo sob filmes de partículas de CaO no inverno e na primavera

	Página
Tabela 1: Índice de clorofila de Falker para as três cultivares. Efeito das diferentes doses de filme de partícula de cálcio (CaO) nos índices de clorofila, independente do período.....	20
Tabela 2: Índice de clorofila de Falker para as três cultivares. Efeito dos diferentes períodos estudados nos índices de clorofila, independente da aplicação do filme partícula de cálcio (CaO).....	20
Tabela 3: Número de infrutescências por planta e produtividade em função das cultivares e da aplicação de filme de partícula de cálcio (CaO).....	2 8
Tabela 4: Massa média das infrutescências em função das cultivares e da aplicação dos filmes de partículas avaliados individualmente.....	2 8

ARTIGO 2: Desempenho produtivo e qualidade de infrutescências morangueiros em sistema semi-hidropônico, sob a aplicação de filme de partícula de CaO no inverno e na primavera

	Página
Tabela 1: Massa média, diâmetro, número de infrutescências e produtividade por planta, em função das cultivares e da aplicação de filme de partícula de cálcio (CaO).....	42
Tabela 2: Qualidade das infrutescências em função das cultivares e da aplicação de filme de partícula de cálcio (CaO).....	44
Tabela 3: Índice de clorofila de Falker em função da aplicação do filme e das cultivares, para os dois períodos de avaliação.....	4 5

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

Al	Cultivar Albion
Mo	Cultivar Monterey
SA	Cultivar San Andreas
PSI	Fotossistema I
PSII	Fotossistema II
Chl a	Índice de clorofila A
Chl b	Índice de clorofila B
Chl t	Índice de clorofila total
Chl a/Chl b	Relação da clorofila A e clorofila B
VK	A fluorescência variável relativa ao ponto K (0,03ms)
VJ	A fluorescência variável relativa ao ponto J (20ms)
VI	A fluorescência variável relativa ao ponto I (30ms)
ΔVt	Fluorescência variável relativa entre o controle e cada tratamento em cada tempo
ABS/RC	Determinação da média dos fluxos de fótons absorvidos (ABS) pelo total de centros de reação do PSII (RC)
TR0/RC	O fluxo máximo de elétrons excitados aprisionados pelos centros de reação ativos no PSII
ET0/RC	Fluxo ou transporte de elétrons (ET) transferidos da QA- para PQ por atividade dos centros de reação do PSII
RE0/RC	fluxo de elétrons da QA até os aceptores finais do PSI por RC
DI0/RC	Fluxo de energia dissipada em outros processos não fotoquímicos pelos centros de reação ativos no PSII
ABS/CS0	Fluxo de fótons absorvidos (ABS) por seção transversal excitada do PSII (CS) a partir da fluorescência inicial
TR0/CS0	Fluxo máximo de elétrons energizados presos por seção transversal do PSII na fluorescência inicial
ET0/CS0	Fluxo de elétrons da QA- para PQ por seção transversal do PSII na fluorescência inicial
RE0/CS0	Fluxo de elétrons da QA até os aceptores finais do PSI por seção transversal do PSII na fluorescência inicial
DI0/CS0	Fluxo de energia dissipada em outros processos não fotoquímicos por seção transversal do PSII na fluorescência inicial
Piabs	Índice de performance sobre absorção de base
RC/CS	Densidade de centros de reação (QA reduzindo centros de reação de PSII) por seção transversal
OEC	Complexo de evolução de oxigênio
RC	Centro de reação
CS	Seção transversal
CaO	Óxido de cálcio
CaCO ₃	Carbonato de cálcio
AT	Acidez titulável
SS	Sólidos solúveis totais
Ratio	Relação dos sólidos solúveis pela acidez titulável

RESUMO

LIMA, Idamar da Silva. **Desempenho produtivo de cultivares de morango de dias neutros submetidas à aplicação de filme de partícula de cálcio (CaO) no estado de Sergipe**. São Cristóvão: UFS, 2024. 76 p. Tese - Doutorado em Agricultura e Biodiversidade.

O morangueiro (*Fragaria x ananassa* Duch.), espécie do gênero *Fragaria*, é resultado da hibridação de duas espécies americanas, *F. chiloensis* Mill. e *F. virginiana* Duch. Por ter origem em uma região de clima temperado, com temperaturas mais amenas e menor intensidade de radiação solar, o morango apresenta limitações quanto ao cultivo em regiões de clima tropical, com temperatura mais elevada, alta radiação solar e umidade do ar. O objetivo deste estudo foi avaliar o desenvolvimento produtivo de três cultivares de morango de dias neutros, Albion (Al), Monterey (Mo) e San Andreas (SA), originárias da Segóvia, Espanha, em dois sistemas de cultivo (solo e semi-hidropônico) em região tropical de baixa altitude, submetidas à aplicação de filme de partícula à base de óxido de cálcio (CaO). Para isso, foram realizados dois experimentos. Experimento 1: foi conduzido em campo (solo) com utilização de *mulching* e túnel baixo, onde foram testadas 2 concentrações de filme de partícula de cálcio (2,5% e 5% de CaO) e controle (0% de CaO) e três cultivares (Al, Mo e SA), com implantação no início de junho/22 e condução do cultivo até novembro/22, com análises realizadas no inverno e na primavera para os parâmetros ecofisiológicos e produtividade ao longo de todo o ciclo. Experimento 2: foi conduzido em sistema semi-hidropônico em bancada e túnel baixo, onde foram testadas três concentrações de filme de partícula de cálcio (0%, 2,5% e 5% de CaO) e três cultivares (Al, Mo e SA), com implantação em maio/23 e condução do cultivo até fevereiro/24, com análises realizadas no inverno e na primavera para os parâmetros ecofisiológicos e produtividade monitorada mês a mês. A aplicação das concentrações do filme e diferentes cultivares promoveram diferenças significativas nos índices de clorofila para os diferentes períodos avaliados, para os dois sistemas de cultivo. Assim como os índices de clorofila, os parâmetros relacionados à fluorescência da clorofila A foram impactados pelos filmes, período de avaliação e cultivares. No estudo em campo a concentração de filme de 2,5% de CaO promoveu ganhos relacionados à produção (número e massa média de infrutescências e produtividade). Em relação às cultivares, a Mo e a SA foram as que mais se destacaram quanto aos parâmetros de produção de infrutescências. No experimento em sistema semi-hidropônico, os parâmetros relacionados à produção só foram afetados pelas cultivares com destaque para a SA, nos diferentes meses avaliados não foram observados efeitos da aplicação do filme. A aplicação de filme (CaO) demonstra ser uma alternativa à adaptação da cultura do morango em regiões tropicais de baixa altitude em produção no solo, assim como as cultivares Mo e SA. No sistema semi-hidropônico, embora não tenha ocorrido influência da aplicação dos filmes, as cultivares apresentaram diferenças significativas, com destaque para a cultivar San Andreas, que apresenta grande potencial de implantação no estado de Sergipe.

Palavras-chave: *Fragaria x ananassa* Duch, clima tropical, filme de partícula, óxido de cálcio, fotoproteção, semi-hidropônico, cultivo em solo.

* Comitê Orientador: Dr. Marcelo Augusto Gutierrez Carnellosi – UFS (Orientador), Dr. Luiz Fernando Ganassali de Oliveira Junior - UFSJ (Coorientador).

ABSTRACT

LIMA, Idamar da Silva. **Productive performance of day-neutral strawberry cultivars subjected to the application of calcium particle films (CaO) in the state of Sergipe.** São Cristóvão: UFS, 2024. Dissertation – Doctorate in Agriculture and Biodiversity em Agricultura e Biodiversidade.

Strawberry plants (*Fragaria x ananassa* Duch.), a species in the genus *Fragaria*, is the result of hybridization between two American species, *F. chiloensis* Mill. and *F. virginiana* Duch. Due to its origins in temperate climates with milder temperatures and less intense solar radiation, the strawberry has limitations when it comes to its cultivation in tropical climates with higher temperatures, solar radiation, and air humidity. The aim of this study was to evaluate the development of three day-neutral strawberry cultivars, Albion (Al), Monterey (Mo) and San Andreas (SA) from Segovia, Spain, in two cultivation systems (soil and semi-hydroponic) in a low-altitude tropical region, subjected to the application of a calcium oxide (CaO)-based particle film. To this end, two experiments were conducted. Experiment 1 was conducted in a field (soil) using mulching in a low tunnel, where two concentrations of calcium particle film (2.5% and 5% CaO) and a control (0% CaO) and three cultivars (Al, Mo and SA) were tested, with planting at the beginning of June/22 and cultivation until November/22. Analyses of ecological and physiological parameters and productivity throughout the cycle were performed in winter and spring. Experiment 2 was conducted in a semi-hydroponic system on a bench in a low tunnel, where three concentrations of calcium particle film (0%, 2.5% and 5% CaO) and three cultivars (Al, Mo and SA) were tested. The system was set up in May/23 and the crop was cultivated until February/24, with analyses of ecological and physiological parameters conducted in winter and spring, while productivity was monitored month by month. The application of the different film concentrations and cultivars led to significant differences in chlorophyll levels for the different time periods evaluated for the two cultivation systems. Just like the chlorophyll levels, the parameters related to the fluorescence of chlorophyll a were affected by the films, the evaluation period and the cultivars. In the field study, the film with 2.5% CaO concentration promoted gains in terms of production (number and average mass of infructescences, and productivity), while Mo and SA were the cultivars that performed better in terms of infructescence production parameters. In the experiment in a semi-hydroponic system, the parameters related to production were only affected by the cultivars, with SA standing out in the different months evaluated. The application of film (CaO) proves to be an alternative for adapting strawberry cultivation in low-altitude tropical regions to soil culture, as is the case with the Mo and SA cultivars. In the semi-hydroponic system, although there was no influence from the application of the films, the cultivars showed significant differences, especially the San Andreas cultivar, which has great potential for implantation in the state of Sergipe.

Keywords: *Fragaria x ananassa* Duch, tropical climate, particle film, calcium oxide, photoprotection, semi-hydroponic, soil cultivation.

* Guiding Committee: Dr. Marcelo Augusto Gutierrez Carnelossi – UFS (Advisor), Dr. Luiz Fernando Ganassali De Oliveira Junior - UFSJ (co-advisor).

1. INTRODUÇÃO GERAL

O morangueiro (*Fragaria x ananassa* Duch.), originário de região de clima temperado (Vaughan; Geissler, 1997 *apud* Antunes *et al.*, 2016), adaptado às condições climáticas de regiões subtropicais e temperadas, enfrenta dificuldades particulares ao ser cultivado em regiões tropicais devido a temperaturas elevadas e alta radiação solar que afetam seu desenvolvimento vegetativo e produtivo (Antunes *et al.*, 2016; Manakasem; Goodwin, 2001; Serçe; Hancock, 2005).

As cultivares de morango podem ser classificadas quanto à resposta do florescimento ao fotoperíodo, em plantas de dias longos, dias curtos e dias neutros que são indiferentes ao comprimento do dia, possibilitando a essas cultivares uma maior possibilidade de cultivo em regiões com baixa amplitude de fotoperíodo ao longo do ano, além de apresentarem um florescimento mais contínuo ao longo do ano (Antunes *et al.*, 2016; UC, 2010).

Principalmente em um cenário onde a agricultura global enfrenta desafios crescentes devido às mudanças climáticas, com o aumento da temperatura média global tendo impactos severos na produção agrícola, potencialmente comprometendo a cadeia de abastecimento alimentar e comprometendo a segurança alimentar (IPCC, 2022; Richards *et al.*, 2023).

O estudo, desenvolvimento e aplicação de técnicas que possam mitigar os efeitos do clima nas culturas podem expandir as áreas de cultivo, técnicas como o uso de filmes de partículas têm demonstrado ser eficazes na redução do estresse ambiental e auxiliam na adaptação das culturas a condições desfavoráveis, estudos com filmes baseados em caulim demonstraram os benefícios na proteção contra queimaduras solares em culturas como noz Persa (*Juglans regia* L.) e na promoção de uma fotoproteção eficaz para a cultura da uva (Gharaghani *et al.*, 2018; Dinis *et al.*, 2018).

Pesquisas desenvolvidas utilizando filmes à base de cálcio, carbonato de cálcio (CaCO_3) e óxido de cálcio (CaO), que podem ser produzidos de fontes renováveis como cascas de ovos e rochas marinhas, apontam para a viabilidade de utilização desses materiais como base para o preparo dos filmes, pois apresentam características desejadas como: inércia química, permeabilidade a gases, permitem absorção de parte da radiação e são de fácil remoção (Saeb *et al.*, 2013; Silva *et al.*, 2019a; Glenn *et al.*, 2003; Song *et al.*, 2012).

Esses filmes têm se mostrado promissores não apenas em reduzir o estresse térmico das plantas, mas também em melhorar parâmetros como as trocas gasosas, índices de clorofila e a fluorescência da clorofila A, além de ganhos produtivos (Oliveira Júnior *et al.*, 2019; Oliveira *et al.*, 2021a; Oliveira *et al.*, 2021b; Oliveira *et al.*, 2022).

O cultivo em sistema semi-hidropônico também pode ser uma técnica que venha auxiliar na melhor adaptação da cultura em regiões tropicais, esse sistema de cultivo diferente do sistema convencional em solo, protege melhor a planta dos efeitos adversos do clima, favorece a ventilação, reduz o estabelecimento de doenças, possibilita um maior controle da nutrição e baixa resistência física ao desenvolvimento do sistema radicular (Antunes; Reisser Junior, 2008; Sharma *et al.*, 2018; Ameri *et al.*, 2020).

Com este estudo busca-se expandir as possibilidades de cultivo do morangueiro, uma espécie de clima temperado em regiões de alta temperatura e luminosidade, explorando tecnologias alternativas que podem ser cruciais para a adaptação e sustentabilidade da produção, frente aos desafios impostos pelas limitações da cultura e mudanças climáticas.

O objetivo deste trabalho foi avaliar o desenvolvimento produtivo e qualidade de três cultivares de morango de dias neutros (Albion, Monterey e San Andreas) em uma região tropical de baixa altitude, cultivado em dois sistemas de cultivo, convencional em solo e semi-hidropônico, submetidos à aplicação de filmes de partículas à base de óxido de cálcio (CaO).

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Morangueiro (*Fragaria x ananassa* Duch.)

O morango é uma cultura de grande importância econômica, pois suas infrutescências são amplamente consumidas, das formas mais variadas, seja o consumo fresco ou na forma de diversos produtos processados (Xu *et al.*, 2014). Além disso, apresenta propriedades sensoriais muito apreciadas e outras que podem auxiliar na prevenção de doenças como câncer e doenças cardíacas (Šamec *et al.*, 2016).

O morangueiro (*Fragaria x ananassa* Duch.) é uma espécie do gênero *Fragaria*, resultado da hibridação de duas espécies americanas, *Fragaria chiloensis* Mill. (originária do Chile) e *Fragaria virginiana* Duch (originária dos Estados Unidos), sendo que a hibridação só ocorreu na França por volta de 1750 (Vaughan; Geissler, 1997 *apud* Antunes *et al.*, 2016). Pertence à família Rosaceae, que possui diversas espécies de importância econômica como: maçãs, peras, marmelos, damascos, ameixas, cerejas, pêssegos, framboesas. Possui frutos secos tipo aquênio, que ficam aderidos à infrutescência do morango, proveniente do desenvolvimento do receptáculo floral. A infrutescência apresenta coloração vermelha, é doce, carnosa e suculenta, polpa firme e rica em materiais de reserva (Taiz *et al.*, 2017).

O *F. chiloensis*, conhecido como morango-chileno, foi introduzido no Chile e no Havaí a partir da América do Norte, pela ação das aves migratórias. A espécie era utilizada por povos indígenas a mais de 10 mil anos, onde suas infrutescências eram usadas de diversas formas: frescas, secas, como suco fermentado ou como infusão medicinal contra indigestão, diarreia e hemorragia. A *F. virginiana* era utilizada pelos índios americanos para dar sabor a pães e bebidas, existindo indicações de que, além de ser alvo de coleta, essa espécie também era cultivada no leste da América do Norte (Hancock *et al.*, 1999 *apud* Antunes *et al.*, 2016).

De acordo com a Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (FAO), a produção mundial de morangos atingiu valores superiores de mais 9,57 milhões de toneladas em 2022, sendo que o Brasil encontra-se apenas na 10ª posição do ranking com uma produção de 0,18 milhões de toneladas, sendo os maiores produtores a China com 3,35 milhões de toneladas, seguido por Estados Unidos da América com 1,26 milhões de toneladas, Turquia com 0,73 milhões de toneladas e Egito com 0,64 milhões de toneladas (FAOSTAT, 2022).

As variedades de morangueiro são divididas em três grupos dependentes da resposta ao fotoperíodo: dias curtos, dias neutros (indiferentes ao fotoperíodo) e dias longos, segundo Antunes *et al.* (2016). Segundo Taiz *et al.* (2017), o fotoperiodismo pode ser entendido como a capacidade de um organismo perceber o comprimento dos dias, tornando possível a ocorrência de alguma resposta como a indução do florescimento.

O morangueiro pode ser cultivado no sistema convencional, sistema mais tradicional onde as plantas são cultivadas diretamente no solo com utilização de *mulching*, com ou sem a utilização de cobertura de túnel baixo ou em sistema hidropônico sem substrato (hidropônico) e com substrato (semi-hidropônico) (Oliveira *et al.*, 2017).

Segundo Richter *et al.* (2018), o sistema semi-hidropônico vem em amplo crescimento como alternativa ao cultivo do morangueiro, sendo que essa mudança se deve aos altos custos da terra, necessidade de rotação no cultivo em solo e exigências do mercado.

O sistema semi-hidropônico possui algumas vantagens quando comparado ao cultivo diretamente no solo, nesse sistema é possível um maior controle da nutrição, pois os nutrientes são fornecidos via fertirrigação, prontamente disponíveis, sem impedimento mecânico ao seu desenvolvimento no sistema radicular e menor incidência de praga, promovendo maior sustentabilidade pela redução drástica da aplicação de agrotóxicos (Sharma *et al.*, 2018; Ameri *et al.*, 2020). Devido ao fato da necessidade de estufas plásticas,

sistema de fertirrigação localizada e substrato para o cultivo, o investimento inicial nesse sistema é superior quando comparado ao convencional (Oliveira *et al.*, 2017).

Esse sistema protege melhor a planta dos efeitos adversos do clima, favorece a ventilação reduzindo o estabelecimento de doenças severas, proporciona uma produção de frutas de maior qualidade e menor incidência de podridão, pode estender o período de produção podendo alcançar todos os meses do ano, também proporciona uma melhor ergonomia para o agricultor, pois o produtor pode trabalhar em pé, reduzindo a posição desconfortável no manejo da cultura (Antunes; Reisser Junior, 2008).

O sistema convencional de cultivo pode apresentar alguns problemas como presença de organismos patogênicos como fungos e nematoides, compactação e má drenagem dos solos (Fussy; Papenbrock, 2022), além do fato do agricultor ficar sujeito à sazonalidade dos preços, pois concentra sua produção nos meses onde os preços são menores (Oliveira *et al.*, 2017).

Richter *et al.* (2018), em estudos com cultivares de dias neutros, Albion, San Andreas e Capitola, constataram que as infrutescências provenientes do cultivo em sistema semi-hidropônico apresentaram maior qualidade quando comparado ao sistema de cultivo em solo.

2.2 Fatores climáticos na produção de morangos

Diversos fatores ambientais podem causar interferências no cultivo e desenvolvimento da cultura do morango, dentre esses fatores destacam-se: temperatura, fotoperíodo, radiação solar, precipitação, fertilidade do solo e umidade do ar, esses fatores podem exercer influência na indução floral, fixação e tamanho dos frutos, emissão de estolões e qualidade das mudas, qualidades sensoriais dos frutos, compostos relacionados à saúde como antocianinas e vitamina C e produtividade (Antunes *et al.*, 2016).

O fotoperíodo é um fator que interfere diretamente no florescimento e produção de cultivares de dias curtos e longos (Almeida *et al.*, 2009). Regiões próximas à linha do Equador apresentam pequena variação no comprimento do dia e da noite ao longo do ano (Taiz *et al.*, 2017). Segundo Antunes *et al.* (2016), as cultivares de dias neutros são indiferentes ao comprimento do dia e noite. Desse modo, essas cultivares seriam as mais indicadas para cultivo em regiões com baixa latitude.

Para o bom desempenho produtivo, as diferentes cultivares exigem uma demanda entre 380 e 700 horas acumuladas de frio com temperaturas entre 2 e 7 °C (Ronque, 1998). Oliveira e Scivittaro (2009) verificaram que mudas produzidas em Pelotas-RS, que passaram pelo processo de vernalização em câmara fria 24 dias ($4\pm 1^\circ\text{C}$, $94\pm 2\%$ UR), tiveram sua produção otimizada, quando comparadas às mudas que não passaram por esse processo, atingindo níveis de produtividade similares às mudas importadas do Chile.

A temperatura é o fator mais limitante para o bom desenvolvimento da cultura do morango, afetando o desenvolvimento vegetativo, a produção e a qualidade do fruto (Cocco, 2010). Como as temperaturas noturnas são superiores a 15 °C, raramente a planta inicia o florescimento dando início à fase reprodutiva (Filgueira, 2000).

Altas temperaturas podem causar estresse térmico em plantas de morango, podendo levar a uma menor frutificação e, em casos extremos, interrupção total da produção, além de afetar negativamente o tamanho, forma, cor, textura, sabor, composição nutricional e conteúdo de nutrientes das infrutescências, resultando em uma redução significativa no desenvolvimento dos morangos e na qualidade. As altas temperaturas podem provocar uma diminuição na doçura, devido à redução no teor de açúcar, afetando o sabor das infrutescências (Balasooriya *et al.*, 2017).

O aumento de 5 °C reduziu o crescimento, produtividade e peso médio individual e total nas cultivares Albion e San Andreas quando cultivadas em diferentes faixas de temperatura - dia/noite de 25/20 e 30/20°C (Balasooriya *et al.*, 2020). Esses autores também relataram que infrutescências produzidas pelas plantas cultivadas em temperaturas mais

elevadas também apresentaram formato irregular, menor tamanho e menor intensidade na coloração vermelha, entretanto, essas infrutescências apresentaram maior quantidade de polifenóis totais de pelargonidina-3-glicosídeo, o principal composto fenólico do morango, e maior capacidade antioxidante.

Existe uma relação da temperatura com as fases reprodutivas e vegetativas, onde temperaturas constantemente elevadas induzem a planta à produção de estolões e, consequentemente, reduzem a emissão de flores e a produção de infrutescências (Darnell *et al.*, 2003). Além das altas temperaturas médias, Khammayom *et al.* (2022) citam que a amplitude térmica baixa entre dia e noite também pode afetar a produção.

O fato das altas temperaturas dificultarem a polinização irá interferir diretamente no desenvolvimento da infrutescência, pois esta depende das auxinas produzidas nos aquênios (fruto verdadeiro) em desenvolvimento (Taiz *et al.*, 2017).

A temperatura elevada e baixa amplitude térmica não só afetam a produtividade, mas também fatores relacionados à qualidade sensorial tais como os sólidos solúveis (SS). Osatuke e Pritts (2021) relatam redução dos SS quando a planta estava exposta às temperaturas elevadas, promovendo uma maior taxa respiratória da infrutescência, consumido assim parte dos açúcares dos SS. A baixa amplitude térmica entre dia e noite também contribui negativamente com SS (Menzel, 2022).

Em estudo desenvolvido por Dias *et al.* (2015), no estado do Ceará, foram observadas maiores produtividades no cultivo em telado quando comparado ao cultivo em área aberta. Vignolo (2015), em estudo realizado no Rio Grande do Sul, verificou que a cobertura com plástico leitoso, que reduz a incidência de radiação, pode ser uma alternativa de ganhos produtivos em períodos do ano de maior radiação. Esses estudos demonstram o efeito da redução da intensidade luminosa na produtividade da planta em períodos ou locais com alta intensidade luminosa.

2.3 Mudanças climáticas e demanda por alimento

Ao longo das últimas décadas o planeta Terra vem passando por muitas alterações climáticas, segundo o relatório do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas IPCC (2022) o aumento da temperatura atingiu 1,1 °C comparando aos níveis pré-industriais, nesse relatório há a previsão que o mundo possivelmente atingirá ou excederá 1,5 °C de aquecimento nas próximas duas décadas, essa alteração, além de provocar o aumento médio da temperatura do planeta, promove também alterações nos regimes pluviométricos, provocando enchentes e secas, queimadas, aumento nos índices de radiação, ataques mais severos de pragas e doenças, presenças de pragas e doenças em locais nunca observados.

Alterações desse tipo podem afetar diretamente o desenvolvimento e produtividade dos vegetais, interferindo assim a disponibilidade de alimento para uma população sempre crescente, que irá atingir 8,5 bilhões em 2030 e 9,7 bilhões em 2050, e um pico de cerca de 10,4 bilhões de pessoas durante a década de 2080 segundo projeção da ONU (2022). Esse aumento populacional, caso não seja acompanhado pela produção de alimentos, pode provocar sérios problemas de escassez.

Diante desse panorama de aumento populacional e alterações climáticas, se fazem necessários estudos e aplicação de tecnologias que venham mitigar os impactos do clima nas culturas, promovendo uma melhor adaptação e aumento da produtividade dos vegetais, contribuído assim com a oferta de alimentos.

2.4 Filme de partícula e seus benefícios às culturas agrícolas

Os filmes de partículas em sua maioria são formulações aquosas confeccionadas à base de material quimicamente inerte, com diâmetro de partícula inferior a 2µm que apresenta boa uniformidade de aplicação (Glenn *et al.*, 2003; Song *et al.*, 2012). Adicionalmente, os

filmes de partículas não devem interferir nos processos fisiológicos das plantas como nas trocas gasosas, na abertura e fechamento dos estômatos, e devem ser capazes de transmitir a radiação fotossinteticamente ativa (PAR), reduzindo a ação excessiva dos raios ultravioletas (UV) e infravermelhos (IR). Além disso, estes filmes devem possuir a capacidade de reduzir o ataque de doenças, sendo possível removê-los após a colheita dos frutos (Sharma *et al.*, 2015).

O uso de filme de partícula (caulin, carbonato de cálcio, óxido de cálcio) vem se apresentando como uma alternativa que pode auxiliar na redução desses impactos, não só contribuindo com os efeitos das mudanças climáticas, como também na adaptação de culturas de clima temperado em regiões tropicais com temperaturas mais elevadas e maior radiação solar. O uso dos filmes de partícula vem se mostrando eficiente na redução dos impactos climáticos em culturas como noz Persa, Gharaghani *et al.* (2018), café conilon, Silva *et al.* (2019a), uva, Silva *et al.* (2019b), tomate, Silva *et al.* (2019c), e feijão caupi, Oliveira Júnior *et al.* (2019), que além de mitigar as condições de estresse podem auxiliar na adaptação das culturas em regiões distintas das tradicionalmente cultivadas.

A aplicação do filme de partícula à base de caulim consegue amenizar o efeito da associação entre alta intensidade de luz e elevada temperatura, devido a sua capacidade de refletir o excesso de raios ultravioleta e infravermelho, proporcionando maior conforto térmico para a planta que, por sua vez, favorece o maior controle sobre a abertura e fechamento dos estômatos, garantindo a eficiência da fotossíntese (Shellie e Glenn, 2008).

Os efeitos benéficos dos filmes de partícula à base de caulim vão além da melhoria da distribuição de luz no dossel da planta, mas também na eficácia de mitigação de estresses abióticos em plantas, destacando sua capacidade de melhorar a reflexão da radiação, reduzir a carga térmica, minimizar a perda de água e proteger contra danos fotossintéticos e estresse oxidativo, otimizando a fotossíntese, ganhos na eficiência do uso da água e ajustes no balanço de carbono, promovendo um crescimento mais saudável e aumentando o rendimento e a qualidade da colheita. Sua eficácia pode variar com as condições ambientais, tipos de plantas e características genéticas (Brito *et al.*, 2019).

Filmes de partículas à base de cálcio também tem demonstrado resultados satisfatórios na fotoproteção das plantas, semelhantes aos filmes confeccionados à base de caulim (Glenn *et al.*, 2003). A eficiência dos filmes confeccionados à base de carbonato de cálcio (CaCO_3) e óxido de cálcio (CaO) pode ser constatada em experimentos realizados com café conilon (Coffe canefora) (Silva *et al.*, 2019a), uva (*Vitis labrusca* L.) (Silva *et al.*, 2019b) e feijão caupi (*Vigna unguiculata* (L.)) (Oliveira Júnior *et al.*, 2019).

Carbonato de cálcio e óxido de cálcio aplicados via pulverização proporcionaram uma redução na temperatura das folhas de plantas de tomate e uva. Silva *et al.* (2019c), Silva *et al.* (2019b) e Oliveira *et al.* (2021b) constataram o mesmo efeito aplicando CaO em cultivo de batata doce, similar ao efeito causado pelo caulim que é um minério composto de silicatos hidratados de alumínio quando aplicado em plantas de mangueira e noz persa, respectivamente (Chamchaiyaporn *et al.*, 2013; Gharaghani *et al.*, 2018). Em feijão, além de proteger do excesso de luz e temperatura, também amenizou os efeitos da restrição hídrica (Oliveira Junior *et al.*, 2019).

A aplicação do caulim protege a estrutura e a função do fotossistema II nas folhas de videira expostas ao calor e alta radiação solar, destacando como o caulim pode atuar como uma barreira física que reflete a luz solar, protegendo as folhas da planta e preservando a integridade do fotossistema II em condições de estresse térmico. O caulim ajuda a reduzir danos nas folhas causados pelo excesso de energia de excitação, diminui o estresse oxidativo devido ao aumento de carotenoides, que são importantes para proteger o aparato fotossintético contra danos fotoinibitórios causados pelo oxigênio singlete (Dinis *et al.*, 2016; Brito *et al.*, 2019).

O efeito do sombreamento artificial promovido pelo filme de partícula à base de CaCO_3 levou a um aumento nos teores de clorofila A, B e total, e redução na relação clorofila A/B, como também promoveu uma maior eficiência intrínseca no uso da água e redução da ocorrência de distúrbios fisiológicos como a podridão apical ou fundo preto nos frutos (Silva *et al.*, 2019c). Efeitos similares sobre os teores de clorofila foram verificados por Silva *et al.* (2019b), em estudo com duas cultivares de videiras cv. Isabella precoce e cv. Bordô (Ives), e por Oliveira *et al.* (2021b) que utilizaram o CaO e avaliaram a aplicação em batata doce.

Resultados semelhantes com relação ao teor de clorofila total foram observados por Gharaghani *et al.* (2018) em noz Persa, porém utilizando o caulim, que apresenta características semelhantes aos filmes de cálcio por formar uma barreira branca na superfície da folha, além das alterações relacionadas aos teores de clorofila, o caulim também promoveu uma maior área foliar, redução de queimaduras nas folhas e frutos, maior eficiência no uso da água e taxa fotossintética.

O desenvolvimento inicial de jequitibá-rosa, sob diferentes níveis de sombreamento promovido por sombrite, apresenta comportamento similar ao observado nos filmes de partícula quanto ao aumento nos teores das clorofilas, o que demonstra a capacidade dos filmes em simular sombreamento (Rego; Possamar, 2011).

A fluorescência transitória da clorofila A apresenta comportamento distinto em plantas sombreadas artificialmente por filmes de partícula de cálcio quando comparada às plantas expostas ao sol pleno, fato esse associado por alguns autores a adaptações do metabolismo das plantas, uma vez que demonstraram controlar o estresse fotooxidativo, manter compostos antioxidantes e proteger o fotossistema II (PSII), Oliveira *et al.* (2021b) e Silva *et al.* (2019a). A fluorescência da clorofila é caracterizada pela emissão de radiação na região do visível (região do vermelho), sendo esse processo competitivo com a dissipação fotoquímica caracterizado pela utilização da energia luminosa para os processos fotoquímicos da fotossíntese, produzindo ATP e NADPH (Taiz *et al.*, 2017). Alterações na fluorescência podem mostrar a ausência ou presença de comprometimentos no processo fotossintético.

Em plantas submetidas à aplicação de filmes, que promove uma menor quantidade de luz que atinge os centros de reação dos fotossistemas nos tilacoides nos cloroplastos, podem ativar as expressões gênicas diferencialmente em conjunto de genes que respondem à luz e sua intensidade, além de outros genes relacionados à expressão de proteínas provenientes da cadeia de transporte de elétrons. Além da alteração na expressão gênica, o sombreamento por filmes pode induzir a planta a não desenvolver estruturas anatômicas de tolerância, como maior espessura de cutícula ou síntese de ceras que refletem o excesso de luz solar, pois o filme possui coloração branca, que reflete os raios solares (Ferreira *et al.*, 2021).

Plantas de feijão-caupi expostas a uma restrição hídrica 50% ETc permaneceram mais estáveis com a aplicação de filme de partículas de CaO concentração 10%, apresentando alta assimilação fotossintética de CO_2 , transpiração moderada, manutenção no teor de clorofila e maior eficiência intrínseca do uso da água e instantânea do uso da água, quando comparada às plantas que não receberam o filme (Oliveira Júnior *et al.*, 2019).

Apesar do uso dos filmes de partículas proporcionar um incremento na taxa fotossintética líquida, relacionada à melhoria da distribuição de luz no dossel e à redução da transpiração das plantas, conforme relatado por alguns autores (Chamchaiyaporn *et al.*, 2013), em algumas espécies a taxa fotossintética líquida reduziu, sendo justificada pela redução da interceptação da luz fotossinteticamente ativa e obstrução parcial dos estômatos (Rosati *et al.*, 2006; Cantore *et al.*, 2009).

Filme à base de CaO contribuiu positivamente com um aumento no comprimento, diâmetro e número de raízes comerciais de batata doce, o que levou a um aumento na produtividade, com maior potencial produtivo na dose de 10% de CaO, esse ganho produtivo

foi associado à redução do estresse térmico e luminoso, seguido da maior remobilização dos fotoassimilados (Oliveira *et al.*, 2021a).

Concentrações muito elevadas desses filmes podem atuar de forma negativa, pois podem causar uma redução drástica da entrada de luz que chega a estruturas fotossintéticas como também um fechamento parcial de estômatos, taxa de fotossíntese ou assimilação líquida de CO₂ e condutância estomática (Oliveira *et al.*, 2021a; Silva *et al.*, 2019c).

Além de ganhos relacionados à taxa fotossintética, concentração de CO₂ intercelular, eficiência de uso de água e eficiência de carboxilação, quando comparadas plantas em pleno sol com plantas que receberam a aplicação de CaO, também verificou-se um aumento na produtividade de cerca de 62% em tubérculos de batata doce entre a melhor concentração do CaO e tratamento controle (Oliveira *et al.*, 2022).

As concentrações 10 e 15% de CaO contribuíram com atributos relacionados ao teor de fibra em detergente ácido e neutro, carboidratos totais, nutrientes digestíveis totais e digestibilidade da matéria seca da parte aérea da batata-doce (Oliveira *et al.*, 2021b).

Além dos benefícios relacionados à fotoproteção, adaptações fisiológicas, controle do estresse térmico e ganhos de produtividade, os filmes de partícula também podem contribuir com a redução de uso de defensivos agrícolas, pois podem atuar no controle de pragas e doenças (Ramírez-Godoy *et al.*, 2018), avaliou-se que a aplicação de carbonato de cálcio em limão repeliu a *Diaphorina citri*, um vetor do greening, reduzindo adultos, ninfas e ovos, e destacando seu potencial como alternativa a inseticidas. Da mesma forma, o caulim aplicado em mangas reduziu doenças pós-colheita e intensificou a cor vermelha dos frutos (Chamchaiyaporn *et al.*, 2013). Em testes laboratoriais, nanopartículas de caulim, zeólito e carbonato de cálcio diminuíram a fixação de *Nezara viridula*, com o caulim também afetando a locomoção do inseto (Salerno *et al.*, 2021). Estudos mostraram que o óxido de cálcio controla eficazmente a mosca das frutas em pimentas (Pangihutan *et al.*, 2022) e que o caulim e o carbonato de cálcio podem limitar a infestação de *Bactrocera zonata* em mangas, reduzindo a pressão de seleção de pragas resistentes (Morsi, 2021).

Em virtude das limitações ao cultivo de morango em regiões de clima mais extremo e dos benefícios dos filmes de partícula relacionados à redução de estresses climáticos, o uso dessa tecnologia indica ser uma alternativa que pode auxiliar na adaptação dessa cultura em regiões com condições climáticas pouco favoráveis ao cultivo comercial destas espécies, como as regiões tropicais de baixa altitude.

3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, I. R.; ANTUNES, L. E. C.; REISSER JUNIOR, C.; STEINMETZ, S.; CARVALHO, F. L. C. **Potenciais regiões produtoras de morango durante a primavera e verão e riscos de ocorrência de geada na produção de inverno no estado do Rio Grande do Sul**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2009. 5 p.
- AMERI, A.; TEHRANIFAR, A.; DAVARYNEJAD, G.; SHOOR, M. Flowering times and some growth indicators of strawberry were affected by physical properties of the growing media. **Scientia Horticulturae**, v. 272, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2020.109601>
- ANTUNES, L. C.; REISSER JUNIOR, C. **Produção Integrada de Morango: oportunidade de mercado**. Anais de Palestras e Resumos do IV Simpósio Nacional do Morango e III Encontro de Pequenas Frutas e Frutas Nativas do Mercosul. Pelotas Embrapa Clima Temperado, 2008, 173 p.
- ANTUNES, L. E. C.; REISSER JÚNIOR, C.; SCHWENGBER, J. E. (editores técnicos). **Morangueiro**. Brasília DF: Embrapa, 2016. 589 p.
- BALASOORIYA, H. N.; DASSANAYAKE, K. B.; TOMKINS, B.; SENEWEERA, S.; AJLOUNI, S. Impacts of Elevated Carbon Dioxide and Temperature on Physicochemical and Nutrient Properties in Strawberries. **J Hortic Sci Res**, v. 1, n. 1, p. 19-29, 2017. <https://doi.org/10.36959/745/394>.
- BALASOORIYA, B. L. H. N.; DASSANAYAKE, K.; AJLOUNI, S. High temperature effects on strawberry fruit quality and antioxidant contents. **Acta Horticulturae**, v. 1278, p. 225-234, 2020. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2020.1278.33>
- BRITO, C.; DINIS, L.-T.; MOUTINHO-PEREIRA, J.; CORREIA, C. Kaolin an emerging tool to alleviate the effects of abiotic stresses on crop performance. **Scientia Horticulturae**, v. 250, p. 310-316, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.02.070>
- CANTORE, V.; PACE, B.; ALBRIZIO, R. Kaolin-based particle film technology affects tomato physiology, yield, and quality. **Environmental and Experimental Botany**, v. 66, n. 2, p. 279-288, 2009. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2009.03.008>
- CHAMCHAIYAPORN, T.; JUTAMANEE, K.; KASEMSAP, P.; VAITHANOMSAT, P.; HENPITAK, C. Effects of Kaolin Clay Coating on Mango Leaf Gas Exchange, Fruit Yield, and Quality. **Kasetsart Journal - Natural Science**, v. 47, p. 479-491, 2013.
- COCCO, C. **Qualidade fisiológica das mudas na produção de frutas do morangueiro**. 2010. 48p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria-RS, 2010.
- DARNELL, R. L.; CANTLIFFE, D. J.; KIRSCHBAUM, D. S.; CHANDLER, C. K. The physiology of flowering in strawberry. **Horticultural Reviews**, v. 28, p. 325-349, 2003. <https://doi.org/10.1002/9780470650851.ch6>
- DIAS, C. N.; MARINHO, A. B.; ARRUDA, R. S.; SILVA, M. J. P.; PEREIRA, E. D.; FERNANDES, C. N. V. Produtividade e qualidade do morangueiro sob dois ambientes e

doses de biofertilizante. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 19, n. 10, p. 961-966, 2015. <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v19n10p961-966>

DINIS, L.-T.; FERREIRA, H.; PINTO, G.; BERNARDO, S.; CORREIA, C.M.; MOUTINHO-PEREIRA, J. Kaolin-based foliar reflective film protects photosystem II structure and function in grapevine leaves exposed to heat and high solar radiation. **Photosynthetica**, v. 54, p. 47–55, 2016. <https://doi.org/10.1007/s11099-015-0156-8>

DINIS, L.T.; BERNARDO, S.; LUZIO, A.; PINTO, G.; MEIJÓN, M.; PINTÓ-MARIJUAN, M.; COTADO, A. Kaolin modulates ABA and IAA dynamics and physiology of grapevine under Mediterranean summer stress. **Journal of Plant Physiology**, v. 220, p. 181–192, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2017.11.007>.

FAOSTAT. **Searchable online statistical database from Food and Agriculture Division of the United Nations**, 2022. Disponível em: <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>. Acesso em: 07 jul. 2024.

FERREIRA, J. A. B.; SILVA-MANN, R.; OLIVEIRA JUNIOR, L. F. G. Genes to Monitor Ecophysiological Parameters for Plants Under Abiotic Stress Conditions. **American Scientific Research Journal for Engineering, Technology, and Sciences**, v. 82, n. 1, p. 78-98, 2021.

FILGUEIRA, F. A. R. **Novo manual de olericultura: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças**. Viçosa: Ed. UFV, 2000. 402 p.

FUSSY, A.; PAPENBROCK, J. An overview of soil and soilless cultivation techniques - chances, challenges, and the neglected question of sustainability. **Plants**, v. 11, n. 9, p. 1153, 2022. <https://doi.org/10.3390/plants11091153>

GHARAGHANI, A.; JAVARZARI, A. M.; VAHDATI, K. Kaolin particle film alleviates adverse effects of light and heat stresses and improves nut and kernel quality in Persian walnut. **Scientia Horticulturae**, v. 239, p. 35-40, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.05.024>

GLENN, D. M.; PRADO, E.; EREZ, A.; PUTERKA, G. J.; GUNDRUM, P. Particle films affect carbon assimilation and yield in 'Empire' apple. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, v.128, p. 356-362, 2003. <https://doi.org/10.21273/JASHS.128.4.0356>

HANCOCK, J. F. Strawberries. Wallingford: CABI, 1999, 237 p. *apud* ANTUNES, L.E.C.; REISSER JÚNIOR, C.; SCHWENGBER, J. E. **Morangueiro**. Brasília, DF: Embrapa, 2016. 589 p.

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. Sexto Relatório de Avaliação do IPCC: Impactos, Adaptação e Vulnerabilidade. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2>. Acesso em: 03 out. 2022.

KHAMMAYOM, N.; MARUYAMA, N.; CHAICHANA, C. The Effect of Climatic Parameters on Strawberry Production in a Small Walk-In Greenhouse. **AgriEngineering**, v. 4, n. 1, p. 104-121, 2022. <https://doi.org/10.3390/agriengineering4010007>

MANAKASEM, Y.; GOODWIN, P. B.. Responses of dayneutral and Junebearing strawberries to temperature and daylength. **Journal of Horticultural Science and Biotechnology**, v.76, n.5, p. 629-635, 2001.
<https://doi.org/10.1080/14620316.2001.11511422>.

MENZEL, C. M. Effect of Temperature on Soluble Solids Content in Strawberry in Queensland, Australia. **Horticulturae**, v. 8, n. 5, p. 367, 2022.
<https://doi.org/10.3390/horticulturae8050367>

MORSI, G. M. A. Study the Effect of Two Mineral Compounds for Controlling the Peach Fruit Fly *Bactrocera zonata* Saunders on Mango Groves in Egypt. **Journal of Plant Protection and Pathology**, v. 12, n. 1, p. 71-76, 2021.
<https://doi.org/10.21608/JPPP.2021.149521>

OLIVEIRA JÚNIOR, L. F. G.; SANTOS, P. L. S.; LIMA, R. S. N.; SILVEIRA, M. P. C.; FAGUNDES, J. L.; CARNELOSSI, M. A. G.; REIS, F. O. Physiological parameters of cowpea treated with CaO particle film subjected to water restriction. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 54, p. 1-8, 2019. <https://doi.org/10.1590/S1678-3921.pab2019.v54.00033>

OLIVEIRA, A. P.; DINIS, L.-T.; SANTOS, A. A.; FONTES, P.; CARNELOSSI, M.; FAGUNDES, J.; OLIVEIRA-JÚNIOR, L. Particle Film Improves the Physiology and Productivity of Sweet Potato without Affecting Tuber's Physicochemical Parameters. **Agriculture**, v. 12, n. 4, p. 558, 2022. <https://doi.org/10.3390/agriculture12040558>

OLIVEIRA, A. P.; DINIS, L. T. R.; BARBOSA, N. T. B.; MATTOS, E. C.; FONTES, P. T. N.; CARNELOSSI, M. A. G.; FAGUNDES, J. L.; DA SILVA, E. C.; OLIVEIRA JUNIOR, L. F. G. Calcium particle films promote a photoprotection on sweet potato crops and increase its productivity. **Theor. Exp. Plant Physiol.**, v. 33, p. 29-41, 2021b.
<https://doi.org/10.1007/s40626-020-00192-9>

OLIVEIRA, A. P.; SANTOS, A. A.; FONTES, P. T. N.; CARNELOSSI, M. A. G.; FAGUNDES, J. L.; OLIVEIRA JUNIOR, L. F. G. Calcium particle film improves sweet potato growth and partitioning. **Pesq. Agropec. Trop.**, v. 51, 2021a.
<https://doi.org/10.1590/1983-40632021v5167814>

OLIVEIRA, Í. P.; BELARMINO, L. C.; BELARMINO, A. J. Viabilidade da produção de morango no sistema semi-hidropônico recirculante. **Custos e Agronegócio**, v. 13, n. 1, p. 315-332, 2017.

OLIVEIRA, R. P.; SCIVITTARO, W. B. Produção de frutos de morango em função de diferentes períodos de vernalização das mudas. **Horticultura Brasileira**, v. 27, p. 091-095, 2009.

ONU- Organização das Nações Unidas. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/189756-populacao-mundial-chegara-8-bilhoes-em-novembro-de-2022#:~:text=1%25%20em%202020.-,As%20%C3%BAltimas%20proje%C3%A7%C3%B5es%20das%20Na%C3%A7%C3%B5es%20Unidas%20indicam%20que%20a%20popula%C3%A7%C3%A3o,permane%C3%A7a%20neste%20n%C3%ADvel%20at%C3%A9%202100>. Acesso em: 03 out. 2022.

OSATUKE, A.; PRITTS, M. Strawberry Flavor Is Influenced by the Air Temperature Differential during Fruit Development but Not Management Practices. **Agronomy**, v. 11, n. 3, p. 606, 2021. <https://doi.org/10.3390/agronomy11030606>

PANGIHUTAN, J. C.; DONO, D.; HIDAYAT, Y. The potency of minerals to reduce oriental fruit fly infestation in chili fruits. **PeerJ**, v. 10, 2022. <https://doi.org/10.7717/peerj.13198>

RAMÍREZ-GODOY, A.; PUENTES-PÉREZ, G.; RESTREPO-DÍAZ, H. Evaluation of the effect of foliar application of kaolin clay and calcium carbonate on populations of *Diaphorina citri* (Hemiptera: Liviidae) in Tahiti lime. **Crop Protection**, v. 109, p. 62-71, July 2018. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2018.01.012>

REGO, G. M.; POSSAMAR, E. Efeito do sombreamento sobre o teor de clorofila e crescimento inicial do Jequitibá-rosa. **Pesquisa Florestal Brasileira**, n. 53, p. 179, 2011.

RICHARDS, C.E.; GAUCH, H.L.; ALLWOOD, J.M.. International risk of food insecurity and mass mortality in a runaway global warming scenario. **Futures**, v. 150, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.futures.2023.103173>.

RICHTER, A. F.; FAGUERAZZI, A. F.; ZANIN, D. S.; CAMARGO, S. S.; ARRUDA, A. L.; KRETZSCHMAR, A. A.; RUFATO, L.; SILVA, P. S. Produtividade e qualidade de cultivares de morangueiro sob cultivo de solo e semi-hidropônico. **Revista Científica Rural**, v. 20, n. 1, p. 193-201, 2018.

RONQUE, E. R. V. **Cultura do morangueiro: revisão prática**. Curitiba: EMATER IPR. p.206. 1998.

ROSATI, A.; METCALF, S. G.; BUCHNER, R. P.; FULTON, A. E.; LAMPINEN, B. D. Physiological effects of kaolin applications in well-irrigated and water-stressed walnut and almond trees. **Ann Bot**, v. 98, n. 1, p. 267-275, 2006.

SAEB, M.R.; RAMEZANI-DAKHEL, H.; KHONAKDAR, H.A.; HEINRICH, G.; WAGENKNECHT, U. A comparative study on curing characteristics and thermomechanical properties of elastomeric nanocomposites: the effects of eggshell and calcium carbonate nano fillers. **Journal of Applied Polymer Science**, v.127, p.4241–4250, 2013. <https://doi.org/10.1002/app.38022>.

SALERNO, G.; REBORA, M.; PIERSANTI, S.; SAITTA, V.; KOVALEV, A.; GORB, E.; GORB, S. Reduction in Insect Attachment Caused by Different Nanomaterials Used as Particle Films (Kaolin, Zeolite, Calcium Carbonate). **Sustainability**, v. 13, n. 15, p. 8250, 2021. <https://doi.org/10.3390/su13158250>

ŠAMEC, D.; MARETIĆ, M.; LUGARIĆ, I.; MEŠIĆ, A.; SALOPEK-SONDI, B.; DURALIJA, B. Assessment of the differences in the physical, chemical, and phytochemical properties of four strawberry cultivars using principal component analysis. **Food Chemistry**, v. 194, p. 828-834, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.08.095>

SERÇE, S.; HANCOCK, J. F. The temperature and photoperiod regulation of flowering and running in the strawberries, *Fragaria chiloensis*, *F. virginiana*, and *F. x ananassa*. **Scientia Horticulturae**, v.103, n. 2, p.167-177, 2005. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2004.04.017>.

SHARMA, N.; ACHARYA, S.; KUMAR, K.; SINGH, N.; CHAURASIA, O. P. Hydroponics as an advanced technique for vegetable production: an overview. **Journal of Soil and Water Conservation**, v. 17, p. 364-371, 2018. <https://doi.org/10.5958/2455-7145.2018.00056.5>

SHARMA, R. R.; REDDY, S. V. R.; DATTA, S. C. Particle films and their applications in horticultural crops. **Applied Clay Science**, v. 116-117, p. 54-68, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.clay.2015.08.009>

SHELLIE, K.; GLENN, D. M. Wine grape response to kaolin particle film under deficit and well-watered conditions. **Acta Horticulturae**, v. 792, p. 69, 2008. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2008.792.69>

SILVA, P. S. O.; OLIVEIRA L. F. G.; GONZAGA, M. I. S.; SENA, E. O. A.; MACIEL, L. B. S.; FIAES, M. P.; MATTOS, E. C.; CARNELOSSI, M. A. G. Effects of calcium particle films and natural shading on ecophysiological parameters of conilon coffee. **Scientia Horticulturae**, v. 245, p. 171-177, 2019a. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.10.010>

SILVA, P. S. O.; OLIVEIRA JUNIOR, L. F. G.; MATTOS, E. C.; MACIEL, L. B. S.; SANTOS, M. P. F.; SENA, E. O. A.; BARBOSA, N. T. B.; CARNELOSSI, M. A. G.; FAGUNDES, J. L. Calcium particle films promote artificial shading and photoprotection in leaves of American grapevines (*Vitis labrusca* L.). **Scientia Horticulturae**, v. 252, p. 77-84, 2019b. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.03.041>

SILVA, P. S. O.; SENA, E. O. A.; GONZAGA, M. I. S.; OLIVEIRA JUNIOR, L. F. G.; MACIEL, L. B. S.; DOS SANTOS, M. P. F.; MATTOS, E. C.; DIAS, K. L. L.; CARNEIRO, R. B.; CARNELOSSI, M. A. G. Calcium carbonate particle films and water regimes affect the acclimatization ecophysiology and reproduction of tomato. **Environmental and Experimental Botany**, v. 165, p. 19-29, 2019c. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2019.05.017>

SONG, J.; SHELLIE, K. C.; WANG, H.; QIAN, M. C. Influence of deficit irrigation and kaolin particle film on grape composition and volatile compounds in Merlot grape (*Vitis vinifera* L.). **Food Chemistry**, v. 134, n. 2, p. 841-850, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.02.193>

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I.; MURPHY, A. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6.ed. Porto Alegre: Artmed, 2017. 888 p.

UC (University of California, Davis campus).. Strawberry Licensing Program, 2010. Disponível em: <https://research.ucdavis.edu/technology-transfer/plant-variety-licensing-program/strawberry-licensing-program/#toggle-id-6>. Acesso em : 01/06/2024.

VAUGHAN, J. G.; GEISSLER, C. A. The new Oxford book of food plants. New York: Oxford University, 1997, 237 p. *apud* ANTUNES, L. E. C.; REISSER JÚNIOR, C.; SCHWENGBER, J. E. (editores técnicos). **Morangueiro. Brasília DF: Embrapa**, 2016. 589 p.

VIGNOLO, G. K. **Produção e qualidade de morangos durante dois ciclos consecutivos em função da data de poda, tipo de filme do túnel baixo e cor do "mulching" plástico.**

2015. 123p. Tese (Doutorado em Fruticultura de Clima Temperado) - Programa de Pós-graduação em Agronomia, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas-RS, 2015.

XU, F.; SHI, L.; CHEN, W.; CAO, S.; SU, X.; YANG, Z. Effect of blue light treatment on fruit quality, antioxidant enzymes, and radical-scavenging activity in strawberry fruit.

Scientia Horticulturae, v. 175, p. 181-186, 2014.

<https://doi.org/10.1016/j.scienta.2014.06.012>

4. ARTIGO 1

DESEMPENHO DE CULTIVARES DE MORANGUEIRO CULTIVADAS EM SOLO SOB FILMES DE PARTÍCULAS DE CaO NO INVERNO E NA PRIMAVERA

Artigo formatado de acordo com as normas do periódico *Environmental and Experimental Botany*

RESUMO

O morangueiro (*Fragaria x ananassa* Duch.), espécie do gênero *Fragaria*, é resultado da hibridação de duas espécies americanas, *F. chiloensis* Mill. e *F. virginiana* Duch. Por ser uma espécie que tem sua origem em uma região de clima temperado, apresenta limitações quanto ao cultivo em regiões de clima tropical, com temperatura e radiação mais elevadas, sendo necessária a utilização de técnicas que possam auxiliar na adaptação das espécies em regiões com essas características. Estudos veem apontando para a capacidade dos filmes de partícula de cálcio contribuir com redução de estresse climático e promover uma melhor adaptação de espécies agrícolas. O objetivo deste trabalho foi avaliar o desenvolvimento produtivo de três cultivares de morango de dias neutros (Albion, Monterey e San Andreas), em região tropical de baixa altitude, submetidas à aplicação de filme de partícula à base de óxido de cálcio (CaO). O experimento foi conduzido em campo com utilização de *mulching* e túnel baixo, onde foram testadas duas concentrações de filme de partícula de cálcio (2,5% e 5% de CaO) e controle (0% de CaO) com implantação no início de junho/21 e condução do cultivo até novembro/21, com avaliações realizadas no inverno e na primavera para os parâmetros ecofisiológicos e produtividade ao longo de todo o ciclo. A aplicação das diferentes concentrações promoveu aumento significativo nos índices de clorofila para os diferentes períodos avaliados. Os parâmetros fenomenológicos relacionados à fluorescência da clorofila a foram afetados pelos filmes, com destaque positivo ao filme 2,5% de CaO. O filme na concentração de 2,5% de CaO promoveu ganhos relacionados à produção como número e massa média de infrutescências e produtividade. Entre as cultivares, a Monterey e a San Andreas foram as que se destacaram quanto aos parâmetros produtivos como número de infrutescências e produtividade. A aplicação de filme de CaO demonstra ser uma alternativa à adaptação da cultura do morango em regiões tropicais de baixa altitude, podendo viabilizar o cultivo do morangueiro na região.

Palavras-chave: *Fragaria x ananassa* Duch, clima tropical, filme de partícula, óxido de cálcio, fotoproteção.

4. ARTICLE 1

PERFORMANCE OF STRAWBERRY CULTIVARS GROWN IN SOIL UNDER CAO PARTICLE FILMS IN WINTER AND SPRING

Formatted according to the submission guidelines of the journal *Environmental and Experimental Botany*

ABSTRACT

Strawberry plants (*Fragaria x ananassa* Duch.), a species in the genus *Fragaria*, is the result of hybridization between two American species, *F. chiloensis* Mill. and *F. virginiana* Duch. As a species that originated in temperate climates, it has limitations when it comes to cultivation in tropical climates, with higher temperatures and radiation, making it necessary to use techniques that can help the species adapt to regions with these characteristics. Studies have pointed to the ability of calcium particle films in helping to reduce climatic stress and promote better adaptation of agricultural species. The aim of this study was to evaluate the productive development of three day-neutral strawberry cultivars (Albion, Monterey and San Andreas) in a low-altitude tropical region, subjected to the application of a calcium oxide (CaO)-based particle film. The experiment was conducted in the field using mulching and a low tunnel, where two concentrations of calcium particle film (2.5% and 5% CaO) and a control (0% CaO) were tested. The film was applied at the beginning of June/21 and the crop was grown until November/21, with evaluations conducted in winter and spring for ecophysiological parameters and productivity throughout the cycle. The application of the different concentrations led to a significant increase in the chlorophyll levels for the different time periods. The phenomenological parameters related to fluorescence of chlorophyll a were affected by the films, with the 2.5% CaO film standing out positively. The film at a concentration of 2.5% CaO promoted gains related to production, such as the number and average mass of infructescences and productivity. Among the cultivars, Monterey and San Andreas stood out in terms of production parameters such as the number of infructescences and productivity. The application of CaO film proves to be an alternative for adapting strawberry cultivation in low-altitude tropical regions and could make strawberry cultivation viable in the region.

Keywords: *Fragaria x ananassa* Duch, tropical climate, particle film, calcium oxide, photoprotection.

4.1. Introdução

O morangueiro, espécie de origem de clima temperado e comumente cultivada em regiões com clima mais ameno, com menores temperaturas e radiação solar, apresenta limitações de cultivo em regiões de clima tropical, próximas à linha do Equador. Manakasem e Goodwin (2001) relatam que a faixa ótima de temperatura para a indução floral está entre 18 °C/13 °C e 21 °C/16 °C dia e noite, respectivamente. Serçe e Hancock (2005) observaram aumento progressivo no número de flores com a redução da temperatura média, com maior número observado nas temperaturas 18 e 22 °C quando comparado às temperaturas 26 e 30 °C. O cultivo desta espécie em regiões semelhantes ao Nordeste do Brasil, onde as temperaturas anuais podem ultrapassar 30 °C, podem causar diversos distúrbios fisiológicos como: acelerar a maturação, reduzir a firmeza e tamanho das infrutescências, além de alterar a qualidade sensorial como aumento de acidez, redução de sabor e aroma (Antunes et al., 2016).

Fatores ambientais como fotoperíodo, radiação solar, precipitação, fertilidade do solo, umidade do ar e temperatura influenciam o crescimento e desenvolvimento da cultura (Cocco, 2010; Antunes et al., 2016). Dentre esses, a temperatura destaca-se por ser responsável pelo bom desenvolvimento do morangueiro, tendo em vista que mudanças abruptas afetam diretamente o desenvolvimento vegetativo, a produção e a qualidade das infrutescências (Antunes et al., 2016). Atualmente, o aumento da temperatura global acima de 1 °C tem acarretado impactos severos à produção agrícola, chegando a comprometer a cadeia de abastecimento alimentar, o que de fato reflete na perspectiva relacionada à insegurança alimentar do planeta (IPCC, 2022; Richards et al., 2023).

Visando mitigar os impactos do clima nas culturas, tecnologias alternativas como os filmes de partículas como caulim, demonstraram-se eficientes na redução do estresse abiótico e no auxílio para a adaptação de culturas em condições de cultivo limitantes. Na cultura da noz Persa (*Juglans regia* L.), a aplicação de caulim foi eficiente na redução das queimaduras dos frutos, mantendo a sua qualidade (Gharaghani et al., 2018). Assim como a aplicação de filme de partículas à base de caulim promoveu a fotoproteção da cultura da uva, influenciando no balanço hormonal, anatomia da folha, trocas gasosas e fluorescência transiente da clorofila a (Dinis et al., 2018). Bernardo et al. (2021) concluíram que a aplicação do caulim pode ser considerada uma prática promissora para minimizar os impactos do estresse do verão em videiras cultivadas em regiões de clima semelhante ao mediterrâneo.

No Nordeste brasileiro, pesquisadores desenvolveram uma tecnologia barata e sustentável como alternativa para a utilização do filme de partículas à base de caulim, o filme à base de cálcio (Silva et al., 2019a; Silva et al., 2019b; Silva et al., 2019c; Oliveira et al., 2021; Oliveira et al., 2022; Oliveira Junior et al., 2019).

Estes filmes podem ser formulados à base de carbonato de cálcio (CaCO_3) ou óxido de cálcio (CaO), os filmes de cálcio podem ser produzidos de fontes renováveis como cascas de ovos e rochas marinhas (Saeb et al., 2013; Silva et al., 2019a), são preparados dissolvendo o CaCO_3 ou CaO em água e aplicados nas folhas via pulverização (Silva et al., 2019c), apresentam as principais características de serem materiais quimicamente inertes, permitem as trocas gasosas, permitem a absorção de radiação fotossinteticamente ativa (PAR), são facilmente removíveis e apresentam partículas com diâmetros inferiores a 2 μm , demonstrando boa uniformidade de aplicação (Glenn et al., 2003; Song et al., 2012).

A aplicação dos filmes à base de cálcio promoveu benefícios consideráveis em algumas espécies. Foram observados aumentos nas trocas gasosas de plantas de feijão caupi submetidas à restrição hídrica e aplicação do filme de partículas à base de CaO (Oliveira Júnior et al., 2019). Resultados positivos da utilização do filme relacionados à fluorescência da clorofila a, indicando uma maior eficiência na utilização da radiação que chega aos cloroplastos, trocas gasosas, produtividade e qualidade tubérculos, foram observados em plantas de batata-doce (Oliveira et al., 2021; Oliveira et al., 2022). Silva et al. (2019a), ao avaliarem plantas de tomate tratadas com diferentes concentrações (0%, 5% 10% e 15%) de filme de partículas à base de CaCO_3 e submetidas a dois regimes hídricos (100% da ETc e 50% da ETc), concluíram que o filme de partículas à base de carbonato de cálcio age como um sombreamento artificial.

Como base em estudos recentes utilizando filme de partícula, essa tecnologia se apresenta como uma alternativa que possa auxiliar na adaptação da cultura do morango em regiões com altas temperaturas e radiação. Visando aumentar as possibilidades de utilização dos filmes de partículas de cálcio em culturas de clima temperado, possibilitando o cultivo dessas espécies em locais de temperatura e luminosidade consideradas estressantes, objetivou-se com este trabalho avaliar o desempenho produtivo (número e massa média das infrutescências e produtividade) de três cultivares de morango de dias neutros (Albion,

Monterey e San Andreas), submetidas à aplicação de filme de partícula à base de óxido de cálcio (CaO) em região tropical de baixa altitude.

4.2. Material e Métodos

4.2.1 Experimento de campo

O estudo foi conduzido na Fazenda Experimental da Universidade Federal de Sergipe “Campus Rural”, localizada no município de São Cristóvão/SE (latitude 10° 55’ 27’’ S, longitude 37° 12’ 01’’ W). O solo presente no local é classificado como Argissolo Vermelho Amarelo segundo o Atlas Digital sobre Recursos Hídricos do Estado de Sergipe (2013). De acordo com a classificação de Köppen, o clima da região é classificado como subtropical (As’) com verão seco, precipitação média anual de 1300 mm concentrada nos meses de abril a setembro, temperatura média anual em torno de 25,2 °C.

Ao longo do período experimental foram monitoradas as condições climáticas com dados coletados na estação automática localizada na cidade de Aracaju (Figura 1), município vizinho, localizado a 16 km da área experimental.

4.2.2 Material vegetal e arranjo experimental

Foram utilizadas três cultivares de morango, desenvolvidas pela Universidade da Califórnia, classificadas como cultivares de dias neutros, ou seja, indiferentes ao fotoperíodo: San Andreas, Monterey e Albion. As mudas dos morangueiros foram adquiridas com padrão internacional, previamente submetidas à vernalização, processo necessário para a indução da fase reprodutiva na espécie.

O estudo foi conduzido em experimento em faixas que constituem em uma variação dos experimentos em parcelas subdivididas, com cinco blocos. No primeiro fator as parcelas (faixas) foram formadas pelos filmes de partícula de cálcio com três concentrações distintas (0%; 2,5% e 5,0% de CaO), onde cada filme foi aplicado via pulverização, apenas em um canteiro, totalizando três canteiros, um para cada filme, com dimensões de 22,5 m de comprimento e 1,2 m de largura. No segundo fator a subparcela foi formada por 3 cultivares de morango: San Andreas (SA), Monterey (MO) e Albion (AL), que foram distribuídas em 5 blocos dentro das faixas (canteiros).

A parcela experimental apresentava as dimensões de 1,2 m de largura e 1,5 m de comprimento, o espaçamento entre plantas de 0,4 m entre linhas e 0,3 m entre plantas na linha, totalizando 15 plantas por parcela experimental.

4.2.3 Manejo da cultura

Devido à coincidência do cultivo de morango com a estação chuvosa da região, foi utilizado *mulching* com plástico preto para evitar o contato das infrutescências com o solo e prevenir podridões. Além disso, usou-se um túnel baixo com plástico transparente sobre os canteiros para proteger as folhas da precipitação direta, o túnel era mantido fechado apenas no período da noite e momentos de precipitação.

Foi utilizado o Boletim 100 (Van Raij et al., 1996) para as recomendações de adubação e calagem. A calagem, adubação orgânica e adubação mineral de plantio foram realizadas diretamente no solo, a adubação de cobertura foi realizada via fertirrigação, utilizando fertilizantes de alta solubilidade, as fontes dos nutrientes utilizados foram ureia, MAP purificado e sulfato de potássio.

O plantio foi realizado no dia 03/06/2021, período no qual a temperatura ambiental e radiação solar tende a reduzir (Figura 1), proporcionando um melhor estabelecimento da cultura no campo e melhor desenvolvimento da fase reprodutiva, o experimento foi conduzido até o dia 15/11/2021.

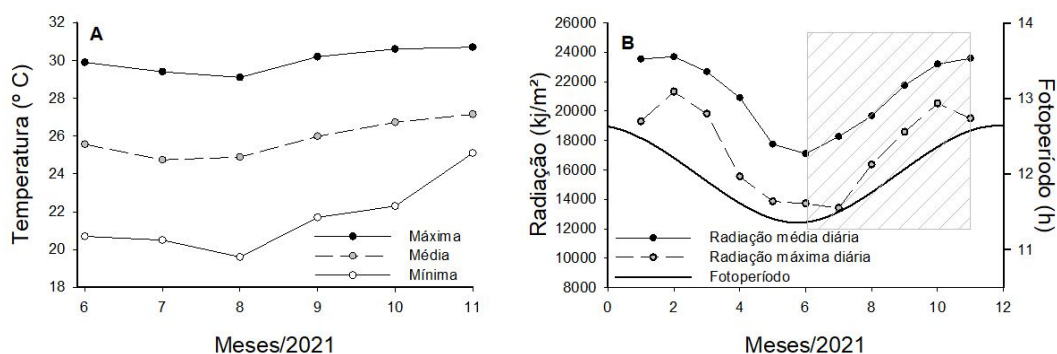


Figura 1: Dados climáticos da região, (A) temperatura mínima, média e máxima, (B) fotoperíodo, radiação média e máxima diária.

As aplicações do filme de partícula foram realizadas a partir do 30º dia após o plantio, até o final do experimento, reaplicado a cada 15 dias, mantendo-se sempre constante a cobertura das folhas.

Para a preparação das diferentes doses, o óxido de cálcio era diluído em água em seguida a adição de espalhante adesivo wil fix, na concentração de 1ml/L, aplicado nas plantas via pulverização, utilizando pulverizador costal.

A irrigação foi realizada por meio do sistema de irrigação localizada, com fitas gotejadoras, instaladas com espaçamento de 40 cm entre fitas e 20 cm entre gotejadores, vazão do gotejador 2,1 L.h⁻¹, o manejo foi conduzido por meio da leitura da tensão da água no solo com cápsulas porosas com leitor, marca Watermark, instaladas ao longo dos canteiros. Com base na leitura da tensão da água no solo calculava-se a lâmina a ser aplicada, utilizando a curva de retenção de água no solo, mantendo o solo sempre entre 80% e 100% da capacidade de campo.

4.2.4 Análise fisiológica

Foram realizadas análises fisiológicas em dois períodos distintos, a primeira durante o inverno, em 12/07/2021, 10 dias após a primeira aplicação dos filmes, e a segunda leitura ocorreu na primavera no dia 23/09/2021, após a realização de 6 pulverizações com os filmes, 83 dias após a primeira aplicação, período no qual as temperaturas e radiação solar aumentaram significativamente. As leituras foram realizadas às 9h na terceira folha completamente aberta que não apresentou danos por pragas ou doenças.

Índice de clorofila de Falker: Para a leitura da clorofila a (Clh a), clorofila b (Clh b), e cálculos da clorofila total, $\text{Clorofila total} = (\text{Clh a} + \text{Clh b})$, e a relação da clorofila A/B nesta análise, foi utilizado o medidor não destrutivo do índice de clorofila Falker, modelo CFL1030 (Falker, Brasil), que possui três LEDs funcionando em 635, 660 e 850 nm, sendo o último comprimento de onda utilizado para a normalização das leituras (Brito et al., 2011).

Fluorescência transiente da clorofila a: Os parâmetros estruturais e funcionais dos fotossistemas e da cadeia transportadora de elétrons foram acessados pela análise da fluorescência transiente da clorofila a, as medidas foram realizadas nas mesmas folhas da avaliação de clorofila após adaptação ao escuro com cliques por 30 min. Para tal avaliação, foi utilizado um medidor de fluorescência portátil modelo OS-30p (Opti-Sciences Inc., USA).

4.2.5 Análises morfoagronômicas das infrutescências

As infrutescências foram colhidas duas vezes por semana, colhendo aquelas que apresentavam acima de 75% de coloração vermelha. Após a colheita essas eram classificadas quanto aos defeitos que inviabilizam a comercialização do produto, estabelecendo padrões mínimos de qualidade (inteiros, firmes e isentos de pragas, danos mecânicos, podridão e distúrbios fisiológicos) (CEAGESP, 2016), em seguida foram determinados o número de infrutescências, massa total e massa média das infrutescências para cada parcela experimental. Ao final do experimento determinou-se a produção total por parcela, e em seguida o cálculo da produtividade em $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ baseado na área da parcela.

4.2.6 Análise estatística

Os dados foram submetidos ao teste de normalidade por meio do teste de Shapiro-Wilk. Em seguida à análise de variância pelo teste F, os tratamentos que apresentaram diferença estatística a 5% de probabilidade foram submetidos ao teste de Tukey a 5% de probabilidade. Para os dados fisiológicos as análises foram realizadas em esquema fatorial para as variáveis, filme de partícula e período de avaliação dentro de cada cultivar, não realizando a comparação entre cultivares, para os dados de produção de infrutescências (número e massa média das infrutescência e produtividade) as análises foram em esquema fatorial para as variáveis, filme de partícula e cultivares. Todas as análises foram realizadas utilizando o programa estatístico R.

4.3. Resultados e Discussão

4.3.1 Análise fisiológica

Índice de clorofila de Falker

Para o índice de clorofila de Falker, as comparações entre as cultivares não foram objetos do estudo, as comparações foram realizadas entre os filmes e a estação do ano, dentro de cada cultivar. Ao avaliar as três cultivares não foi observada uma interação significativa entre as variáveis filme x período, deste modo serão avaliados os efeitos simples do filme e do período pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Na tabela 1 verificam-se as alterações nos índices de clorofila de Falker, provocadas pela aplicação do filme para as três cultivares. Para os índices de clorofila a (Chl a), clorofila b (Chl b) e clorofila total (Chl t) foram observados valores superiores nas plantas que receberam a aplicação do filme para as três cultivares, com exceção da Chl a para cultivar Monterey. Para a relação Chl a/Chl b, a aplicação do filme provocou redução significativa ($p < 0,05$) para todas as cultivares. Esta redução foi provocada por um maior efeito positivo do filme no aumento da Chl b quando comparado ao aumento provocado pelos filmes na Chl a.

Avaliando o efeito do período de avaliação sobre os índices de clorofila Falker, pode-se verificar esse influencia na tabela 2 para as cultivares Albion, Monterey e San Andreas. Comportamento similar foi observado para as três cultivares, sendo os maiores valores verificados no período de primavera, 83 dias após o início dos tratamentos, quando comparado com a análise de inverno 10 dias após o início dos tratamentos. Para a relação Chl a/Chl b, os menores valores foram verificados na segunda leitura, redução provocada pelo aumento mais acentuado na Chl b comparado ao aumento nos índices de Chl a, principalmente nas plantas sobre sombreamento artificial provocado pelo filme. O aumento nos índices de clorofila Chl a, Chl b e Chl t e redução na relação Chl a/Chl b, na segunda análise na primavera, possivelmente está associado ao maior tempo de exposição aos filmes como também à temperatura e radiação solar mais elevadas nesse período.

Mesmo não sendo objeto principal do estudo, foi observado que a cultivar Monterey apresenta índices inferiores de Chl a, Chl b e Chl t quando comparada às cultivares Albion e

San Andreas, nos dois períodos estudados. Essa redução nos índices de clorofila na cultivar Monterey pode estar associado ao fato da planta ser mais vigorosa que as demais cultivares, exigindo maior espaço entre plantas (Antunes et al., 2016). Por ser uma planta mais vigorosa necessita de quantidades maiores de nutrientes como N e Mg que fazem parte da composição das clorofilas e apresentam relação direta com os teores na planta (Li et al., 2018). Na análise do teor de nitrogênio foliar, a Monterey apresentou os menores teores, $24,36\text{g.kg}^{-1}$, Albion e San Andreas, $25,17$ e $25,59\text{g.kg}^{-1}$, fato que pode indicar uma maior demanda de fertilizantes.

A exposição das plantas ao sombreamento, seja por meio de sombrites, consorciadas com outras plantas (Chen et al., 2021; Fan et al., 2019), ou filmes de partículas compostos por diferentes materiais, como os estudados por Silva et al. (2019b); Oliveira et al. (2021); Silva et al. (2019c), estudando filme de partícula de cálcio CaCO_3 e CaO , e Gharaghani et al. (2018) estudando filme de partícula à base de caulim, foi observado incremento nos níveis de clorofila, semelhantes aos observados nesse estudo.

O aumento nos teores de clorofila a (Chl a) pode estar associado a adaptações metabólicas das plantas. Essas adaptações permitem o controle do estresse fotooxidativo, a manutenção de compostos antioxidantes e a proteção do fotossistema II (PSII), conforme descrito por Oliveira et al. (2021).

As adaptações relacionadas ao aumento nos teores de Chl b e redução da relação Chl a/Chl b em plantas expostas ao filme são um mecanismo de adaptação, visto que a Chl b tem seus picos de absorção de energia luminosa em um comprimento de onda distinto da Chl a, que pode receber essa energia durante a fase fotoquímica da fotossíntese (Taiz et al., 2017). Ferreira et al. (2021) observaram aumento significativo nos teores de Chl b em duas cultivares de café, submetidas a diferentes níveis de sombreamento, promovido por sombrite com diferentes níveis de interceptação de radiação. Esse comportamento similar nos índices de clorofila em plantas submetidas ao sombreamento por sombrite e aplicação do filme de partícula de cálcio, demonstra que os filmes são alternativas eficientes na promoção de sombreamento.

Fluorescência transiente da clorofila a

As curvas de fluorescência (Figura 2) foram elaboradas para avaliar o efeito da aplicação dos filmes na etapa OJIP para as três cultivares, para os dois períodos estudados, primeira avaliação (inverno) realizada 10 dias após a aplicação dos tratamentos (Figura 2A, 2C e 2E) e segunda avaliação (primavera) realizada 83 dias após a aplicação dos tratamentos (Figuras 2B, 2D e 2F). A etapa OJIP é uma ferramenta que analisa as mudanças na cinética da fluorescência da clorofila “a” e fornece informações detalhadas sobre a estrutura e a função do aparato fotossintético, especialmente do fotossistema II (Lazár, 2006).

Na primeira leitura podemos observar alterações nas curvas quando comparadas as plantas do tratamento controle com as tratadas com o filme, sendo as diferenças mais acentuadas nas cultivares Albions e San Andreas, mais acentuadas nas etapas JIP, com destaque para fluorescência máxima (etapa P) (Figuras 2A e 2E). Ao analisar as curvas geradas na segunda leitura, verificam-se maiores diferenças entre as plantas tratadas com o filme, em comparação às plantas do controle. Neste período observaram-se diferenças em quase todas as etapas da curva OKJIP para todas as cultivares, sendo os maiores níveis de fluorescência observados no tratamento controle seguido das plantas tratadas com filme 2,5% e 5% de CaO , indicando uma maior eficiência no aproveitamento da radiação que chega aos cloroplastos nas plantas que receberam a aplicação do filme e maior dissipação na forma de fluorescência nas plantas do tratamento controle.

Tabela 1: Índice de clorofila de Falker para as três cultivares. Efeito das diferentes doses de filme de partícula de cálcio (CaO) nos índices de clorofila, independente do período.

Filme %	Albion				Monterey				San Andreas			
	Chl a	Chl b	Chl t	Relação Chl a/Chl b	Chl a	Chl b	Chl t	Relação Chl a/Chl b	Chl a	Chl b	Chl t	Relação Chl a/Chl b
0	35,19 b	11,64 b	46,83 b	3,14 a	33,97 a	10,11 b	44,08 b	3,51 a	36,97 b	13,62 b	50,59 b	2,73 a
2,5	37,64 a	14,39 a	52,03 a	2,64 b	36,66 a	12,45 a	49,11 a	2,97 b	39,60 a	15,81 a	55,41 a	2,53 b
5	38,40 a	14,70 a	53,10 a	2,64 b	36,22 a	13,10 a	49,32 a	2,85 b	39,20 a	16,20 a	55,40 a	2,48 b
Nível de Significância	***	***	***	**	ns	**	*	*	**	**	**	**

Índice de clorofila A (Chl a), índice de clorofila B (Chl b), índice de clorofila total (Chl t), relação clorofila A e B (Chl a/Chl b). Médias seguidas pelas mesmas letras na coluna não diferem pelo teste de Tukey. Nível de significância: * ($p \leq 0,05$), ** ($p \leq 0,01$), *** ($p \leq 0,001$), ns (não significativo)

Tabela 1: Índice de clorofila de Falker para as três cultivares. Efeito dos diferentes períodos estudados nos índices de clorofila, independente da aplicação do filme partícula de cálcio (CaO).

Período	Albion				Monterey				San Andreas			
	Chl a	Chl b	Chl t	Relação Chl a/Chl b	Chl a	Chl b	Chl t	Relação Chl a/Chl b	Chl a	Chl b	Chl t	Relação Chl a/Chl b
Inverno	35,33 b	12,00 b	47,33 b	3,02 a	33,59 b	10,19 b	43,78 b	3,40 a	36,51 b	13,27 b	49,79 b	2,77 a
Primavera	38,82 a	15,15 a	53,97 a	2,59 b	37,64 a	13,59 a	51,23 a	2,82 b	40,67 a	17,15 a	57,81 a	2,40 b
Nível de Significância	***	***	***	**	***	***	***	**	***	***	***	***

Índice de clorofila A (Chl a), índice de clorofila B (Chl b), índice de clorofila total (Chl t), relação clorofila A e B (Chl a/Chl b). Médias seguidas pelas mesmas letras na coluna não diferem pelo teste de Tukey. Nível de significância: * ($p \leq 0,05$), ** ($p \leq 0,01$), *** ($p \leq 0,001$), ns (não significativo).

As maiores diferenças observadas nas curvas de fluorescência durante a primavera (Figura 2) podem estar relacionadas às sucessivas reaplicações do filme de CaO, que possivelmente resultaram em uma sobreposição do material nas plantas. Esse acúmulo pode ter promovido adaptações ao longo do período de exposição. Além disso, a maior radiação solar e temperatura registradas na primavera (Figura 1) podem ter intensificado o efeito de fotoproteção proporcionado pelo filme, como relatado por Dinis et al. (2016, 2018). Esses autores observaram que filmes fotoprotetores tendem a provocar alterações mais significativas nas plantas quando submetidas a condições extremas de temperatura e radiação.

Com os dados da curva das etapas OKJIP, foram calculados os parâmetros fenomenológicos para verificar o funcionamento e possíveis danos existentes no fotossistema II. Pode-se assim indicar o nível de adaptação das cultivares de morangueiro na região, avaliando nível de estresse provocado por déficit hídrico, altas temperaturas, alta radiação e diversas condições bióticas ou abióticas que podem provocar condições estressantes ao desenvolvimento dos vegetais.

Para a cultivar Albion, verificou-se que os parâmetros fenomenológicos de energia sofreram influência com a aplicação dos filmes (Figura 3A). Quando comparados os tratamentos 2,5 e 5% de CaO com o controle, observou-se uma redução nos parâmetros ABS/CS0, TR0/CS0, ET0/CS0. Para o RE0/CS0 apenas o tratamento 2,5% de CaO foi inferior ao controle, sendo o tratamento 5% de CaO igual estatisticamente ao controle, mesmo apresentando valores inferiores desde a absorção inicial ABS/CS0 até o transporte de elétrons para plastoquinona (ET0/CS0), a quantidade de elétrons recebida pelos aceptores finais do PSI RE0/CS0 não diferiu. A cultivar San Andreas (Figura 3E) apresentou comportamento similar à Albion, com os maiores valores observados no tratamento controle, porém a ABS/CS0 e RE0/CS0 não diferiram do controle, ou seja, o fluxo de elétrons direcionados aos aceptores do fotossistema I não foi afetado. Os parâmetros do fluxo de elétrons por CS para a cultivar Monterey (Figura 3C) não foram afetados por nenhuma das doses de filme de partícula de cálcio. Os números de centros de reação por seção transversal foram reduzidos significativamente pela aplicação dos filmes para as cultivares Albion (Figura 3A), nos tratamentos 2,5 e 5% de CaO e para a San Andreas (Figura 3E), no tratamento 5% de CaO. Neste parâmetro a Monterey (Figura 3C) não apresentou diferenças entre o controle e tratamentos que receberam a aplicação do filme.

A redução nos parâmetros fenomenológicos, principalmente a absorção e aprisionamento, está relacionado ao fato do filme refletir parte da radiação que incide diretamente sobre as folhas, promovendo uma fotoproteção, reduzindo a quantidade de fótons de luz recebida pelos complexos antena. Resultados semelhantes utilizando filmes de partículas de diversas fontes foram relatados por Silva et al. (2019a) na cultura do tomateiro, Oliveira et al. (2021) na cultura da batata doce, Silva et al. (2019b) na cultura da uva e Bernardo et al. (2021) na cultura uva.

Para as alterações nos fluxos de energia por seção transversal (CS) para os diferentes períodos de exposição, para as cultivares Albion (Figura 3B) e Monterey (Figura 3D), observou-se na primavera uma redução em todos os parâmetros avaliados, mesmo com uma maior intensidade de luz solar no período (Figura 1B). Desde a absorção até o fluxo de elétrons que chegam aos aceptores finais do fotossistema I, comprometendo assim o processo de geração de energia pela redução do NADP a NADPH, e produção de ATP. Além da redução em todo o fluxo de energia, também ocorreu uma redução no número de centros de reação ativos por seção transversal RC/CS para a cultivar San Andreas (Figura 3F). Entretanto, a absorção de fótons ABS/CS0 e aprisionamento de elétrons TR0/CS0 não foram afetados nos diferentes períodos, porém o ET0/CS0 e RC/CS foram afetados negativamente na primavera. Esse efeito negativo observado na primavera pode estar associado ao estresse provocado por temperatura e aumento da radiação solar no período (Figura 1), que são

parâmetros de extrema importância ao bom desenvolvimento do morangueiro. Estudos indicam que temperaturas elevadas e radiação podem comprometer o aparato fotossintético, reduzindo sua eficiência, que também foram demonstrados por Gonçalves et al. (2010), Jedmowski et al. (2015) e Van Der Westhuizen et al. (2020) nas espécies *Carapa guianensis* e *Dipteryx odorata*; *Hordeum spontaneum*; *Gossypium hirsutum* L., respectivamente. Para as cultivares Albion e Monterey, o RC/CS foi afetado negativamente na primavera. Os valores de DI0/CS0 não apresentaram diferenças significativas seja por efeito dos tratamentos ou do período avaliado, mesmo essa variável apresentando correlação elevada com a absorção que foi bastante afetada.

Quando os parâmetros do fluxo fenomenológico de energia foram avaliados em função centro de reação (RC), os resultados apresentaram grande distinção dos observados por CS. Para a cultivar Albion (Figura 4A), os maiores valores de absorção ABS/RC, aprisionamento TR0/RC e fluxo de elétrons até os aceptores finais do PSI, RE0/RC, foram observados para o tratamento 5% de CaO, quando comparado ao tratamento controle. O tratamento 2,5% de CaO não diferiu estatisticamente do tratamento 5% em nenhum dos parâmetros do fluxo fenomenológico.

Ao analisar a cultivar Monterey (Figura 4C), apenas o RE0/RC apresentou diferença estatística, com o tratamento 5% de CaO com valor superior aos demais. Esta variável é de extrema importância, pois está diretamente relacionada à redução do NADP, formando NADPH e produção de ATP, moléculas altamente energizadas, essenciais na geração de energia na fotossíntese.

Para a cultivar San Andreas (Figura 4E), as diferenças só foram observadas na ABS/RC e TR0/RC com os maiores valores encontrados no tratamento 5% de CaO, para as demais, transporte de elétrons entre a quinona, plastoquinona até aceptores finais do PSI, ET0/RC e RE0/RC não diferiram, indicando que os tratamentos com a aplicação dos filme não interferiu estatisticamente na produção de NADP e ATP por centro de reação, para esta cultivar, demonstrando uma menor sensibilidade desta cultivar aos tratamentos com filme.

Para os efeitos do período no fluxo de elétrons, a cultivar Albion (Figura 4B) foi a mais afetada, apresentado redução em ABS/RC, TR0/RC e RE0/RC, seguido pela Monterey (Figura 4D), que sofreu redução em ET0/RC e RE0/RC, a San Andreas (Figura 4F) foi a cultivar que sofreu menos influência com redução apenas em ET0/RC, todas as reduções foram observadas na primavera.

O estresse sentido pelas plantas no período da primavera pode ter contribuído diretamente com a curta janela produtiva observada na região, além da dificuldade no retorno à fase reprodutiva principalmente no tratamento controle.

Mesmo com a presença do filme, que reflete parte da radiação solar, maiores valores foram verificados nas plantas tratadas com o CaO, desde absorção ABS/RC (Dinis et al., 2016), até o fluxo de elétrons direcionados aos aceptores finais do PSI RE0/RC. Este fato pode ser explicado pelo aumento nos índices de clorofila em plantas tratadas com o filme (Tabela 1), moléculas que compõem o complexo antena responsável pela captação da luz, como também pela redução no número de centros de reação RC por seção transversal CS, ou seja, uma captação de luz maior promovida pelo complexo antena, destinado ao número menor de centros de reação, promovendo assim um aumento de energia que chega no RC. Para os parâmetros avaliados na primavera, foi verificada redução na absorção e fluxo de elétrons, mesmo com os maiores valores de clorofila (Tabela 2), menor número de centros de reação por CS (Figuras 3 e 4) e maior incidência de radiação (Figura 1B). Em contraste ao observado com a aplicação filme, esse comportamento possivelmente esteja associado ao aumento da temperatura registrada no período (Figura 1A), tendo em vista que essa variável climática exerce grande influência na eficiência do aparato fotossintético (Jedmowski et al., 2015; Zhou et al., 2018; De Ronde et al., 2004).

A dissipação de energia tanto por cessão transversal como por centro de reação DI0/CS0 e DI0/RC, não foram afetadas de forma significativa nem pela aplicação dos filmes nem pelo período de avaliação. Mesmo a DI0/RC apresentando alta correlação positiva com a absorção que foi afetada, ou seja, com o aumento da absorção ocorreu um aumento na dissipação, porém essas diferenças não foram significativas.

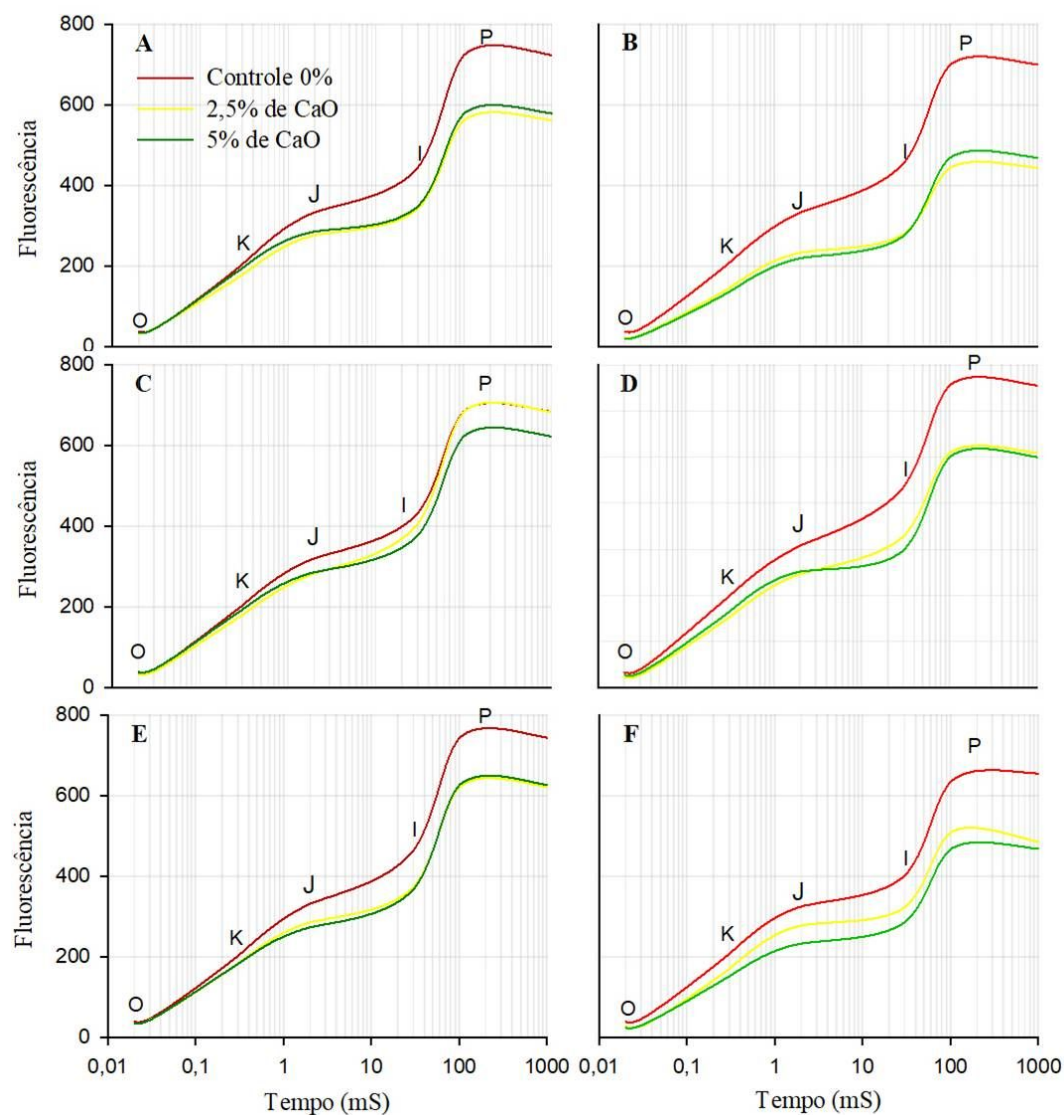


Figura 2: Etapas da curva O, J, I e P na estação do inverno (A, C e E) e estação primavera (B, D e F), para as cultivares Albion (A e B), Monterey (C e D) e San Andreas (E e F), submetidas à aplicação de filme de partícula de cálcio (CaO).

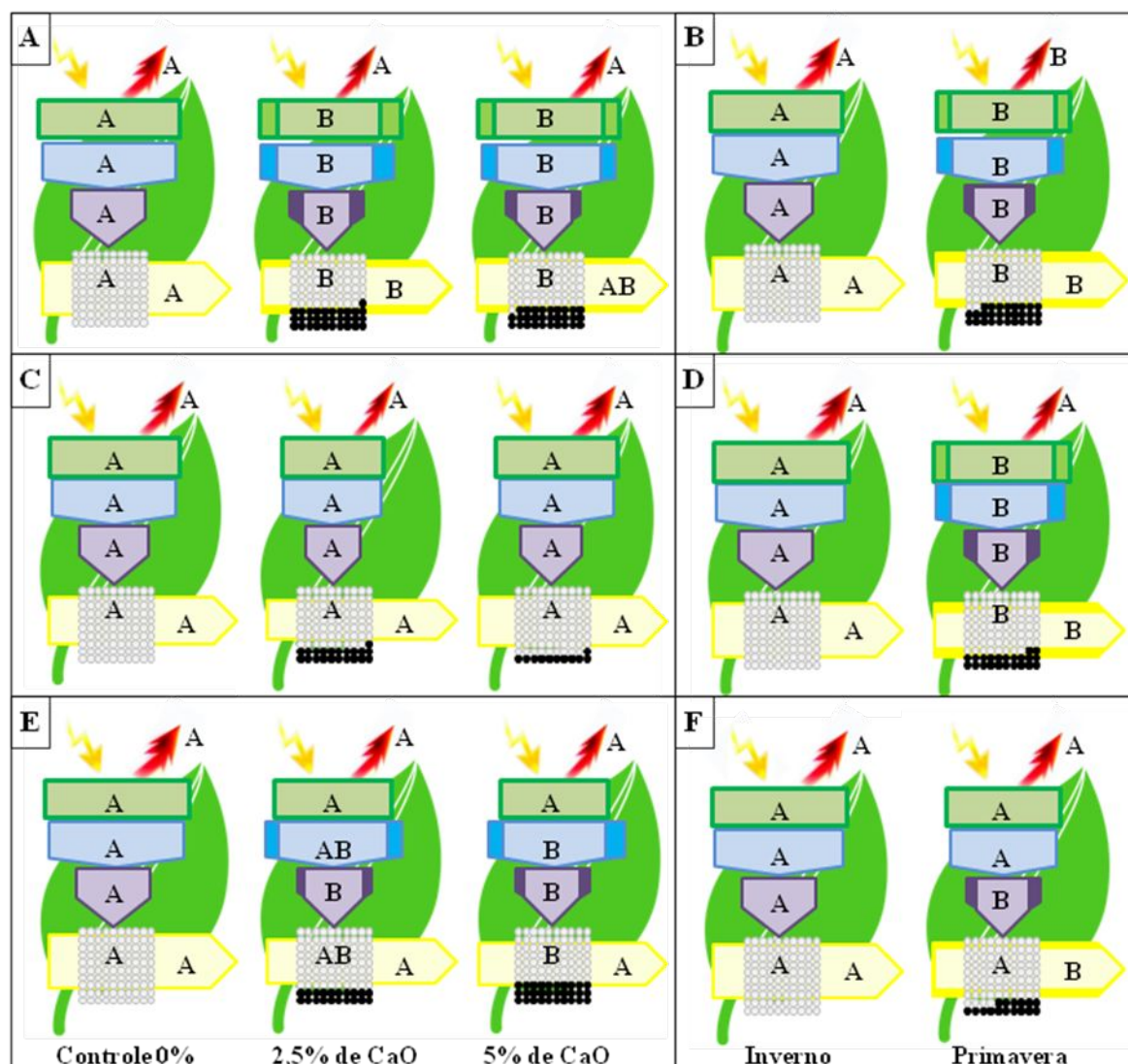


Figura 3: Fluxos fenomenológicos de energia por seção transversal (CS), em resposta aos tratamentos com filme (A, C e E) e estação do ano (B, D e F), para as cultivares Albion, Monterey e San Andreas, respectivamente. A largura de cada objeto corresponde à intensidade do fluxo, cores mais intensas nas laterais dos objetos em variáveis que apresentaram diferenças estatísticas representam a diferença proporcional ao tratamento onde foram observados os maiores valores. Retângulo verde – ABS/CS0, fluxo de absorção por CS; seta azul – TR0/CS0, fluxo de energia aprisionado por CS; seta roxa – ET0/CS0, fluxo de elétrons da QA para PQ por RC; seta amarela – RE0/CS0, fluxo de elétrons da QA até os aceptores finais do PSI por CS; seta vermelha – DI0/CS0, fluxo de energia dissipada por CS; círculos inscritos no quadrado – RC/CS, densidade de centros de reação (QA reduzindo centros de reação de PSII) por seção transversal, % de centros de reação ativos/inativos, círculos brancos inscritos em quadrados representam centros de reação (ativos), círculos pretos representam centros de reação (inativos), 100% dos centros de reação ativos respondem com o maior valor médio observado em cada tratamento ou cada período. As médias seguidas pela mesma letra para cada parâmetro não são significativamente diferentes entre si pelo teste de Tukey ($P \leq 0,05$).

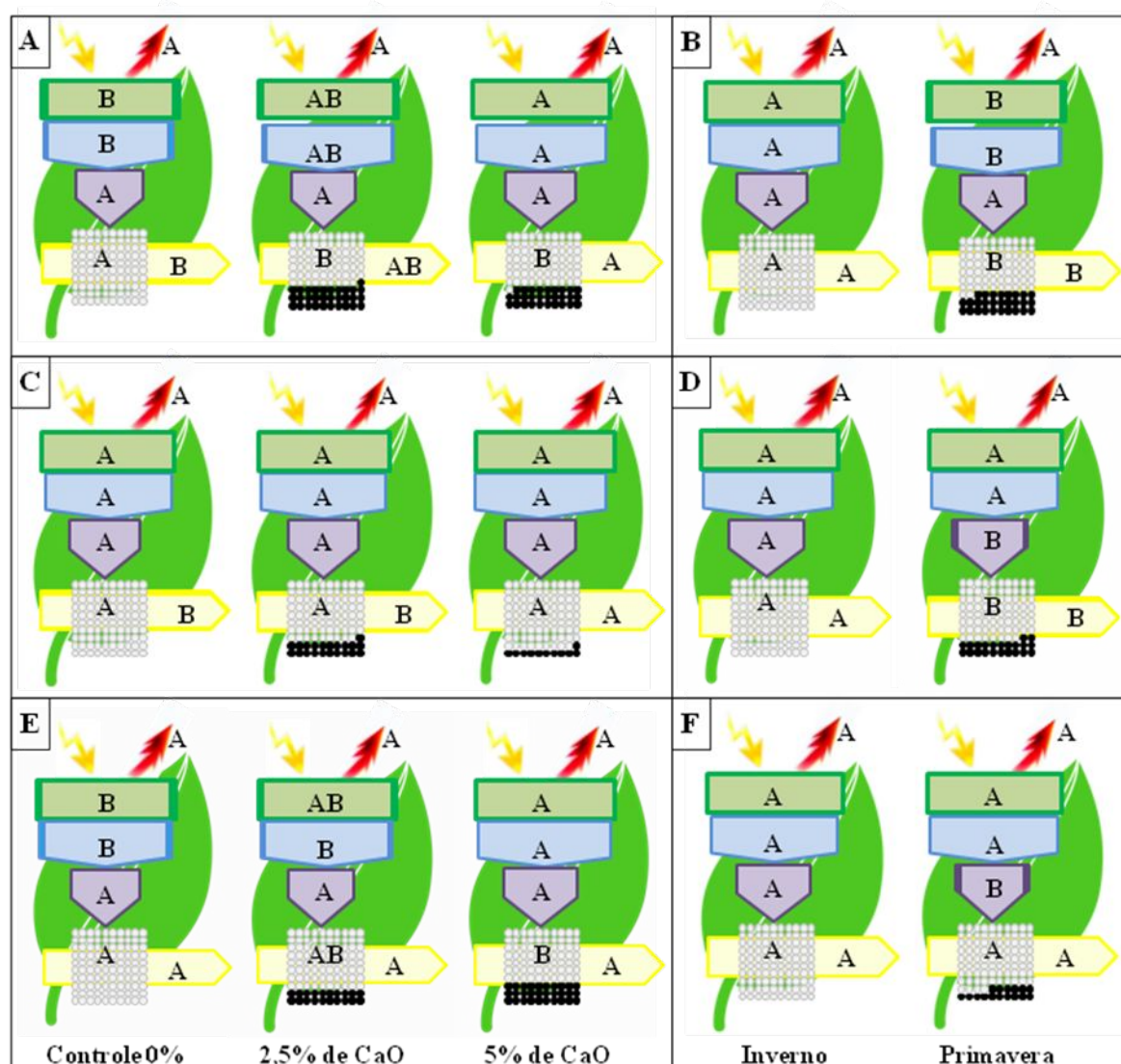


Figura 4: Fluxos fenomenológicos de energia por centro de reação (RC), em resposta aos tratamentos com filme (A, C e E) e estação do ano (B, D e F), para as cultivares Albion, Monterey e San Andreas, respectivamente. A largura de cada objeto corresponde à intensidade do fluxo, cores mais intensas nas laterais dos objetos em variáveis que apresentaram diferenças estatísticas representam a diferença proporcional ao tratamento onde foram observados os maiores valores. Retângulo verde – ABS/RC, fluxo de absorção por RC; seta azul – TR0/RC, fluxo de energia aprisionado por RC; seta roxa – ET0/RC, fluxo de elétrons da QA para PQ por RC; RE0/RC, fluxo de elétrons da QA até os aceptores finais do PSI por RC; seta vermelha – DI0/RC, fluxo de energia dissipada por RC; círculos inscritos no quadrado – RC/CS, densidade de centros de reação (QA reduzindo centros de reação de PSII) por seção transversal, % de centros de reação ativos/inativos, círculos brancos inscritos em quadrados representam centros de reação (ativos), círculos pretos representam centros de reação (inativos), 100% dos centros de reação ativos respondem com o maior valor médio observado em cada tratamento ou cada período. As médias seguidas pela mesma letra para cada parâmetro não são significativamente diferentes entre si pelo teste de Tukey ($P \leq 0,05$).

4.3.2 Análises morfoagronômicas

A aplicação dos filmes de partícula de CaO proporcionou um aumento na produtividade e no número de infrutescências por planta (Tabela 3), a concentração de 2,5% de CaO promoveu incremento no número de infrutescências nas cultivares Albion e Monterey, o que provocou um aumento na produtividade. A cultivar San Andreas não sofreu influência da aplicação dos filmes, por ser uma planta mais compacta quando comparada às demais cultivares (UC, 2010), a San Andreas poderia estar em uma condição de menor estresse climático, o que pode ter reduzido o efeito da aplicação do CaO.

Com relação ao número de infrutescências e produtividade entre as plantas do tratamento controle, que não receberam aplicação do filme, a cultivar San Andreas foi a que mais se destacou. Dentre as que foram tratadas com o filme de 2,5% de CaO, a Monterey foi estatisticamente superior à Albion e não diferiu da San Andrea. Para as plantas submetidas ao tratamento 5% de CaO, Monterey e San Andreas foram estatisticamente iguais e superiores à Albion (Tabela 3).

Para a massa média das infrutescências (Tabela 4), não foi verificada uma interação entre os fatores filme e cultivares, também não foi observado efeito significativo das cultivares, apenas a aplicação dos filmes proporcionou alterações nesta variável, sendo que as infrutescências provenientes das plantas tratadas com 2,5% de CaO eram 21% superiores ao tratamento 5% de CaO e 37% superiores ao tratamento controle 0%, que também pode ter contribuído com o aumento na produtividade.

Logo após o plantio das mudas, as plantas iniciaram a produção que durou aproximadamente 45 dias após o transplântio, em seguida passam por um período de repouso produtivo, entrando em uma fase vegetativa. Apenas a parcela que recebeu aplicação do filme na concentração 2,5% retornou à fase reprodutiva em todas as cultivares, com destaque a Moterey que foi mais significativo e uniforme em todos os blocos. No filme 5% de CaO, este comportamento foi verificado de forma pontual em poucas plantas, as plantas do tratamento controle seguiram vegetando e não retornaram à produção. Tendo em vista que fatores como temperatura e radiação solar podem exercer influência na indução floral, fixação e tamanho das infrutescências (Antunes et al., 2016), certamente os filmes podem contribuir com redução da temperatura do dossel bloqueando parte da radiação, protegendo os fotossistemas das plantas do excesso de radiação (Chamchaiyaporn et al., 2013; Gharaghani et al., 2018; Oliveira et al., 2021).

Esse retorno à fase reprodutiva, maior produtividade, número de infrutescências e massa média, pode estar associado às adaptações sofridas pelas plantas, como podem ser observadas nos índices de clorofila e redução do estresse observado na fluorescência da clorofila, ganhos produtivos. Este comportamento foi explicado por Oliveira et al. (2021) em batata doce, pela redução do estresse térmico e luminoso, seguido da maior remobilização dos fotoassimilados.

Uma redução nos benefícios na dose 5% pode ter relação com uma redução mais drástica da entrada de luz que é recebida pelas estruturas fotossintéticas, como também um fechamento parcial de estômatos (Silva et al., 2019c). Tendo em vista que a folha do morangueiro é anfihipoestomática (Appezato-da-Gloria; Miranda-Stalder, 1991), possui estômatos localizados na face abaxial e adaxial, podendo ser mais sensível às doses mais elevadas. Oliveira et al. (2022) constataram redução na produtividade e desempenho da batata doce com doses superiores a 10% de CaO.

Neste estudo a dose de 5% reduziu o desempenho da cultura, fato que pode estar associado à anatomia foliar e localização dos estômatos no morangueiro, como também ao tempo de exposição aos tratamentos e constância na reaplicação dos filmes que acontecia a cada 15 dias.

Tabela 3: Número de infrutescências por planta e produtividade em função das cultivares e da aplicação de filme de partícula de cálcio (CaO).

Filme	Cultivares					
	Albion		Monterey		San Andreas	
	N ° Infrutescências Infrutescência.Plant a ⁻¹	Produtividade kg.ha ⁻¹	N ° Infrutescências Infrutescência.Planta - ¹	Produtividade kg.ha ⁻¹	N ° Infrutescências Infrutescência.Planta - ²	Produtividade kg.ha ⁻²
0	0,70 Bb	257,71 Bb	0,65 Bb	210,49 Bb	2,07 Aa	793,12 Aa
2,5	1,48 Ab	650,52 Ab	3,57 Aa	1932,41 Aa	2,57 Aab	1294,86 Aab
5	0,53 Bb	197,99 Bb	1,37 Ba	559,28 Ba	2,47 Aa	1079,12 Aa
Nível de Significância	*	*	*	*	*	*

Número de infrutescências por planta e produtividade. Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas na coluna (Filme) e minúscula na linha (Cultivar) não diferem pelo teste de Tukey. Nível de significância: * (p ≤,05), ** (p ≤,01), *** (p ≤,001), ns (não significativo).

Tabela 4: Massa média das infrutescências em função das cultivares e da aplicação dos filmes de partículas avaliados individualmente.

Cultivar	Massa média g/Fruto	Filme	Massa média g/Fruto
Albion	5,92 a	0	5,36 b
Monterey	6,25 a	2,5	7,36 a
San Andreas	6,62 a	5	6,06 b
Nível de Significância	ns		**

Massa média das infrutescências. Médias seguidas pelas mesmas letras na coluna não diferem pelo teste de Tukey. Nível de significância: * (p ≤,05), ** (p ≤,01), *** (p ≤,001), ns (não significativo).

4.4. Conclusão

A aplicação de filme à base de CaO na concentração de 2,5% proporcionou ganhos na produção de infrutescências de morangos em regiões tropicais de baixa altitude, para as cultivares Albion e Monterey. Ele também induz as plantas ao retorno da fase reprodutiva no período da primavera (mais quente).

A aplicação do filme nas plantas preserva os componentes do aparato fotossintético, promovendo aumento e manutenção nos índices de clorofila e maior eficiência no aproveitamento da radiação que atinge os cloroplastos, pela formação de uma camada protetora contra o excesso de temperatura e radiação solar resultando em ganhos de produtividade.

Entre as cultivares testadas, a Monterey e San Andreas apresentam melhor resposta quanto à produtividade.

4.5. Referências Bibliográficas

- Antunes, L.E.C.; Reisser Júnior, C.; Schwengber, J.E. (editores técnicos). 2016. Morangueiro. Brasília, DF: Embrapa, 589 p.
- Appezzato-Da-Gloria, B.; Miranda-Stalder, S.H.G. 1991. Anatomia foliar e do pedúnculo floral de plantas de morangueiro (*Fragaria x ananassa*) “Sequoia” tratadas com fitoreguladores. Anais da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 48, 127–154. <https://doi.org/10.1590/S0071-12761991000100008>.
- Bernardo, S.; Luzio, A.; Machado, N.; Ferreira, H.; Vives-Peris, V.; Malheiro, A.C.; Correia, C.; Gómez-Cadenas, A.; Moutinho-Pereira, J.; Dinis, L.-T. 2021. Kaolin Application Modulates Grapevine Photochemistry and Defence Responses in Distinct Mediterranean-Type Climate Vineyards. *Agronomy*, 11(3), 477. <https://doi.org/10.3390/agronomy11030477>.
- Brito, G.G.; Sofiatti, V.; Brandão, Z.N.; Silva, V.B.; Silva, F.M.; Silva, D.A. 2011. Non-destructive analysis of photosynthetic pigments in cotton plants. *Acta Scientiarum. Agronomy*, 33, 671–678. <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v33i4.10926>.
- CEAGESP. 2016. A medida da doçura das frutas. Cartilha Técnica. São Paulo: Companhia de Entrepósitos e Armazéns Gerais de São Paulo, 17 p. Disponível em: <https://ceagesp.gov.br/wp-content/uploads/2021/01/MedidadoSaborBrix02022017.pdf>. Acesso em: 16 jun. 2024.
- Chamchaiyaporn, T.; Jutamane, K.; Kasemsap, P.; Vaithanomsat, P.; Henpitak, C. 2013. Effects of Kaolin Clay Coating on Mango Leaf Gas Exchange, Fruit Yield and Quality. *Kasetsart Journal - Natural Science*, 47, 479–491.
- Chen, J.; Wu, S.; Dong, F.; Li, J.; Zeng, L.; Tang, J.; Gu, D. 2021. Mechanism Underlying the Shading-Induced Chlorophyll Accumulation in Tea Leaves. *Frontiers in Plant Science*, 12, 1-14. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.779819>.
- Cocco, C. Qualidade fisiológica das mudas na produção de frutas do morangueiro. 2010. 48 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS.
- Dinis, L.T.; Ferreira, H.; Pinto, G.; Bernardo, S.; Correia, C.M.; Moutinho-Pereira, J. 2016. Kaolin-based, foliar reflective film protects photosystem II structure and function in

- grapevine leaves exposed to heat and high solar radiation. *Photosynthetica*, 54(1) 47–55. <https://doi.org/10.1007/s11099-015-0156-8>.
- Dinis, L.T.; Bernardo, S.; Luzio, A.; Pinto, G.; Meijón, M.; Pintó-Marijuan, M.; Cotado, A. 2018. Kaolin modulates ABA and IAA dynamics and physiology of grapevine under Mediterranean summer stress. *Journal of Plant Physiology*, 220, 181–192. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2017.11.007>.
- Fan, Y.; Chen, J.; Wang, Z.; Tan, T.; Li, S.; Li, J.; Wang, B.; Zhang, J.; Cheng, Y.; Wu, X.; Yang, W.; Yang, F. 2019. Soybean (*Glycine max* L. Merr.) seedlings response to shading: leaf structure, photosynthesis and proteomic analysis. *BMC Plant Biology*, 19(34), 1-12. <https://doi.org/10.1186/s12870-019-1633-1>.
- Ferreira, D.S.; Sales, R.A.; Amaral, J.F.T.; Ferreira, J.M.S.; Venancio, L.P.; Ribeiro, W.R.; Tomaz, M.A.; Catem, D.S.B.; Gonçalves, M.S.; Bravin, N.P. 2021. Biochemical and physiological changes in conilon coffee (*Coffea canephora*) grown under different levels of irradiance. *Australian Journal of Crop Science*, 15(07), 1074–1080. <https://doi.org/10.21475/ajcs.21.15.07.p3254>.
- Gharaghani, A.; Javarzari, A.M.; Vahdati, K. 2018. Kaolin particle film alleviates adverse effects of light and heat stresses and improves nut and kernel quality in Persian walnut. *Scientia Horticulturae*, 239, 35-40. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.05.024>.
- Gonçalves, J.F.C.; Silva, C.E.; Guimarães, D. G.; Bernardes, R.S. 2010. Análise dos transientes da fluorescência da clorofila a de plantas jovens de *Carapa guianensis* e de *Dipteryx odorata* submetidas a dois ambientes de luz. *Acta Amazonica*, 40(1), 89–98. <https://doi.org/10.1590/S0044-59672010000100012>.
- Glenn, D.M.; Erez, A.; Puterka, G.J.; Gundrum, P. 2003. Particle films affect carbon assimilation and yield in ‘Empire’ apple. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 128, 356–362. <https://doi.org/10.21273/JASHS.128.3.0356>.
- IPCC (2022) AR6 Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability
- Jedrowski, C.; Ashoub, A.; Momtaz, O.; Brüggemann, W. 2015. Impact of Drought, Heat, and Their Combination on Chlorophyll Fluorescence and Yield of Wild Barley (*Hordeum spontaneum*). *Journal of Botany*, 1–9. <https://doi.org/10.1155/2015/120868>.
- Lazár, D. 2006. The Polyphasic chlorophyll a fluorescence rise measured under high intensity of exciting light. *Functional Plant Biology*, 33, 9-30. <https://doi.org/10.1071/FP05095>.
- Li, Y.; Liu, C.; Zhang, J.; Yang, H.; Xu, L.; Wang, Q.; Sack, L.; Wu, X.; Hou, J.; He, N. 2018. Variation in leaf chlorophyll concentration from tropical to cold[1]495 temperate forests: association with gross primary productivity. *Ecological Indicators*, 85, 383–389. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2017.10.025>.
- Manakasem, Y.; Goodwin, P. B. 2001. Responses of dayneutral and Junebearing strawberries to temperature and daylength. *Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 76(5), 629-635. <https://doi.org/10.1080/14620316.2001.11511422>.
- Oliveira Júnior, L.F.G.; Santos, P.L.S.; Lima, R.S.N.; Silveira, M.P.C.; Fagundes, J.L.; Carnellosi, M.A.G.; Reis, F. O. 2019. Physiological parameters of cowpea treated with

CaO-based particle film and subjected to water restriction. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 54. <https://doi.org/10.1590/S1678-3921.pab2019.v54.00033>.

- Oliveira, A.; Dinis, L.-T.; Santos, A.A.; Fontes, P.; Carnelossi, M.; Fagundes, J.; Oliveira-Júnior, L. 2022. Particle Film Improves the Physiology and Productivity of Sweet Potato without Affecting Tuber's Physicochemical Parameters. *Agriculture*, 12(4), 558. <https://doi.org/10.3390/agriculture12040558>.
- Oliveira, A.P.; Fontes, P.T.; Maciel, L.B.S.; Fagundes, J.L.; Carnelossi, M.A.G.; Oliveira Júnior, L.F.G. 2021. Physiological performance, bromatological quality, and productivity of sweet potato using calcium oxide particle film. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 56, 1-8. <https://doi.org/10.1590/S1678-3921.pab2021.v56.01789>.
- Ronde, J.A.; Cress, W.A.; Krüger, G.H.J.; Strasser, R.J.; Van Staden, J. 2004. Photosynthetic response of transgenic soybean plants, containing an Arabidopsis P5CR gene, during heat and drought stress. *Journal of Plant Physiology*, 161(11), 1211–1224. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2004.01.014>.
- Richards, C.E.; Gauch, H.L.; Allwood, J.M. 2023. International risk of food insecurity and mass mortality in a runaway global warming scenario. *Futures*, v. 150. <https://doi.org/10.1016/j.futures.2023.103173>.
- Saeb, M.R.; Ramezani-Dakhel, H.; Khonakdar, H.A.; Heinrich, G.; Wagenknecht, U. 2013. A comparative study on curing characteristics and thermomechanical properties of elastomeric nanocomposites: the effects of eggshell and calcium carbonate nano fillers. *Journal of Applied Polymer Science*, 127, 4241–4250. <https://doi.org/10.1002/app.38022>.
- Serçe, S.; Hancock, J. F. 2005. The temperature and photoperiod regulation of flowering and runnering in the strawberries, *Fragaria chiloensis*, *F. virginiana*, and *F. x ananassa*. *Scientia Horticulturae*, 103(2), 167-177. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2004.04.017>.
- Silva, P.S.O.; Sena, E.O.A.; Gonzaga, M.I.S.; Oliveira Junior, L.F.G.; Maciel, L.B.S.; Santos, M.P.F.; Mattos, E.C.; Dias, K.L.L.; Carneiro, R.B.; Carnelossi, M.A.G. 2019a. Calcium carbonate particle films and water regimes affect the acclimatization, ecophysiology and reproduction of tomato. *Environmental and Experimental Botany*, 165, 19–29. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2019.05.017>.
- Silva, P.S.O.; Oliveira Júnior, L.F.G.; Mattos, E.C.; Maciel, L.B.S.; Santos, M.P.F.; Sena, E.O.A.; Barbosa, N.T.B.; Carnelossi, M.A.G.; Fagundes, J.L. 2019b. Calcium particle films promote artificial shading and photoprotection in leaves of American grapevines (*Vitis labrusca* L.). *Scientia Horticulturae*, 252, 77-84. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.03.041>.
- Silva, P.S.O.; Oliveira Júnior, L.F.G.; Gonzaga, M.I.S.; Sena, E.O.A.; Maciel, L.B.S.; Fiaes, M.P.; Mattos, E.C.; Carnelossi, M.A.G. 2019c. Effects of calcium particle films and natural shading on ecophysiological parameters of conilon coffee. *Scientia Horticulturae*, v. 245, p. 171-177. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.10.010>.
- Song, J.; Shellie, K.C.; Wang, H.; Qian, M.C. 2012. Influence of deficit irrigation and kaolin particle film on grape composition and volatile compounds in Merlot grape (*Vitis*

vinifera L.). Food Chemistry, v. 134, p. 841–850.
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.02.193>.

Taiz, L.; Zeiger, E.; Moller, I.; Murphy, A. 2017. Fisiologia e desenvolvimento vegetal, 6.ed. Porto Alegre: Artmed, 888 p.

UC (University of California, Davis campus). 2010. Strawberry Licensing Program. Disponível em: <https://research.ucdavis.edu/technology-transfer/plant-variety-licensing-program/strawberry-licensing-program/#toggle-id-6>. Acesso em : 01/06/2024.

Van Der Westhuizen, M.; Oosterhuis, D.; Berner, J.; Boogaers, N. 2020. Chlorophyll a fluorescence as an indicator of heat stress in cotton (*Gossypium hirsutum* L.). South African Journal of Plant and Soil, 37(2), 116–119.
<https://doi.org/10.1080/02571862.2019.1665721>.

Raij, B.V.; Cantarella, H.; Quaggio, J.A.; Furlani, A.M.C. 1997. **Boletim Técnico 100: Recomendações de adubação e calagem para o estado de São Paulo**. 2^a ed. Campinas: Instituto Agronômico de Campinas, 285p.

Zhou, R.; Hyldgaard, B.; Yu, X.; Rosenqvist, E.; Ugarte, R.M.; Yu, S.; Wu, Z.; Ottosen, C.-O.; Zhao, T. 2018. Phenotyping of faba beans (*Vicia faba* L.) under cold and heat stresses using chlorophyll fluorescence. Euphytica, 214(4), 68.
<https://doi.org/10.1007/s10681-018-2154-y>.

5. ARTIGO 2

DESEMPENHO PRODUTIVO E QUALIDADE DE INFRUTESCÊNCIAS MORANGUEIROS EM SISTEMA SEMI-HIDROPÔNICO, SOB A APLICAÇÃO DE FILME DE PARTÍCULA DE CAO NO INVERNO E NA PRIMAVERA

Artigo formatado de acordo com as normas do periódico Ciência e Agrotecnologia

RESUMO

O morangueiro (*Fragaria x ananassa* Duch.) é uma espécie originária de região de clima temperado, seu cultivo em região tropical de baixa altitude enfrenta alguns desafios com altas temperaturas, radiação e baixa amplitude térmica. Deste modo, faz-se necessária a utilização de técnicas para diminuir os efeitos adversos do clima e assim contribuir com a expansão do cultivo da espécie para novas regiões. O objetivo do estudo foi avaliar o desempenho produtivo de três cultivares de morango de dias neutros (Albion (Al), Monterey (Mo) e San Andreas (SA)), cultivados em sistema semi-hidropônico aberto, submetidas à aplicação de filme de partículas de óxido de cálcio (CaO). O experimento foi conduzido em sistema semi-hidropônico, em vasos de 3 l, com nutrição via fertirrigação, dispostos em bancadas com cobertura plástica retrátil. Os tratamentos consistiram na combinação de três cultivares de dias neutros (Albion, Monterey e San Andreas) submetidas à aplicação de filme de partícula de cálcio, controle, 2,5% e 5% de CaO, doses foram determinadas com base em estudos com outras espécies e com o morangueiro cultivado em solo na região. As mudas utilizadas foram originárias de Segóvia, Espanha, transplantadas em 19/maio de 2022 e condução até 3/fevereiro de 2023, os parâmetros avaliados no estudo foram análises fisiológicas, morfoagronômicas e qualidade das infrutescências. A aplicação dos filmes promoveu mudanças significativas nos dados fisiológicos, promovendo aumento nos índices de clorofila e impactos positivos na fluorescência da clorofila a, indicando uma melhor eficiência na utilização da energia que atinge os cloroplastos, proporcionando também uma redução nas condições de estresse da planta, quanto aos parâmetros morfoagronômicos (número de frutos por planta, a massa média das infrutescências e a produtividade total) e qualidade das infrutescências. As cultivares apresentaram comportamentos distintos quanto à produção das infrutescências, com destaques produtivos para a SA, que foi superior em número de infrutescências e produção por planta, para a massa média das infrutescências a Al foi superior às demais. A cultivar SA apresentou uma maior adaptação às condições locais, quanto à qualidade das infrutescências a Mo apresentou a menor acidez, enquanto a Al apresentou maior acidez titulável. Os filmes de partícula promoveram mudanças nos parâmetros fisiológicos, induzindo ao aumento nos índices de clorofila, melhor aproveitamento da radiação que atinge os cloroplastos e redução no estresse ambiental. A cultivar San Andreas demonstrou ser a mais indicada para o cultivo na região em sistema semi-hidropônico, apresentando maior produtividade tanto em número de inflorescências quanto em produção por planta, em comparação com as demais cultivares. Além disso, suas infrutescências apresentaram qualidade sensorial dentro dos padrões mínimos exigidos.

Palavras-chave: *Fragaria x ananassa* Duch, clima tropical, altas temperaturas, óxido de cálcio.

5. ARTICLE 2

Productive performance and quality of strawberry infructescences in a semi-hydroponic system, under the application of CaO particle films in winter and spring

Formatted according to the submission guidelines of the journal *Ciência e Agrotecnologia*

ABSTRACT

The strawberry (*Fragaria x ananassa* Duch.) originates from temperate climates and its cultivation in tropical, low-altitude regions faces some challenges in regards to high temperatures and radiation and low thermal amplitude. It is therefore necessary to use techniques to reduce the adverse effects of the climate and thus help expand the cultivation of the species to new regions. The aim of this study was to evaluate the production performance of three day-neutral strawberry cultivars (Albion (Al), Monterey (Mo) and San Andreas (SA)), grown in an open semi-hydroponic system, subjected to the application of calcium oxide (CaO) particle film. The experiment was conducted in a semi-hydroponic system, in 3L pots, with nutrition via fertigation, arranged on benches with a retractable plastic cover. The treatments consisted of a combination of three day-neutral cultivars (Albion, Monterey and San Andreas) subjected to the application of calcium particle films, with one control and two films at 2.5% and 5% CaO. The doses were determined based on studies with other species and with strawberry plants grown in soil in the region. The seedlings used originated in Segovia, Spain, and were transplanted on May 19, 2022, and grown until February 3, 2023. The parameters for the study were physiological, morpho-agronomic and fruit quality analyses. The application of the films led to significant changes in the physiological data, promoting an increase in chlorophyll levels and a positive impact on the fluorescence of chlorophyll a, indicating better efficiency in the use of the energy that reaches the chloroplasts. There was also reduction in the plant's stress conditions, as seen in the morpho-agronomic parameters (number of fruits per plant, the average mass of the infructescences and total productivity) and the quality of the infructescences. The cultivars behaved differently in terms of fruit production, with SA standing out in terms of number of fruits and production per plant, while Al was superior to the others in terms of average fruit mass. The SA cultivar was better adapted to local conditions. As for the quality of the infructescences, Mo had the lowest acidity, while Al had the highest titratable acidity. The particle films promoted changes in the physiological parameters, inducing an increase in the chlorophyll levels, better use of the radiation reaching the chloroplasts and a reduction in environmental stress. The San Andreas cultivar proved to be the most suitable for growing in the region in a semi-hydroponic system, showing greater productivity, both in terms of number of inflorescences and production per plant, compared to the other cultivars. In addition, its infructescences showed sensory quality that met the minimum required standards.

Keywords: *Fragaria x ananassa* Duch, tropical climate, high temperatures, calcium oxide.

5.1. Introdução

O morangueiro cultivado atualmente (*Fragaria x ananassa* Duch.) é originário da França, região de clima temperado (Vaughan; Geissler, 1997 *apud* Antunes et al., 2016) e possui algumas limitações quanto ao cultivo em região de clima tropical, em função dos fatores climáticos tais como temperatura, radiação e amplitude térmica (Gonzalez-Fuentes et al., 2016; Balasooriya, 2018; Balasooriya et al., 2020; Díaz-Galián et al., 2021; Khammayom et al., 2022), além de fotoperíodo para cultivares de dias curtos e longos (Almeida et al., 2009). Para regiões com baixa variação no fotoperíodo ao longo do ano, como é o caso das regiões tropicais, faz-se necessária a utilização de cultivares de dias neutros, que são

indiferentes ao fotoperíodo, florescem continuamente independentemente do comprimento do dia, sendo regulado basicamente pela temperatura (Villagrán et al., 2013; Antunes et al., 2016). Entre as cultivares que se destacam nessa categoria estão Albion (Al), Monterey (Mo), San Andreas (SA) e Aromas (Villagrán et al., 2013), que são cultivares de dias neutros (UC, 2010).

Com o aumento da temperatura acima de 1 °C comparado aos níveis pré-industriais e previsão que esse aumento atingirá 1,5 °C nas próximas décadas (IPCC, 2022), torna-se importante a utilização de tecnologias que possam mitigar o estresse sofrido pela planta e expandir as possibilidades de cultivo dessas espécies em regiões de clima tropical com temperaturas e radiação mais elevadas.

Os filmes de partículas vêm sendo amplamente utilizados visando mitigar os impactos das condições do clima tropical nas culturas, demonstrando eficiência na redução do estresse climático e auxiliando na adaptação das culturas (Gharaghani et al., 2018). Esses filmes são formulações aquosas confeccionadas à base de um mineral quimicamente inerte, que apresenta boa uniformidade de aplicação (Song et al., 2012; Glenn et al., 2003) constituídos por materiais diversos como CaCO_3 , CaO ou caulim (Dinis et al., 2018; Gharaghani et al., 2018; Silva et al., 2019b; Oliveira et al., 2021a; Oliveira et al., 2021b; Oliveira et al., 2022).

A aplicação de caulim em videiras expostas ao calor e à alta radiação solar atua como uma barreira física, refletindo a luz e protegendo a estrutura e a função do fotossistema II. Isso reduz danos causados pelo excesso de energia de excitação e estresse oxidativo, devido ao aumento de carotenoides, que protegem o aparato fotossintético contra danos fotoinibitórios causados pelo oxigênio singlete (Dinis et al., 2016; Brito et al., 2019).

O filme de partícula de cálcio, por possuir coloração branca, refletindo os raios solares, pode ativar as expressões gênicas diferencialmente em conjunto de genes que respondem à luz e sua intensidade, o sombreamento resultante pode impedir que a planta desenvolva estruturas anatômicas de tolerância, como maior espessura de cutícula ou síntese de ceras que refletem o excesso de luz solar (Ferreira et al., 2021).

Estudos utilizando filmes de partícula confeccionado com caulim, CaCO_3 e CaO , indicam melhora no desempenho fisiológico, diminuição do ácido abscísico (ABA) e aumento do ácido indol-3-acético (IAA) no tratamento com caulim em videiras (Dinis et al., 2018). Oliveira et al. (2022), utilizando o CaO como matéria-prima para confecção do filme, observaram um aumento na taxa fotossintética, concentração CO intercelular, eficiência do uso da água e eficiência da carboxilação, na cultura da batata-doce. Existem outros benefícios como anatomia da folha, trocas gasosas, fluorescência transiente da clorofila “a”, produtividade, qualidade dos frutos, temperatura das folhas, índice de clorofila, podendo também auxiliar na redução de incidência de doenças e pragas (Sharma et al., 2015; Gharaghani et al., 2018; Silva et al., 2019b; Oliveira et al., 2021a; Oliveira et al., 2021b).

O morango pode ser cultivado diretamente no solo (convencional) ou em sistema hidropônico com substrato (semi-hidropônico) ou sem substrato (hidropônico) (Oliveira et al., 2017). A produção semi-hidropônica apresenta algumas vantagens quando comparada ao plantio no solo nesse sistema, onde as plantas têm acesso aos nutrientes prontamente disponíveis sem impedimento mecânico ao seu desenvolvimento no sistema radicular e menor incidência de praga, promovendo maior sustentabilidade pela redução drástica da aplicação de agrotóxicos (Sharma et al., 2018; Ameri et al., 2020). O cultivo convencional pode apresentar problemas como presença de organismos patogênicos, nematoides, má drenagem e compactação do solo (Fussy; Papenbrock, 2022), diferentes do sistema semi-hidropônico.

Dessa forma, o objetivo do presente estudo foi avaliar o desempenho produtivo de três cultivares de morango de dias neutros (Albion, Monterey e San Andreas), cultivados em sistema semi-hidropônico aberto, submetidas à aplicação de filme de partículas de óxido de cálcio (CaO).

5.2. Material e Métodos

5.2.1 Experimento de campo

O trabalho foi desenvolvido em bancada com cobertura plástica retrátil (latitude 10° 55' 46'' S, longitude 37° 06' 13'' W), sistema semi-hidropônico, em vasos com capacidade de 3 l, o substrato utilizado foi constituído por composto orgânico e pó de coco na proporção de 25:75%, respectivamente. Antes de misturar os materiais, o pó de coco foi lavado com intuito de reduzir a condutividade e o teor de sódio sempre presente nesse material. Inicialmente o material foi imerso em água por 24h, após esse período foi retirado e prensado para drenagem da água. Foram realizadas análises de pH e condutividade elétrica (CE) nas matérias-primas que formaram o substrato, análise feita em suspensão na proporção 2,5:1 com 25mL de água destilada e 10mL da matéria-prima, os valores encontrados foram: composto, CE= 0,154dS/m e pH= 6,69; pó de coco, CE= 0,842 dS/m e pH= 6,58.

Os vasos foram dispostos em 3 fileiras com distância de 0,40m entre fileiras e 0,2m entre vasos em bancada com 1,2m de largura e 0,85m de altura.

Após o preenchimento dos vasos com a mistura e antes do plantio das mudas, foi montado o sistema de irrigação, sendo este acionado várias vezes durante uma semana, apenas com água, com o intuito de reduzir os sais presentes no substrato. Durante esse período foi monitorado a CE do lixiviado, até a obtenção de valores inferiores a 0,5dS/m, valor de CE que não apresenta risco às mudas no desenvolvimento inicial após o plantio.

De acordo com a classificação de Köppen, o clima da região é classificado como subtropical (As') com verão seco, precipitação média anual de 1300 mm concentrada nos meses de abril a setembro, temperatura média anual em torno de 25,2 °C e fotoperíodo de 12h. Ao longo do período experimental foram monitoradas as condições climáticas, dados coletados na estação automática localizada no município de Aracaju (Figura 1).

5.2.2 Material vegetal

Foram utilizadas três cultivares de morango, desenvolvidas pela Universidade da Califórnia, todas classificadas como cultivares de dias neutros, a San Andreas (SA,) Monterey (Mo) e Albion (Al). As mudas foram adquiridas de empresa especializada na importação e comercialização de mudas de morango, seguindo padrões internacionais. Foram originárias da Segóvia, Espanha, que tinham passado pelo processo de vernalização.

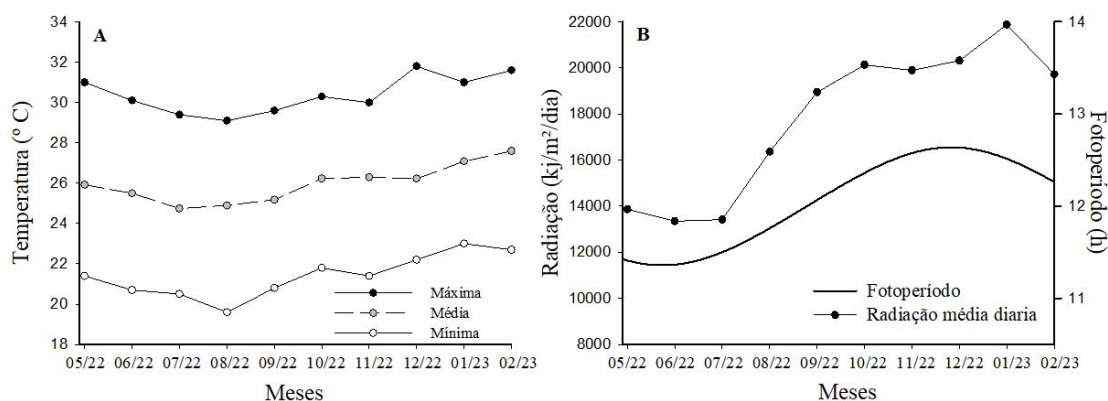


Figura 1: Dados climáticos, (A) temperatura mínima, média e máxima, (B) fotoperíodo, radiação média diária.

5.2.3 Arranjo experimental

O presente experimento foi delineado em um esquema fatorial 3x3, distribuídas em 5 blocos, sendo estudadas três cultivares SA, Mo, e Al, submetidas à aplicação de filmes de partícula de cálcio com três concentrações distintas (0%; 2,5% e 5,0% de CaO). As doses foram determinadas com base em estudos com outras espécies e estudo desenvolvido com o morangueiro cultivado em solo na região.

O estudo foi conduzido em um experimento em faixas que constituem em uma variação dos experimentos em parcelas subdivididas, com 5 blocos. No primeiro fator as parcelas (faixas) foram formadas pelos filmes de partícula de cálcio com três concentrações distintas (0%; 2,5% e 5,0% de CaO), onde cada filme foi aplicado via pulverização, em uma faixa da bancada. No segundo fator a subparcela foi formada por 3 cultivares de morango: San Andreas (SA), Monterey (MO) e Albion (AL), que foram distribuídas em 5 blocos dentro das faixas. O delineamento experimental totalizou nove tratamentos, resultando da combinação das cultivares e filmes, com 5 blocos e 2 repetições em cada bloco, totalizando 90 plantas, sendo cada planta transplantada em vasos de 3 l.

5.2.4 Manejo da cultura

O plantio ocorreu em maio de 2022, com condução do experimento até fevereiro de 2023. A partir do 30º dia após o transplante e até o final do experimento, foram realizadas aplicações a cada 15 dias do filme de partícula, promovendo uma cobertura constante das folhas novas. O preparo do filme consistia na mistura do óxido de cálcio em água, acrescido de espalhante adesivo.

A fertirrigação foi realizada por meio do sistema de irrigação localizada, com fitas gotejadoras, instaladas com espaçamento de 40 cm entre fitas e 1 gotejador por vaso, vazão do gotejador 2,1 L.h⁻¹, sendo o manejo conduzido por meio da observação do surgimento de lixiviado no fundo dos vasos, momento em que o sistema era desligado. O consumo de água (solução) variou de 50mL/dia no início até 600 mL/dia nos períodos mais quentes do verão e com a planta em desenvolvimento pleno. Como complemento à nutrição, eram realizadas aplicações foliares a cada 7 dias com a mesma solução nutritiva utilizada na fertirrigação, a cada 14 dias também era aplicado um complexo de aminoácido e extrato de algas da espécie *Ascophyllum nodosum*.

A composição da solução nutritiva aplicada via fertirrigação teve como base composição proposta por Bortolozzo et al. (2007), onde a condutividade elétrica (CE) das soluções tanto na fase vegetativa e frutificação, foram mantidas em torno de 1,2dS/m. Durante a adaptação das mudas, logo após o plantio, a irrigação foi realizada apenas com água durante 7 dias e nos 7 dias seguintes com solução nutritiva, com 50% da CE recomendada, equivalente à CE 0,6dS/m, após esse período a CE da solução foi mantida em torno de 1,2dS/m, esse manejo se faz necessário para uma melhor adaptação das mudas, que são mais sensíveis à condutividade elevada nesse período de adaptação, outro ponto a ser considerado é a baixa demanda por nutrientes nesse período, pois essas mudas possuem grande quantidade de reservas acumuladas nas raízes e coroa.

A reposição dos sais era realizada diariamente ou sempre que necessário, onde a tomada de decisão ocorria com base na condutividade do lixiviado coletado do fundo dos vasos, mantendo os valores de CE entre 1 e 1,2dS/m.

O controle de todas as pragas foi realizado com produtos fitossanitários registrados para a cultura do morango no Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento-MAPA (Brasil), no tratamento das doenças foi empregado calda bordalesa e *Trichoderma harzianum*.

5.2.5 Análises morfoagronômicas das infrutescências

As infrutescências foram colhidas duas ou três vezes por semana, a depender da presença de infrutescência em ponto de colheita, colhendo aquelas que apresentavam acima de 75% de coloração vermelha. Após a colheita essas foram classificadas quanto aos defeitos que inviabilizam a comercialização do produto, estabelecendo padrões mínimos de qualidade

(inteiros, firmes e isentos de pragas, danos mecânicos, podridão e distúrbios fisiológicos), em seguida foram determinados o número, diâmetro médio, massa média, massa total das infrutescências viáveis por planta. Ao final do experimento determinou-se a produção mensal e total por parcela, e em seguida o cálculo da produtividade em g.planta⁻¹.

Infrutescências com diâmetro equatorial inferior a 15 mm não foram contabilizadas, pois não possuem classificação por classe, diâmetro entre 15 a 35mm (classe 15), infrutescências com diâmetro maior que 35mm (classe 35) (PBMH e PIMo, 2009).

5.2.6 Qualidade das infrutescências

As análises de qualidade foram realizadas no período de maior produção, no qual todas as parcelas estavam produzindo. Após a colheita as infrutescências foram colocadas em embalagem plástica e levadas ao laboratório.

Sólidos solúveis (SS): Foram utilizados pedaços cortados no sentido longitudinal para uma melhor representação da infrutescência, que foram envolvidas por uma gaze, em seguida prensadas para extração do suco, cuja leitura direta foi realizada em refratômetro digital marca Instrutherm, modelo RTD-45, com valores expressos em %.

pH: O pH foi determinado na solução com 5 g de infrutescência macerada dissolvida em 50 mL de água destilada, em seguida a determinação pelo método potenciométrico, com pHmetro digital de bancada marca Tecnal, modelo Tec-05 (Instituto Adolfo Lutz, 1985).

Acidez titulável: Para determinação da acidez titulável (AT), foi utilizada a mesma solução a qual foi determinado o pH, onde foi realizada a titulação em NaOH 0,01 M, devidamente padronizado (AOAC, 2023).

Antocianinas: Os pigmentos de antocianina foram extraídos macerando 2g da infrutescência e misturadas com 18 mL de HCl 0,5% em metanol (v/v), mantendo as amostras a 4 °C por 1 h na ausência de luz. A concentração do pigmento foi calculada usando a seguinte fórmula: $\text{Abs}_{520} \times \text{fator de diluição} \times (\text{peso molecular (MW) de pelargonidina-3-glicosídeo (PGN)}/\text{coeficiente de extinção molar})$, onde MW de PGN = 433,2 e o coeficiente de extinção molar = 29080. Os resultados foram expressos como mg/100 g de peso fresco (Nunes et al., 2005).

5.2.7 Análise fisiológica

Foram realizadas análises fisiológicas em dois períodos distintos, a primeira durante o inverno e a segunda na primavera, 30 e 130 dias, respectivamente; após o início da aplicação dos tratamentos. As leituras foram realizadas às 9h na terceira folha totalmente expandida que não apresentasse deficiência nutricional, danos por pragas ou doenças (Oliveira et al., 2021a).

Índice de Clorofila de Falker: Para a determinação do índice de clorofila, foram realizadas leituras das clorofilas “a” (ClhA) e b (ClhB), com o subsequente cálculo da clorofila total, definida como Clorofila total (ClhT) = ClhA+ClhB, e da relação Clorofila a/b (Falker Automação Agrícola Ltda., 2018). Para essa análise, utilizou-se o medidor não destrutivo de índice de clorofila da marca Falker, modelo CFL1030 (Falker, Brasil). Este dispositivo emprega três LEDs que operam nas frequências de 635 nm, 660 nm e 850 nm, sendo este último empregado para a normalização das leituras, conforme descrito por Brito et al. (2011).

Fluorescência Transiente da Clorofila a: As medidas de fluorescência transiente da clorofila “a” foram realizadas nas mesmas folhas utilizadas para a avaliação do índice de clorofila, após um período de adaptação ao escuro de 30 minutos usando cliques (Oliveira et al., 2021a). Para essa finalidade, empregou-se um medidor de fluorescência portátil, modelo OS-30p (Opti-Sciences Inc., 2016).

5.2.8 Análise estatística

Os dados foram submetidos ao teste de normalidade por meio do teste de Shapiro-Wilk. Em seguida à análise de variância pelo teste F, os tratamentos que apresentaram

diferença estatística a 5% de probabilidade foram submetidos ao teste de Tukey a 5% de probabilidade. Para os dados fisiológicos foi avaliada a interação “Cultivar” x “Filme”, nos dois períodos, inverno e primavera. As análises morfoagronômicas foram realizadas avaliando a interação “Cultivar” x “Filme” e “Cultivar” x “Período (estação)”. Na avaliação da qualidade das infrutescências foi observada apenas a interação “Cultivar” x “Filme” em um único período. Quando não observada uma interação significativa entre os fatores, foi avaliado apenas o efeito simples de cada um dos fatores. Todas as análises foram realizadas utilizando o programa estatístico R (R Core Team, 2023).

5.3. Resultados e discussão

5.3.1 Análises morfoagronômicas das infrutescências

A aplicação dos filmes de partícula nas plantas não promoveu efeitos significativos nos dados morfoagronômicas (número, massa média e diâmetro das infrutescências e produtividade) (Tabela 1), ou seja, as plantas que receberam a aplicação não obtiveram ganhos produtivos, mesmo sendo observadas alterações nos parâmetros fisiológicos (Tabela 2, Figuras 3, 4, 5 e 6). Quanto ao diâmetro das infrutescências observa-se na tabela 1 que, em média, as infrutescências de todos os tratamentos estão enquadradas na classe 15, ou seja, todas estão dentro de um padrão mínimo exigido, que é um diâmetro mínimo de 15 mm para que possa ser enquadrado em alguma classe (PBMH e PIMo, 2009).

O efeito não significativo nos parâmetros morfoagronômicos provocado pela aplicação dos filmes de partículas, diferem de vários estudos da literatura, que relatam ganhos na eficiência no uso da água, trocas gasosas e produtividade de diversas culturas como batata-doce (Oliveira et al., 2022), café (Abreu et al., 2022; Abreu et al., 2023), noz Persa (Gharaghani et al., 2018), feijão caupi (Oliveira Júnior et al., 2019), trigo (Abdallah et al., 2019).

Este comportamento não significativo em função da aplicação dos filmes pode estar associado ao ambiente menos estressante promovido pelo cultivo semi-hidropônico, que proporcionou um melhor conforto térmico por ser mais arejado, melhor controle na irrigação e manutenção adequada da umidade no substrato, melhor equilíbrio nutricional. Estes aspectos podem ter contribuído para um equilíbrio nos parâmetros produtivos entre as plantas que receberam a aplicação dos filmes e o controle, visto que os filmes tendem a expressar maiores diferenças em condições mais estressantes. Em estudo desenvolvido na Geórgia e Oklahoma, Estados Unidos da América, com a aplicação de caulim em cultivares de pimentas, foram obtidos resultados similares ao deste estudo com relação os ganhos produtivos cultivares, sendo associados à baixa condição de estresses abióticos ao equilíbrio produtivo dos diferentes tratamentos (Russo; Díaz-Pérez, 2005).

As cultivares diferiram entre si em todos os fatores, com exceção do diâmetro (Tabela 1). Quanto ao número de infrutescências e produção por plantas, a cultivar San Andreas apresentou maior produtividade com relação às demais cultivares, com valores de produção superiores a 610 g/planta, representando valores de 88,8% e 156,9% maiores que a Albion e Monterey, respectivamente, que produziram em média 323,52 g/planta e 237,68 g/planta. Paulus et al. (2024), em experimento semi-hidropônico, observaram maior produtividade para as cultivares Al e Mo e menor produtividade para a SA. O número de infrutescências para a SA foi em média 64,2 infrutescências/planta, superando a Albion em 121,4% e a Monterey em 150,1%. A cultivar Albion apresentou uma massa média de aproximadamente 11,3 g/infrutescências, estatisticamente superior às demais, enquanto que as cultivares SA e Mo apresentaram valores médios próximos a 9,5 g/infrutescência, inferiores aos observados por Menezes Júnior et al. (2018), cujos valores oscilaram entre 11,5 e 19,3 g/infrutescência e entre 11 e 14,9 g/infrutescência, para Al e SA, respectivamente, em estudo com substratos e densidades. Paulus et al. (2024), avaliando essas três cultivares, obtiveram resultados de massa média de 15,2; 15,3 e 14 g/infrutescência para a Al, Mo e SA, respectivamente.

Entretanto, nos estudos comparados aqui as temperaturas registradas foram inferiores aos nossos registros, fator importante no tamanho médio das infrutescências (Balasooriya, 2018; Gonzalez-Fuentes et al., 2016). O aumento excessivo da radiação também pode ser um fator que atua reduzindo a massa média das infrutescências (Díaz-Galián et al., 2021). Esses dois fatos associados, altas temperaturas e radiação, podem ter grande impacto na região de estudo que se encontra próxima à linha do Equador, com radiação elevada durante todo o ano (Tabela 1).

Observou-se uma interação significativa entre os fatores Cultivar e Tempo (mês), para os parâmetros morfoagronômicos. Houve uma variação significativa ao longo dos meses, nos três parâmetros estudados, alterações que também foram resultantes das características específicas das cultivares em alguns (Figura 2). Para a massa média os maiores valores foram observados nos meses de setembro e outubro, período no qual as plantas já estavam estabelecidas, com parte aérea e sistema radicular bem desenvolvidos, além da baixa produção no período (número de infrutescências e produtividade), fazendo com que a planta direcionasse a translocação de fotoassimilados para uma pequena quantidade de infrutescências, possibilitando assim um maior desenvolvimento para o mês de setembro, não sendo observado produção para cultivar Monterey.

As menores massas médias observadas no início e no final do cultivo possivelmente ocorreram por causas distintas. No início devido ao fato da planta ainda encontrar-se em processo de estabelecimento após o plantio recente e com porte pequeno, na fase final mesmo estas bem estabelecidas e desenvolvidas o número de infrutescências sofreu um aumento significativo, demandando da planta uma grande quantidade de fotoassimilados, provocando uma redução na massa média (Figura 2). Além disso, aumento de temperatura e radiação registrados no período (Tabela 1) podem ter contribuído com essa redução, fato que pode acelerar o processo de maturação, reduzindo assim o tamanho da infrutescência, como também pode provocar deformações (Antunes, 2016; Balasooriya, 2018; Díaz-Galián et al., 2021). Temperaturas de cultivo dia/noite de 30/20 °C tiveram uma redução na massa média de 70% quando comparado ao cultivo em temperatura 25/20 °C, para as cultivares Al e SA (Balasooriya et al., 2020).

Ao avaliar o efeito das cultivares dentro de cada mês, as diferenças foram verificadas nos meses de junho com destaque para a SA. Em janeiro percebeu-se destaque negativo para a Mo, e em fevereiro a Al apresentou médias superiores (Figura 2). Em estudos realizados por Antunes et al. (2016) e UC (2010), a cultivar Mo foi a que apresentou a maior massa média das frutas, seguida pela Al e SA. Esse comportamento não foi observado nesse estudo, no qual a Al apresentou os maiores valores médios e foi superior na maioria dos meses, com exceção do mês de junho (Tabela 1, Figura 2). Esse registro pode estar relacionam ao fato da SA possuir um vigor superior à Al no início da temporada (UC, 2010). O desempenho inferior da Mo pode estar associado ao fato desta ser uma planta mais vigorosa, exigindo mais espaço que a Al e SA (UC, 2010), podendo o espaçamento entre as plantas na bancada e o volume do vaso de 3 l limitado um pouco seu desempenho e o desenvolvimento das infrutescências. Uma maior condição de estresse sentido pela Mo pode ser verificada analisando os dados relacionados à fluorescência da clorofila nos dois períodos estudados com maiores valores de VK e VI (Figuras 3D e 5D).

Verificou-se que as cultivares apresentaram picos de produção em meses distintos (Figura 2), na cultivar Al o ápice produtivo (nº de infrutescências e produtividade) ocorreu nos meses de out/22, nov/22 e dez/22. Na Mo, os meses de maior produção foram distintos com relação ao nº de infrutescências e produtividade, para nº de infrutescências os maiores valores foram registrados nos meses de nov/22, dez/22 e jan/23, enquanto a produtividade nos meses de out/22, nov/22 e dez/22. A SA teve seu registro de maior nº de infrutescências coincidindo com a Mo nos meses de nov/22, dez/22 e jan/23, e ápice produtivos no mês de nov/22, seguido por dez/22 e jan/23, que foram inferiores estatisticamente. Essa não coincidência entre nº de infrutescências e produtividade ocorrido nas cultivares Mo e SA está

diretamente relacionada com a redução na massa média observada a partir dos meses de out/22 e nov/22 (Figura 2), essa redução na massa média pode ter ocorrido com o aumento da temperatura registrado no período (Figura 1). A variação no pico produtivo entre as cultivares foi um fato muito interessante, principalmente para o agricultor, que ao trabalhar com diferentes cultivares conseguirá escalonar melhor sua produção ao longo do ano.

Na produção das diferentes cultivares dentro de cada mês, verificou-se que entre os 9 meses estudados as 3 cultivares apresentaram diferenças significativas quanto ao número de infrutescências, foram os meses de nov/22, dez/22 e jan/23, com destaque para a cultivar SA, que superou as demais nos 3 meses, para o parâmetro produtividade; 4 meses apresentaram diferenças estatísticas, out/22, nov/22, dez/22 e jan/23, sendo que a Al superou as demais cultivares no mês de out/22, nos meses subsequentes a SA foi a de maior destaque.

A cultivar SA foi a única avaliada no estudo que atingiu níveis de produtividade dentro dos relatados na literatura, um ponto a ser considerado é que a colheita ocorreu em uma janela de tempo de menos de 8 meses, que foi de 20/06/2022 até 03/02/2023. Entretanto, acredita-se que caso a colheita tivesse fechado o ciclo de 1 ano, os valores poderiam apresentar um acréscimo (Miranda et al., 2014; Oliveira et al., 2017; Menezes Júnior et al., 2018). Esses autores indicaram que a produção em sistema semi-hidropônico variou de 500 a 1200 g/planta/ano. Menezes Júnior et al. (2018), que trabalharam com as cultivares Al e SA em uma janela de tempo similar a nossa, de 06/2015 a 01/2016, obtiveram valores médios próximos ao observados neste estudo, para Al valores variando de 196 a 448 g/planta e SA, 271 a 1160 g/planta, para tratamento com densidade de plantio e substratos diferentes. Um dos fatores que pode ter interferido nas diferenças produtivas entre as cultivares pode ser o porte e necessidade de espaço, sendo a SA a mais compacta e a Mo a mais vigorosa, que pode exigir um pouco mais de espaço entre plantas (Antunes et al., 2016; UC, 2010). Essas diferenças no porte das plantas também foram verificadas no presente estudo.

Esse estudo demonstra que com o uso de técnicas adequadas como cultivo em sistema semi-hidropônico, manejo da irrigação e nutrição, foi possível atingir níveis satisfatórios de produção da infrutescência em destaque para a cultivar SA, que atingiu produção superior a 600 g/planta em um período de 9 meses, mesmo com as barreiras impostas pelas condições climáticas da região.

Diversos estudos indicam as dificuldades de produção de morango em regiões com altas temperaturas (Ronque, 1998; Gonzalez-Fuentes et al., 2016; Sønsteby et al., 2016; Filgueira, 2008; Darnell et al., 2003, Khammayom et al., 2022), como é o caso deste estudo (Tabela 1). Antunes et al. (2016) afirmaram que a temperatura ideal à polinização é de 15° C. Por sua vez, Darnell et al. (2003) citaram que regiões próximas aos trópicos com temperaturas constantemente elevadas, induzem a planta à produção de estolões e, consequentemente, reduzem a emissão de flores e a produção de infrutescências. Filgueira (2008) mencionou que raramente a planta inicia seu florescimento se as temperaturas noturnas excederem 15 °C. Tendo em vista que as altas temperaturas provocam deficiência na polinização como citado, esse aspecto irá interferir diretamente no desenvolvimento da infrutescência, pois esta depende das auxinas produzidas nos aquênios (fruto verdadeiro) em desenvolvimento adequado (Taiz et al., 2017). Neste contexto, Khammayom et al. (2022) relataram que não só a temperatura média pode afetar a produção, mas também a amplitude térmica baixa entre dia e noite.

Tabela 1: Massa média, diâmetro, número de infrutescências e produtividade por planta, em função das cultivares e da aplicação de filme de partícula de cálcio (CaO).

Fator	Tratamento	Massa média (g/Infrutescência)	Nº Infrutescências (unid./Planta)	Produtividade (g/Planta)	Diâmetro (mm)
Filme	0	10,08	41,87	414,75	3,12
	2,5	10,08	38,60	378,86	2,96
	5	10,09	38,40	378,26	3,07
Significância		ns	ns	ns	ns
Cultivar	Albion	11,28 a	29,00 b	323,52 b	3,12
	Monterey	9,41 b	25,67 b	237,68 c	3,04
	San Andreas	9,55 b	64,20 a	610,68 a	3,00
Significância		**	**	**	ns
Média		10,08	39,42	390,62	3,05
CV (%)		11,19	21,89	21,43	8,36

Médias seguidas pelas mesmas letras na coluna para filme e cultivar, não diferem pelo teste de Tukey. Nível de significância: * ($p \leq 0,05$), ** ($p \leq 0,01$), ns (não significativo)

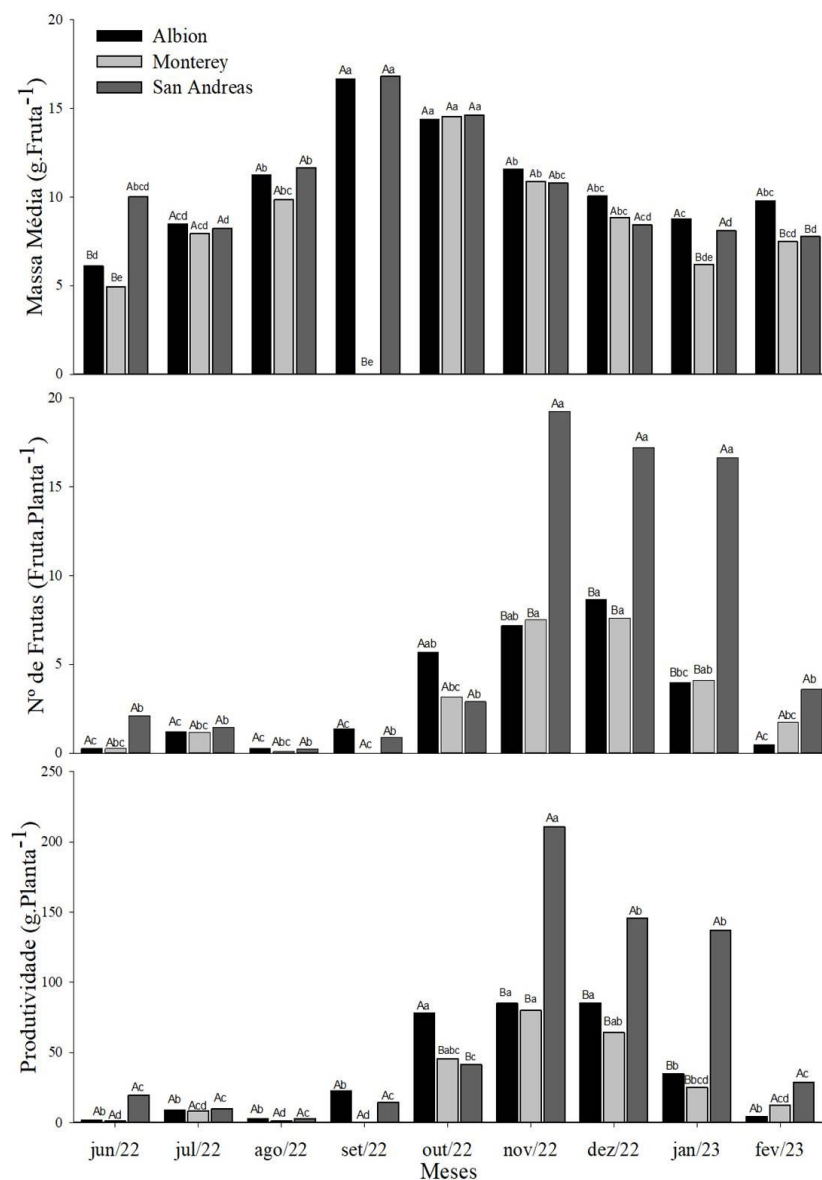


Figura 2: Massa média, número de infrutescências e produtividade por planta, em função das cultivares ao longo do período de avaliação (meses). Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas para cultivares e minúscula para o período (meses) não diferem pelo teste de Tukey. Nível de significância, $p \leq 0,05$.

5.3.2 Qualidade das infrutescências

Para as variáveis de qualidade das infrutescências não foram observadas interações significativas entre os fatores “Filme” e “Cultivar”. A aplicação dos filmes não promoveu diferença estatística significativa em nenhum dos parâmetros de qualidade da infrutescência. As diferentes cultivares promoveram diferenças estatísticas no pH, sendo que a SA apresentou-se como a mais ácida, com valor de pH de 3, estatisticamente inferior à Mo que registrou média de pH de 3,15, sendo considerada a cultivar com a infrutescência menos ácida. A Al não diferiu das demais cultivares quanto à acidez. Resultados similares a este estudo foram encontrados por Antunes et al. (2016), avaliando as cultivares Mo e SA, cujo o pH da SA foi inferior à Mo. Menezes Júnior et al. (2023), estudando as cultivares Al e SA, observaram que o pH desta não diferiu, porém apresentaram valores superiores aos observados aqui, 3,68 e 3,66, respectivamente. Altas temperaturas como as observadas na região de estudo (Figura 1) podem contribuir com infrutescências mais ácidas (Dias et al., 2007), sendo que o pH junto ao SS estão entre os parâmetros mais importantes para determinação do sabor dessa infrutescência. Zhang et al. (2016), avaliando a cultivar Seolhyang em faixa de temperatura 10 a 30°C, observaram pH médio de 4,46 em infrutescências, bem superiores ao nosso, porém sabe-se que essa variável é muito dependente da cultivar, clima, nutrição e qualquer estresse abiótico.

Para a acidez titulável (AT), a cultivar Al se destacou com relação à SA e MO, apresentando os maiores teores, com média de 0,92% (Tabela 2). Os valores e AT desse estudo estão próximos à média de valores encontrados em outros estudos com as mesmas cultivares (Antunes et al., 2016; Menezes Júnior et al., 2023), diferente do registrado por Pinheiro et al. (2023) com valores de 1,32% para a cultivar Al. Além do pH, a AT é um critério importante para avaliar a qualidade do morango, sendo uma das formas mais simples de expressar a acidez da infrutescência (Pinheiro et al., 2023).

Os valores de sólidos solúveis (SS) tiveram variação de 6,69 a 7,73 °Brix e a relação SS/AT (Ratio) variou entre 8,03 e 9,36 e os teores de antocianinas (mg/100g) 29,89 e 35,49, essas diferenças encontradas não diferiram significativamente.

Tendo em vista que os tratamentos não diferiram entre si, avaliando os valores médios, o SS médio foi de 7,33 (Tabela 2), valor superior ao padrão mínimo exigido pelo Programa Brasileiro para a Modernização da Horticultura e Produção Integrada de Morango (PBMH e PIMo, 2009), que estabelece como padrão mínimo para o teor de SS de 7° Brix, onde infrutescências com valores inferiores são consideradas como imaturas. Os sólidos solúveis possuem os açúcares como as substâncias mais predominantes, permitindo utilizar os SS como uma medida da doçura das infrutescências (CEAGESP, 2016). Em pesquisas com as mesmas cultivares deste estudo foram observados valores similares aos encontrados aqui (Costa et al., 2011; Franco et al., 2017; Pinheiro et al., 2023; Paulus et al., 2024). Menezes Júnior et al. (2023), em experimento com a Al e SA, registraram valores até inferiores aos observados neste estudo, com 6,08 para Al e 5,75 para a SA.

Dentre os fatores que podem contribuir com mudanças no teor de SS estão as cultivares, nutrição da planta e densidade de plantio (Franco et al., 2017; Pinheiro et al., 2023; Menezes Júnior et al., 2023; Guarçoni et al., 2023), também possui grande influência a temperatura ambiental, plantas expostas a altas temperaturas no período de cultivo promovem uma maior taxa de respiração da infrutescência, consumido assim parte dos açúcares que fazem parte da composição do SS (Osatuke e Pritts, 2021), a baixa amplitude térmica entre dia e noite também contribui com baixos valores de SS (Menzel, 2022).

O valor médio da relação SS/AT observado em nosso estudo foi de 8,59. Os valores observados aqui estão coerentes com os observados na literatura (Costa et al., 2011; Franco et al., 2017; Pinheiro et al., 2023; Menezes Júnior et al., 2023; Paulus et al., 2024). Devido ao ratio ser dependente dos valores de SS e AT, as condições que atuam nas alterações desses fatores contribuem diretamente nas alterações do SS/AT. Segundo Cantillano e Silva (2010), o sabor do morango possui uma grande relação com o balanço entre os sólidos solúveis SS e a

acidez titulável AT, implicando diretamente na qualidade sensorial, ratio mais elevado indica infrutescências mais doces e de melhor aceitação pelo consumidor no mercado.

O teor médio das antocianinas foi de 32,97 mg/100g da infrutescência fresca, valor inferior ao encontrado na literatura (Dantas et al., 2017; Becker et al., 2020; Lema-Rumińska et al., 2021; Menezes Júnior et al., 2023), que pode estar associado às altas temperaturas. Segundo Zhang et al. (1997), temperatura é um fator determinante na produção de antocianinas, onde observou a maior concentração na temperatura de cultivo de 15 °C, quando comparada às temperaturas 20 °C, 25 °C, 30 °C e 35 °C.

Alguns outros fatores podem afetar na síntese de antocianinas em infrutescências de morango, nutrição da planta, irradiação, diferentes cultivares, sistema de cultivo, condições ambientais, densidade de plantio, sombreamento e localização geográfica (Calvete et al., 2008; Polat et al., 2016; Franco et al., 2017; Krüger et al., 2021).

Antocianinas são flavonoides, formadas na rota dos fenilpropanoides, a partir do aminoácido fenilalanina, são responsáveis pelas cores azuis, púrpura e vermelhas em diversos frutos e infrutescências, são antioxidantes fortes que podem atuar inativando os radicais livres em excesso que são danosos à saúde (Taiz et al., 2017). Giampieri et al. (2012) relatam que cerca de 70% da capacidade antioxidante da infrutescência do morango provém das antocianinas, destacando sua importância entre os metabólitos específicos das plantas. Apesar da região de cultivo apresentar temperatura mais elevada ao longo de todo o período de cultivo, fato que interfere negativamente na concentração de antocianinas, as infrutescências apresentaram níveis consideráveis dessas substâncias variando entre 29,89 a 35,49 mg/100g.

Mesmo com as condições impostas pelo clima local, foi possível produzir infrutescências de boa qualidade dentro dos padrões mínimos exigidos pelo mercado, e com valores compatíveis com estudos em regiões de clima temperado e subtropical.

Tabela 2: Qualidade das infrutescências em função das cultivares e da aplicação de filme de partícula de cálcio (CaO).

Fator	Categoria	pH	AT (% ácido cítrico)	SS (%)	Ratio SS/AT	Antocianina (mg/100g)
Filme	0	3,06	0,85	7,55	8,93	31,80
	2,5	3,15	0,87	7,63	8,73	33,66
	5	3,05	0,85	6,81	8,12	33,43
Signif.		ns	ns	ns	ns	ns
Cultivar	AL	3,10 ab	0,92 a	7,73	8,39	33,52
	MO	3,15 a	0,81 b	7,57	9,36	35,49
	SA	3,00 b	0,83 b	6,69	8,03	29,89
Signif.		**	**	ns	ns	ns
Média		3,08	0,86	7,33	8,59	32,97
CV (%)		4,3	8,39	16,99	17,18	33,63

Médias seguidas pelas mesmas letras na coluna para filme e cultivar, não diferem pelo teste de Tukey. Nível de significância: * ($p \leq 0,05$), ** ($p \leq 0,01$), ns (não significativo)

5.3.3 Análise fisiológica

Índice de Clorofila de Falker

A aplicação dos filmes nas duas concentrações, 2,5 e 5%, promoveu aumento nos índices de clorofila Chl a, Chl b e Chl t, puxado pelo aumento mais significativo na Chl b nos tratamentos com filme, observa-se uma redução na relação Chl a/B, o mesmo comportamento foi observado nos dois períodos. Esse comportamento é frequentemente observado em plantas expostas ao sombreamento, seja por filmes de partícula constituídos por diferentes materiais (CaO, CaCO₃ ou caulim) (Silva et al., 2019a; Silva et al., 2019b; Oliveira et al., 2021a;

Gharaghani et al., 2018), por telas ou consorciação de espécies com diferentes extratos arbóreos (Rego e Possamar, 2011; Fan et al., 2019; Abade et al., 2019; Chen et al., 2021). Yi et al. (2014) associam o aumento nos índices dos pigmentos fotossintéticos a adaptações dos vegetais para maximizar a absorção de luz solar, nessas condições de baixa irradiação, impedindo assim uma redução na produtividade.

Entre as cultivares, a San Andreas foi a que apresentou os maiores índices de clorofila e a menor relação Chl a/B, a Monterey apresentou os menores índices e a maior relação Chl a/B, para os dois períodos avaliados, esse fato pode estar relacionado ao porte das plantas, tendo em vista que a SA é a planta de menor porte em contrapartida à Mo de maior porte (UC, 2010), demandando mais nutrientes como N e Mg que compõem as clorofilas (Li et al., 2018), tendo em vista que as cultivares estavam submetidas à mesma nutrição e regime de irrigação, pode ter sido um fator que causou a redução nos índices.

Tabela 3: Índice de clorofila de Falker em função da aplicação do filme e das cultivares, para os dois períodos de avaliação.

Fator	Categoria	Inverno				Primavera			
		Chl a	Chl b	Chl t	Chl a/b	Chl a	Chl b	Chl t	Chl a/b
Filme	0	31,55 b	11,79 b	43,34 b	2,71 a	32,50 b	12,67 b	45,17 b	2,60 a
	2,5	33,73 a	13,21 a	46,94 a	2,57 ab	34,38 a	14,60 a	48,98 a	2,39 b
	5	34,11 a	13,71 a	47,83 a	2,51 b	34,21 a	14,78 a	48,99 a	2,34 b
Signif.		**	**	**	**	*	**	**	**
Cultivar	Albion	33,03 b	12,75 b	45,78 b	2,60 b	33,08 b	13,67 b	46,75 b	2,48 a
	Monterey	31,97 b	11,63 c	43,60 b	2,77 a	32,37 b	12,35 c	44,71 c	2,64 a
	San Andreas	34,39 a	14,34 a	48,73 a	2,41 c	35,64 a	16,04 a	51,68 a	2,23 b
Signif.		**	**	**	**	**	**	**	**
Média		33,13	12,91	46,04	2,60	33,70	14,02	47,71	2,44
CV (%)		4,42	9,21	5,39	6,36	5,38	9,70	6,19	8,21

Índice de clorofila A (Chl a), índice de clorofila B (Chl b), índice de clorofila total (Chl t), relação clorofila A e B (Chl a/Chl b). Médias seguidas pelas mesmas letras na coluna não diferem pelo teste de Tukey. Nível de significância: * ($p \leq 0,05$), ** ($p \leq 0,01$), *** ($p \leq 0,001$), ns (não significativo)

Fluorescência Transiente da Clorofila a

A curva OKJIP representa as diferentes etapas da dinâmica da energia nos complexos que formam o fotossistema II dos vegetais, pode-se verificar para o período de inverno (Figuras 3A e 3B) e para o período de primavera (Figuras 5A e 5B), que as curvas possuem comportamento polifásico normal, as figuras 3A e 5A expressam o efeito da aplicação dos filmes nas diferentes estações do ano, para o tratamento controle pode-se observar um aumento da fluorescência desde o ponto K até o ponto P, fato que pode estar relacionado com a barreira formada pelo filme que reflete parte da radiação que chega à superfície da planta. Nas figuras 3B inverno e 5B primavera, avalia-se o efeito das cultivares no comportamento da curva OKJIP, na figura 3B podemos ver que a cultivar SA apresentou um pico mais pronunciado no ponto P (fluorescência máxima) quando comparada à Al e Mo, na figura 5B esse comportamento não foi observado. Alteração no comportamento das curvas promovida pela aplicação dos filmes ou cultivares, reflete diretamente em mudanças na fluorescência variável relativa às figuras 3C e 3D para inverno e figuras 5C e 5D primavera.

Na análise da fluorescência variável relativa são observadas alterações em função da aplicação dos filmes nas duas estações estudadas, nas figuras 3C e 5C observa-se redução nos valores de VI das plantas que receberam a aplicação dos filmes de partícula, quando comparadas ao tratamento controle. Ao avaliar a influência das cultivares na estação de inverno, verifica-se que a cultivar SA promoveu os menores valores da fluorescência variável relativa em 300 μ s VK (Figura 3D), para a estação primavera as diferenças foram observadas no VI, onde os maiores valores foram registrados para a cultivar Mo.

Essas alterações podem indicar uma redução no estresse sofrido pelas plantas que receberam a aplicação do filme de partícula, assim como uma melhor adaptação da cultivar SA e maior sensibilidade da cultivar Mo, quando cultivadas na região no sistema de cultivo semi-hidropônico, essa observação na fluorescência variável relativa se correlaciona diretamente com a produtividade observada, relação não verificada para a aplicação dos filmes. Estudos indicam grande sensibilidade desses parâmetros, registrando aumento significativo quando as plantas são submetidas a situações de estresses abióticos, com déficit hídrico, salinidade, altas temperaturas, estresse luminoso, podendo até auxiliar na seleção de cultivares resistentes a alguma condição de estresse (Gonçalves et al., 2010; Maswada et al., 2018; Jedmowski et al., 2015; Kalaji et al., 2018; Silva et al., 2024). O parâmetro VK está relacionado à capacidade de transferência de elétrons do complexo de evolução de oxigênio (OEC), centro de reação do PSII da clorofila especial do PSII a P680 até o aceptor elétrons de quinona A (Q_A) (Guha et al., 2013; Porcar-Castell et al., 2014), o aumento nesse parâmetro pode indicar uma eficiência reduzida do OEC (Kalaji et al., 2018). O VI está associado à taxa de transporte de elétrons até o PSI, valores elevados de VI podem indicar condição de estresse, sugerindo uma redução na transferência de elétrons do PSII ao PSI, plantas de trigo submetidas ao estresse salino apresentaram elevação nessa variável (Maswada et al., 2018).

Alguns parâmetros do fluxo fenomenológico de energia por centro de reação (RC) foram afetados pela aplicação dos filmes e pelas cultivares nos dois períodos avaliados (Figuras 4A, 4B, 6A e 6B). Avaliando a influência na aplicação dos filmes pode-se observar uma maior dissipação de energia DI0RC e maior densidade de centros de reação (Q_A reduzindo centros de reação de PSII) por seção transversal RCCS, nas plantas do tratamento controle para o período de inverno (Figura 4A). A observação de valores próximos de ABSRC e TR0RC em plantas que receberam a aplicação do filme com o tratamento controle, mesmo com o efeito da reflexão do filme, pode estar associado à redução do número de RCCS, concentrando a energia absorvida em um menor número de centros ativos, como também ao aumento nos índices de clorofila nas plantas que receberam a aplicação do filme, tendo em vista que as clorofilas compõem o complexo antena, responsável pela captação de luz (Taiz et al., 2017). Para o período da primavera o fluxo de elétrons da Q_A até os aceptores finais do PSI por RC, RE0RC foi superior nas plantas tratadas com a aplicação do filme (Figura 6A), essa variável está diretamente relacionada com a capacidade de redução do $NADP^+$ a NADPH, molécula utilizada como fonte de energia na fase bioquímica da fotossíntese (Taiz et al., 2017), demonstrando assim um maior aproveitamento da energia absorvida pelas plantas tratadas com os filmes. Estudos indicam proteção do aparato fotossintético promovido pela aplicação de filmes de partícula seja com $CaCO_3$, CaO ou caulim, pois promove uma reflexão de parte da radiação que chega na superfície da planta, reduzindo o estresse fotooxidativo e a temperatura foliar (Dinis et al., 2016; Silva et al., 2019a; Oliveira Junior et al., 2019; Oliveira et al., 2021b), plantas submetidas ao sombreamento provocado pelos filmes podem apresentar expressões gênicas diferentes em genes que respondem à luz e sua intensidade, além de outros genes relacionados à expressão de proteínas provenientes da cadeia de transporte de elétrons (Ferreira et al., 2021).

Ao comparar as diferentes cultivares no período de inverno, destaca-se que o fluxo de absorção por centro de reação ABSRC e o fluxo de energia aprisionado por centro de reação TR0RC foi superior para a cultivar Al, porém esse aumento na absorção e aprisionamento não se refletiu em aumento no fluxo de elétrons que chega aos aceptores finais do PSI, RE0RC, avaliando o índice de performance sobre absorção de base Piabs (Figura 4B), pode ser constatado que a Al apresentou uma redução significativa quando comparada às outras cultivares, podendo indicar uma menor adaptação desta cultivar no desenvolvimento inicial do cultivo. Jedmowski e Brüggemann (2015) e Van der Westhuizen et al. (2020) citam que plantas submetidas ao estresse por altas temperaturas apresentam valores inferiores nesses parâmetros. Wu et al. (2014) relatam que esses indicadores são eficazes na identificação de plantas mais resistentes ao calor. No período da primavera apenas a variável RE0RC sofreu

influência das cultivares, sendo observados os menores valores para a cultivar Mo, refletindo em uma menor capacidade de redução do NADP^+ a NADPH, demonstrando uma menor eficiência desta cultivar nesse período.

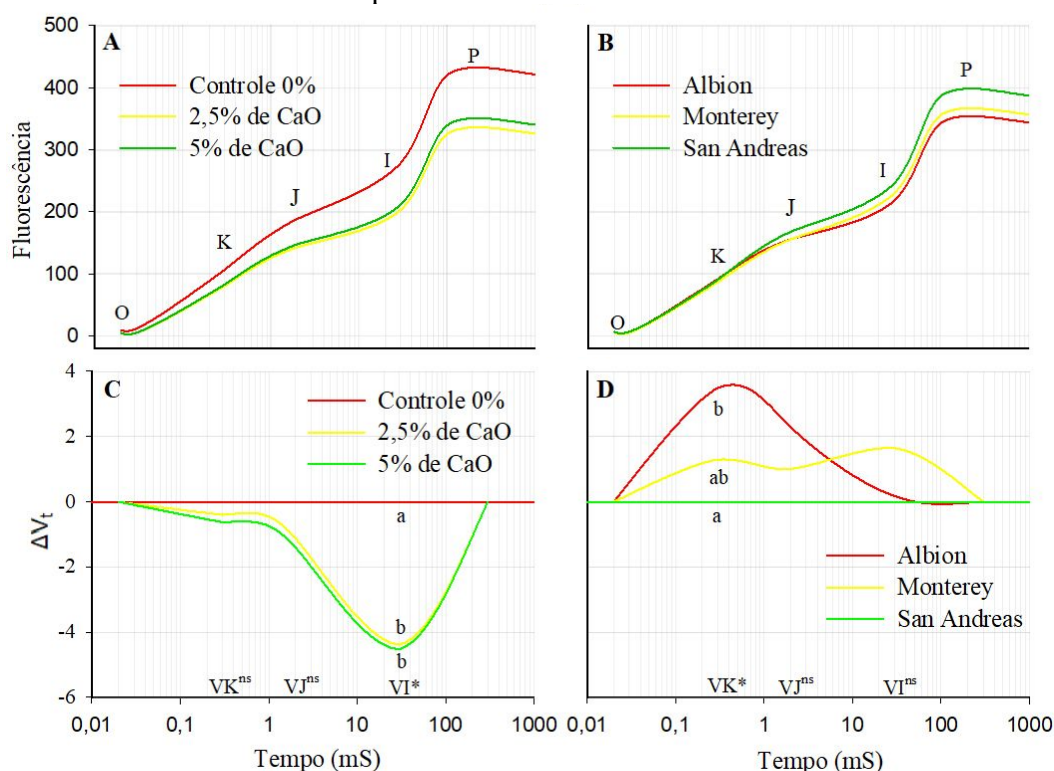


Figura 3: Etapas da curva O, K, J, I e P, (A) efeito da aplicação dos filmes de partícula de cálcio (CaO), (B) efeito promovido cultivares. Fluorescência variável relativa $\Delta V_t = ((F_{\text{tratamento}} - F_{\text{O tratamento}}) / F_{\text{V tratamento}}) - (F_{\text{controle}} - F_{\text{O controle}}) / F_{\text{V controle}}$, (C) efeito da aplicação dos filmes de partícula de cálcio (CaO), (D) efeito promovido cultivares, para a estação de inverno. A fluorescência do tratamento controle e da cultivar SA foram usadas como referência e igualadas a 0, para o período de inverno. Valores de fluorescência variável relativa seguidos por letras distintas na coluna diferem pelo teste de Tukey. Nível de significância: * ($p \leq 0,05$), ns (não significativo).

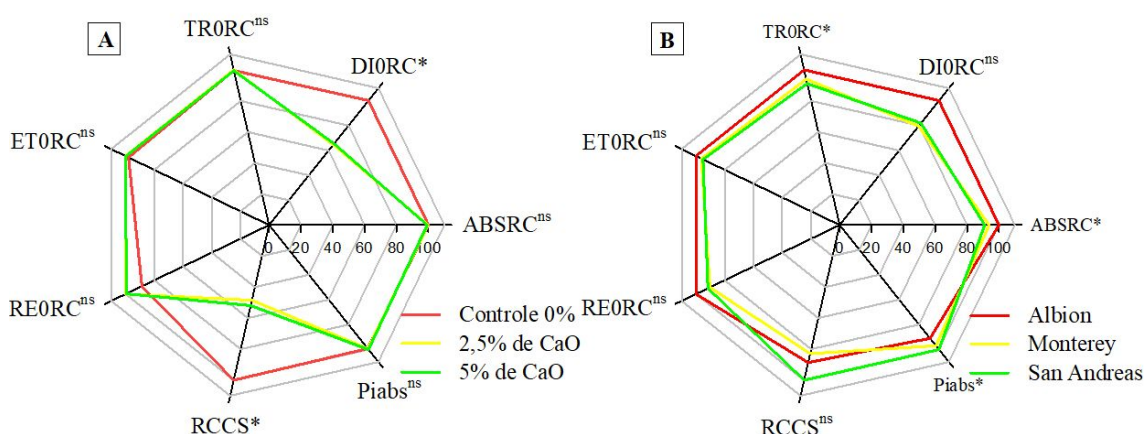


Figura 4: Fluxos fenomenológicos de energia por centro de reação (RC), (A) em resposta aos tratamentos com filme, (B) resposta das diferentes cultivares, para a estação de inverno. ABSRC, fluxo de absorção por RC; TR0RC, fluxo de energia aprisionado por RC; ET0RC, fluxo de elétrons da QA para PQ por RC; RE0RC, fluxo de elétrons da QA até os aceptores finais do PSI por RC; DI0RC, fluxo de energia dissipada por RC; RCCS, densidade de centros de reação (QA reduzindo centros de reação de PSII) por seção

transversal; Piabs, Índice de performance sobre absorção de base. Nível de significância: * ($p \leq 0,05$), ns (não significativo).

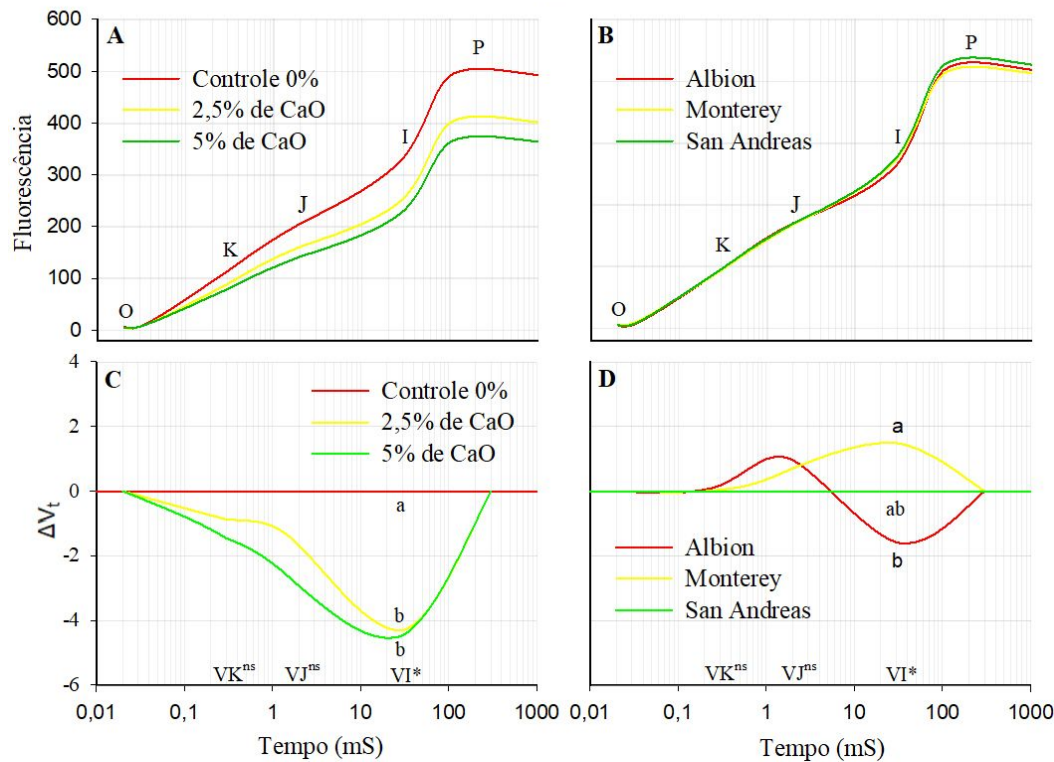


Figura 5: Etapas da curva O, K, J, I e P, (A) efeito da aplicação dos filmes de partícula de cálcio (CaO), (B) efeito promovido cultivares. Fluorescência variável relativa $\Delta V_t = ((F_{tratamento} - F_{Otratamento}) / F_{vtratamento}) - (F_{controle} - F_{Ocontrole}) / F_{vcontrole}$, (C) efeito da aplicação dos filmes de partícula de cálcio (CaO), (D) efeito promovido cultivares, para a estação da primavera. A fluorescência do tratamento controle e da cultivar SA foram usadas como referência e iguais a 0, para o período da primavera. Valores de fluorescência variável relativa seguidos por letras distintas na coluna diferem pelo teste de Tukey. Nível de significância: * ($p \leq 0,05$), ns (não significativo).

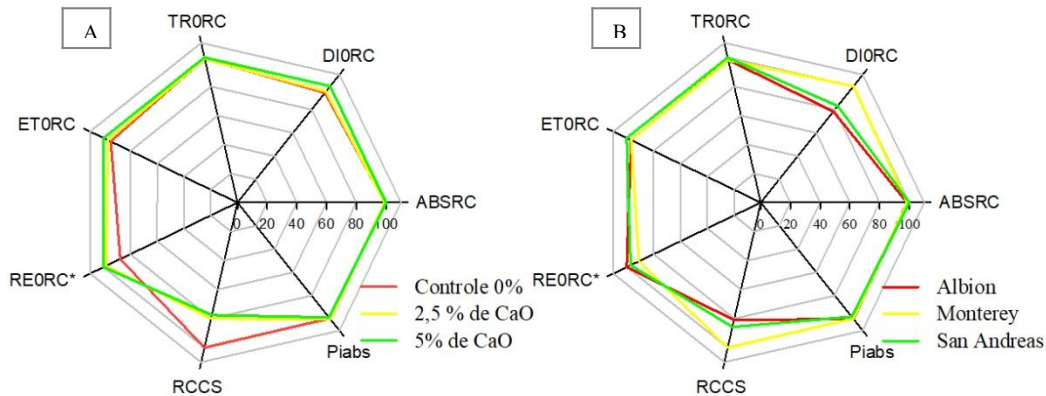


Figura 6: Fluxos fenomenológicos de energia por centro de reação (RC), (A) em resposta aos tratamentos com filme, (B) resposta das diferentes cultivares, para a estação da primavera. ABSRC, fluxo de absorção por RC; TR0RC, fluxo de energia aprisionado por RC; ET0RC, fluxo de elétrons da QA para PQ por RC; RE0RC, fluxo de elétrons da QA até os aceptores finais do PSI por RC; DI0RC, fluxo de energia dissipada por RC; RCCS, densidade de centros de reação (QA reduzindo centros de reação de PSII) por seção transversal; Piabs, Índice de performance sobre absorção de base. Nível de significância: * ($p \leq 0,05$), ns (não significativo).

5.4. Conclusão

Entre as cultivares avaliadas a San Andreas destacou-se pela maior produtividade (número de infrutescência e produção por planta), infrutescências; a cultivar Albion apresentou a maior massa média, o diâmetro médio das infrutescências não foi afetado pelas cultivares.

Os índices de clorofila foram afetados pela aplicação dos filmes e pelas cultivares, com os maiores valores nas plantas que receberam a aplicação dos filmes 2,5% e 5%; entre as cultivares, a San Andreas apresentou maiores índices.

A aplicação do filme de partícula de CaO nas plantas pode atuar preservando o aparato fotossintético, pela formação de uma camada protetora contra o excesso de radiação solar e temperatura, porém não promoveu ganhos de produtividade e de qualidade das infrutescências.

As características sensoriais das infrutescências foram afetadas pelas cultivares, sendo a Monterey a menos ácida e com maior pH, a Albion com maiores teores de acidez titulável, porém todas dentro de características exigidas e desejadas pelos consumidores.

O cultivo de morango em sistema semi-hidropônico em região tropical de baixa altitude proporcionou uma produtividade satisfatória, principalmente para a cultivar San Andreas e obtenção de infrutescências com qualidade sensorial dentro de padrões mínimos exigidos pelo mercado para as três cultivares.

5.5. Referências Bibliográficas

- Abade, M. T. R.; Klosowski, É. S.; Rocha, M. E. L.; Coutinho, P. W. R.; De Souza, F. L. B.; Barabasz, R. F. 2019. Morfometria de cultivares de rúcula sob telas de sombreamento e pleno sol na primavera. **Agrometeoros**, 27(1), 217-226. DOI: <http://dx.doi.org/10.31062/agrom.v27i1.26578>.
- Abdallah, M.M.S.; El-Bassiouny, H.M.S.; AbouSeeda, M.A. 2019. Potential role of kaolin or potassium sulfate as anti-transpirant on improving physiological, biochemical aspects and yield of wheat plants under different watering regimes. **Bulletin of the National Research Centre**, 43(134). <https://doi.org/10.1186/s42269-019-0177-8>.
- Abreu, D.P.; Roda, N. M.; Krohling, C.A.; Campostrini, E.; Rakocovic, M. 2023. Kaolin particle film mitigates supra-optimal temperature stress effects at leaf scale and increases bean size and productivity of Coffea canephora. **Experimental Agriculture**, 59(13). <https://doi.org/10.1017/S001447972300011X>.
- Abreu, D. P.; Roda, N. M.; Abreu, G. P.; Bernado, W. P.; Rodrigues, W. P.; Campostrini, E.; Rakocovic, M. 2022. Kaolin Film Increases Gas Exchange Parameters of Coffee Seedlings During Transference From Nursery to Full Sunlight. **Frontiers in Plant Science**, 12. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.784482>.
- Almeida, I. R.; Antunes, L. E. C.; Reisser Junior, C.; Steinmetz, S.; Carvalho, F. L. C. 2009. Potenciais regiões produtoras de morango durante a primavera e verão e riscos de ocorrência de geada na produção de inverno no estado do Rio Grande do Sul. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 5 p. (Embrapa Clima Temperado. Comunicado técnico, 229).
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2020.109601>.
- Antunes, L.E.C.; Reisser Júnior, C.; Schwengber, J.E. (editores técnicos). 2016. Morangueiro. Brasília, DF: Embrapa, 589 p.

- AOAC Official Method 942.15. Acidity (Titratable) of Fruit Products. 2023. Official Methods of Analysis of AOAC INTERNATIONAL, (22^o Edition), New York, <https://doi.org/10.1093/9780197610145.003.3390>.
- Balasooriya, B.L.H.N.; Dassanayake, K.; Ajlouni, S. 2020. High temperature effects on strawberry fruit quality and antioxidant contents. **Acta Horticulturae**, 1278, 225-234. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2020.1278.33>.
- Balasooriya, H. 2018. Impact of elevated CO₂ and high temperature on strawberry micronutrients. **Chronica Horticulturae**, 58(1).
- Becker, T. B.; Schiavon, A. V.; Delazeri, E. E.; Antunes, L. E. C. 2020. Qualidade de morangos em cultivo sem solo sob diferentes soluções nutritivas. **Scientia Rural**, 22.
- Bortolozzo, A. R.; Valdebenito-Sanhueza, R. M.; Melo, G. W. B. De; Kovalski, A.; Bernardi, J.; Hoffmann, A.; Botton, M.; Freire, J. De M.; Braghini, L. C.; Vargas, L.; Calegario, F. F.; Ferla, N. J.; Pinent, S. M. J. 2007. Produção de morangos no sistema semihidropônico. Bento Gonçalves-RS: Embrapa Uva e Vinho.
- Brasil. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Agrofit. Disponível em: https://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons. Acesso em: 20 jun. 2022
- Brito, G. G.; Sofiatti, V.; Brandão, Z. N.; Silva, V. B.; Silva, F. M.; Silva, D. A. 2011. Non-destructive analysis of photosynthetic pigments in cotton plants. **Acta Scientiarum Agronomy**, 33(4), 671-678. <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v33i4.10926>.
- Brito, C.; Dinis, L.-T.; Moutinho-Pereira, J.; Correia, C. 2019. Kaolin an emerging tool to alleviate the effects of abiotic stresses on crop performance. **Scientia Horticulturae**, v. 250, p. 310-316. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.02.070>
- Calvete, E. O.; Mariani, F.; Wesp, C. L.; Nienow, A. A.; Castilhos, T.; Cecchetti, D. 2008. Fenologia, produção e teor de antocianinas de cultivares de morangueiro em ambiente protegido. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, 30(2). <https://doi.org/10.1590/S0100-29452008000200022>.
- Cantillano, R. F. F.; Silva, M. M. 2010. Manuseio pós-colheita de morangos. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 36 p. (Embrapa Clima Temperado. Documentos, 318).
- CEAGESP. 2016. A medida da doçura das frutas. Cartilha Técnica. São Paulo: Companhia de Entrepósitos e Armazéns Gerais de São Paulo, 17 p. Disponível em: <https://ceagesp.gov.br/wp-content/uploads/2021/01/MedidadoSaborBrix02022017.pdf>. Acesso em: 16 jun. 2024.
- Chen, J.; Wu, S.; Dong, F.; Li, J.; Zeng, L.; Tang, J.; Gu, D. 2021. Mechanism Underlying the Shading-Induced Chlorophyll Accumulation in Tea Leaves. **Frontiers in Plant Science**, 12. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.779819>.
- Costa, S. I.; Carvalho, S. F.; Picolotto, L.; Rutz, L. N.; Cantillano, R. F. F.; Antunes, L. E. C. 2011. Morangos da cultivar Monterey armazenados sob refrigeração. Apresentado no Encontro de Iniciação Científica, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, RS.
- Dantas, E. da S.; Rebouças, T. N. H.; Luz, J. M. Q.; Amaral, C. L. F. 2017. Frutos de cultivares de morangueiros submetidos ao 1-mcp em temperatura refrigerada. **Scientia Plena**, 13(9). <https://doi.org/10.14808/sci.plena.2017.090202>.
- Darnell, R. L.; Cantliffe, D. J.; Kirschbaum, D. S.; Chandler, C. K. 2003. The physiology of flowering in strawberry. **Horticultural Reviews**, 28, 325-349. <https://doi.org/10.1002/9780470650851.ch6>.
- Dias, M. S. C.; Silva, J. J. C.; Pacheco, D. D.; Rios, S. A.; Lanza, F. E. 2007. Produção de morangos em regiões não tradicionais. **Informe Agropecuário**, 28(236), 24-33.
- Díaz-Galián, M. V.; Torres, M.; Sanchez-Pagán, J. D.; Navarro, P. J.; Weiss, J.; Egea-Cortines, M. 2021. Enhancement of strawberry production and fruit quality by blue and red LED lights in research and commercial greenhouses. **South African Journal of Botany**, 140, 269-275. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2020.05.004>.

- Dinis, L.T.; Ferreira, H.; Pinto, G.; Bernardo, S.; Correia, C.M.; Moutinho-Pereira, J. 2016. Kaolin-based, foliar reflective film protects photosystem II structure and function in grapevine leaves exposed to heat and high solar radiation. **Photosynthetica**, 54(1), 47-55. <https://doi.org/10.1007/s11099-015-0156-8>.
- Dinis, L.T.; Bernardo, S.; Luzio, A.; Pinto, G.; Meijón, M.; Pintó-Marijuan, M.; Cotado, A. 2018. Kaolin modulates ABA and IAA dynamics and physiology of grapevine under Mediterranean summer stress. *Journal of Plant Physiology*, 220, 181–192. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2017.11.007>.
- Falker Automação Agrícola Ltda. 2018. CFL1030 Medidor Eletrônico de Teor de Clorofila. Porto Alegre, Brasil.
- Fan, Y.; Chen, J.; Wang, Z.; Tan, T.; Li, S.; Li, J.; Wang, B.; Zhang, J.; Cheng, Y.; Wu, X.; Yang, W.; Yang, F. 2019. Soybean (*Glycine max* L. Merr.) seedlings response to shading: Leaf structure, photosynthesis and proteomic analysis. **BMC Plant Biology**, 19(34). <https://doi.org/10.1186/s12870-019-1633-1>.
- Ferreira, J. A. B.; Silva-Mann, R.; Oliveira Júnior, L.F.G. 2021. Genes to Monitor Ecophysiological Parameters for Plants Under Abiotic Stress Conditions. **American Academic Scientific Research Journal for Engineering, Technology, and Sciences**, 82(1), 78–98.
- Filgueira, F. A. R. 2008. Novo Manual de Olericultura: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças. 3. ed. Viçosa, MG: Editora UFV.
- Franco, E. O.; Uliana, C.; Lima, C. S. M. 2017. Características físicas e químicas de morango 'San Andreas' submetido a diferentes posicionamentos de slab, densidades de plantio e meses de avaliação. **Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha**, 18(2), 115-120.
- Fussy, A.; Papenbrock, J. 2022. An overview of soil and soilless cultivation techniques - chances, challenges and the neglected question of sustainability. **Plants**, 11(9), 1153. <https://doi.org/10.3390/plants11091153>.
- Gharaghani, A.; Javarzari, A.M.; Vahdati, K. 2018. Kaolin particle film alleviates adverse effects of light and heat stresses and improves nut and kernel quality in Persian walnut. **Scientia Horticulturae**, 239, 35-40. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.05.024>.
- Giampieri, F.; Tulipani, S.; Alvarez-Suarez, J. M.; Quiles, J. L.; Mezzetti, B.; Battino, M. 2012. The strawberry: composition, nutritional quality, and impact on human health. **Nutrition**, 28(1), 9-19. <https://doi.org/10.1016/j.nut.2011.08.009>.
- Glenn, D.M.; Erez, A.; Puterka, G. J.; Gundrum, P. 2003. Particle films affect carbon assimilation and yield in 'Empire' Apple. *Journal of the American Society for Horticultural Science*. **American Society for Horticultural Science**, 128(3), 356-362.
- Gonçalves, J.F.C.; Silva, C.E.; Guimarães, D.G.; Bernardes, R.S. 2010. Análise dos transientes da fluorescência da clorofila a de plantas jovens de *Carapa guianensis* e de *Dipteryx odorata* submetidas a dois ambientes de luz. **Acta Amazonica**, 40(1), 89-98. <https://doi.org/10.1590/S0044-59672010000100012>.
- Gonzalez-Fuentes, J.A.; Shackel, K.; Heinrich Lieth, J.; Albornoz, F.; Benavides-Mendoza, A.; Evans, R.Y. 2016. Diurnal root zone temperature variations affect strawberry water relations, growth, and fruit quality. **Scientia Horticulturae**, 203, 169-177. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2016.03.039>.
- Guarçoni, A.; Esposti, M. D. D.; Caetano, L. C. S. 2023. Doses de nitrogênio e potássio para fertirrigação do morangueiro e sua influência em características químicas do solo. **Scientia Plena**, 19(8). <https://doi.org/10.14808/sci.plena.2023.080201>.
- Guha, A.; Sengupta, D.; Reddy, A.R. 2013. Polyphasic chlorophyll a fluorescence kinetics and leaf protein analyses to track dynamics of photosynthetic performance in mulberry during progressive drought. **Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology**, 119, 71-83. <https://doi.org/10.1016/j.jphotobiol.2012.12.006>.

- Instituto Adolfo Lutz. 1985. Normas Analíticas do Instituto Adolfo Lutz. v. 1: Métodos químicos e físicos para análise de alimentos, 3. ed. São Paulo: IMESP, p. 27.
- IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. Sexto Relatório de Avaliação do IPCC: Impactos, Adaptação e Vulnerabilidade. Disponível em: <<https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2>>. Acesso em: 03 out. 2022.
- Jedrowski, C.; Brüggemann, W. 2015. Imaging of fast chlorophyll fluorescence induction curve (OJIP) parameters, applied in a screening study with wild barley (*Hordeum spontaneum*) genotypes under heat stress. **Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology**, 151, 153-160. <https://doi.org/10.1016/j.jphotobiol.2015.07.020>.
- Kalaji, H. M.; Ražková, L.; Paganová, V.; Swoczyna, T.; Rusinowski, S.; Sitko, K. 2018. Can chlorophyll-a fluorescence parameters be used as bio-indicators to distinguish between drought and salinity stress in *Tilia cordata* Mill? **Environmental and Experimental Botany**, 152, 149-157, <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2017.11.001>.
- Khammayom, N.; Maruyama, N.; Chaichana, C. 2022. The Effect of Climatic Parameters on Strawberry Production in a Small Walk-In Greenhouse. **AgriEngineering**, 4(1), 104-121. <https://doi.org/10.3390/agriengineering4010007>.
- Krüger, E.; Will, F.; Kumar, K.; Celejewska, K.; Chartier, P.; Masny, A.; Mott, D.; Petit, A.; Savini, G.; Sønsteby, A. 2021. Influence of Post Flowering Climate Conditions on Anthocyanin Profile of Strawberry Cultivars Grown from North to South Europe. **Applied Sciences**, 11(3), 1326. <https://doi.org/10.3390/app11031326>.
- Lema-Rumińska, J.; Kulus, D.; Tymoszek, A.; Miler, N.; Wozny, A.; Wenda-Piesik, A. 2021. Physiological, Biochemical, and Biometrical Response of Cultivated Strawberry and Wild Strawberry in Greenhouse Gutter Cultivation in the Autumn-Winter Season in Poland-Preliminary Study. **Agronomy**, 11(8), 1633. <https://doi.org/10.3390/agronomy11081633>.
- Li, Y.; Liu, C.; Zhang, J.; Yang, H.; Xu, L.; Wang, Q.; Sack, L.; Wu, X.; Hou, J.; He, N. 2018. Variation in leaf chlorophyll concentration from tropical to cold[1]495 temperate forests: association with gross primary productivity. **Ecological Indicators**, 85, 383–389. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2017.10.025>.
- Maswada, H.F.; Djanaguiraman, M.; Prasad, P.V.V. 2018. Response of photosynthetic performance, water relations and osmotic adjustment to salinity acclimation in two wheat cultivars. **Acta Physiol Plant**, 40(105). <https://doi.org/10.1007/s11738-018-2684-x>.
- Menezes Júnior, F. O. G.; Souza, A. G.; Saraiva, F. R. S. 2023. Qualidade dos frutos de cultivares de morangueiro submetidos a pulverização com nutrientes em sistema semi-hidropônico. **Revista Vértices**, 25(1), 25116681. <https://doi.org/10.19180/1809-2667.v25n12023.16681>.
- Menezes Júnior, F. O. G.; Vieira Neto, J.; Resende, R. S. 2018. Produção de cultivares de morangueiro em sistema semihidropônico sob diferentes substratos e densidades populacionais. **Revista Thema**, 15(1), 79-92. <https://doi.org/10.15536/thema.15.2018.79-92.798>.
- Menzel, C.M. 2022. Effect of Temperature on Soluble Solids Content in Strawberry in Queensland, Australia. **Horticulturae**, 8(5), 367. <https://doi.org/10.3390/horticulturae8050367>.
- Miranda, F. R.; Pessoa, P. F. A. P.; Silva, C. F. B. da; Mesquita, A. L. M.; Rossetti, A. G. (2014). Produção de Morangos em Sistema Hidropônico Fechado, Empregando Substrato de Fibra de Coco, na Serra da Ibiapaba, CE. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical. (Circular Técnica, 46).
- Nunes, M.C.N.; Brecht, J.K.; Morais A.M.M.B.; Sargent, S.A. 2005. Physicochemical changes during strawberry development in the field compared with those that occur in

- harvested fruit during storage. **Journal Of The Science Food and Agriculture**, 86:180-190. <https://doi.org/10.1002/jsfa.2314>.
- Oliveira, A. P.; Dinis, L.-T. R.; Barbosa, N. T. B.; Mattos, E. C.; Fontes, P. T. N.; Carnelossi, M. A. G.; Fagundes, J. L.; Silva, E. C.; Oliveira Junior, L. F. G. 2021b. Calcium particle films promote a photoprotection on sweet potato crops and increase its productivity. **Theoretical and Experimental Plant Physiology**, 33(1), 29-41,. <https://doi.org/10.1007/s40626-020-00192-9>.
- Oliveira, A.; Dinis, L.-T.; Santos, A.A.; Fontes, P.; Carnelossi, M.; Fagundes, J.; Oliveira-Júnior, L. 2022. Particle Film Improves the Physiology and Productivity of Sweet Potato without Affecting Tuber's Physicochemical Parameters. **Agriculture**, 12(4), 558. <https://doi.org/10.3390/agriculture12040558>.
- Oliveira, A.P.; Fontes, P.T.; Maciel, L.B.S.; Fagundes, J.L.; Carnelossi, M.A.G.; Oliveira Júnior, L.F.G. 2021a. Physiological performance, bromatological quality, and productivity of sweet potato using calcium oxide particle film. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 56, 01789. <https://doi.org/10.1590/S1678-3921.pab2021.v56.01789>.
- Oliveira, Í.P. de; Belarmino, L.C.; Belarmino, A.J. 2017. Viabilidade da produção de morango no sistema semi-hidropônico recirculante. **Custos e Agronegócio**, 13(1), 315-332.
- Opti-Sciences, Inc. 2016. OS-30p Portable Fluorimeter. Hudson, New Hampshire, USA: Opti-Sciences, Inc.
- Osatuke, A.; Pritts, M. 2021. Strawberry Flavor Is Influenced by the Air Temperature Differential during Fruit Development but Not Management Practices. **Agronomy**, 11(3), 606. <https://doi.org/10.3390/agronomy11030606>.
- Paulus, D.; Santin, A.; Becker, D. 2024. Potencial produtivo e qualidade de frutos de cultivares de morangueiro em substrato. **Revista Observatorio de la Economía Latinoamericana**, 22(6), 01-22. <https://doi.org/10.55905/oelv22n6-022>.
- PBMH e PIMo - Programa Brasileiro Para a Modernização Da Horticultura e Produção Integrada de Morango. 2009. Normas de Classificação de Morango. São Paulo: CEAGESP, (Documentos, 33).
- Pinheiro, D. F.; Diniz, F. C. P.; Resende, J. T. V.; Lustosa, S. B. C. 2023. Ensaio físico-químico de diferentes cultivares de morango cultivadas sob sistema convencional na região centro-oeste do Paraná. **Brazilian Journal of Development**, 9(5), 14839-14846. <https://doi.org/10.34117/bjdv9n5-023>.
- Polat, M.; Okatan, V.; Durna, B. 2016. EFFECT OF DIFFERENT DOSES OF POTASSIUM ON THE YIELD AND FRUIT QUALITY OF 'ALBION' STRAWBERRY CULTIVAR. **Scientific Papers. Series B, Horticulture**, 60, 75-78.
- Porcar-Castell, A.; Tyystjärvi, E.; Atherton, J.; Van Der Tol, C.; Flexas, J.; Pfündel, E.E.; Moreno, J.; Frankenberg, C.; Berry, J.A. 2014. Linking chlorophyll a fluorescence to photosynthesis for remote sensing applications: mechanisms and challenges. **Journal of Experimental Botany**, 65(15), 4065-4095. <https://doi.org/10.1093/jxb/eru191>.
- R Core Team (2023). *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <<https://www.R-project.org/>>.
- Rego, G.M.; Possamar, E. 2011. Efeito do sombreamento sobre o teor de clorofila e crescimento inicial do Jequitibá-rosa. **Pesquisa Florestal Brasileira**, 53, 179.
- Ronque, E. R. V. 1998. Cultura do morangueiro: revisão prática. Curitiba: EMATER IPR. 206 p.
- Russo, V.M.; Díaz-Pérez, J.C. 2005. Kaolin-based Particle Film Has No Effect on Physiological Measurements, Disease Incidence or Yield in Peppers. **HortScience HortSci**, 40(1), 98-101. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.40.1.98>.
- Sharma, N.; Acharya, S.; Kumar, K.; Singh, N.; Chaurasia, O.P. 2018. Hydroponics as an advanced technique for vegetable production: an overview. **Journal of Soil and Water Conservation**, 17, 364-371, <https://doi.org/10.5958/2455-7145.2018.00056.5>.

- Sharma, R. R.; Reddy, S. V. R.; Datta, S. C. 2015. Particle films and their applications in horticultural crops. **Applied Clay Science**, 116, 54-68. <https://doi.org/10.1016/j.clay.2015.08.009>.
- Silva, A.; Souza, J.M.; Pádua, G.M.S.; Santos, A.C.R.; Vasconcelos, L.G.; Dall'Óglio, E.L.; Bellet, B.S.; Veiga, T.A.M.; Vieira, L.C.C.; Sampaio, O.M. 2024. Inibidores do fotossistema II: uma perspectiva aleloquímica. **Quim. Nova**, 47(2), 1-11. <http://dx.doi.org/10.21577/0100-4042.20230097>.
- Silva, P. S. O.; Oliveira, L. F. G.; Mattos, E. C.; Maciel, L. B. S.; Santos, M. P. F.; Sena, E. O. A.; Barbosa, N. T. B.; Carnellosi, M. A. G.; Fagundes, J. L. 2019b. Calcium particle films promote artificial shading and photoprotection in leaves of American grapevines (*Vitis labrusca* L.). **Scientia Horticulturae**, 252(1), 77-84. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.03.041>.
- Silva, P. S. O.; Oliveira, L. F. G.; Gonzaga, M. I. S.; Sena, E. O. A.; Maciel, L. B. S.; Fiaes, M. P.; Mattos, E. C.; Carnellosi, M. A. G. 2019. Effects of calcium particle films and natural shading on ecophysiological parameters of conilon coffee. **Scientia Horticulturae**, 245(1), 171-177. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.10.010>.
- Song, J.; Shellie, K. C.; Wang, H.; Qian, M. C. 2012. Influence of deficit irrigation and kaolin particle film on grape composition and volatile compounds in Merlot grape (*Vitis vinifera* L.). **Food Chemistry**, 134(2), 841-850. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.02.193>.
- Sønsteby, A.; Solhaug, K.A.; Heide, O.M. 2016. Functional growth analysis of 'Sonata' strawberry plants grown under controlled temperature and daylength conditions. **Scientia Horticulturae**, 211, 26-33. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2016.08.013>.
- Taiz, L.; Zeiger, E.; Møller, I. M.; Murphy, A. 2017. Fisiologia e Desenvolvimento Vegetal. 6. ed. Porto Alegre: Artmed.
- UC (University of California, Davis campus). 2010. Strawberry Licensing Program. Disponível em: <https://research.ucdavis.edu/technology-transfer/plant-variety-licensing-program/strawberry-licensing-program/#toggle-id-6>. Acesso em : 01/06/2024.
- van der Westhuizen, M.; Oosterhuis, D.; Berner, J.; Boogaers, N. (2020). Chlorophyll a fluorescence as an indicator of heat stress in cotton (*Gossypium hirsutum* L.). **South African Journal of Plant and Soil**, 37(2), 116–119. <https://doi.org/10.1080/02571862.2019.1665721>.
- Vaughan, J. G.; Geissler, C. A. The new Oxford book of food plants. 1997. New York: Oxford University, 237p. *apud* ANTUNES, L.E.C.; REISSER JÚNIOR, C.; SCHWENGBER, J.E. (editores técnicos). **Morangueiro**. 2016. Brasília DF: Embrapa, 589 p.
- Villagrán, V. D.; Lagarraga, M. D.; Zschau, B. V. Variedades de frutilla. In. Undurraga, P.; Vargas, S. (Ed.). 2013. Manual de frutilla. Chillán: Centro Regional de Investigación Quilamapu, 21-30. (Boletín INIA, n. 262).
- Wu, T.; Weaver, D. B.; Locy, R. D.; McElroy, S.; Van Santen, E. 2014. Identification of vegetative heat-tolerant upland cotton (*Gossypium hirsutum* L.) germplasm utilizing chlorophyll fluorescence measurement during heat stress. **Plant Breeding**, 133(2), 250-255. <https://doi.org/10.1111/pbr.12139>.
- Yi, Q.; Jiapaer, G.; Chen, J.; Bao, A.; Wang, F. 2014. Different units of measurement of carotenoids estimation in cotton using hyperspectral indices and partial least square regression. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, 91(1), 72-84, <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2014.01.004>.
- Zhang, C.; Guo, C.; Liu, F.; Kong, W.; He, Y.; Lou, B. 2016. Hyperspectral imaging analysis for ripeness evaluation of strawberry with support vector machine. **Journal of Food Engineering**, 179, 11-18. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2016.01.002>.

Zhang, W.; Seki, M.; Furusaki, S. 1997. Effect of temperature and its shift on growth and anthocyanin production in suspension cultures of strawberry cells. **Plant Science**, 127(2), 207-214. [https://doi.org/10.1016/S0168-9452\(97\)00124-6](https://doi.org/10.1016/S0168-9452(97)00124-6).

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os filmes de partícula de cálcio podem auxiliar no estabelecimento da cultura do morango em região de clima tropical de baixa altitude, principalmente sob condições de maior estresse como o cultivo em solo.

Entre os sistemas de cultivo, o sistema semi-hidropônico demonstrou ser uma alternativa mais promissora, pois foi possível atingir nível de produtividade satisfatório e próximo aos registrados na literatura, produzindo frutos de qualidade satisfatória.

Dentre as cultivares, a San Andreas apresentou-se como a mais indicada para a região, pois demonstrou as maiores produtividade e infrutescências com padrão de qualidade satisfatório.

Como sugestões de futuras pesquisas recomenda-se abordar fatores como maior espaçamento entre plantas e maior volume de substrato, estudo sugerido porque as plantas nesta região tendem a desenvolver um porte maior em comparação com aquelas em regiões de clima mais ameno.

Outra sugestão de estudos seria avaliar parâmetros relacionados à concentração e composição da solução nutritiva para o cultivo semi-hidropônico, principalmente a concentração do nitrogênio, elemento diretamente relacionado ao desenvolvimento vegetativo e porte da planta, em virtude da composição das soluções encontradas na literatura terem sido desenvolvidas para regiões de clima subtropical e temperado.

ANEXOS

Artigo 1: Experimento de campo



Figura 1: Sistema de irrigação localizado com fitas gotejadoras.



Figura 2: (A) canteiro com cobertura instalada (*mulching*), (B) cobertura do canteiro com plástico transparente (túnel baixo).



Figura 3: Mudanças importadas, com raiz nua, com sistema radicular e coroa.



Figura 4: Período inicial de estabelecimento das mudas.



Figura 5: Início do período reprodutivo logo após o plantio.



Figura 6: Aplicação dos tratamentos (filmes).



Figura 7: Plantas que receberam a aplicação dos tratamentos (filmes).



Figura 8: Fase reprodutiva com infrutescências em ponto de colheita.

Artigo 2: Experimento em sistema semi-hidropônico



Figura 1: Estrutura pronta para receber as mudas, vaso preenchido com substrato e disposto na bancada e túnel baixo com plástico transparente instalado.



Figura 2: Período inicial de estabelecimento das mudas.



Figura 3: Início do período reprodutivo logo após o plantio.



Figura 4: Plantas tratadas com a aplicação dos filmes ao lado das plantas do tratamento controle.



Figura 5: Fase reprodutiva com infrutescências em ponto de colheita.



Figura 6: Fase reprodutiva com infrutescências em ponto de colheita.



Figura 7: Fase reprodutiva com infrutescências em ponto de colheita.



Figura 8: Fase reprodutiva com infrutescências em ponto de colheita.