

**Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**

**Fisiologia da produção da framboeseira (*Rubus idaeus*) relacionada
a fatores ambientais e culturais**

Ricardo Bordignon Medina

Tese apresentada para obtenção do título de Doutor
em Ciências. Área de concentração: Fisiologia e
Bioquímica de Plantas

**Piracicaba
2021**

Ricardo Bordignon Medina
Engenheiro Agrônomo

**Fisiologia da produção da framboeseira (*Rubus idaeus*) relacionada a
fatores ambientais e culturais**

Orientador:
Prof. Dr. **MARCEL BELLATO SPÓSITO**

Tese apresentada para obtenção do título de Doutor
em Ciências. Área de concentração: Fisiologia e
Bioquímica de Plantas

Piracicaba
2021

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
DIVISÃO DE BIBLIOTECA – DIBD/ESALQ/USP**

Medina, Ricardo Bordignon

Fisiologia da produção da framboeseira (*Rubus idaeus*) relacionada a fatores ambientais e culturais / Ricardo Bordignon Medina. - - Piracicaba, 2021.

88 p.

Tese (Doutorado) - - USP / Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz".

1. Telas fotosselativas 2. Cwa 3. Subtropical 4. Sombreamento 5. Anatomia 6. Fenologia 7. Podas I. Título

Dedico

A todos os amantes das pequenas frutas.

Aos produtores rurais, que incansavelmente, de sol a sol, cumprem a missão de alimentar a população.

Aos pesquisadores que travam batalhas diárias para realizar suas pesquisas, buscando elucidar questões científicas e trazer inovações para um mundo mais sustentável.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pelas constantes bênçãos em minha vida.

À ESALQ/USP por ser a minha casa nos últimos 14 anos.

À minha família, pelo apoio incondicional em todos os momentos da minha vida. Por serem fundamentais na minha trajetória até aqui.

À Yane Caroline dos Anjos Bezerra, pelo companheirismo e imenso apoio na trajetória do meu doutorado e na minha vida. Por ser a base que mantém de pé a minha vida.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Marcel Bellato Spósito, pela orientação, ensinamentos, apoio e amizade ao longo desta etapa.

Ao Prof. Dr. Paulo Hercílio Viegas Rodrigues, pela troca de experiências de cultivos sob telas, pela amizade e por gentilmente ceder a casa de vegetação utilizada em experimentos desta tese.

Ao Prof. Dr. Ricardo Kluge, pela amizade, pela troca de experiências sobre pós-colheita e por gentilmente ceder seu laboratório para as análises de pós-colheita que compõem esta tese.

À equipe PColheit, pelas amizades e inúmeras ajudas prestadas nas análises laboratoriais que compõem esta tese.

À Profa. Dra. Beatriz Appezzato-da-Glória, pelas orientações sobre anatomia vegetal e por gentilmente ceder seu laboratório para as análises anatômicas que compõem esta tese.

À Maria Solizete Granzioi Silva, pelos anos de amizade e orientações de apoio à pós-graduação.

Ao produtor e consultor Rodrigo Veraldi Ismael, pelas discussões técnicas acerca das pesquisas realizadas nesta tese, além do fornecimento de mudas para ensaios realizados nesta tese.

À Profa. Dra. Jaqueline Visioni Tezotto-Uliana, pela amizade ao longo dos anos e por me incentivar a trabalhar com framboesas.

Ao Prof. Dr. Sergio Ruffo, pelas orientações iniciais destes experimentos e pelas contribuições científicas como membro da banca examinadora desta tese.

Aos Professores Dr. Garry Gao, Dra. Chieri Kubota e os membros de suas equipes na The Ohio State University, pelo apoio científico, amizade e financiamento durante meu intercâmbio. Aos meus colegas de Columbus, Victor, Paula e Daher.

Ao Prof. Dr. Paulo Mazzafera, pelo auxílio com as análises de amido em raiz, e pela rica discussão sobre compostos fenólicos de framboeseiras.

Ao produtor e amigo Luis Milner, pela orientação da fertirrigação das plantas e trocas de experiências no cultivos de *berries*.

Ao Técnico Agrícola Éder de Araújo Cintra, pelos longos anos de amizade, por ser um “pai” para mim durante toda a minha trajetória na ESALQ.

Aos grandes amigos que fiz durante minha passagem pela Pós-Graduação da ESALQ e que muito somaram à minha trajetória, em especial ao Matheus Luis Docema (Chicão), Caio Morais de Alcântara Barbosa, Thais Silvestre, Márcia Gonçalves Dias, Estevan Cason (Larva).

À Eliana Garcia, pela revisão e formatação desta tese.

À Capes pelas bolsas de estudo e PDSE a mim concedidas.

Ao CNPq, pela bolsa de estudos a mim concedida.

Aos colegas de pós-graduação aos docentes e funcionários da ESALQ/USP que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho.

Scientia Vincet

“Vencerás pela ciência”

Lema da Universidade de São Paulo.

SUMÁRIO

RESUMO.....	9
ABSTRACT	11
1. INTRODUÇÃO GERAL	13
Referências.....	16
2. SISTEMAS DE PRODUÇÃO DE FRAMBOESEIRAS REMONTANTES EM REGIÃO DE CLIMA SUBTROPICAL	19
Resumo	19
Abstract.....	19
2.1 Introdução.....	20
2.2 Material e métodos	22
2.2.1 Material vegetal e descrição da área de estudo	22
2.2.2 Tratamentos e delineamento experimental	22
2.2.3 Desenvolvimento vegetativo	23
2.2.4. Aspectos da produção e pós-colheita	24
2.2.5 Biomassa radicular e acúmulo de amido.....	24
2.2.6 Análise estatística	25
2.3 Resultados.....	25
2.4 Discussão	32
2.5 Conclusão.....	35
Referências.....	35
3. FISIOLOGIA DA PRODUÇÃO DE FRAMBOESEIRAS CULTIVADAS SOB TELAS FOTOSSELETIVAS EM AMBIENTE PROTEGIDO	39
Resumo	39
Abstract.....	39
3.1 Introdução.....	40
3.2 Material e métodos	41
3.2.1 Material vegetal e descrição da área de estudo	41
3.2.2 Tratamentos e delineamento experimental	42
3.2.3 Caracterização dos ambientes de cultivo	42
3.2.4. Desenvolvimento vegetativo e fotossíntese	43
3.2.5 Aspectos da produção e pós-colheita	43
3.2.6 Análise estatística	44

3.3 Resultados	44
3.4 Discussão.....	53
3.5 Conclusão	56
Referências	56
4. ANATOMIA FOLIAR DE FRAMBOESEIRAS CULTIVADAS SOB TELAS FOTOSSELETIVAS EM AMBIENTE PROTEGIDO	59
Resumo.....	59
Abstract.....	59
4.1 Introdução	60
4.2 Material e métodos.....	61
4.2.1 Material vegetal e área de estudo.....	61
4.2.2 Condições dos ambientes de produção.....	62
4.2.3 Reflectância das folhas em diferentes ambientes de produção.....	62
4.2.4 Morfometria e anatomia da folha em diferentes ambientes de produção .	63
4.2.5 Teor de clorofila e carotenoides totais das folhas.....	64
4.2.6 Assimilação de CO ₂	64
4.2.7 Análise estatística.....	65
4.3 Resultados	65
4.4 Discussão.....	73
4.5 Conclusão	78
Referências	79
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	85
ANEXOS.....	87

RESUMO

Fisiologia da produção da framboeseira (*Rubus idaeus*) relacionada a fatores ambientais e culturais

A framboeseira é apreciada pelo seu sabor agradável e aspecto atrativo. Seu cultivo tipicamente ocorre em regiões frias de alta latitude e com cultivares tradicionais que exigem pronunciada estação fria para florescer e frutificar. Restrita ao sul do Brasil e à países de clima temperado, a produção não acompanha a crescente demanda nacional e internacional ao longo do ano, resultando em lacunas mercadológicas interessantes à exploração comercial. A extensão do cultivo para regiões subtropicais é uma forma de tentar suprir esta demanda. Para tal, é necessário o uso de cultivares remontantes, sem exigência de frio hibernal, e telas fotosseletivas para mitigar o estresse de calor e de radiação solar que prejudicam essa espécie no subtropico e, adicionalmente, melhorar o espectro da luz incidente nas plantas. Concomitantemente, sistemas de manejo, principalmente de podas precisam ser estudados nessas condições de clima. Alterações nas condições de cultivo resultam em mudanças na anatomia das folhas e no comportamento fisiológico e fenológico das plantas que precisam ser investigadas e compreendidas para dar suporte ao desenvolvimento agrônomo esperado em regiões não tradicionais de clima tropical e subtropical. Esses aspectos acima mencionados compreendem as investigações dessa tese na região subtropical de Piracicaba, SP, em dois ciclos produtivos com a cultivar remontante Heritage e é apresentada em três experimentos específicos. No primeiro, foram estudados o desenvolvimento vegetativo, radicular, a produção total e épocas de colheita, bem como parâmetros físico-químicos e bioquímicos da qualidade dos frutos em três sistemas de produção e podas. Os diferentes sistemas não alteraram a boa qualidade das frutas produzidas, porém modificam a produção total e intervalo de colheitas. Sistemas com um ou dois despontes induzem duas ou três colheitas por haste, sendo a produção maior durante dois ciclos do que o sistema com produção apical apenas. Na segunda investigação, foram estudadas as características de quantidade e qualidade de luz do espectro de radiação incidente sob as telas fotosseletivas preta, vermelha e azul, influenciando as taxas de assimilação de CO₂, desenvolvimento vegetativo, florescimento, frutificação e qualidade dos frutos. A pleno sol, framboesiras sofrem fotoinibição, enquanto que sob as telas, a atividade fotossintética é favorecida. A época de florescimento, colheita, quantidade de frutos por haste, tamanho e peso de frutos, teor de antocianinas, acidez e sólidos solúveis variam de acordo com a tela utilizada. Esses resultados indicam a viabilidade da cultura em clima subtropical, como também sugerem novas oportunidades de mercado com o monitoramento da qualidade visando nichos específicos de mercado, oferecimento de frutas por tempo mais longo, otimização de mão-de-obra e melhor valor de comercializações. Na terceira investigação, foram estudados os aspectos morfoanatômicos, fisiológicos e bioquímicos das folhas de plantas cultivadas sob as telas vermelha, preta, azul e cinza, em resposta à quantidade e qualidade da luz recebida. Essas telas influenciaram a reflectância espectral das folhas, teor de clorofilas, carotenoides e assimilação de CO₂, modificando também a espessura total das folhas. O parênquima paliçádico foi reduzido sob as telas cinza e azul, com área foliar inversamente relacionada a espessura deste parênquima, enquanto que a radiação fotossinteticamente ativa incidente é diretamente proporcional à espessura. A densidade estomática foi alterada, mas não o índice

estomático. Plantas a pleno sol apresentaram menores taxas fotossintéticas e menor teor de clorofila. Esse efeito positivo na fotossíntese evidencia a mitigação do estresse devido ao excesso de radiação, tendo a intensidade de luz maior influência que a qualidade nas alterações morfoanatômicas, bioquímicas e fisiológicas. Os resultados indicam ser viável cultivar framboeseira em clima subtropical e monitorar a qualidade dos frutos produzidos.

Palavras-chave: Telas fotosseletivas, Cwa, Subtropical, Sombreamento, Anatomia, Fenologia, Podas

ABSTRACT

Physiology of red raspberry (*Rubus idaeus*) related to environmental and cultural aspects

Raspberry (*Rubus idaeus*) is appreciated for its pleasant taste and attractive appearance. This berry is traditionally cultivated in temperate regions at high latitudes using high chill demanding cultivars. The growing areas are limited to temperate regions abroad and, in Brazil, to Southern states. The production from traditional areas alone doesn't fulfill the increasing year-round demand of the local and international market, creating an interesting market gap for raspberry growers. Efforts are being made to extend crop areas to subtropical regions, using primocane cultivars that doesn't require cold temperatures to induce flower buds, and photoselective nets that alter light spectrum and mitigate heat and solar radiation stresses that affect this species in the subtropic. At the same time, cultural practices, especially pruning, and harvesting methods need to be investigated in this unusual climate condition. Changes in the growing conditions alter leaves morphoanatomy, as well as physiological and phenological aspects of plants that need to be investigated and understood to support agricultural development in warm non-traditional regions. Those above-mentioned aspects comprised the overall content of this dissertation growing the primocane raspberry 'Heritage' in Piracicaba, SP, Brazil for two complete crop cycles and are presented in three specific trials. In the first one it was investigated vegetative growth, root development, and starch accumulation, yield, harvest seasons, as well as physicochemical and biochemical parameters of raspberry plants in three different production and pruning systems. The good quality of raspberries was not affected by the systems. On the other hand, yield and harvesting times however were strongly affected, with double or triple-cropping promoted by successive tippings having the highest total yield distributed in 14 months in two cycles, as compared to single primocane harvests. In the second trial, raspberries were grown under red, black, and blue photoselective nets, and the effect of the light spectrum and intensity modification in the carbon assimilation, vegetative growth, flowering, and fruiting of plants, as well as physicochemical parameters of fruits, were investigated. At the full sun, plants showed photoinhibition, whereas nets improved photosynthetic activity. The flowering and harvesting period, as well as yield, fruit weight, size, soluble solids content, titratable acidity, and anthocyanins, are affected by the type of photoselective net. These results not only indicate the viability of growing raspberries in warm Cwa climate conditions, but may represent new business opportunities, monitoring fruit quality aiming at niche markets, but also extending harvest season, achieving better selling prices. In the third experiment, morphoanatomical, physiological, and biochemical responses of raspberry leaves, grown at full sun and under red, black, blue, and gray photoselective nets as to light intensity and quality were investigated. The light transmitted by nets affected the leaf reflectance, area, thickness, cell arrangement, chlorophyll and carotenoid content, and CO₂ assimilation. Plants under blue and gray nets received the lowest photosynthetic photon flux density, had thinner but broader leaves. Leaf plasticity was observed for stomatal density, but not for stomatal index. The full sun leaves showed the lowest photosynthetic rates and lowest chlorophyll content. The positive effect of photoselective nets in photosynthesis highlights the protective effect of nets against photoinhibition and indicates that light intensity has more influence on leaf plasticity than light quality. The results observed in this thesis indicate the viability of

growing raspberries in the warm subtropical region and the monitoring of fruit quality under a controlled environment.

Keywords: Photoselective nets, Cwa, Subtropical, Shading, Anatomy, Phenology, Pruning

1. INTRODUÇÃO GERAL

O perfil do mercado nacional e mundial de frutas tem sofrido consideráveis mudanças, com acentuada diversificação qualitativa. Outrora não comercializadas, frutas nativas, exóticas e de apreciação somente familiar têm sido continuamente incorporadas a um novo mercado consumidor, ávido por diferentes produtos com sabores que evocam épocas, lugares ou situações agradáveis. Associado a um marketing expressivo e a uma crescente disposição da população para aquisição de frutas com valores adicionais à saúde, essa tendência tem resultado em uma sólida demanda de consumo que estimula sobremaneira a expansão da produção. Entre os setores mercadológicos com essa característica, encontra-se a comercialização de um grupo chamado “frutas vermelhas”, das quais podemos destacar as framboesas, mirtilos, amoras e morangos. Este grupo possui como característica comum, grande quantidade de antocianinas, responsáveis pela coloração que dá nome ao grupo, bem como pela atividade antioxidante das frutas.

Fruta de sabor peculiar e agradável, a framboesa (*Rubus idaeus* L.) apresenta comprovadamente propriedades antioxidante, anti-inflamatória, anticancerígena e cardioprotetora. Tais propriedades incentivam uma crescente demanda mundial pelo seu consumo (De Souza et al., 2014; Si et al., 2015; Klewicka et al., 2020). Tradicionalmente cultivada em regiões de clima temperado, a produção global de framboesa ainda está majoritariamente concentrada no Hemisfério Norte. Rússia, México, Sérvia, Estados Unidos da América e Polônia são os maiores produtores de framboesas, respondendo por 73% do volume total produzido em 2019 (FAO, 2021). Entretanto, o melhoramento genético, as mudanças no ambiente de produção com consequentes alterações na fisiologia das plantas e a adequação de manejo, tem possibilitado um significativo aumento da oferta de frutas com a expansão das áreas de cultivo para regiões não tradicionais (Medina, 2016; Kempler; Hall, 2013), atendendo uma demanda outrora suprida exclusivamente pela importação.

As cultivares de framboeseiras são classificadas em remontantes (ou *primocanes*) e não-remontantes (ou *floricanes*), que se diferenciam pelo hábito de frutificação. As cultivares não-remontantes apresentam ciclo bianual. Durante o primeiro ano, as hastes se desenvolvem vegetativamente na primavera e verão, passam pela indução floral no outono, entram em dormência sob baixas

temperaturas no inverno e produzem frutos na primavera e verão do segundo ano (Gambardella et al., 2015). O cultivo de variedades não-remontantes a campo fica restrito a regiões de inverno com baixas temperaturas por longos períodos de tempo, uma vez que, em regiões de clima quente, a quantidade insuficiente de horas de frio prejudica o desenvolvimento e a brotação das gemas dormentes (Pritts, 2008). Algumas estratégias são realizadas para viabilizar a produção de framboesas em regiões de clima quente ou para produções fora de época. Uma das estratégias utilizadas consiste na vernalização de cultivares não-remontantes em câmaras frias para produzir framboesas em períodos não convencionais ou em áreas sem frio hibernal (Pitsioudis et al., 2001). Embora efetivo, este processo é financeiramente dispendioso devido à necessidade de estrutura e mão-de-obra específicas.

As cultivares remontantes, por sua vez, possuem ciclo anual, e produzem frutos no ápice das hastes que se desenvolveram naquele ano (Palonen et al., 2021; Strik, 2010). A indução floral neste grupo ocorre independentemente do fotoperíodo ou da temperatura (Gambardella et al., 2015), além de poderem ser despontadas para uma segunda produção na mesma haste (Dale et al., 2005). A utilização de cultivares de framboeseiras remontantes é uma alternativa economicamente mais viável para produções em regiões sem frio hibernal, uma vez que as plantas têm o potencial de produzirem frutas o ano todo em condições de cultivo protegido (Dale et al., 2005). Framboeseiras 'Heritage', 'Autumn Bliss', 'Autumn Britten', 'Caroline', 'Himbo Top', 'Polka' e 'Sugana' são algumas das cultivares remontantes plantadas em várias regiões do mundo (Weber, 2013).

A cultivar Heritage foi desenvolvida na Universidade de Cornell, nos Estados Unidos da América, no final dos anos 60. Suas hastes são eretas e firmes e os frutos podem ser utilizados na forma *in natura* como na indústria. Por ser uma cultivar não patenteada e altamente adaptável, é amplamente utilizada em alguns países (Leiva et al., 2017; Weber, 2013). Entretanto, apesar da alta adaptabilidade de framboeseiras 'Heritage' em diversos países, em clima subtropical, devido ao excesso de radiação solar em determinadas épocas do ano, torna-se necessária a adoção de técnicas para mitigar alguns efeitos que possam prejudicar o desenvolvimento das plantas (Leiva et al., 2017)

Diversas são as técnicas utilizadas para modificar o ambiente de cultivo. Entre elas, destaca-se o uso de telas fotosseletivas em cultivo protegido visando modificar o comprimento de onda e o espectro de radiação que incide sobre as

plantas, mitigando alguns efeitos da radiação e temperaturas excessivas, reduzindo a quantidade de luz incidente, além de fornecer proteção contra agentes bióticos e abióticos (Manja; Aoun, 2019; Aoun; Manja, 2020).

Além desses efeitos benéficos diretos, o uso de telas fotosselativas pode promover mudanças na fisiologia e fenologia de plantas cultivadas (Manja; Aoun, 2019). As plantas necessitam de luz para sintetizar carboidratos no processo de fotossíntese, e possuem preferência por determinados comprimentos de onda para realizar tais funções (Taiz; Zeiger, 2004). As adaptações das plantas no seu aparato fotossintético em resposta às condições de luminosidade do ambiente em que estão submetidas afetam seu crescimento global (Engel; Poggiani, 1991), suas fases fenológicas e mesmo a qualidade dos frutos produzidos.

Os tratos culturais empregados também podem influenciar em muito o sucesso da cultura em determinados ambientes. A adoção de diferentes sistemas de produção baseados em manejo de poda depende do hábito de frutificação e do ambiente de cultivo, possuindo especial importância em espécies frutíferas, modificando o acúmulo de compostos de reserva das plantas e a qualidade de seus frutos. Desta forma, o manejo da poda deve ser específico para o ambiente em que a espécie está sendo cultivada. As recomendações de poda de framboeseira normalmente são oriundas dos países tradicionais no cultivo desta espécie ou do estado do Rio Grande do Sul, onde a fisiologia e fenologia das plantas são completamente diferentes das cultivadas em clima subtropical, com temperaturas mais quentes, como o Cwa (Köppen; Geiger, 1928). Estudos de diferentes sistemas de poda e produção que promovam alterações benéficas na fisiologia das plantas, resultando em acúmulo e melhor uso de fotoassimilados, refletindo favoravelmente na quantidade, qualidade e época de colheita dos frutos produzidos são de suma importância tanto para o entendimento dos ciclos produtivos, como para recomendação prática de manejo da framboeseira cultivada em clima subtropical.

O entendimento adequado desses vários fatores, suas interações e implicações podem determinar a viabilidade econômica da cultura em regiões não tradicionais, a abertura de novos mercados e oportunidades inéditas de inclusão social em regiões outrora marginais.

Nesta tese, os diferentes manejos de poda, com distintos sistemas de produção, o uso de telas fotosselativas, que regula a quantidade e a qualidade de luz, e as implicações desses fatores nas modificações anatômicas, fisiológicas e

bioquímicas das plantas nestes novos ambientes de produção foram estudados para avaliação de seus efeitos e a viabilidade de seu uso para se cultivar a framboeseira em regiões subtropicais. Neste contexto, a Tese foi dividida em três capítulos como se pretende publicar:

Capítulo 2: Sistemas de produção de framboeseiras remontantes em região de clima subtropical.

Capítulo 3: Fisiologia da produção de framboeseiras cultivadas sob telas fotosseletivas em ambiente protegido.

Capítulo 4: Anatomia foliar de framboeseiras cultivadas sob telas fotosseletivas em ambiente protegido.

Referências

Aoun, M., Manja, K. (2020). Effects of a photoselective netting system on Fuji and Jonagold apples in a Mediterranean orchard. *Scientia Horticulturae* 263:109104.

Dale, A., Pirgozliev, S., King, E. M., Sample, A. (2005). Scheduling primocane-fruiting raspberries (*Rubus idaeus* L.) for year-round production in greenhouses by chilling and summer-pruning of canes. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 80(3), 346-350.

De Souza, V. R., Pereira, P. A. P., da Silva, T. L. T., de Oliveira Lima, L. C., Pio, R., Queiroz, F. (2014). Determination of the bioactive compounds, antioxidant activity and chemical composition of Brazilian blackberry, red raspberry, strawberry, blueberry and sweet cherry fruits. *Food Chemistry*, 156, 362-368.

Engel, V. L., Poggiani, F. (1991). Estudo da concentração de clorofila nas folhas e seu espectro de absorção de luz em função do sombreamento em mudas de quatro espécies florestais nativas. *Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal*, 3(1), 39-45.

Food and Agriculture Organization of United Nations (FAO). Faostat. (2021). Available at: <<http://faostat.fao.org/>>. Access on: 8 May 2021.

Gambardella, M., Contreras, E., Alcalde, J., Neri, D. (2015). Phenotyping primocane fruiting trait in raspberry (*Rubus idaeus*). In *XI International Rubus and Ribes Symposium*, 1133 (pp. 67-74).

Kempler, C. H. A. I. M., Hall, H. K. (2013). World raspberry production and marketing: industry changes and trends from 1960. *Raspberries*, 2010, 213-234.

Klewicka, E., Sójka, M., Ścieszka, S., Klewicki, R., Milczarek, A., Lipińska, L., & Kołodziejczyk, K. (2020). The antimycotic effect of ellagitannins from raspberry (*Rubus idaeus* L.) on *Alternaria alternata* ŁOCK 0409. *European Food Research and Technology*, 246(7), 1341-1349.

- Köppen, W.; Geiger, R. (1928). *Klimate der Erde*. Gotha: Verlag Justus Perthes. Wall-Map 150cmx200cm.
- Leiva, C., Schmidt, C., Gajardo, G., Rodríguez, A. (2017). Manual técnico y productivo y económico bajo condición actual y clima proyectado al 2030. *Publicación CIREN*, (216).
- Manja, K., Aoun, M. (2019). The use of nets for tree fruit crops and their impact on the production: A review. *Scientia Horticulturae* 246: 110-122.
- Medina, R. B. (2016). *Desempenho de novas cultivares de mirtilheiro de baixa exigência em frio em região subtropical* (Dissertação de Mestrado, Universidade de São Paulo).
- Palonen, P., Laine, T., Mouhu, K. (2021). Floricane yield and berry quality of seven primocane red raspberry (*Rubus idaeus* L.) cultivars. *Scientia Horticulturae*, 285, 110201.
- Pitsioudis, A., Latet, G., Meesters, P. (2001). Out of season production of raspberries. In *VIII International Rubus and Ribes Symposium*, 585 (pp. 555-560).
- Pritts, M. (2008). Primocane-fruiting raspberry production. *HortScience*, 43(6), 1640-1641.
- Si, X., Chen, Q., Bi, J., Wu, X., Yi, J., Zhou, L., Li, Z. (2016). Comparison of different drying methods on the physical properties, bioactive compounds and antioxidant activity of raspberry powders. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 96(6), 2055-2062.
- Strik, B. C. (2010). Flowering and fruiting on command in berry crops. In *XXVIII International Horticultural Congress on Science and Horticulture for People (IHC2010): International Symposium on Rubus and Ribes*, 926 (pp. 197-214).
- Taiz, L.; Zeiger, F. (2004) *Fisiologia Vegetal*. 3. ed. Porto Alegre: Artmed. p. 719.
- Weber, C. (2013). Cultivar development and selection. In: Funt, R. C.; Hall, H. K., Eds. *Raspberries*. CABI, Wallingford, UK. (pp 55–72).

2. SISTEMAS DE PRODUÇÃO DE FRAMBOESEIRAS REMONTANTES EM REGIÃO DE CLIMA SUBTROPICAL

Resumo

O cultivo de framboesas é limitado a regiões temperadas de alta latitude devido à necessidade de baixas temperaturas para florescimento e frutificação da maioria das cultivares. Entretanto, cultivares remontantes como 'Heritage' representa uma possível alternativa para regiões subtropicais. Avaliaram-se, para esta cultivar em clima Cwa, três sistemas de produção em cultivo protegido e sombreado durante dois ciclos de cultivo. Todos os sistemas foram conduzidos com duas hastes por vaso. No primeiro sistema de produção (SP1) a frutificação se deu nas gemas apicais, seguida de poda drástica ao final da colheita. No segundo sistema de produção (SP2) realizou-se um desponte após a produção no ápice para induzir a brotação de gemas subapicais, resultando em uma segunda colheita na mesma haste. No terceiro sistema de produção (SP3), um desponte adicional foi efetuado após a segunda colheita, proporcionando assim uma terceira colheita na mesma haste. O SP1 apresentou a menor produção total. Porém, ao final dos ciclos, apresentou plantas com maiores massas frescas e secas e raízes com maior teor de amido. A distribuição da colheita no SP1 foi concentrada entre os meses de agosto e novembro no primeiro ciclo, e de março a junho no segundo ciclo, enquanto que o SP2 proporcionou colheitas de agosto a fevereiro no primeiro ciclo, e de março a setembro no segundo ciclo. O SP3 possibilitou colheitas contínuas que se iniciaram em agosto de 2019 e se estenderam até outubro de 2020, quando o ensaio foi finalizado. Os sistemas de produção tiveram pouco efeito sobre o teor de sólidos solúveis, acidez titulável e teor de antocianinas nos dois ciclos de cultivo. Essas variáveis parecem relacionar-se mais às épocas de instalação do que à condução do experimento. Os resultados obtidos evidenciam a viabilidade de produção de framboeseiras remontantes 'Heritage' em clima subtropical (Cwa) com a produção de frutos de qualidade comercial por 14 meses em dois ciclos, sendo as colheitas distribuídas nos meses conforme o sistema de produção utilizado, principalmente SP2 e SP3.

Palavras-chave: *Rubus idaeus*; Poda; Escalonamento; sombreamento; Desenvolvimento; Colheita; Qualidade de frutos.

Abstract

Raspberries production is limited to cold temperate areas of high latitude due to the requirement of low temperatures for flowering and fruiting. However, primocane cultivars are possible alternatives that suit subtropical regions. Raspberry 'Heritage' was investigated in the Cwa climate of Piracicaba, Brazil, in three production systems (PS) during two crop cycles. In the PS1, after primocane fruiting, the canes were hard pruned at ground level. In the PS2, after primocane fruiting, the canes were tipped for inducing subapical bud break, resulting thus in a second harvest as a floricanes, followed by pruning at ground level. In the PS3, after the second harvest, the canes were tipped again for the induction of a third harvest. The PS1 had the lowest yield. However, after two cycles, this system showed the highest fresh and dry root weight, and starch content. Harvests of PS1 were concentrated

from August to November in the first cycle and from March to June in the second cycle, whereas in PS2, harvests were from August to February in the first cycle and from March to September in the second one. The PS3 had continuous harvests, starting in August 2019 extending to October 2020 when the experiment was terminated. Production systems had little influence on soluble solids, titratable acidity, or anthocyanins content in both cycles. Those variables seem to be more related to the harvest season than to the type of the production system. The results demonstrated the viability to cultivate primocane 'Heritage' raspberry in Cwa subtropical climate producing commercial fruits for 14 months in two cycles, with harvests distributed along the months according to the production system adopted, mainly PS2 and PS3.

Keywords: *Rubus idaeus*; Pruning; Scheduling; Shading; Development; Harvest; Fruit quality

2.1 Introdução

A framboesa (*Rubus idaeus* L.) é tradicionalmente cultivada em regiões de clima temperado. A produção global encontra-se majoritariamente no Hemisfério Norte, sendo Rússia, México, Sérvia, Estados Unidos da América e Polônia os maiores produtores, respondendo por 73% do total produzido em 2019 (FAO, 2021). Com exceção do México, os grandes produtores têm suas colheitas concentradas no verão até meados de outono do Hemisfério Norte. Contudo, o aumento da demanda do mercado por framboesas frescas impulsionou o desenvolvimento de novas estratégias para suprir o mercado desta fruta o ano todo, com produções fora da época tradicional de colheita e expansão das áreas de cultivo para regiões de clima quente (Gambardella et al., 2015; Heide; Sønsteby, 2011; Dale et al., 2005).

As cultivares de framboesas são classificadas em remontantes (ou *primocanes*) e não-remontantes (ou *floricanes*), de acordo com seu hábito de frutificação. O primeiro grupo se refere a cultivares que produzem frutos no ápice das hastes que se desenvolveram naquele ano, além de poderem ser despontadas para uma segunda produção na mesma haste no mesmo ano. As cultivares remontantes não necessitam de temperaturas baixas nem passar por um período de dormência para que ocorra a indução de gemas floríferas (Strik, 2010; Takeda, 1993; Vasilakakis et al., 1980). Já as cultivares não-remontantes apresentam ciclo bianual. Neste grupo, as hastes se desenvolvem vegetativamente durante a primavera e verão, e necessitam passar por períodos de baixas temperaturas para entrar em dormência durante o inverno, para florescer e produzir frutos na primavera e verão do segundo ano (Gambardella et al., 2015). O uso de cultivares não-

remontantes a campo fica restrito a regiões de inverno com baixas temperaturas por longos períodos de tempo, uma vez que, em regiões de clima quente, a quantidade insuficiente de horas de frio prejudica o desenvolvimento e a brotação das gemas dormentes (Pritts, 2008).

A utilização de cultivares de framboeseiras remontantes se mostra uma alternativa economicamente mais viável para produções em regiões sem frio hibernal, uma vez que as plantas têm o potencial de produzirem frutas o ano todo em condições de cultivo protegido (Dale et al., 2005). Framboeseiras 'Heritage', 'Autumn Bliss', 'Autumn Britten', 'Caroline', 'Himbo Top', 'Polka' e 'Sugana' são algumas das cultivares remontantes plantadas em várias regiões do mundo (Weber, 2013). Trabalhos indicam que cultivares remontantes não possuem juvenilidade, uma vez que a indução floral ocorre a partir do quinto nó (Sønsteby and Heide, 2009). Contudo, o fenótipo de cada cultivar é fortemente dependente da interação entre o ambiente de cultivo e a constituição genética da cultivar, alterando, entre outros parâmetros, a capacidade de remontância das plantas (Gambardella et al., 2015). Estudos indicam que cultivares remontantes produzem frutos apenas no ápice das hastes, necessitando, entretanto, de certa quantidade de frio para produzir também em gemas subapicais (Keep, 1961). Por outro lado, trabalhos com framboeseiras remontantes mostraram produções no ápice dos ramos sem frio hibernal por três anos consecutivos (Dale et al., 2001), e produções sem frio hibernal em hastes despontadas, embora menores do que aquelas vernalizadas (Dale et al., 2005). Desta forma, estudos são necessários sobre tipos de poda e o resultante desempenho de framboeseiras remontantes visando a expansão do cultivo para áreas de clima quente. Portanto, o objetivo deste trabalho foi avaliar sistemas de produção com diferentes tipos de poda e seus impactos no desenvolvimento, produção e qualidade de frutos da framboeseira remontante 'Heritage', cultivada em clima quente (Cwa).

2.2 Material e métodos

2.2.1 Material vegetal e descrição da área de estudo

Mudas de framboeseiras (*Rubus idaeus* L.) remontantes, cv. Heritage, foram cultivadas em vasos de 30 L com substrato de fibra de coco (Golden Mix Misto 98, Amafibra) e turfa de Sphagnum (Jiffy TPS, Jiffy Group) na proporção de 2:1, com aplicação semanal de nutrientes, por fertirrigação. O estudo foi realizado em Piracicaba, Brasil (22° 42' 27,7" S 47° 37' 47,3" O, altitude 554 m), em clima Cwa (Köppen; Geiger, 1928). Os vasos com framboeseiras foram mantidos em casa de vegetação revestida externamente por filme difusor de polietileno de baixa densidade (PEBD) de 150 µm, e, internamente, com tela termorefletora cinza (Freshnet® - 65% de sombreamento nominal). Uma semana após o transplante das mudas, foram selecionadas duas hastes por vaso. As demais brotações que surgiram em cada vaso foram eliminadas semanalmente para controle do crescimento e da produção das hastes avaliadas.

2.2.2 Tratamentos e delineamento experimental

Os tratamentos avaliados consistiram em diferentes sistemas de produção (SP), sendo: SP1: colheita no ápice, seguida por poda drástica (Figura 1A); SP2: colheita no ápice, seguida de desponete para estimular brotações das gemas subapicais, segunda colheita, seguida de poda drástica (Figura 1B); SP3: colheita no ápice, seguida de desponete para estimular brotações das gemas subapicais, segunda colheita, seguida de novo desponete para estimular nova brotação e uma terceira colheita na mesma haste, seguida de poda drástica (Figura 1C).

As plantas foram avaliadas por dois ciclos de produção completos, sendo considerada a poda drástica das hastes como encerramento de cada ciclo. Considerou-se como ciclo de produção completo, o período compreendido desde emissão das hastes até a última colheita de cada tratamento. Após a primeira colheita, no ápice das hastes do primeiro ciclo, duas novas hastes foram selecionadas por vaso, iniciando-se o segundo ciclo de produção (Figura 1A-C). O delineamento foi casualizados em blocos, no esquema fatorial duplo (3 tratamentos x 2 ciclos de produção) com quatro blocos, três vasos de cada tratamento em cada

bloco e duas hastes em cada vaso, totalizando 12 vasos por tratamento e 72 hastes avaliadas por ciclo.

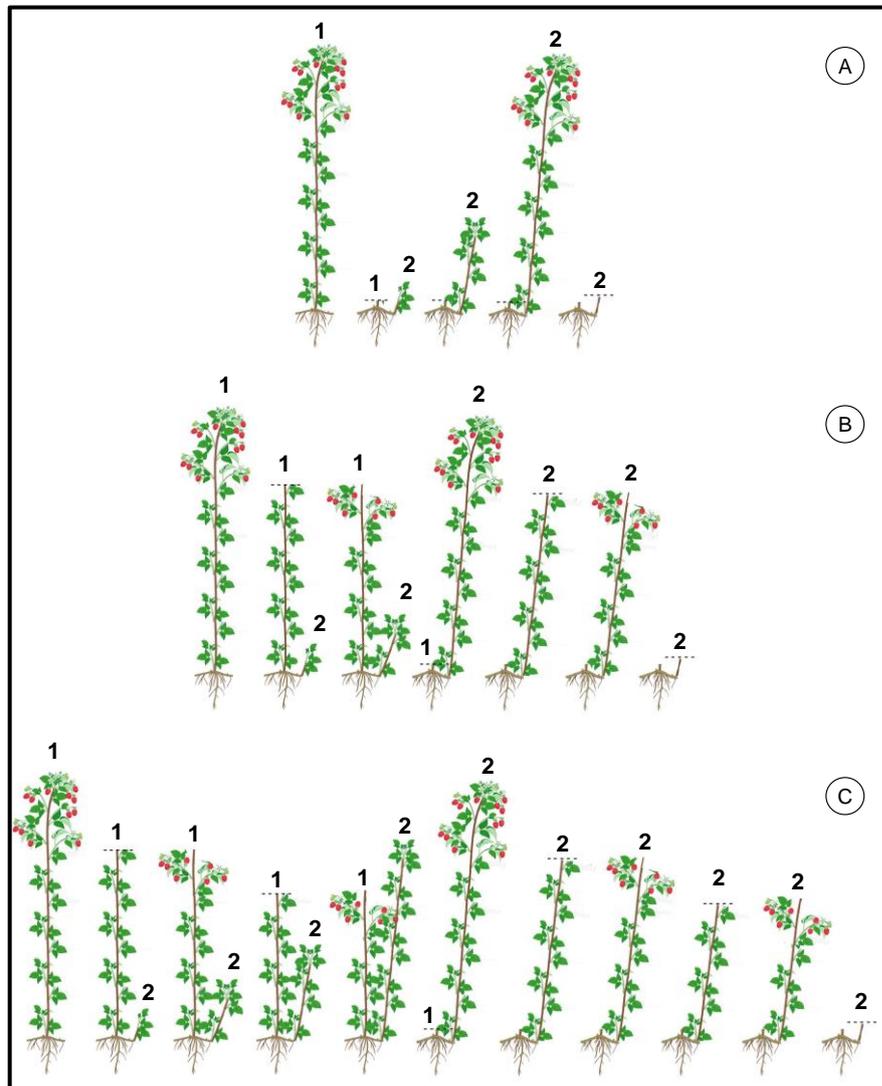


Figura 1. Sistemas de produção de framboeseira 'Heritage' cultivadas em Piracicaba, SP, por dois ciclos (1 e 2). A: Sistema de produção 1, com uma colheita no ápice das hastes seguida de poda drástica; B: Sistema de produção 2, com produção no ápice das hastes, seguida de despontamento, induzindo a segunda colheita, seguida de poda drástica; C: Sistema de produção 3, com produção no ápice das hastes, seguida de despontamento, induzindo a segunda colheita, seguida de segundo despontamento, induzindo a terceira colheita, seguida de poda drástica. Poda (---).

2.2.3 Desenvolvimento vegetativo

O desenvolvimento vegetativo foi avaliado pelo crescimento das hastes em cada tratamento. Durante dois ciclos vegetativos foram medidos semanalmente o comprimento de duas hastes por vaso, sendo o comprimento considerado desde a base até o ápice meristemático da haste. Esta avaliação foi realizada até o início do

período reprodutivo das hastes, marcada pelo florescimento, quando as hastes cessam seu desenvolvimento vegetativo.

2.2.4. Aspectos da produção e pós-colheita

Avaliou-se a produção em número e massa fresca de frutos, bem como o teor de sólidos solúveis, pH, acidez titulável e teor de antocianinas dos frutos colhidos.

Para a determinação da produção por haste foram realizadas colheitas três vezes por semana, avaliando-se o número e peso dos frutos colhidos por haste. Os dados foram compilados para g/haste/semana. A massa fresca de frutos foi determinada em balança analítica modelo AG 200 (Gehaka, São Paulo, Brasil) imediatamente após as colheitas. O teor de sólidos solúveis foi determinado com refratômetro digital modelo Palette 101 (Atago, Tóquio, Japão) e expresso em °Brix. O pH e acidez titulável (AT) foram determinados em titulador automático modelo 848 Titrino Plus (Metrohm, Herisau, Suíça), em quatro repetições de dez frutos para cada tratamento. Os resultados foram expressos em porcentagem de ácido cítrico. Para a quantificação do teor de antocianinas, os extratos foram obtidos a partir de 20 mg de framboesas liofilizadas e 10 mL da solução extratora (85% de etanol P.A. e 15% de HCl 1,5 N) e seguidos com o método espectrofotométrico de Lees e Francis (1972). As leituras de absorvância foram realizadas com espectrofotômetro modelo Libra S22 (Biochrom, Cambridge, Inglaterra) a 535 nm. As análises foram realizadas em épocas que haviam frutos em todos os tratamentos, compreendendo o período de agosto a dezembro de 2019 e março a junho de 2020.

2.2.5 Biomassa radicular e acúmulo de amido

A massa fresca e seca de raiz e o teor de amido foram determinados após o segundo ciclo de produção de cada sistema utilizado. A coleta das raízes foi realizada conforme a produção de cada sistema foi finalizada.

A massa fresca e seca de raiz foram determinadas em balança analítica modelo AG 200 (Gehaka, São Paulo, Brasil). Os dados de massa fresca foram obtidos após o término do segundo ciclo de produção, quando as plantas foram

podadas drasticamente e as raízes lavadas em água corrente até a retirada completa do substrato. Após a pesagem da massa fresca, as raízes foram acondicionadas em sacos de papel identificados e secas em estufa a 55 °C até a estabilização do peso.

As determinações do amido nas amostras de raízes foram feitas de acordo com Dubois et al. (1956), com modificações. Para a extração de açúcares solúveis foram utilizados 200 mg de amostras de raiz. Os extratos foram obtidos a partir de três extrações consecutivas em etanol 70% em banho-maria a 60 °C, e duas extrações com ácido perclórico 37%. O extrato foi composto pela recuperação dos sobrenadantes após centrifugação a 500 rpm. A dosagem de glicose foi feita usando o método fenol-sulfúrico. Para a reação foi utilizado 50 µl de extrato, 450 µl de H₂O e 500 µl de reagente fenol (5% em água). Após agitação em vórtex, foi adicionado 2 ml de ácido sulfúrico concentrado, seguido de agitação. As leituras foram realizadas em espectrofotômetro a 490 nm. Uma curva padrão de glicose (2 a 80 µg) foi utilizada para o cálculo da quantidade de glicose liberada da digestão com ácido perclórico. Os dados foram expressos em mg de amido g⁻¹ ms de raiz.

2.2.6 Análise estatística

Os dados obtidos foram submetidos à Análise de Variância (ANOVA) utilizando-se o *software* R Studio (R Core Team, 2018 - Versão 1.2.5033), e as médias foram comparadas pelo teste de Scott-Knott ($p \leq 0,05$).

2.3 Resultados

Aspectos da produção e qualidade pós-colheita

Para o tratamento SP1, assim como para SP2 e SP3, a colheita se iniciou no começo de agosto, se estendendo até começo de dezembro (Figura 2). Como em SP1 a primeira colheita foi seguida de poda drástica, colheitas subsequentes iniciaram-se somente a partir de março do ano seguinte, estendendo-se até início de junho nas novas hastes que se desenvolveram de dezembro a abril (Figura 2A).

Para o tratamento SP2, após a primeira colheita no ápice das plantas, seguiu-se um desponte para induzir a brotação das gemas subapicais, o que proporcionou uma segunda colheita nas hastes crescidas no primeiro ciclo. Dessa forma, o

primeiro ciclo produtivo para o SP2 ocorreu de agosto a fevereiro, quando as plantas cessaram a produção nas gemas subapicais e seguiu-se com uma poda drástica das hastes. O segundo ciclo produtivo do SP2 se iniciou no final de março nas hastes que se desenvolveram de dezembro a abril, onde foram produzidos frutos no ápice das hastes até junho, ocasião na qual o desponte das hastes promoveu brotação das gemas subapicais que resultaram em uma segunda colheita de junho a setembro. Após a segunda colheita, prosseguiu-se com poda drástica (Figura 2B).

No SP3, que se diferencia do SP2 devido a um segundo desponte após a segunda colheita nas mesmas hastes, obteve-se conseqüentemente, uma terceira colheita, de meados de fevereiro até fim de março, seguida de poda drástica. Dessa forma, o primeiro ciclo produtivo para o SP3 ocorreu de agosto a março. O segundo ciclo produtivo de SP3 teve início em abril de 2020 nas hastes que se desenvolveram de dezembro de 2019 a abril de 2020. A primeira colheita deste tratamento ocorreu de abril até meados de julho, quando se realizou o primeiro desponte para promover a brotação das gemas subapicais que deram origem as frutos da segunda colheita, que ocorreu de julho a setembro de 2020. Por fim, um segundo desponte foi realizado, obtendo-se uma terceira colheita que se estendeu de setembro a outubro de 2020, encerrando-se com poda drástica das hastes (Figura 2C).

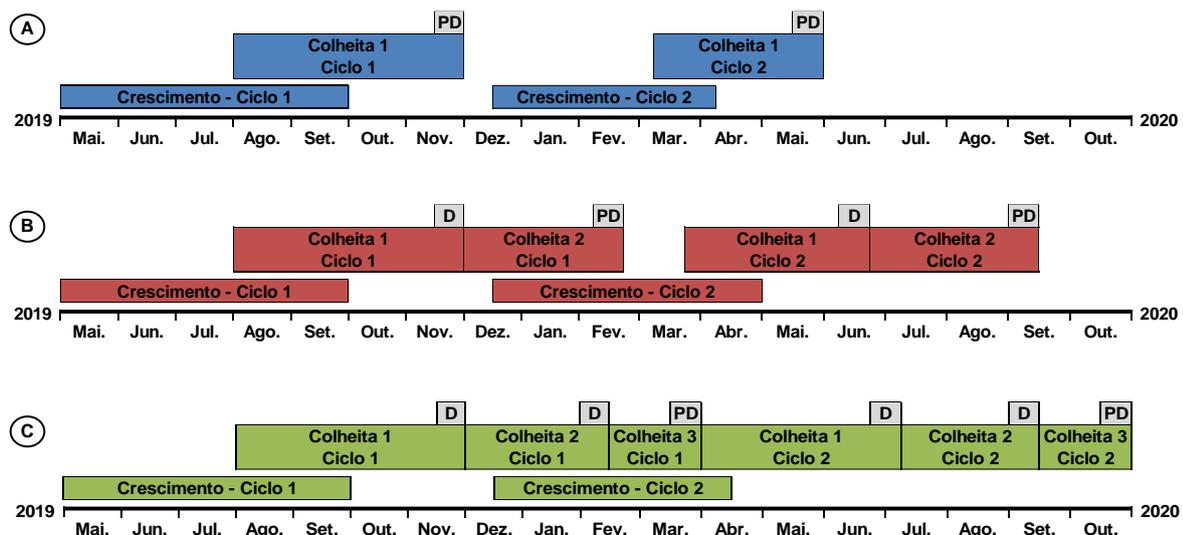


Figura 2. Sistemas de produção em dois ciclos produtivos de framboeseira 'Heritage' cultivadas em Piracicaba, São Paulo. A: Sistema de produção 1, com uma colheita no ápice das hastes seguida de poda drástica; B: Sistema de produção 2, com produção no ápice das hastes, seguida de desponte, induzindo a segunda colheita, seguida de poda drástica; C: Sistema de produção 3, com produção no ápice das hastes, seguida de desponte, induzindo a segunda colheita, seguida de segundo desponte, induzindo a terceira colheita, seguida de poda drástica. Desponte (D) e poda drástica (PD).

O crescimento final das hastes não foi influenciado pelo sistema de produção. O comprimento médio das hastes ao final do primeiro ciclo foi de $130,9 \pm 3,4$ cm, e de $153,5 \pm 5,0$ cm segundo ciclo. Durante o primeiro ciclo, o período vegetativo das plantas se estendeu por 104 dias. Já para o segundo ciclo, o período de desenvolvimento vegetativo foi reduzido a 90 dias desde o início do desenvolvimento das hastes até a primeira colheita.

Verificou-se que a distribuição das produções ao longo dos meses de agosto a dezembro de 2019 foram, como esperado pela igualdade de procedimentos nesses meses após o transplante, bastante semelhantes nos três sistemas (Figura 3A-C). Diferenças evidentes foram observadas, entretanto, nos três meses subsequentes com relação à produção, principalmente ausência de colheita em SP1 e as colheitas subsequentes em SP2 e SP3, oriundas das brotações de gemas subapicais.

Nesse primeiro ciclo, a produção total no SP1 foi de 168 g/haste, 252 g/haste em SP2, e 313 g/haste em SP3 (Tabela 1). Diferenças também foram observadas com relação ao segundo ciclo, onde o SP1 continuou a produzir menos (164 g/haste), SP3 mais (204 g/haste) e SP2 sendo intermediário entre eles (189 g/haste).

De acordo com os resultados para a área abaixo da curva de progresso, não houve interação entre os fatores sistema de produção e ciclos de cultivo (Tabela 1). Os sistemas de produção 2 e 3 foram equivalentes entre si, e superiores ao SP1. A distribuição das produções durante os meses de março a outubro de 2020 seguiu padrão semelhantes entre SP2 e SP3, porém bastante distintos de SP1, no qual este último apresentou a totalidade de sua distribuição de colheita até julho, enquanto SP2 e SP3 tiveram a colheita estendida até outubro de 2020.

Tabela 1. Produção (g/haste) e área abaixo da curva de progresso (AACP) da produção de framboeseiras 'Heritage', submetidas a diferentes sistemas de produção em dois ciclos completos, em Piracicaba, São Paulo. SP1: uma colheita no ápice das hastes seguida de poda drástica; SP2: produção no ápice das hastes, seguida de desponte, induzindo a segunda colheita, seguida de poda drástica; SP3: produção no ápice das hastes, seguida de desponte, induzindo a segunda colheita, seguida de segundo desponte, induzindo a terceira colheita, seguida de poda drástica.

Sistemas	Ciclo 1	Ciclo 2
	Produção (g/haste)	
SP 1	168,5 bA	163,9 bB
SP 2	252,3 aA	189,7 aB
SP 3	313,2 aA	204,7 aB
	AACP	
SP 1	844,3 bA	554,8 bB
SP 2	1080,0 aA	765,9 aB
SP 3	1394,2 aA	792,4 aB

Letras diferentes minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas indicam diferenças significativas ($p \leq 0,05$) de acordo com o teste de Scott-Knott.

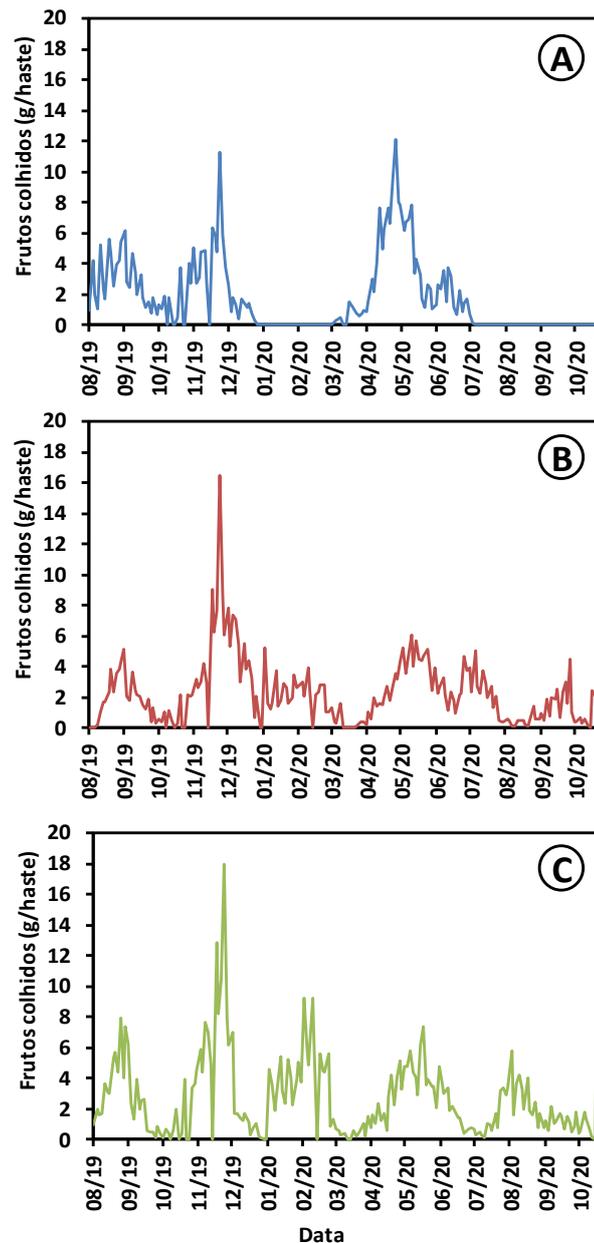


Figura 3. Produção (g/haste) de framboesiras ‘Heritage’ submetidas durante 14 meses a diferentes sistemas de produção. A: Sistema de produção 1, com uma colheita no ápice das hastes seguida de poda drástica; B: Sistema de produção 2, com produção no ápice das hastes, seguida de desponte, induzindo a segunda colheita, seguida de poda drástica; C: Sistema de produção 3, com produção no ápice das hastes, seguida de desponte, induzindo a segunda colheita, seguida de segundo desponte, induzindo a terceira colheita, seguida de poda drástica.

Os diferentes sistemas de produção pouco influenciaram os parâmetros físico-químicos das framboesas. Os teores de sólidos solúveis, acidez titulável e antocianinas variaram ao longo dos meses de colheita, mas não em função dos tratamentos (Tabelas 2-4).

Os teores de sólidos solúveis determinados nos dois ciclos, nos três sistemas de produção encontram-se na tabela 2. No primeiro ciclo, verifica-se uma nítida tendência de valores mais altos ocorrerem em agosto e setembro de 2019, com uma

sensível diminuição no período de outubro de 2019 a março de 2020. No segundo ciclo, as diferenças não foram muito acentuadas ao longo dos meses de março a agosto de 2020, com uma redução, entretanto, nos meses de setembro e outubro daquele ano.

Tabela 2. Teor de sólidos solúveis (°Brix) de framboesas 'Heritage' submetidas a diferentes sistemas de produção em dois ciclos completos, em Piracicaba, São Paulo. SP1: uma colheita no ápice das hastes seguida de poda drástica; SP2: produção no ápice das hastes, seguida de desponte, induzindo a segunda colheita, seguida de poda drástica; SP3: produção no ápice das hastes, seguida de desponte, induzindo a segunda colheita, seguida de segundo desponte, induzindo a terceira colheita, seguida de poda drástica.

Teor de sólidos solúveis (°Brix)

		1º Ciclo						
Sistema	Ago/19	Set/19	Out/19	Nov/19	Dez/19	Jan/20	Fev/20	Mar/20
SP1	10,6 aA	10,2 aA	8,4 aB	8,6 aB	8,1 bB	-	-	-
SP2	10,4 aA	10,3 aA	8,6 aB	8,7 aB	9,9 aA	9,1 aB	7,8 aC	7,6 bC
SP3	10,8 aA	10,1 aB	8,2 aE	8,5 aD	9,5 aC	8,9 aD	7,8 aE	8,4 aD

		2º Ciclo						
Sistema	Mar/20	Abr/20	Mai/20	Jun/20	Jul/20	Ago/20	Set/20	Out/20
SP1	9,1 aA	9,7 aA	9,3 aA	8,6 bB	-	-	-	-
SP2	9,0 aC	9,8 aB	9,1 aC	9,4 aC	10,5 aA	8,7 bC	7,6 bD	7,7 aD
SP3	8,0 bC	9,7 aA	9,0 aB	8,8 bB	9,4 bA	9,5 aA	8,7 aB	7,9 aC

Letras diferentes minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas indicam diferenças significativas ($p \leq 0,05$) de acordo com o teste de Scott-Knott.

A acidez titulável das framboesas Heritage cultivadas em Piracicaba, SP, variou de 1,47 a 2,18 % de ácido cítrico no primeiro ciclo e 1,26 a 2,02 % de ácido cítrico no segundo ciclo.

No primeiro ciclo, observou-se tendência de valores mais altos ocorrerem em agosto e setembro de 2019 e fevereiro e março de 2020 e menores valores de outubro de 2019 a janeiro de 2020. No segundo ciclo, observou-se que os maiores valores ocorreram entre abril e agosto de 2020 e os menores em março, setembro e outubro do mesmo ano.

Tabela 3. Acidez titulável (% de ácido cítrico) de framboesas 'Heritage' submetidas a diferentes sistemas de produção em dois ciclos completos, em Piracicaba, São Paulo. SP1: uma colheita no ápice das hastes seguida de poda drástica; SP2: produção no ápice das hastes, seguida de desponte, induzindo a segunda colheita, seguida de poda drástica; SP3: produção no ápice das hastes, seguida de desponte, induzindo a segunda colheita, seguida de segundo desponte, induzindo a terceira colheita, seguida de poda drástica.

Acidez titulável (% de ácido cítrico)								
1º Ciclo								
Sistema	Ago/19	Set/19	Out/19	Nov/19	Dez/19	Jan/20	Fev/20	Mar/20
SP1	1,87 aA	1,79 aA	1,47 aC	1,59 aB	1,81 aA	-	-	-
SP2	1,78 aB	1,63 bC	1,49 aC	1,56 aC	1,69 bB	1,54 aC	1,77 aB	1,92 bA
SP3	1,85 aB	1,71 aC	1,47 aD	1,53 aD	1,81 aB	1,55 aD	1,86 aB	2,18 aA

2º Ciclo								
Sistema	Mar/20	Abr/20	Mai/20	Jun/20	Jul/20	Ago/20	Set/20	Out/20
SP1	1,76 aB	1,84 aB	1,95 aA	2,02 aA	-	-	-	-
SP2	1,59 bC	1,80 aB	1,88 aA	1,88 bA	1,79 bB	1,94 aA	1,62 aC	1,41 aD
SP3	1,60 bC	1,79 aB	1,92 aA	1,91 bA	1,95 aA	1,88 aA	1,65 aC	1,26 bD

Letras diferentes minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas indicam diferenças significativas ($p \leq 0,05$) de acordo com o teste de Scott-Knott.

Os teores de antocianinas foram maiores nos meses de outubro, novembro e dezembro no primeiro ciclo, e em março no segundo ciclo, enquanto que os menores no primeiro ciclo foram os meses de agosto e setembro de 2019, e no segundo ciclo, em abril, maio e junho (Tabela 4).

Tabela 4. Teor de antocianinas de framboesas 'Heritage' submetidas a diferentes sistemas de produção em dois ciclos completos, em Piracicaba, SP. SP1: uma colheita no ápice das hastes seguida de poda drástica; SP2: produção no ápice das hastes, seguida de desponte, induzindo a segunda colheita, seguida de poda drástica; SP3: produção no ápice das hastes, seguida de desponte, induzindo a segunda colheita, seguida de segundo desponte, induzindo a terceira colheita, seguida de poda drástica.

Antocianinas (mg g⁻¹ de fruto liofilizado)					
1º Ciclo					
Sistemas	Ago/19	Set/19	Out/19	Nov-19	Dez/19
SP1	28,9 aB	22,1 aB	39,3 aA	35,8 aA	38,0 aA
SP2	28,4 aB	21,2 aB	36,1 aA	33,9 aA	36,6 aA
SP3	24,2 aB	26,4 aB	36,4 aA	33,5 aA	39,7 aA

2º Ciclo				
	Mar-20	Abr/20	Mai/20	Jun-20
SP1	37,0 aA	33,5 aB	33,9 aB	32,6 aB
SP2	39,8 aA	34,6 aB	34,3 aB	35,6 aB
SP3	39,5 aA	34,3 aB	33,2 aB	34,7 aB

Letras diferentes minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas indicam diferenças significativas ($p \leq 0,05$) de acordo com o teste de Scott-Knott.

Biomassa radicular e acúmulo de amido

Após o encerramento das colheitas do segundo ciclo, avaliaram-se as massas frescas e secas, bem como o teor de amido nas raízes das plantas, cujos resultados se encontram na tabela 5. Os valores para SP2 e SP3 são bastante próximos, não diferindo entre si para estes três parâmetros. Entretanto, foram cerca de 30% inferiores a SP1.

Tabela 5. Massa fresca, seca e teor de amido em raízes de framboeseiras ‘Heritage’ submetidas a diferentes sistemas de produção por dois ciclos completos, em Piracicaba, São Paulo. SP1: uma colheita no ápice das hastes seguida de poda drástica; SP2: produção no ápice das hastes, seguida de desponte, induzindo a segunda colheita, seguida de poda drástica; SP3: produção no ápice das hastes, seguida de desponte, induzindo a segunda colheita, seguida de segundo desponte, induzindo a terceira colheita, seguida de poda drástica.

Sistemas	Massa Fresca (g)	Massa Seca (g)	Amido (mg g ⁻¹)
SP1	117,8 a	28,9 a	4,65 a
SP2	81,7 b	19,0 b	3,14 b
SP3	82,7 b	19,5 b	3,23 b

Letras diferentes nas colunas indicam diferenças significativas ($p \leq 0,05$) de acordo com o teste de Scott-Knott.

2.4 Discussão

As plantas de framboeseiras foram submetidas a diferentes sistemas de poda em dois ciclos de produção. Devido as diferentes épocas do ano em que esses ciclos se iniciaram, houve diferenças tanto no tempo para iniciar a produção quanto no tamanho das hastes. No primeiro ciclo, o período reprodutivo se iniciou, em média, 104 dias após o transplante, em hastes de 130 cm. No segundo ciclo, o início do período reprodutivo foi mais curto, em média, 90 dias, em hastes maiores, com 153 cm. Essa diferença, provavelmente, ocorreu porque no primeiro ciclo, o desenvolvimento vegetativo se deu de maio a setembro, com temperaturas mais amenas e menor radiação solar global (Anexo A). No segundo ciclo, as hastes se desenvolveram de dezembro a abril com temperaturas mais altas e maior radiação, e o período reprodutivo se iniciou em hastes que, em média, cresceram mais do que as do ciclo anterior. Essas características observadas em framboeseiras, relacionadas à época do ano em que as hastes se desenvolveram, foram observadas, também, por Carew et al. (2003), em que a taxa de crescimento das hastes de framboeseira remontante ‘Autumn Bliss’ foi maior em temperaturas mais altas de cultivo.

Os sistemas de poda utilizados apresentaram diferenças nos resultados de produção de frutos (g/haste), independentemente do ciclo de produção. Os sistemas em que foram realizadas uma (SP2) ou duas podas subapicais (SP3), apresentaram produções, dentro de cada ciclo, semelhantes entre si e superiores quando comparadas a poda drástica sem podas subapicais (SP1). Os resultados observados corroboram com Hanson et al. (2019), em que a produção de framboesiras remontantes por três anos consecutivos foi maior quando submetidas ao sistema de produção no ápice das hastes seguida de segunda colheita nas gemas subapicais (*double cropping*), quando comparadas a produções apenas no ápice das hastes. Deve-se levar em consideração que o presente experimento comparou a produção dos sistemas em dois ciclos completos, que tiveram durações diferentes. Os despontes e subsequentes colheitas em SP2 e SP3 aumentaram a produção de frutos, mas alongaram o ciclo de produção, enquanto que em SP1 encerrou os dois ciclos completos três meses e meio antes de SP2 e cinco meses antes de SP3. Neste período seria possível ocorrer um terceiro ciclo e início da nova colheita, baseado no tempo decorrido até que se inicie uma colheita para o SP1 nos ciclos 1 e 2. Os sistemas de poda feitos com podas subapicais (SP2 e SP3), com as colheitas sequenciais que promoveram maiores produções por haste fez com que as plantas apresentassem menores massas do sistema radicular e reserva de carboidratos nas raízes quando comparadas ao sistema de poda drástica (SP1). O sistema SP1, que apresentou a menor produção média de frutos por haste, no final de dois ciclos, teve a maior massa de raízes e o maior teor de amido, o que indica um maior acúmulo de reservas e um menor esgotamento das plantas submetidas a esse sistema. Podas sequenciais (podas subapicais) podem levar ao maior uso de reservas e conseqüente maior esgotamento das plantas para produções futuras (Sartori et al., 2007). O amido é o carboidrato de armazenamento mais abundante nos tecidos lenhosos, que se acumula nas plantas em período de alta atividade fotossintética e se esgota quando a taxa de utilização de carboidratos excede a produção (Kozlowski, 1992; Keller; Loescher, 1989). Trabalhos com framboeseira 'Titan' mostraram que raízes de framboesiras são um grande dreno de carbono, e que são utilizados no período de maturação dos frutos, quando ocorre alguma privação das fontes sintetizadoras de carboidratos (Fernandez; Pritts, 1996). No presente estudo, durante e após as produções apicais, as hastes se encontraram em processo de lignificação e ocorreu uma senescência das folhas. Nos sistemas

SP2 e SP3, em que as hastes lignificadas foram mantidas para novas colheitas, a fonte de carboidrato para a maturação dos frutos pode ter sido oriunda das reservas do sistema radicular, o que pode explicar os menores teores de amido e massa de raiz para estes sistemas em comparação ao SP1.

Os diferentes sistemas de produção tiveram pouca influência na variação dos teores de sólidos solúveis das framboesas. Este parâmetro, assim como acidez titulável dos frutos, é bastante influenciado pela região de cultivo, cultivar utilizada e época de produção (Maro et al., 2014; Mazur et al., 2014). Os frutos apresentaram maiores teores de sólidos solúveis no início de seus ciclos e diminuíram o acúmulo de açúcares nos frutos ao longo do período de colheita. Os sistemas de produção também não alteraram a acidez titulável do fruto. Os maiores valores de acidez ocorreram nos meses mais frios dos ciclos avaliados (Anexo A). Além disso, no segundo ciclo de produção, os menores valores de acidez titulável foram observados nos meses mais quentes dentre os meses avaliados. A menor acidez pode estar relacionada com o metabolismo e quebra dos ácidos orgânicos em épocas quentes (Conradie et al., 2002). Altos teores de sólidos solúveis e acidez são parâmetros importantes na fruticultura e geralmente relacionados a um melhor padrão de sabor e qualidade organoléptica dos frutos (Wozniack et al., 1996), enquanto que os polifenóis, assim como as antocianinas se relacionam mais aos benefícios à saúde (Rao; Snyder, 2010).

Os teores de antocianinas das framboesas não foram afetados pelos diferentes sistemas de produção. Por outro lado, fatores ambientais são determinantes no acúmulo de compostos antioxidantes de framboesas (Mazur et al., 2014; Moore et al., 2008). A época do ano (meses) em que ocorreu a produção foi determinante para o teor deste composto fenólico no presente estudo. Os teores de antocianinas foram maiores nos meses de outubro, novembro e dezembro no primeiro ciclo, e em março no segundo ciclo compreendendo os meses de maior radiação solar global de cada período avaliado (Anexo A). As antocianinas possuem um papel importante contra os danos da alta radiação solar em plantas e são mais abundantes sob alta luminosidade (Jaakola et al., 2004).

2.5 Conclusão

Em condições de clima subtropical (Cwa), a framboeseira remontante 'Heritage' cultivada em sistema com podas subapicais, com duas ou três colheitas em uma mesma haste apresentam maior produção no período do que o sistema com apenas uma colheita; prolongam o período de produção de frutos, ininterruptamente, por dois ciclos completos de produção, durante 14 meses; e não afetam a qualidade das frutas produzidas, em seus teores de antocianinas, sólidos solúveis e acidez titulável. Framboeseiras que são submetidas a podas subapicais tem menor reserva de carboidratos no sistema radicular quando comparadas a uma poda drástica, o que pode reduzir a longevidade dessas plantas.

Referências

- Carew, J. G., Mahmood, K., Darby, J., Hadley, P., Battey, N. H. (2003). The Effect of Temperature, Photosynthetic Photon Flux Density, and Photoperiod on the Vegetative Growth and Flowering of Autumn Bliss' Raspberry. *Journal of the American Society for horticultural science*, 128(3), 291-296.
- Conradie, W. J., Carey, V. A., Bonnardot, V., Saayman, D., Van Schoor, L. H. (2002). Effect of different environmental factors on the performance of Sauvignon Blanc grapevines in the Stellenbosch/Durbanville districts of South Africa. I. Geology, soil, climate, phenology and grape composition. *South African Journal for Enology and Viticulture*, 23(2), 78-91.
- Dale, A., Pirgozliev, S., King, E. M., Sample, A. (2005). Scheduling primocane-fruiting raspberries (*Rubus idaeus* L.) for year-round production in greenhouses by chilling and summer-pruning of canes. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 80(3), 346-350.
- Dale, A., Gilley, A., Kent, E. M. (2001). Performance of primo-cane fruiting raspberries grown in the greenhouse. *Journal of the American Pomological Society*, 55, 27-33.
- Dubois, M., Gilles, K. A., Hamilton, J. K., Rebers, P. T., Smith, F. (1956). Colorimetric method for determination of sugars and related substances. *Analytical Chemistry*, 28(3), 350-356.
- Fernandez, G. E., Pritts, M. P. (1996). Carbon supply reduction has a minimal influence on current year's red raspberry (*Rubus idaeus* L.) fruit production. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 121(3), 473-477.
- Gambardella, M., Contreras, E., Alcalde, J., Neri, D. (2015). Phenotyping primocane fruiting trait in raspberry (*Rubus idaeus*). In *XI International Rubus and Ribes Symposium*, 1133 (pp. 67-74).

Heide, O. M., Sønsteby, A. (2011). Physiology of flowering and dormancy regulation in annual and biennial-fruiting red raspberry (*Rubus idaeus* L.) - a review. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 86(5), 433-442.

Jaakola, L., Määttä-Riihinen, K., Kärenlampi, S., Hohtola, A. (2004). Activation of flavonoid biosynthesis by solar radiation in bilberry (*Vaccinium myrtillus* L.) leaves. *Planta*, 218(5), 721-728.

Keller, J. D., Loescher, W. H. (1989). Nonstructural carbohydrate partitioning in perennial parts of sweet cherry. *Journal of the American Society for Horticultural Science (USA)*.

Kozlowski, T. T. (1992). Carbohydrate sources and sinks in woody plants. *The botanical review*, 58(2), 107-222.

Maro, L. A. C., Pio, R., Guedes, M. N. S., Abreu, C. M. P. D., Moura, P. H. A. (2014). Environmental and genetic variation in the post-harvest quality of raspberries in subtropical areas in Brazil. *Acta Scientiarum. Agronomy*, 36, 323-328.

Mazur, S. P., Nes, A., Wold, A. B., Remberg, S. F., Aaby, K. (2014). Quality and chemical composition of ten red raspberry (*Rubus idaeus* L.) genotypes during three harvest seasons. *Food chemistry*, 160, 233-240.

Moore, P. P., Perkins-Veazie, P., Weber, C. A., & Howard, L. (2008). Environmental effect on antioxidant content of ten raspberry cultivars. In *IX International Rubus and Ribes Symposium 777* (pp. 499-504).

Pitsioudis, A., Latet, G., Meesters, P. (2001). Out of season production of raspberries. In *VIII International Rubus and Ribes Symposium*, 585 (pp. 555-560).

Pritts, M. (2008). Primocane-fruiting raspberry production. *HortScience*, 43(6), 1640-1641.

Rao, A. V., Snyder, D. M. (2010). Raspberries and human health: a review. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 58(7), 3871-3883.

Sartori, I. A., Koller, O. C., Theisen, S., Souza, P. V. D. D., Bender, R. J., Marodin, G. A. B. (2007). Efeito da poda, raleio de frutos e uso de fitorreguladores na produção de tangerinas (*Citrus deliciosa* Tenore) cv. Montenegrina. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 29, 5-10.

Sønsteby, A., Heide, O. (2009). Effects of photoperiod and temperature on growth and flowering in the annual (primocane) fruiting raspberry (*Rubus idaeus* L.) cultivar "Polka". *Journal of Horticultural Science & Biotechnology*. 84: 439-446.

Strik, B. C. (2010). Flowering and fruiting on command in berry crops. In *XXVIII International Horticultural Congress on Science and Horticulture for People (IHC2010): International Symposium on Rubus and Ribes*, 926 (pp. 197-214).

Takeda, F. (1993). Chilling affects flowering of primocane-fruiting 'Heritage' red raspberry. In *VI International Symposium on Rubus and Ribes*, 352 (pp. 247-252).

Vasilakakis, M. D., BH, M. (1980). Low temperature and flowering of primocane-fruited red raspberries. *HortScience*, 15 (3), 750–751.

Weber, C. (2013). Cultivar development and selection. In: Funt, R. C.; Hall, H. K., Eds. *Raspberries*. CABI, Wallingford, UK. (pp 55–72).

Wozniak, W., Radajewska, B., Reszelska-Sieciechowicz, A., Dejewor, I. (1996). Sugars and acid content influence organoleptic evaluation of fruits of six strawberry cultivars from controlled cultivation. In *III International Strawberry Symposium*, 439 (pp. 333-336).

3. FISILOGIA DA PRODUÇÃO DE FRAMBOESEIRAS CULTIVADAS SOB TELAS FOTOSSELETIVAS EM AMBIENTE PROTEGIDO

Resumo

O consumo de framboesa (*Rubus idaeus* L.) é crescente nos mercados nacional e internacional. É uma cultura de alto valor agregado, tradicionalmente cultivada em regiões frias e altas latitudes, restritas ao sul do Brasil e ao exterior. Estudou-se o comportamento da cultivar Heritage (remontante) em condições de clima subtropical submetida a telas fotosseletivas preta, vermelha e azul. Caracterizou-se o espectro da radiação e a luz diária integrada a pleno sol e sob cada tela. Durante os dois ciclos, avaliou-se a taxa de assimilação de carbono, comprimento, diâmetro, massa fresca e seca de hastes, época de emissão de botões florais, número de flores e frutos colhidos. Foram também determinados parâmetros de produção e qualidade pós-colheita de frutos, como número, massa fresca, teor de sólidos solúveis, acidez titulável, pH e teor de antocianinas. A tela preta causou pouca alteração no desenho do espectro da luz solar plena, apresentando maior densidade de fluxo de fótons fotossinteticamente ativos comparada às telas vermelha e azul. No verão e na primavera, framboeseiras sob telas fotosseletivas tiveram maior assimilação de CO₂ em comparação com plantas cultivadas a pleno sol, que sofreram fotoinibição. Não houve diferença no comprimento das hastes, porém, as sob tela azul apresentaram menores diâmetro, massa fresca e seca e maior área foliar. As telas vermelha e preta induziram a emissão de botões florais mais precocemente que plantas cultivadas sob telado azul, que atrasaram o florescimento e a colheita em duas semanas. Não houve diferença quanto ao número total de flores formadas sob as diferentes telas, mas as telas vermelha e preta proporcionaram maior produção total e de frutos comercializáveis apesar de menores que os sob tela azul. Os menores frutos foram produzidos em hastes sob tela vermelha e os maiores, sob tela azul. As frutas sob tela vermelha apresentaram maior média do teor de antocianinas e sólidos solúveis durante o ciclo e pH mais alto em comparação com as frutas sob tela preta e azul. A utilização de diferentes telas fotosseletivas, inclusive a alternância delas ao longo do ciclo seria de grande interesse agrônômico ao viabilizar a produção de framboesas em regiões não convencionais e permitir melhor controle das características físicas e fisiológicas dos frutos produzidos, proporcionando assim, atrativas e variadas opções mercadológicas.

Palavras-chave: *Rubus idaeus*; Qualidade de luz; Espectro; Comprimentos de onda; Sombreamento; Desenvolvimento; Colheita; Qualidade de frutos

Abstract

Raspberry (*Rubus idaeus*) consumption is increasing in the national and international markets. It is a high-value crop traditionally cultivated in temperate regions at high latitudes abroad, restricted in Brazil to the Southern region. It was investigated the physiological development of the primocane-fruiting raspberry cv. 'Heritage' in a subtropical climate under black, red, and blue photosselective nets. The radiation spectrum and the daily light integral in full sun and under each net were characterized. During two harvest cycles, it was evaluated carbon assimilation rate,

length, diameter, fresh and dry cane weight as well as flowering stage, number of flowers, and marketable fruits. It was also measured post-harvest quality components of fruits such as number, weight, diameter, soluble solids, titratable acidity, pH and total anthocyanins content. The black net caused little modification in the spectrum of full sunlight showing higher photosynthetic photon flux density compared to red and blue nets. In Summer and Spring, raspberries under photoselective nets had higher CO₂ assimilation, as compared to full sun exposure that caused photoinhibition. Among different nets, there was no difference in the length of canes but those under the blue net showed reduced diameter, fresh and dry weight but larger leaf area. The flowering and harvest period under the blue net was delayed by two weeks, as compared to red and black nets. The total number of flowers was similar under different nets but the red and black ones had higher yields and a higher number of marketable fruits, though smaller than the ones under the blue net. The smallest fruits were produced under the red net and the largest under the blue net. Fruits under the red net had more anthocyanins and soluble solids content, and higher pH than those under black and blue nets. Comprehensive investigations on the cultivation of raspberry under different photoselective nets considering a mix of selective nets could result in new horticultural strategies to increase production by extending the cultivation to non-conventional subtropical areas, allowing better control of physical and physiological characteristics of fruits, and allowing off-season fruit production during periods of high market prices.

Keywords: *Rubus idaeus*; Light quality; Spectrum; Wavelength; Shading; Development; Photosynthesis; Harvest; Fruit quality

3.1 Introdução

O mercado mundial de frutas tem se tornado cada vez mais diversificado, competitivo e aberto a novidades em relação à comercialização de frutas nativas e exóticas, com diferentes cores, sabores, aromas, formatos e ricas em compostos benéficos à saúde (Silva et al., 2011). A framboesa vermelha (*Rubus idaeus* L.) é uma cultura de alto valor agregado que vem apresentando grande crescimento de consumo nos últimos anos (Zurawicz et al., 2018). O aumento da demanda desta fruta está fortemente relacionado à procura pelos benefícios à saúde humana conferido pelo elevado conteúdo de compostos bioativos. Os polifenóis de framboesas, principalmente antocianinas e elagitaninos, estão relacionados ao combate a estresses oxidativos no organismo humano (Chen et al., 2019). Devido a essa característica, o consumo de framboesas tem sido associado ao controle e prevenção de doenças e disfunções crônicas como obesidade, cardiopatias, diabetes, vários tipos de câncer, inflamações e degeneração neural (Torrönen et al., 2013; De Souza et al., 2014; Si et al., 2015; Noratto et al., 2016).

A framboeseira é tradicionalmente cultivada em regiões de clima temperado, e se encontra majoritariamente no Hemisfério Norte, em países como a Rússia,

México, Sérvia, Estados Unidos da América e Polônia, os quais são os maiores produtores dessa fruta, respondendo por 73% do total produzido no mundo em 2019 (FAO, 2021). Embora a produção comercial esteja concentrada em regiões temperadas, o melhoramento genético, o uso de técnicas inovadoras de cultivo, as modificações no manejo da cultura e nos ambientes de cultivo vêm impulsionando a expansão da produção para áreas não tradicionais, o que aumenta a oferta de frutos fora da época de produção dos principais mercados (Medina et al., 2018; Kempler; Hall, 2013), além de atender demandas de outros mercados, outrora suprida exclusivamente pela importação.

Diversas são as estratégias utilizadas para modificar o ambiente de cultivo, a fim de proporcionar condições favoráveis para a produção. Entre elas, o uso de telas fotosseletivas em cultivo protegido é uma técnica empregada para modificar o comprimento de onda e o espectro de radiação incidente sobre a cultura, mitigando assim alguns efeitos da radiação e das temperaturas excessivas, reduzindo a quantidade de luz incidente, além de propiciar proteção adicional contra agentes bióticos e abióticos (Manja; Aoun, 2019; Aoun; Manja, 2020). A tela preta, por ser opaca, reduz a intensidade da luz sem modificar a qualidade espectral da radiação (Ilić; Fallik, 2017). As telas fotosseletivas coloridas, além de causarem espalhamento dos feixes de luz, que podem ter influência no crescimento e desenvolvimento das hastes, ainda modificam o espectro de luz que atinge as plantas abaixo delas (Manja; Aoun, 2019).

O uso de telas fotosseletivas afeta a fisiologia e fenologia de plantas cultivadas (Manja; Aoun, 2019). O seu uso ainda é restrito e não há informações sobre os efeitos dessas alterações de espectro sobre o crescimento, fenologia e produção de framboeseiras em região de clima subtropical. Portanto, o objetivo deste estudo foi avaliar os aspectos fisiológicos e fenológicos de framboeseiras cultivadas sob diferentes cores de telas fotosseletivas em clima Cwa.

3.2 Material e métodos

3.2.1 Material vegetal e descrição da área de estudo

Mudas de framboeseiras (*Rubus idaeus* L.) cv. Heritage (remontante) foram adquiridas em viveiro comercial localizado no município de São Bento do Sapucaí, SP (22° 41' 20" S e 45° 43' 51" O, altitude de 1628 m), em dezembro de 2016, e

transplantadas para vasos de 30 litros de capacidade, preenchidos com fibra de coco (Golden Mix Misto 98, Amafibra) e turfa de esfagno (Jiffy TPS, Jiffy Group) na proporção de 2:1, com aplicação semanal de nutrientes por fertirrigação. As plantas foram alocadas em casa de vegetação com orientação norte/sul, coberta por filme de polietileno de baixa densidade e telas de sombreamento fotosselativas. As plantas foram mantidas durante nove meses sob as diferentes telas, para ambientação e desenvolvimento do sistema radicular. Após esse período, foram avaliados dois ciclos de cultivo, sendo o primeiro entre os anos de 2017 e 2018, e o segundo entre 2018 e 2019. As podas drásticas para início dos ciclos de cultivo foram realizadas em setembro de 2017 e julho de 2018, para o primeiro e segundo ciclos, respectivamente. O estudo foi realizado em Piracicaba, São Paulo, Brasil (22° 42' 31" S e 47° 37' 44" O, altitude de 554 m), em clima Cwa, subtropical de inverno seco (Köppen; Geiger, 1928).

3.2.2 Tratamentos e delineamento experimental

As plantas foram mantidas sob diferentes telas fotosselativas, de cores azul, vermelha (ChromatiNET® - 50% de sombreamento relativo nominal no topo e nas paredes) ou preta (35% de sombreamento relativo nominal no topo e nas paredes). O delineamento utilizado foi em blocos casualizados, onde em cada ambiente de cultivo (telas) continha três blocos constituídos de três vasos (repetições) conduzido com duas hastes por planta, totalizando 54 hastes avaliadas. As demais brotações que surgiam em cada vaso foram eliminadas semanalmente para controle do crescimento e da produção das hastes avaliadas.

3.2.3 Caracterização dos ambientes de cultivo

Para a caracterização dos ambientes de cultivo (telas fotosselativas), foi mensurada a radiação fotossinteticamente ativa (RFA) com sensor quântico (LI-190R; LI-COR Inc, Lincoln, NE, EUA). As medições foram realizadas a cada segundo e a média registrada a cada 15 minutos em data logger (CR1000; Campbell Scientific, Logan, UT, EUA) durante um ano. Os dados obtidos em $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$

foram integrados para luz diária integrada (LDI), expressa em $\text{mol m}^{-2} \text{dia}^{-1}$. O fluxo espectral de fótons acima do dossel da planta foi medido sob condições de céu claro na faixa de 300 a 1110 nm usando espectrorradiômetro portátil LI-1800 (Li-Cor Inc., Lincoln, NE, EUA), em intervalos de 2 nm e a irradiância expressa em $\text{W m}^{-2} \text{nm}^{-1}$. A densidade de fluxo de fótons fotossintéticos (DFFF) foi calculada pela soma das densidades de fluxos de fótons (DFF) ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) na faixa de 400 a 700 nm. As DFFs azul, vermelho e vermelho distante foram calculadas pela soma das DFF na faixa de 400 a 500, 600 a 700 e 700 a 800 nm, respectivamente.

3.2.4. Desenvolvimento vegetativo e fotossíntese

Ao longo do ciclo vegetativo das plantas mantidas sob as diferentes telas fotosselativas, foram medidos, semanalmente, o comprimento e o diâmetro das hastes. Para o comprimento da haste foi considerado a distância entre a base e o meristema apical. O diâmetro da haste foi medido na altura de 5 cm acima da base. Para a análise fotossintética, mediu-se a assimilação de CO_2 (A , $\mu\text{mol CO}_2 \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$) em folhas, com analisador de gases infravermelho Li-6400XT (Li-Cor Inc., Lincoln, NE, EUA), com câmara de 2cm^2 , programada para uma concentração constante de $400 \mu\text{mol CO}_2 \text{mol}^{-1}$, temperatura de $25 \text{ }^\circ\text{C}$ e RFA de $1000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. As avaliações foram feitas nos folíolos centrais de três folhas totalmente expandidas do quarto nó, por tratamento, quatro vezes ao longo de um ano, em janeiro (verão), em abril (outono), em julho (inverno), e em outubro (primavera), no período entre as 09:00 h e 11:00 h. As folhas foram mantidas em sua posição natural durante as medições. A área foliar foi medida em 20 folhas totalmente expandidas por tratamento, durante o desenvolvimento vegetativo da haste, com o medidor de área foliar Li-3000 (Li-Cor Inc., EUA). Ao final dos dois ciclos de cultivo, foram analisadas a massa fresca e a massa seca das hastes.

3.2.5 Aspectos da produção e pós-colheita

Após a estabilização do crescimento vegetativo das hastes, avaliou-se, semanalmente, o período reprodutivo das plantas, pela contagem do número de

flores formadas e frutos colhidos nas duas hastes por vaso. O período de florescimento e de colheita dos frutos foi comparado entre os tratamentos, pela somatória das áreas abaixo da curva de progresso (AACP), com os dados médios obtidos das duas hastes de nove plantas por tratamento. Os frutos maduros foram colhidos e contabilizados em intervalos de cinco dias. Para cada intervalo avaliou-se, por tratamento, o comprimento e diâmetro com paquímetro digital, massa fresca de frutos em balança analítica modelo AG 200 (Gehaka, São Paulo, Brasil), teor de sólidos solúveis totais em refratômetro modelo Palette 101 (Atago, Tóquio, Japão), acidez titulável e pH em titulador automático modelo 848 Titrino Plus (Metrohm, Herisau, Suíça), em quatro repetições de dez frutos.

Para a quantificação do teor de antocianinas, os extratos foram obtidos a partir de 20 mg de framboesas liofilizadas e 10 mL da solução extratora (85% de etanol P.A. e 15% de HCl 1,5 N) e prosseguiu-se com o método espectrofotométrico de Lees e Francis (1972). As leituras de absorbância foram realizadas com espectrofotômetro modelo Libra S22 (Biochrom, Cambridge, Inglaterra) a 535 nm.

3.2.6 Análise estatística

Os dados obtidos foram submetidos à Análise de Variância (ANOVA) utilizando-se o *software* R Studio (R Core Team, 2018 - Versão 1.2.5033), e as médias foram comparadas pelo teste de Scott-Knott ($p \leq 0,05$).

3.3 Resultados

Quantidade e qualidade da luz transmitida pelas telas fotosselativas

O espectro de fluxo de fótons mostrou a interação entre a luz irradiada e as telas fotosselativas, e a consequente modificação do espectro luminoso (Figura 1A). A tela preta teve a maior densidade de fluxo de fótons fotossinteticamente ativo (DFFF), em comparação com as telas vermelha e azul, e modificou sutilmente as proporções de cada faixa de luz em relação ao total de luz fotossinteticamente ativa, quando comparado ao espectro de plena luz solar (Figura 1A). A luz diária integrada teve seu pico máximo no verão, entre dezembro e janeiro, com valores a pleno sol em torno de $50 \text{ mol m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ e mínimo no inverno, entre junho e julho, com valores

próximos a $25 \text{ mol m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ (Figura 1B). As reduções da luz diária integrada promovidas pelas telas se mantiveram proporcionais ao longo do ano (Figura 1B).

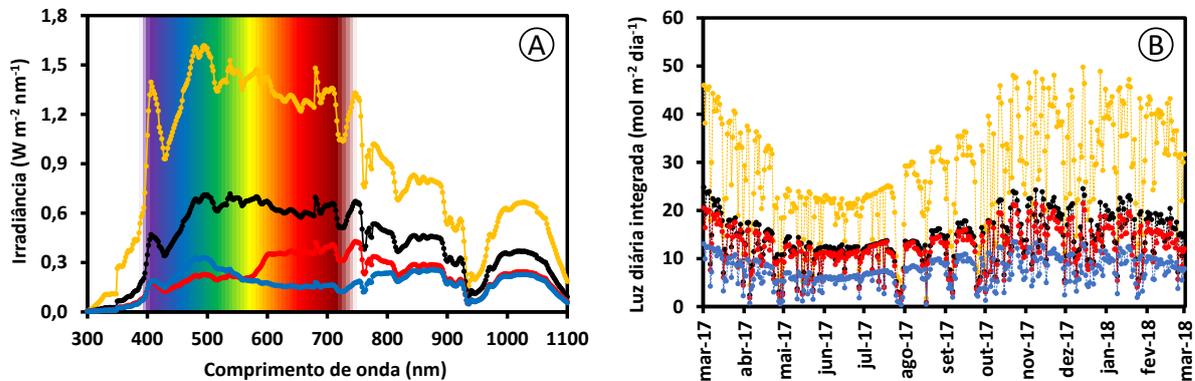


Figura 1. Irradiância da luz no espectro de 300 a 1100 nm (A) e luz diária integrada durante um ano (B) em Piracicaba, SP, sob Pleno sol (●); tela fotosselativa preta (●); tela fotosselativa vermelha (●); e tela fotosselativa azul (●).

A tela preta reduziu em média 55% a densidade de fluxo de fótons, em relação à luz pleno sol, para todas as faixas analisadas (Tabela 1). Neste caso, a luz na tela preta foi afetada em quantidade, mas não em qualidade. As telas fotosselativas de cor vermelha e azul absorveram e refletiram faixas de luz específicas modificando quantitativamente e qualitativamente o espectro da luz transmitida (Figura 1A). A tela fotosselativa vermelha absorveu uma grande quantidade de luz no espectro azul (400-500 nm), transmitindo somente 21% dos fótons nesta faixa, contrastando com os 52% da DFF transmitida no espectro da luz vermelha (600-700 nm). A tela azul, por sua vez, absorveu grande parte dos fótons na faixa de luz vermelha transmitindo somente 25% e da sua DFF no espectro azul transmitindo 38% (Tabela 1). A densidade de fluxo de fótons no vermelho distante foi maior sob a tela preta, seguido por vermelha e azul. A razão vermelho:vermelho distante foi >1 para os tratamentos vermelho e preto, indicando uma proporção ligeiramente maior das faixas de onda vermelha comparadas ao vermelho distante, para estes tratamentos. A tela azul, por outro lado, filtrou uma grande quantidade de luz vermelha, resultando em uma razão <1 . As mudanças no espectro também impactaram a razão azul:vermelho, onde a tela azul, transmitindo uma grande proporção de azul, foi o único tratamento a ter valores >1 para este parâmetro.

Tabela 1. Densidade de fluxo de fótons na faixa de luz do espectro visível (400 – 700 nm), luz azul (400 – 500 nm), luz vermelha (600 – 700 nm) e infravermelha (700 – 800 nm), a pleno sol e sob as telas preta, vermelha e azul, em Piracicaba, SP.

Telas	Densidade de Fluxo de Fótons ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)			
	400 - 700 nm	400 - 500 nm	600 - 700 nm	700 - 800 nm
Pleno Sol	1849 a	597 a	597 a	502 a
Preta	824 b	236 b	281 b	253 b
Vermelha	384 c	81 c	199 c	158 c
Azul	284 d	108 c	72 d	79 d

Letras diferentes nas colunas indicam diferenças significativas ($p \leq 0,05$) de acordo com o teste de Scott-Knott.

Fotossíntese de framboesiras sob as telas fotosseletivas de diferentes cores

Em folhas de framboesiras cultivadas sob as telas preta, vermelha e azul, as maiores taxas de assimilação líquida de CO_2 (A) foram observadas no período do verão e da primavera, em contraste com folhas de framboesiras cultivadas a pleno sol, em que apenas na época de outono os valores de A foram inferiores às demais épocas (Tabela 2).

No verão, as taxas de assimilação líquida de CO_2 foram maiores em plantas sob as telas vermelha e preta, e a menor atividade fotossintética foi observada em folhas a pleno sol. Na primavera, a menor taxa de assimilação também foi observada em folhas a pleno sol. O inverso foi observado durante o inverno, em que a assimilação foi maior em folhas a pleno sol em comparação com folhas de plantas mantidas sob as telas, independentemente da cor. Na época de outono, não houve diferenças entre os tratamentos.

Tabela 2. Assimilação líquida de CO_2 de folhas de framboeseira 'Heritage', cultivadas sob pleno sol e telas fotosseletivas vermelha, azul e preta, nas diferentes estações do ano, em Piracicaba, SP.

Telas	Verão	Outono	Inverno	Primavera
	$\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$			
Pleno sol	9,3 cA	6,4 aB	10,0 aA	8,3 bA
Preta	13,5 aA	7,7 aB	7,7 bB	11,9 aA
Vermelha	14,5 aA	8,1 aB	7,5 bB	13,1 aA
Azul	11,3 bA	8,1 aB	7,9 bB	11,7 aA

Letras minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas indicam diferenças significativas ($p \leq 0,05$) pelo teste de Scott-Knott.

Desenvolvimento vegetativo de plantas mantidas sob as telas fotosseletivas

As diferentes cores de telas fotosseletivas não influenciaram nos comprimentos das hastes das plantas (Tabela 3). As hastes apresentaram um comprimento final próximo a 2,0 m no primeiro ciclo de produção, e entre 2,2 a 2,5 m no segundo ciclo. A tela fotosseletiva de cor azul proporcionou hastes com menor diâmetro nos dois ciclos avaliados (Tabela 3). As plantas cultivadas sob as telas de cor preta e vermelha obtiveram diâmetros de hastes em torno de 7 mm, aos 120 dias após a poda (DAP).

Plantas mantidas sob a tela azul, em contrapartida, foram as que tiveram maior área foliar nos dois ciclos de produção, com média 9,9% superior em relação às folhas sob a tela vermelha e 12,3% sob a tela preta (Tabela 3).

Tabela 3. Comprimento, diâmetro, massa fresca e seca de hastes, e área foliar de framboeseira 'Heritage' cultivada sob as telas fotosseletivas, em dois ciclos de produção, em Piracicaba, SP.

Telas	Crescimento (cm)	Diâmetro (mm)	Massa fresca (g/haste)	Massa seca (g/haste)	Área Foliar (cm ²)
2017-2018					
Preta	200.5 a	7.3 a	141.2 a	66.7 a	146.6 b
Vermelha	209.4 a	7.3 a	140.9 a	67.5 a	148.2 b
Azul	206.2 a	6.3 b	104.4 b	46.6 b	162.4 a
2018-2019					
Preta	234.2 a	7.0 a	137.7 a	61.9 a	142.6 b
Vermelha	222.3 a	6.9 a	138.2 a	68.9 a	145.7 b
Azul	248.0 a	6.1 b	121.0 a	58.8 a	160.2 a

Letras diferentes nas colunas indicam diferenças significativas ($p \leq 0,05$) de acordo com o teste de Scott-Knott.

A massa fresca e seca das hastes no tratamento azul foi menor nos dois ciclos de produção, sendo significativo apenas no primeiro ciclo. As hastes que se desenvolveram sob a tela vermelha e preta não diferiram entre si quanto às massas.

Emissão de botão floral, florescimento, colheita e produção de framboeseiras sob diferentes telas fotosseletivas

As plantas cultivadas sob a tela vermelha e preta emitiram botões florais (BF) mais precocemente em relação às plantas sob a tela azul (Figura 2A e Tabela 4). Aos 70 DAP, cerca de 40 % das hastes de plantas sob a tela vermelha já haviam

emitido BF, e atingiram 100 % da emissão aos 91 DAP. Sob a tela preta, as plantas iniciaram a emissão de BF aos 70 DAP, e levaram uma semana a mais em comparação com a tela vermelha para que todas as hastes tivessem emitido BF. As telas azuis proporcionaram um atraso de duas semanas para início da emissão e também para que todas as hastes tivessem emitido BF em comparação com o tratamento vermelho (Figura 2A e Tabela 4).

As plantas mantidas sob as três cores de telas produziram quantidades similares de flores no fim do ciclo produtivo, cerca de 120 flores por haste aos 133 DAP (Figura 2B). Mesmo com o atraso de uma semana no início do florescimento das plantas mantidas sob a tela azul, em comparação as demais telas, ao longo do ciclo não houve diferença entre as plantas sob as diferentes telas quanto ao número de flores formadas nas hastes (Tabela 4).

A colheita dos frutos das plantas mantidas sob a tela vermelha e preta iniciou-se aos 105 DAP, com o pico aos 133 DAP (Figura 2C). Aos 147 DAP, mais de 90 % dos frutos foram colhidos nas plantas sob essas duas telas, em contraste com apenas 71 % nas plantas mantidas sob a tela azul, as quais atingiram 90% da colheita após duas semanas. A quantidade de frutos colhidos por haste variou entre as plantas mantidas sob as diferentes telas. Plantas sob a tela preta produziram em média 64 frutos comercializáveis por haste, sob a tela vermelha 59 frutos por haste e sob a tela azul 46 frutos por haste (Figura 2D). A quantidade de frutos colhidos ao longo do ciclo foi similar entre as plantas mantidas sob as telas preta e vermelha, sendo superiores a quantidade de frutos colhidos de plantas sob a tela azul (Tabela 4).

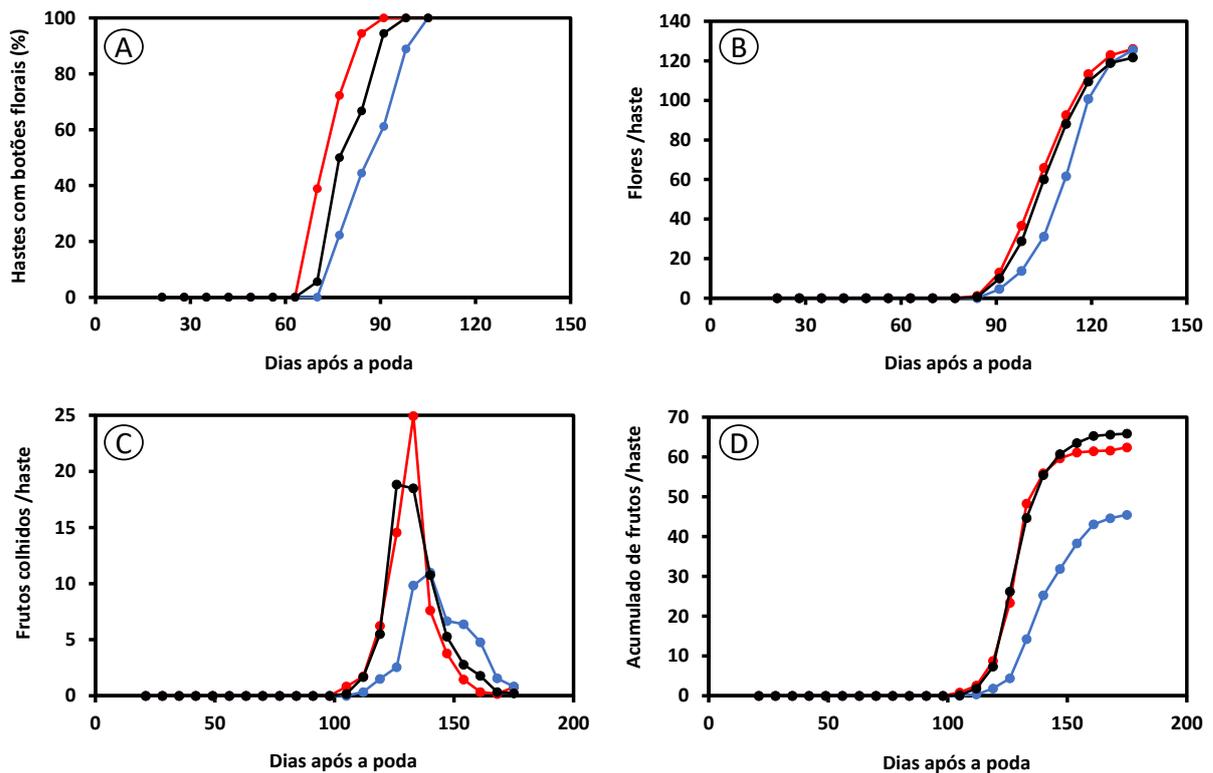


Figura 2. Porcentagem de hastes de framboeseira 'Heritage' com botões florais (A), número de flores por haste (B), número de frutos colhidos por haste (C) e acumulado de frutos colhidos por haste (D) em plantas mantidas sob a tela preta (•); tela vermelha (•); e tela azul (•), em Piracicaba, SP.

Tabela 4. Área abaixo da curva de progresso de botões florais, florescimento e da colheita de frutos em hastes de framboeseira 'Heritage' mantidas sob diferentes telas, em Piracicaba, SP.

Telas	Hastes com botões florais	Flores	Frutos colhidos
Preta	39,0 a	841,8 a	459,5 a
Vermelha	45,9 a	870,9 a	431,1 a
Azul	33,0 b	855,4 a	315,2 b

Letras diferentes nas colunas indicam diferenças significativas ($p \leq 0,05$) de acordo com o teste de Scott-Knott.

Parâmetros físico-químicos e bioquímicos dos frutos formados sob as telas fotosseletivas

Os frutos produzidos sob a tela vermelha tiveram menores diâmetros e, conseqüentemente, menores massas frescas (Figura 3A-C e Tabela 5), enquanto frutos sob a tela azul foram maiores em comprimento e diâmetro, além de serem mais pesados durante quase toda a safra. A massa fresca, comprimento e diâmetro dos frutos mostraram tendência de decréscimo dos valores com o aumento da quantidade de frutos colhidos para cada telado.

O pH das framboesas variou de 3,05 a 3,43, sendo a maior média obtida sob a tela vermelha (3,4) aos 130 DAP e 135 DAP (Tabela 5), enquanto na tela preta e azul os frutos apresentaram, em média, valor de pH 3,15 (Figura 3F). Durante todo o período de colheita, frutos produzidos sob a tela vermelha obtiveram valores de pH mais elevados em comparação com os produzidos sob tela preta. O maior valor de pH foi observado aos 135 DAP para os frutos produzidos em todas as telas.

A acidez dos frutos variou de 1,5 % a 2,7 % de ácido cítrico. Nota-se uma elevação gradual da acidez nos frutos colhidos a partir dos 130 DAP em todos os tratamentos. A acidez dos frutos não diferiu entre os tratamentos (Tabela 5).

O teor de sólidos solúveis variou de 6,6 °Brix a 10,5 °Brix. O tratamento vermelho proporcionou frutas mais doces em diversas datas de colheita, com média de toda a safra de 9,5 °Brix, enquanto os menores teores foram encontrados em frutos sob telas azul e preta, com média de 8,6 °Brix (Figura 3D e Tabela 5).

Tabela 5. Parâmetros físico-químicos de framboesas 'Heritage' cultivadas sob telas fotoseletivas em Piracicaba, SP.

Telas	Dias após a poda									
	120	125	130	135	140	145	150	155	160	165
Comprimento (cm)										
Preta	18,2 a	17,2 a	16,4 a	17,2 a	16,2 a	15,0 c	16,0 a	15,7 b	16,2 a	-
Vermelha	17,4 a	16,5 a	16,2 a	15,9 b	15,4 a	15,4 b	16,0 a	-	-	-
Azul	-	-	-	17,0 a	16,8 a	16,0 a	15,8 a	16,6 a	16,1 a	17,7 a
Diâmetro (cm)										
Preta	19,6 a	19,2 a	18,8 a	19,2 a	18,7 a	17,8 b	18,2 a	18,0 a	17,9 a	-
Vermelha	18,9 b	18,2 b	17,8 b	18,0 b	18,1 a	17,6 b	17,8 b	-	-	-
Azul	-	-	-	18,7 a	18,1 a	18,2 a	18,2 a	18,6 a	18,2 a	18,6 a
Massa fresca (g)										
Preta	3,2 a	2,8 a	2,6 a	2,9 a	2,7 a	2,3 b	2,5 a	2,6 b	2,6 b	-
Vermelha	3,0 a	2,7 a	2,5 a	2,3 b	2,5 a	2,3 b	2,4 a	-	-	-
Azul	-	-	-	2,9 a	2,9 a	2,6 a	2,5 a	2,8 a	2,8 a	2,7 a
pH										
Preta	3,1 b	3,0 b	3,3 b	3,3 b	3,1 b	3,1 b	3,1 b	3,1 a	3,2 a	-
Vermelha	3,2 a	3,2 a	3,4 a	3,4 a	3,2 b	3,3 a	3,3 a	-	-	-
Azul	-	-	-	3,3 b	3,3 a	3,1 b	3,1 b	3,1 a	3,2 a	3,2 a
Acidez (% ácido cítrico)										
Preta	1,9 a	1,9 a	1,6 a	1,9 a	1,9 a	2,2 b	2,2 a	2,3 a	2,7 a	-
Vermelha	2,0 a	1,8 b	1,5 a	2,0 a	2,0 a	2,4 a	2,1 a	-	-	-
Azul	-	-	-	2,0 a	1,9 a	2,1 b	2,1 a	2,2 a	2,6 a	1,7 a
Sólidos solúveis totais (°Brix)										
Preta	8,3 a	8,7 a	8,3 b	9,1 b	8,5 a	9,8 b	9,2 b	7,2 a	7,9 b	-
Vermelha	7,9 b	9,6 a	10,0 a	10,5 a	8,7 a	10,4 a	9,2 b	-	-	-
Azul	-	-	-	9,0 b	7,8 a	9,5 b	10,0 a	6,6 a	8,6 a	8,9 a

Letras diferentes nas colunas indicam diferenças significativas ($p \leq 0,05$) de acordo com o teste de Scott-Knott.

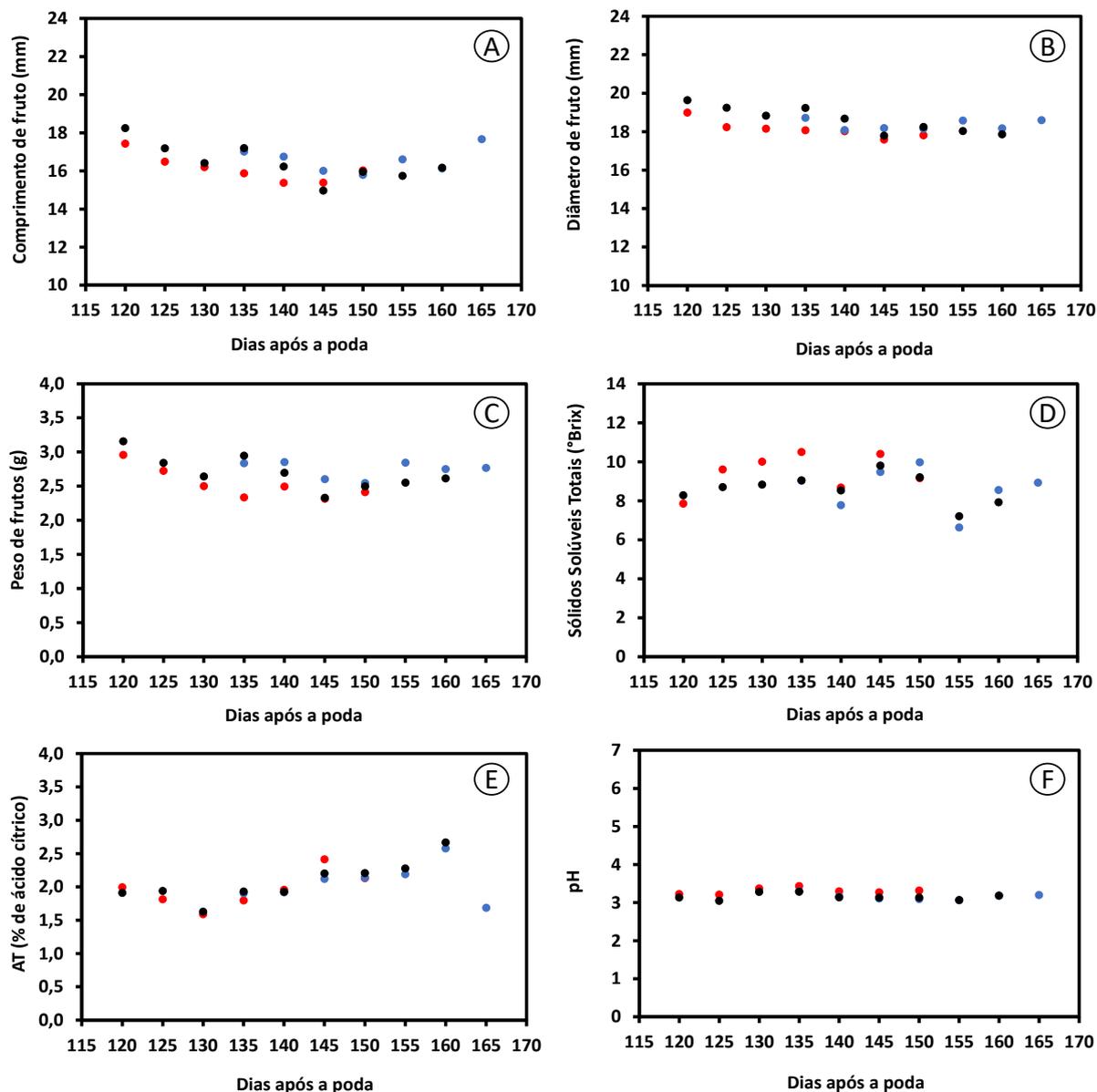


Figura 3. Parâmetros físico-químicos de framboesas 'Heritage' cultivados sob telas fotosselativas preta (●), vermelha (●); e azul (●) em Piracicaba, SP.

O teor de antocianinas em framboesas cultivadas sob a tela vermelha foi superior àquelas cultivadas sob a tela azul no início e final de safra. Os teores de antocianinas dos frutos variaram entre 28 e 53 mg g⁻¹, com média de 45,9 mg g⁻¹ para frutos sob a tela vermelha, 39,4 mg g⁻¹ sob a tela preta e 35,2 mg g⁻¹ e sob a tela azul (Figura 4). As framboesas produzidas sob a tela vermelha e preta tiveram maior teor de antocianinas no início e fim de safra, enquanto as frutas sob a tela azul tiveram maiores conteúdos de antocianinas no final de sua safra (Figura 4).

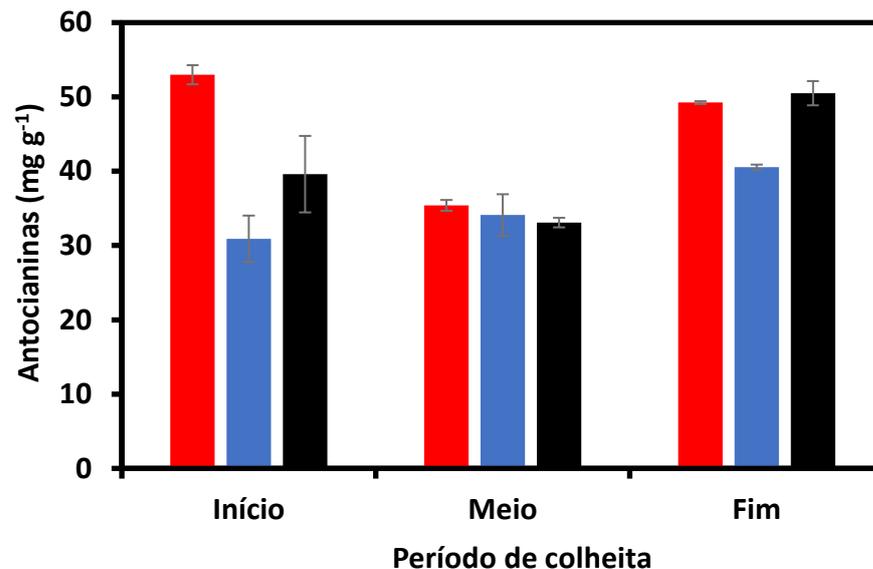


Figura 4. Teor de antocianinas no início, meio e fim do período de colheita de frutos de framboeseira “Heritage” cultivados sob as telas fotosselativas vermelha (■), azul (■) e preta (■), em Piracicaba, SP.

3.4 Discussão

A expansão do cultivo para áreas não tradicionais e as mudanças climáticas que estão ocorrendo no mundo trazem novos desafios à cultura da framboeseira. O estresse relacionado ao excesso de radiação direta vem sendo reportado por produtores desta cultura durante o verão, período de maior disponibilidade de luz solar (Szalay et al., 2020). A redução da quantidade de luz que atinge o dossel das plantas, promovida pelas telas de sombreamento, é uma estratégia de produtores rurais e pesquisadores para mitigar os efeitos nocivos que o excesso de radiação pode causar nas plantas (Manja; Aoun, 2019). O conhecimento dos valores de luz diária integrada (LDI) é de suma importância para prever os possíveis benefícios do uso de telas de sombreamento em casos de excesso de radiação, ou do uso de luzes de suplementação em caso de baixa luminosidade natural. O local em que foi realizado o estudo, em Piracicaba, SP, Brasil, cujo clima é Cwa, apresentou valores de LDI na faixa de $50 \text{ mol m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$, durante o final da primavera e do verão, o que é considerado bem acima do ótimo para a maioria das culturas (Torres; Lopez, 2010). No entanto, esses dados são desconhecidos para framboesa. Framboeseiras sob condições de excesso de luz direta estão passíveis a distúrbios em seu desenvolvimento, redução do crescimento das plantas, na área foliar, produtividade e qualidade dos frutos como consequência da redução da atividade fotossintética (Szalay et al., 2020). A energia que excede a capacidade de assimilação das folhas

causa aumento das espécies reativas de oxigênio (Mittler, 2006), que pode levar a inibição dos processos fotossintéticos e do desenvolvimento vegetativo (Lawlor; Cornic, 2002). Plantas mantidas a pleno sol sob as condições climáticas de Piracicaba, SP apresentaram redução na taxa fotossintética em relação a plantas cultivadas sob as telas na primavera e no verão, épocas do ano de maior disponibilidade de luz solar, indicando um estresse por excesso de radiação direta nessas épocas. Neste caso, as telas foram benéficas às plantas, criando um ambiente de menor estresse luminoso.

Estudo com framboeseiras 'Autumn Bliss' demonstrou que o aumento da LDI pelo aumento do fotoperíodo não alterou a taxa de crescimento das hastes (Carew et al., 2003). Os mesmos autores observaram que o aumento da LDI de 9,8 para 17,7 mol m⁻² dia⁻¹ acarretou em adiantamento do florescimento das plantas. Os mesmos resultados foram observados neste experimento, em que diferentes DFFF não acarretaram diferenças nos crescimentos das hastes. Sob a tela azul, a emissão de botões florais e o florescimento das plantas ocorreram mais tardiamente, devido a menor DFFF. O atraso no florescimento das plantas mantidas sob a tela azul resultou em uma colheita em até duas semanas mais tardia em relação à colheita das plantas sob a tela vermelha. A extensão do período de colheita em uma mesma área é muito desejável pelos produtores, uma vez que conseguem fornecer frutas ao mercado por um período mais longo de tempo, além de fornecer frutas em períodos de menores ofertas, conseguindo preços mais atrativos.

Além da quantidade de luz incidente, a qualidade da luz também desencadeia diferentes respostas por parte das plantas (Shahak, 2008). As telas fotosseletivas podem ser usadas para modificar as proporções de cada faixa do espectro luminoso, como o *ratio* entre a luz no espectro vermelho e vermelho-distante, que são percebidos por fitocromos, a quantidade de radiação disponível para ativar receptores de luz azul e ultravioleta-A, a luz azul envolvida em fototropismo, além de outros comprimentos de onda que podem influenciar o crescimento e desenvolvimento das plantas (Stamps, 2009). As alterações nos espectros azul, vermelho e vermelho-distante promovidas pelas telas de cor vermelha e azul utilizadas neste experimento foram significativas. O fato da tela azul ter filtrado grande parte da luz vermelha, fez com que o *ratio* vermelho : vermelho-distante sob esta tela fosse <1, o que resulta em redução do estado fotoestacionário do fitocromo (Kalaitzoglou et al., 2019), desencadeando algumas respostas possivelmente

relacionadas ao escape de sombreamento, tais como maior área foliar, hastes mais finas, com menores massas frescas e secas no primeiro ciclo, indicando plantas mais estioladas.

A influência das telas sobre os parâmetros físico-químicos dos frutos parece estar mais relacionado à ação indireta das alterações promovidas pelas telas sobre o desenvolvimento da planta, época de produção e quantidade de frutos produzidos do que pela ação direta das mudanças da quantidade e qualidade da luz na qualidade da fruta formada. O menor diâmetro e massa fresca das framboesas sob a tela vermelha pode estar relacionado ao maior número de frutas produzidas por haste sob esta tela em comparação aos frutos cultivados sob a tela azul, que foram menores em número, porém maiores em diâmetro e mais pesados. Além disso, em regiões quentes, a menor quantidade de luz incidindo no dossel das plantas pode reduzir a taxa de transpiração foliar, aumentando a eficiência do uso da água, reduzindo sintomas de estresse hídrico, levando a tamanhos maiores de frutos (Treder et al., 2016). Por outro lado, a média dos teores de sólidos solúveis foram maiores em frutos sob a tela vermelha em comparação com a média dos frutos sob a tela azul, que pode ser explicado pela maior taxa fotossintética das plantas sob a tela vermelha observada no verão, época de produção dos frutos.

As antocianinas possuem papéis importantes na foto-proteção das plantas contra o excesso de luz. A produção e acúmulo deste pigmento pelas plantas são afetados, principalmente, por temperatura e luz (Dussi et al., 2005). Bastías e Grappadelli (2012) relatam que a luz na faixa do vermelho e ultravioleta estimula a formação de antocianinas. Os resultados obtidos no experimento corroboram essa informação, uma vez que os frutos cultivados sob a tela vermelha produziram mais antocianinas no começo e fim da safra quando comparados aos frutos produzidos sob a tela azul.

Respostas diferenciais das framboeiras às diferentes telas fotosseletivas estudadas neste trabalho indicaram a existência de novas oportunidades de mercado. Verificou-se não somente a possibilidade agrônômica do estabelecimento de uma cultura de alto valor agregado em uma região não convencional e de clima quente (Cwa), como também demonstrou a possibilidade de se utilizar uma combinação de diferentes telas fotosseletivas para diferentes objetivos. As telas azuis, por proporcionarem frutos com maiores diâmetros, podem ser utilizadas para a produção de frutas a serem vendidas em nichos de mercado específicos, tais

como docerias, que optam por framboesas de maiores calibres. As plantas cultivadas sob tela vermelha, por sua vez, produzem maiores quantidades de framboesas, e com maiores teores médios de antocianinas e sólidos solúveis, sendo desejáveis para a indústria alimentícia, farmacêutica e cosmética. Além disso, o desencontro parcial das colheitas obtido em plantas sob telas azul e vermelha é desejável para produtores. Produzir frutas em época de menor oferta e fidelizar mercados ao comercializar frutas por um período de tempo mais longo possibilita ao produtor maximizar o lucro de sua atividade, otimizando a mão-de-obra nas colheitas e alcançando melhores preços de venda.

3.5 Conclusão

Framboesiras cultivadas sob telas fotosseletivas são favorecidas nas atividades fotossintéticas, em clima Cwa, na época de primavera e o verão, em comparação com plantas cultivadas a pleno sol, que sofrem fotoinibição.

Plantas cultivadas sob a tela azul têm o período de colheita atrasado e menor produção, em comparação com as colheitas de plantas cultivadas sob as telas vermelha e preta.

Frutos de plantas sob tela vermelha são menores e possuem maior teor de antocianinas que aqueles produzidos sob a tela azul.

Referências

Aoun, M., Manja, K. (2020). Effects of a photoselective netting system on Fuji and Jonagold apples in a Mediterranean orchard. *Scientia Horticulturae* 263:109104.

Bastías, R. M., Grappadelli, L. (2012). Light quality management in fruit orchards: physiological and technological aspects. *Chil. J. Agric. Res.* 72 (4), 574–581.

Carew, J. G., Mahmood, K., Darby, J., Hadley, P., Battey, N. H. (2003). The Effect of Temperature, Photosynthetic Photon Flux Density, and Photoperiod on the Vegetative Growth and Flowering of 'Autumn Bliss' Raspberry. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 128(3), 291-296.

Chen, L., Li, K., Liu, Q., Quiles, J. L., Filosa, R., Kamal, M. A., Wang, F., Kai, G., Zou, X., Teng, H., Xiao, J. (2019). Protective effects of raspberry on the oxidative damage in HepG2 cells through Keap1/Nrf2-dependent signaling pathway. *Food and Chemical Toxicology*, 133, 110781.

De Souza, V., Pereira, P. A. P., Da Silva, T. L. T., Lima, L. C. O., Pio, R., Queiroz, F. (2014). Determination of the bioactive compounds, antioxidant activity and chemical composition of Brazilian blackberry, red raspberry, strawberry, blueberry and sweet cherry fruits. *Food Chemistry* 156: 362–368.

Dussi, M. C., Giardina, G., Sosa, D., Junyent, R. G., Zecca, A., Reeb, P. (2005). Shade nets effect on canopy light distribution and quality of fruit and spur leaf on apple cv. Fuji. *Spanish Journal of Agricultural Research*, (2), 253-260.

Food and Agriculture Organization of United Nations (FAO). Faostat. (2021). Available at: <<http://faostat.fao.org/>>. Access on: 8 May 2021.

Ilić, Z. S., Fallik, E. (2017) Light quality manipulation improves vegetable quality at harvest and postharvest: a review. *Environ. Exp. Bot.* 139 (79–90).

Kalaitzoglou, P., Van Ieperen, W., Harbinson, J., van der Meer, M., Martinakos, S., Weerheim, K., Nicole, C. and Marcelis, L.F. (2019). Effects of continuous or end-of-day far-red light on tomato plant growth, morphology, light absorption, and fruit production. *Frontiers in Plant Science*, 10, p.322.

Kempler, C., Hall, H. K. (2013). World raspberry production and marketing: Industry changes and trends from 1960. In: Funt RC, Hall HK, eds. *Raspberries*. Wallingford: CABI, 213-234.

Köppen, W.; Geiger, R. (1928). *Klimate der Erde*. Gotha: Verlag Justus Perthes. Wall-Map 150cmx200cm.

Lawlor, D. W., Cornic, G. (2002). Photosynthetic carbon assimilation and associated metabolism in relation to water deficits in higher plants. *Plant, Cell & Environment* v. 25, p. 275– 294.

Manja, K., Aoun, M. (2019). The use of nets for tree fruit crops and their impact on the production: A review. *Scientia Horticulturae* 246: 110-122.

Medina, R. B., Cantuarias-Avilés, T. E., Angolini, S. F., Da Silva, S. R. (2018). Performance of ‘Emerald’ and ‘Jewel’ blueberry cultivars under no-chill incidence. *Pesquisa Agropecuária Tropical* 48(2): 147-152.

Mittler, R. (2006). Abiotic stress, the field environment and stress combination. *Trends in Plant Science* v.11, p.15–19.

Noratto, G., Chew, B. P., Ivanov, I. (2016). Red raspberry decreases heart biomarkers of cardiac remodeling associated with oxidative and inflammatory stress in obese diabetic db/db mice. *Food & Function*, v. 7, n. 12, p. 4944-4955.

Shahak, Y. (2008). Photo-selective netting for improved performance of horticultural crops. A review of ornamental and vegetable studies carried out in Israel. *Acta Horticulturae*. 770, 161-168.

Si, X., Chen, Q., Bi, J., Wu, X., Yi, J., Zhou, L., Li, Z. (2015). Comparison of different drying methods on the physical properties, bioactive compounds and antioxidant activity of raspberry powders. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 96(6): 2055-2062.

Silva, J. A. A. D., Grizotto, R. K., Miguel, F. B., Bárbaro, I. M. (2011). Caracterização físico-química de frutos de clones de doviális (*Dovyalis abyssinica* Warb). *Revista Brasileira de Fruticultura*, 33, 466-472.

Stamps, R. H. (2009). Use of colored shade netting in horticulture. *HortScience* 44 (2), 239–241.

Szalay, K., Keller, B., Rák, R., Péterfalvi, N., Kovács, L., Souček, J., Jung, A. (2020). Artificial solar radiation protection of raspberry plantation. *Progress in Agricultural Engineering Sciences*, v. 16, p. 141-150.

Torres, A. P., Lopez, R. G. (2010). Measuring daily light integral in a greenhouse. *Purdue Extension: West Lafayette, IN, USA*, 7.

Treder, W., Mika, A., Buler, Z., Klamkowski, K. (2016). Effects of hail nets on orchard light microclimate, apple tree growth, fruiting and fruit quality. *Acta Sci. Pol-Hortorum Cultus*, 15 (3), 17–27.

Torronen, R., Kolehmainen, M., Sarkkinen, E., Poutanen, K., Mykkänen, H., Niskanen, L. (2013). Berries reduce postprandial insulin responses to wheat and rye breads in healthy women. *The Journal of Nutrition*, 143(4), 430-436.

Zurawicz, E., Studnicki, M., Kubik, J., Pruski, K. (2018). A careful choice of compatible pollinizers significantly improves the size of fruits in red raspberry (*Rubus idaeus* L.). *Scientia Horticulturae*, v. 235, p. 253-257.

4. ANATOMIA FOLIAR DE FRAMBOESEIRAS CULTIVADAS SOB TELAS FOTOSSELETIVAS EM AMBIENTE PROTEGIDO

Resumo

O cultivo protegido e a utilização de telas fotosseletivas são opções para modificar e ampliar os ambientes e épocas de produção de plantas frutíferas. Mudanças no ambiente relativas à intensidade e qualidade da luz induzem respostas morfométricas e fisiológicas nas plantas, como no crescimento, produtividade, taxa de fotossíntese, e síntese de metabólitos secundários. No entanto, pouco é conhecido sobre mudanças na anatomia das folhas que justifiquem as modificações na fisiologia e fenologia das plantas. Neste estudo avaliaram-se aspectos anatômicos e fisiológicos de folhas de framboeseiras cultivadas sob diferentes telas fotosseletivas em resposta à quantidade e a qualidade da luz recebida. Framboeseiras cv. Heritage foram cultivadas a pleno sol e em casa de vegetação sob telas fotosseletivas vermelha, azul, preta e cinza em região de clima Cwa. Avaliou-se a reflectância espectral da folha, mudanças morfoanatômicas, teor de clorofilas, carotenoides e assimilação de CO₂. A espessura total da folha foi dependente da espessura do parênquima paliçádico, sendo maior em folhas cultivadas a pleno sol e menor sob telas de cor cinza e azul. A área foliar foi inversamente relacionada à espessura do parênquima paliçádico e à radiação fotossinteticamente ativa. Esta plasticidade das folhas alterou a quantidade de estômatos por área, porém não alterou o índice estomático. Plantas a pleno sol tiveram menores teores de clorofila e apresentaram menores taxas de assimilação de CO₂. O efeito positivo das telas de sombreamento na fotossíntese das folhas pode estar relacionado à mitigação de estresses causados pelo excesso de radiação. Framboeseiras demonstram boa capacidade de adaptação aos diferentes ambientes de cultivo. As telas de sombreamento promovem alterações morfológicas, anatômicas, bioquímicas e fisiológicas dos atributos foliares. A intensidade da luz é mais determinante para a plasticidade da folha do que a qualidade da luz.

Palavras-chave: *Rubus idaeus*; Sombreamento; Plasticidade fenotípica; Morfoanatomia; Reflectância; Espectro de luz; Fluxo de fótons

Abstract

The controlled environment and photosensitive nets are interesting options for extending the growing area and harvest season of fruit crops. Modifications in intensity and quality of light induce morphometric and physiological responses of plants as well as in their growth rate, yield, photosynthesis rate, and secondary metabolites production. However, little is known about the accompanying changes in the anatomy of leaves that explain such changes in the physiology and phenology of the plants. In this investigation, the leaf anatomy and physiology of raspberries grown under different photosensitive nets were studied. Plants of cv. Heritage were grown in full sun and in a controlled environment under black, red, blue, and gray nets in a Cwa climate region. Light intensity and quality, spectral leaf reflectance (SLR),

morphoanatomical changes, chlorophyll and carotenoid content, and CO₂ assimilation were evaluated. Overall, leaf thickness was dependent on the thickness of palisade parenchyma, being thicker in leaves of plants grown under full sun and thinner under gray and blue nets. Leaf area was inversely related to the thickness of the palisade parenchyma and to the PAR that reached the plant canopy. Such leaf phenotypic plasticity increased the stomatal density per area, though the stomatal index remained unchanged. Under full sun, plants had less chlorophyll and lower CO₂ assimilation. The beneficial effect of shading nets in the photosynthesis of the leaves could be related to the mitigation of light stress caused by the excess of radiation. The raspberries presented good adaptation to the different growing environments. Photosensitive nets caused several morphological, anatomic, biochemical, and physiological modifications in the raspberry leaves influenced more by the intensity than by the quality of the incident light.

Keywords: *Rubus idaeus*, Shading, Phenotypic plasticity, Morphoanatomy, Reflectance, Light spectrum, Photon flux

4.1 Introdução

A cultura da framboesa (*Rubus idaeus* L.) é pouco explorada no Brasil, mas apresenta enorme potencial de crescimento devido à demanda crescente pelos seus frutos (Barbosa et al., 2019). Suas características atrativas de aparência e sabor, aliadas a capacidade antioxidante, anti-inflamatória, anticancerígena e cardioprotetora contribuem para o aumento desta demanda (De Souza et al., 2014; Si et al., 2015; Klewicka et al., 2020). O interesse por framboesas frescas durante todo o ano encoraja o desenvolvimento de novas tecnologias de manejo visando a expansão das áreas cultivadas para regiões não tradicionais, ampliando assim o período de colheita (Darnell et al., 2006; Kempler; Hall, 2013; FAO, 2021). Por ser originário de clima temperado, o cultivo de framboesas no subtropical necessita de manejo específico para permitir ou melhorar o desenvolvimento das plantas.

O cultivo protegido é uma técnica aplicada no campo, principalmente para modificar os componentes do microclima, possibilitando assim que a produção seja viável e ocorra em diferentes estações do ano ou em áreas onde o plantio da cultura não é recomendado. Neste cenário, o uso de telas sobre o cultivo pode alterar o ambiente de produção, mitigando alguns efeitos da radiação excessiva ao reduzir a luz e o calor do local, assim como proteger a cultura de chuvas, granizo, vento e pássaros (Aoun; Manja, 2020). As telas comuns de sombreamento, como as de cor preta, cinza e branca, reduzem a radiação solar que por elas passam sem mudar muito as proporções das frações de luz, ou seja, afetam a quantidade, mas não a

qualidade da luz (Arthurs et al., 2013; Manja; Aoun, 2019). As telas fotosseletivas, diferentemente das telas comuns, são confeccionadas com materiais que modificam, de diferentes formas, a interação com a luz em termos de absorção, reflectância e transmitância. As telas fotosseletivas azuis e vermelhas, além de reduzir o total de radiação solar, afetam também a qualidade da luz ao modificar o espectro e transmitir diferentes proporções das luzes de cor azul, vermelha e vermelha-distante (Arthurs et al., 2013; Tafoya et al., 2018).

As plantas, devido a sua plasticidade que confere adaptação ao ambiente circundante (Žádníková et al., 2015), respondem às mudanças no ambiente modificando a sua morfologia, fisiologia e anatomia (Schlichting, 1986; Sultan, 2000; Gratani, 2014). As folhas, órgãos primários captadores de luz para a realização da fotossíntese, apresentam diversas reações de plasticidade em resposta às mudanças na quantidade e qualidade da luz (Baraldi et al., 1998; Zheng; Van Labeke, 2017; Chen et al., 2020). As folhas totalmente expostas ao sol são normalmente mais espessas, com maior densidade estomática e menor área foliar que as folhas sombreadas (Oguchi et al., 2018; Ōunapuu-Pikas; Sellin, 2020). No entanto, ainda são pouco conhecidos os efeitos do ambiente sob telas fotosseletivas, na plasticidade morfológica, anatômica e fisiológica das folhas (Solomakhin; Blanke, 2010). Neste estudo, foram avaliadas as características anatômicas, morfométricas e fisiológicas das folhas de framboeseira cultivadas em diferentes ambientes e sob telas fotosseletivas.

4.2 Material e métodos

4.2.1 Material vegetal e área de estudo

Mudas de framboesiras (*Rubus idaeus* L.) cv. Heritage foram cultivadas em vasos de 30 L com substrato de fibra de coco (Golden Mix Misto 98, Amafibra) e turfa de *Sphagnum* (Jiffy TPS, Jiffy Group) na proporção de 2:1, com aplicação semanal de nutrientes, por fertirrigação. O estudo foi realizado no ano de 2017 em Piracicaba, Brasil (22° 42' 31" S 47° 37' 44" O, altitude de 554 m), e clima Cwa (Köppen; Geiger, 1928). Os dados de temperatura constam no anexo A. Vasos com framboesiras dispostos no sentido Norte-Sul a pleno sol foram considerados como

tratamento controle. Os demais tratamentos foram dispostos em casa de vegetação coberta por filme de polietileno de baixa densidade (PEBD) de 150 µm, com telas fotosselativas adicionais: cinza (Freshnet® - 65% de sombreamento nominal), azul, vermelha (ChromatiNET® - 50% de sombreamento nominal no topo e 50% de sombreamento relativo nominal nas paredes) e preta (35% de sombreamento nominal no topo e 35% de sombreamento relativo nominal nas paredes), com um total de nove vasos por tratamento. Nove meses após a alocação dos vasos nos diferentes ambientes, as plantas foram podadas, sendo selecionadas duas novas hastes por vaso. As análises anatômicas, morfométricas e fisiológicas das folhas foram realizadas a partir de dois meses após a poda das plantas.

4.2.2 Condições dos ambientes de produção

A redução da intensidade de luz promovida pelas telas e pelo PEBD foi medido com câmera hiperespectral Resonon Pika L 400 – 1000 nm (Resonon Imaging Systems, Bozeman, MT, EUA), com resolução espectral de 3,7 nm, montada em uma torre com iluminação suspensa, uma plataforma de escaneamento e uma placa branca de teflon. Com o sistema de iluminação descoberto e aceso, realizou-se a medição da reflectância da placa branca, como padrão. Para avaliação dos tratamentos, o sistema de iluminação foi coberto com cada tipo de tela e foram realizadas novas medições da reflectância da mesma placa. A porcentagem de redução da luz causada por cada tela fotosselativa foi calculada a partir da diferença entre a reflectância da placa branca e a reflectância da mesma placa com o sistema de iluminação coberto pelas telas.

4.2.3 Reflectância das folhas em diferentes ambientes de produção

A reflectância espectral foi medida de 350 a 2500 nm com um espectrômetro portátil (FieldSpec 3 Jr, Analytical Spectral Devices, Boulder, CO, EUA) na sexta folha, do ápice meristemático para a base, em 10 folhas por tratamento (ambientes de produção), 48 dias após a poda. Os dados foram avaliados nas quatro partes principais do espectro: luz visível (400-700 nm); vermelho limítrofe (690 a 750 nm);

infravermelho próximo (IVP - 750 a 1300 nm) e infravermelho de ondas curtas (IVOC - 1300 a 2500 nm).

4.2.4 Morfometria e anatomia da folha em diferentes ambientes de produção

Para as análises morfométricas e anatômicas foram coletadas a quinta folha, do ápice meristemático para a base, de três plantas por tratamento, 48 dias após a poda. As folhas foram padronizadas em seções de 3 x 10 mm do terço médio do folíolo central, fixadas em solução de Karnovsky (Karnovsky, 1965), e submetidas à bomba de vácuo para remoção do ar do tecido vegetal. As amostras fixadas foram desidratadas em uma série etílica (10, 20, 30, 50, 70, 80, 90 e 100%, por 15 minutos em cada série) e embebidas em resina plástica (Leica HistoResin®, Heraeus-Kulzer, Hanau, Alemanha). Foram realizados cortes transversais de 6 µm de espessura em um micrótomo rotativo (RM 2045, Leica Biosystems, Heidelberg, Alemanha), montados em lâminas de vidro, corados com azul de toluidina O (Sakai, 1973), e montados com resina sintética Entellan® (Merck, Darmstadt, Alemanha). As análises das imagens foram realizadas em microscópio óptico DMLB (Leica Microsystems, Wetzlar, Alemanha) com câmera digital DFC 310Fx e o *software* LAS 4.0 (Leica). A espessura total das folhas, da epiderme adaxial e abaxial e do parênquima paliçádico e esponjoso foi medida em seis segmentos ao longo de cada corte transversal. Cinco cortes transversais foram feitos para cada uma das três replicações, com um total de 90 medições por tratamento. As medições dos cortes foram realizadas com o auxílio do *software* ImageJ (Rasband, 2018). O Índice Estomático (IE) foi avaliado no folíolo central de dez folhas por tratamento após secagem em estufa a 37 °C por 20 minutos. Em um estereomicroscópio, uma área de 1 cm² da epiderme abaxial no terço médio do folíolo foi raspada utilizando pinças curvadas, para cortar os tricomas não glandulares. As amostras foram submersas em solução aquosa de hidróxido de sódio (5% p/v) por 30 min, seguida por solução de hipoclorito de sódio (20% v/v) até a completa descoloração. Após o enxague em água destilada, as lâminas foram coradas com Azul de Alcian-Safranina O (9:1 v/v). As imagens foram capturadas digitalmente a partir de cinco regiões diferentes de cada lâmina usando microscópio óptico Leica DMLB e câmera Leica DFC 310Fx

(Leica Microsystems, Alemanha). Para a contagem dos estômatos e de outras células epidérmicas para compor o IE utilizou-se o *software* ImageJ. O IE foi calculado pela equação: $IE = E/(CE + E)$, em que E é o número de estômatos, e CE o número de células epidérmicas (Paul et al., 2017). Para avaliar a área foliar, quatro meses após a poda, 20 folhas totalmente expandidas de cada tratamento foram medidas utilizando-se o medidor de área Li-Cor Li-3000 (Li-Cor Inc., EUA).

4.2.5 Teor de clorofila e carotenoides totais das folhas

O teor de clorofila e carotenoides das folhas em cada ambiente de produção foram determinados de acordo com Hiscox e Israelstam (1979), com modificações. Foram coletadas a quinta folha, do ápice para a base, de quatro plantas diferentes 48 dias após a poda, e retirados quatro discos de 0,88 cm² do folíolo central, que foram colocados em frascos contendo 5 mL de dimetilsulfóxido (DMSO) e mantidos no escuro por 48 horas. A absorvância foi lida por espectrofotometria a 665, 649 e 470 nm. Os resultados foram calculados para o teor de clorofila total (Cl-*t*), clorofila *a* (Cl-*a*), clorofila *b* (Cl-*b*) e carotenoides totais (Ca), sendo expressos em µg cm⁻². O *ratio* de Cl-*a* : Cl-*b* foi calculado pela divisão de seus teores (Welburn, 1994). Para o *ratio* de clorofilas : carotenoides, o Cl-*t* foi dividido pelo teor de Ca.

4.2.6 Assimilação de CO₂

A assimilação fotossintética de CO₂ (A) pelas folhas foi medida 90 dias após a poda por um analisador de gás infravermelho Li-6400XT (Li-Cor Inc., Lincoln, NE, USA), com câmara de 2 cm², programada para uma concentração constante de 400 µmol CO₂ mol⁻¹, temperatura de 25 °C e RFA de 1000 µmol m⁻² s⁻¹. Folíolos centrais da quarta folha, do ápice para a base do ramo, de três plantas por tratamento, foram avaliados entre as 09:00 h e 11:00 h, sendo a assimilação fotossintética expressa em µmol CO₂ m⁻² s⁻¹. As folhas foram mantidas em sua posição natural durante as medições.

4.2.7 Análise estatística

Os dados obtidos foram submetidos à Análise de Variância (ANOVA) utilizando-se o *software* R Studio (R Core Team, 2018 - Versão 1.2.5033), e as médias foram comparadas pelo teste de Scott-Knott ($p \leq 0,05$). A Análise dos Componentes Principais (ACP) biplot foi executada utilizando-se o *software* Paleontological Statistics (PAST versão 4.02) (Hammer et al., 2001).

4.3 Resultados

Alteração da intensidade e qualidade da luz

A redução da intensidade de luz em 15% pelo filme de polietileno de baixa densidade, utilizado no revestimento do teto da casa de vegetação, foi homogênea ao longo do espectro de radiação entre 400 a 800 nm. As telas fotosselativas posicionadas abaixo do revestimento do teto apresentaram, entretanto, valores variados quanto à luz transmitida. A tela preta apresentou uma transmitância homogênea ao longo do espectro e menor redução da intensidade de luz, com média de redução da RFA de 33%. A tela vermelha reduziu 53% da intensidade luminosa no espectro entre 400 a 700 nm, tendo uma redução de 57% nos comprimentos de onda compreendidos pela cor azul (400 a 500 nm) e 41% na faixa de comprimento de onda entre 600 e 700 nm. A tela fotosselativa azul proporcionou sombreamento médio da RFA de 61%, com uma redução de 53% na faixa espectral compreendida pela cor azul (400 a 500 nm) e de 70% no intervalo de 600 a 700 nm. A tela cinza, assim como a tela preta, apresentou transmitância homogênea ao longo do espectro, porém com 70% de redução da intensidade de radiação fotossinteticamente ativa. Na faixa do infravermelho próximo, o sombreamento da tela cinza apresentou respostas semelhantes às porcentagens observadas em cada tela no espectro da luz vermelha, com exceção da tela azul, que apresentou uma maior transmitância de radiação a partir de 750 nm (Figura 1).

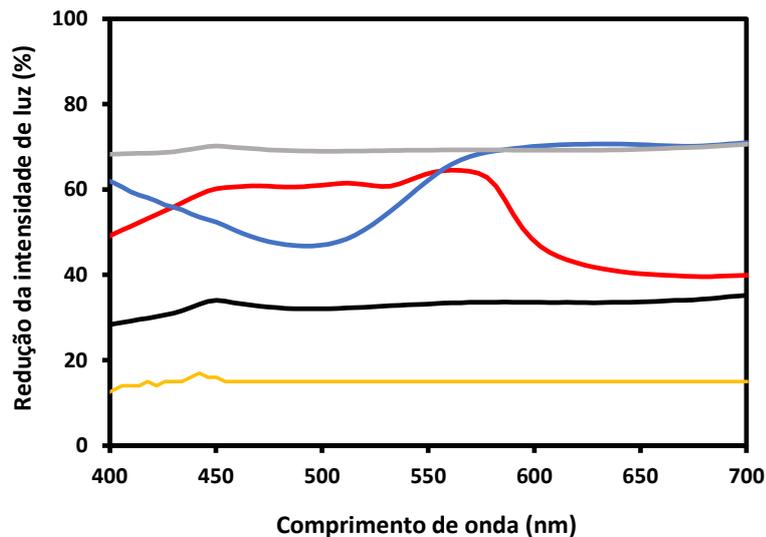


Figura 1. Redução da intensidade de luz causada pelas telas fotoseletivas preta (—), vermelha (—), azul (—), cinza (—) e do filme de polietileno de baixa densidade (—) no espectro de radiação de 400 a 800 nm, obtidos com câmera hiperespectral com resolução espectral de 4 nm.

Morfometria da folha e anatomia quantitativa

As framboeseiras mantidas sob telas apresentaram folhas com área foliar maior do que das plantas mantidas a pleno sol (Tabela 1). Plantas sob tela azul apresentaram maior área foliar (Tabela 1). Em relação à espessura foliar, as plantas mantidas a pleno sol foram as que apresentaram maiores valores quando comparadas às plantas mantidas sob telas (Tabela 1). Sob as telas, as plantas mantidas na tela cinza foram as que apresentaram menor espessura foliar (Tabela 1).

Plantas mantidas em pleno sol apresentaram folhas com a maior espessura da epiderme adaxial quando comparadas àquelas sob telas vermelha e azul (Tabela 1). Para a epiderme abaxial, as folhas de plantas mantidas a pleno sol apresentaram menores espessuras, comparáveis apenas às plantas sob a tela cinza (Tabela 1).

Todos os tratamentos apresentaram mesofilo dorsiventral. O parênquima paliçádico foi influenciado pelos tratamentos, onde o número de camadas de paliças e a conseqüente espessura deste parênquima tiveram uma alta plasticidade. As plantas mantidas em pleno sol apresentaram a formação de um mesofilo adensado, com células alongadas e com uma paliçada dupla bem definida, e por conseqüência um parênquima paliçádico mais espesso (Figura 2a-b, e Tabela 1). As folhas sob a tela vermelha foram 13% mais finas que as de pleno sol e tiveram uma paliçada bem definida com uma camada inferior de células formando uma transição entre a

paliçada típica e o parênquima esponjoso (Figura 2c). Esta camada de transição de células também pode ser encontrada em folhas sob o tratamento azul (Figura 2d). As folhas cultivadas sob tela cinza também apresentaram somente uma camada de células no parênquima paliçádico (Figura 2e). Plantas sob essas duas telas (azul e cinza) foram as que apresentaram menor espessura do parênquima paliçádico (Tabela 1). O parênquima esponjoso se mostrou bem adensado nos tratamentos preto e pleno sol (Figura 2a-b) apresentando poucos espaços intercelulares. Por outro lado, nos tratamentos vermelho, azul e cinza as células têm um arranjo mais folgado neste parênquima, resultando em mais espaços de ar entre as células (Figura 2c-e). As folhas sob tela azul apresentaram parênquima esponjoso mais espesso do que observado em plantas dos outros tratamentos (Tabela 1). O *ratio* entre parênquima paliçádico e esponjoso apresentou valores <1 para telas azuis e cinzas, o que indica um parênquima esponjoso mais espesso do que o paliçádico. O tratamento a pleno sol foi o que apresentou o maior *ratio* (Tabela 1).

Os estômatos foram observados somente na superfície abaxial das folhas. O tratamento a pleno sol apresentou a maior densidade estomática entre os tratamentos. As folhas de plantas mantidas sob tela preta e cinza foram as que apresentaram a menor densidade estomática (Tabela 1). Quanto às células epidérmicas, os resultados foram similares ao observado para a densidade estomática, o que resultou em um índice estomático similar entre todos os tratamentos (Tabela 1).

Tabela 1. Valores médios dos parâmetros anatômicos de folhas de *Rubus idaeus* cv. Heritage cultivadas sob diferentes telas fotosseletivas, em Piracicaba, SP, Brasil.

Parâmetros	Tratamentos					CV (%)
	Pleno sol	Preto	Vermelho	Azul	Cinza	
Área foliar (cm ²)	55,0 c	142,6 b	147,9 b	163,2 a	148,4 b	7,2
Espessura foliar (µm)	91,3 a	82,1 b	79,0 b	76,2 b	63,6 c	5,5
Epiderme adaxial (µm)	17,5 a	15,5 b	17,3 a	18,9 a	13,4 b	7,0
Epiderme abaxial (µm)	9,1 b	10,4 a	10,9 a	11,3 a	9,3 b	7,3
Parênquima paliçádico (PP) (µm)	42,0 a	33,0 b	28,9 c	19,2 d	17,5 d	6,2
Parênquima esponjoso (PE) (µm)	22,6 b	23,3 b	22,0 b	28,1 a	23,4 b	7,6
Ratio PP : PE	1,86 a	1,42 b	1,31 b	0,69 c	0,74 c	8,0
Densidade estomática (n.mm ⁻²)	787 a	606 c	664 b	475 d	549 c	13,7
Células epidérmicas (n.mm ⁻²)	4860 a	3810 c	4147 b	3311 d	3549 d	9,6
Índice estomático	0,139 a	0,137 a	0,138 a	0,125 a	0,134 a	9,8

Letras diferentes nas linhas indicam diferenças significativas ($p \leq 0,05$) de acordo com o teste de Scott-Knott. CV (%): Coeficiente de Variação.

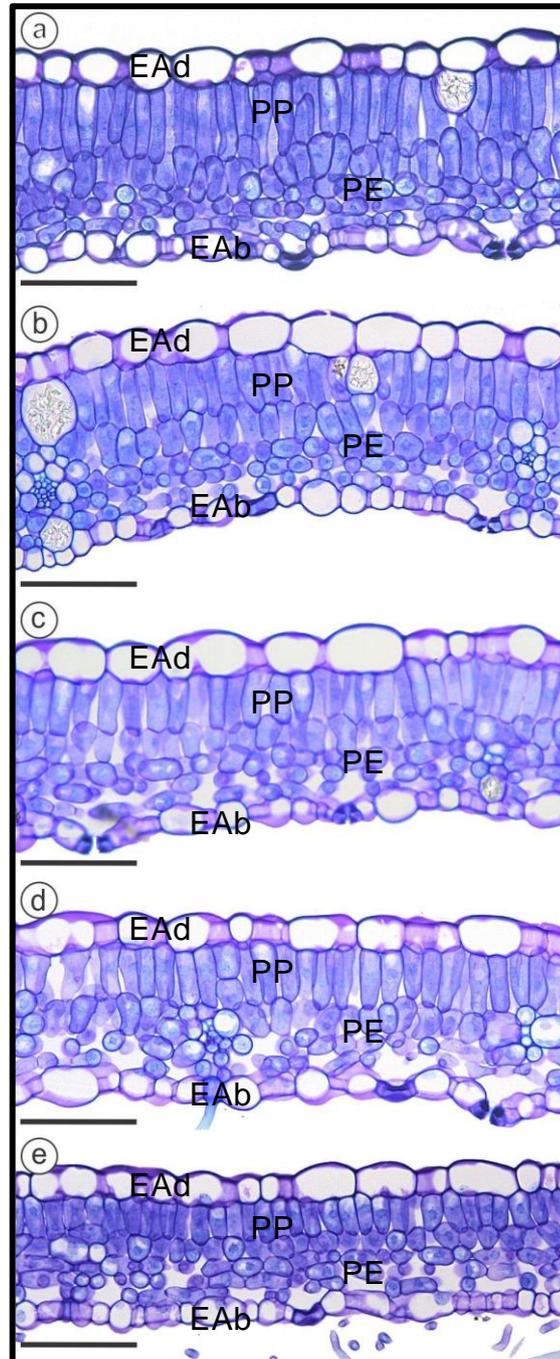


Figura 2. Fotomicrografias de cortes transversais de folhas de *Rubus idaeus* cv. Heritage cultivadas a pleno sol (a) e sob as telas fotosseletivas preta (b), vermelha (c), azul (d) e cinza (e). Barras de Escala: 50 μm . EAd: epiderme adaxial. EAb: epiderme abaxial. PP: parênquima paliçádico. PE: parênquima esponjoso.

Reflectância foliar

As folhas absorveram mais luz no espectro visível (400-700 nm), e a reflectância aumentou drasticamente no IVP e IVOC representadas no espectro de 690 nm em diante (Figura 3a). Diferentes partes do espectro apresentaram respostas particulares da reflectância foliar de acordo com cada tratamento. No

espectro da luz visível (400-700 nm) (Figura 3b), a reflectância nas faixas azul e vermelha (400-500 e 600-700 nm) foi baixa e a reflectância máxima nesta porção do espectro foi observada na faixa verde (560 nm). A reflectância foliar nos comprimentos de onda azul e vermelho foi similar entre os tratamentos, embora as folhas totalmente expostas ao sol tenham apresentado maior reflectância nos comprimentos de onda verde, e os menores valores para os tratamentos preto, vermelho e cinza. As folhas sob o sol pleno e telas azuis tiveram maior reflectância no intervalo do vermelho limítrofe (690 - 750 nm) (Figura 3c). A reflectância no IVP mostra valores mais altos em folhas cultivadas sob as telas azul e cinza (Figura 3d), enquanto as folhas a pleno sol tiveram os menores valores.

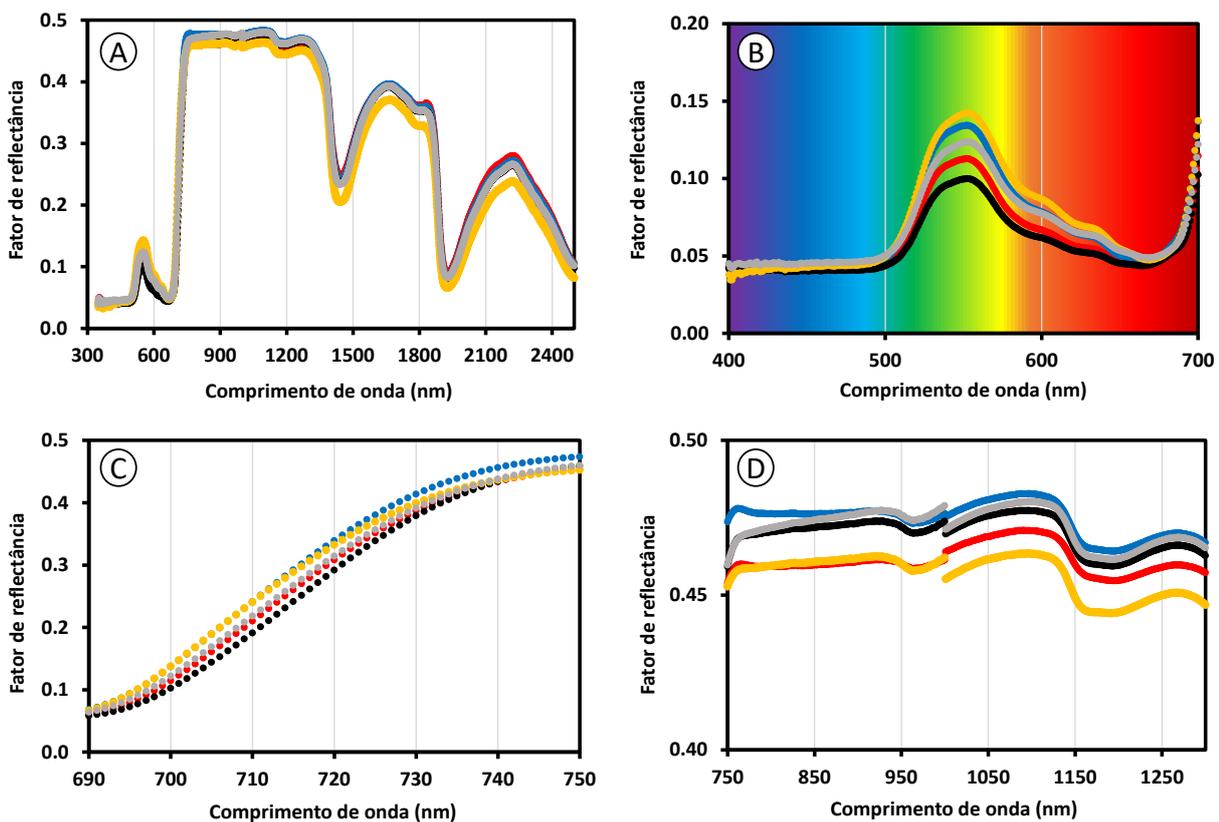


Figura 3. Reflectância espectral foliar de *Rubus idaeus* cv. Heritage em Piracicaba, SP, Brasil. (A) Faixa de 300 a 2500 nm. (B) Faixa do espectro visível (400 a 700 nm). (C) Faixa do espectro do vermelho limítrofe (690 a 750 nm). (D) Faixa do infravermelho próximo (750 a 1250 nm). Pleno sol (○); Tela preta (●); Tela vermelha (●); Tela azul (●); Tela cinza (*).

Assimilação de carbono

As telas de sombreamento aumentaram a fotossíntese quando comparadas a folhas expostas a pleno sol (Tabela 2). A maior taxa de assimilação de carbono pelas folhas foi observada no tratamento cinza, sendo superior em 61 % ao tratamento a pleno sol. As folhas mantidas sob as telas preta, vermelha e azul apresentaram uma assimilação de carbono inferior ao observado em plantas mantidas sob a tela cinza, contudo superiores às plantas mantidas a pleno sol (Tabela 2).

Teor de pigmentos

Folhas sob as telas vermelha e cinza apresentaram um teor de Cl-a ($\mu\text{g cm}^{-2}$) e de carotenoides superiores aos observados nos demais tratamentos (Tabela 2). As diferenças nos teores de Cl-b foram iguais às de Cl-t em que os maiores valores foram observados em folhas sob telas vermelha e cinza. As plantas sob tela azul foram as que apresentaram menores concentrações de clorofila total, clorofila b e de carotenoides (Tabela 2). As reduções nos carotenoides afetaram a razão Cl-t:Ca, onde o tratamento azul mostrou a razão mais alta mesmo com a menor quantidade de Cl-t (Tabela 2).

Tabela 2. Assimilação de CO_2 (A), Clorofila total (Cl-t), Clorofila a (Cl-a), Clorofila b (Cl-b), Carotenoides (Ca) de folhas de *Rubus idaeus* cv. Heritage cultivadas sob diferentes telas fotoseletivas em Piracicaba, SP, Brasil.

Parâmetros	Tratamentos					CV (%)
	Pleno sol	Preto	Vermelho	Azul	Cinza	
A ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)	6,4 c	8,1 b	8,1 b	7,7 b	10,3 a	9,3
Cl-t ($\mu\text{g cm}^{-2}$)	43,6 b	48,5 b	57,8 a	36,4 c	57,0 a	11,5
Cl-a ($\mu\text{g cm}^{-2}$)	30,5 b	34,5 a	41,3 a	26,3 b	40,0 a	12,2
Cl-b ($\mu\text{g cm}^{-2}$)	13,1 b	14,0 b	16,5 a	10,1 c	17,0 a	10,1
Ratio Cl-a : Cl-b	2,3 b	2,5 a	2,5 a	2,6 a	2,4 b	4,3
Ca ($\mu\text{g cm}^{-2}$)	8,7 b	8,8 b	11,4 a	5,7 c	10,5 a	13,3
Ratio Cl-t : Ca	5,0 b	5,6 b	5,1 b	5,5 a	5,5 b	7,3

Letras diferentes nas linhas indicam diferenças significativas ($p \leq 0,05$) acordo com o teste de Scott-Knott. CV (%): Coeficiente de Variação.

Anatomia e bioquímica das folhas

Com os resultados obtidos dos parâmetros anatômicos e bioquímicos foi utilizada a análise de componentes principais (ACP) biplot bi-dimensional para a caracterização dos tratamentos (Figura 4). Os componentes 1 e 2 (eixo x e y, respectivamente) representam 87.9 % da variância dos dados. O componente 1 foi caracterizado principalmente pelos teores de clorofila e assimilação de carbono, enquanto o componente 2 explica a variância entre a estrutura anatômica, principalmente na espessura dos parênquimas paliçádico e esponjoso.

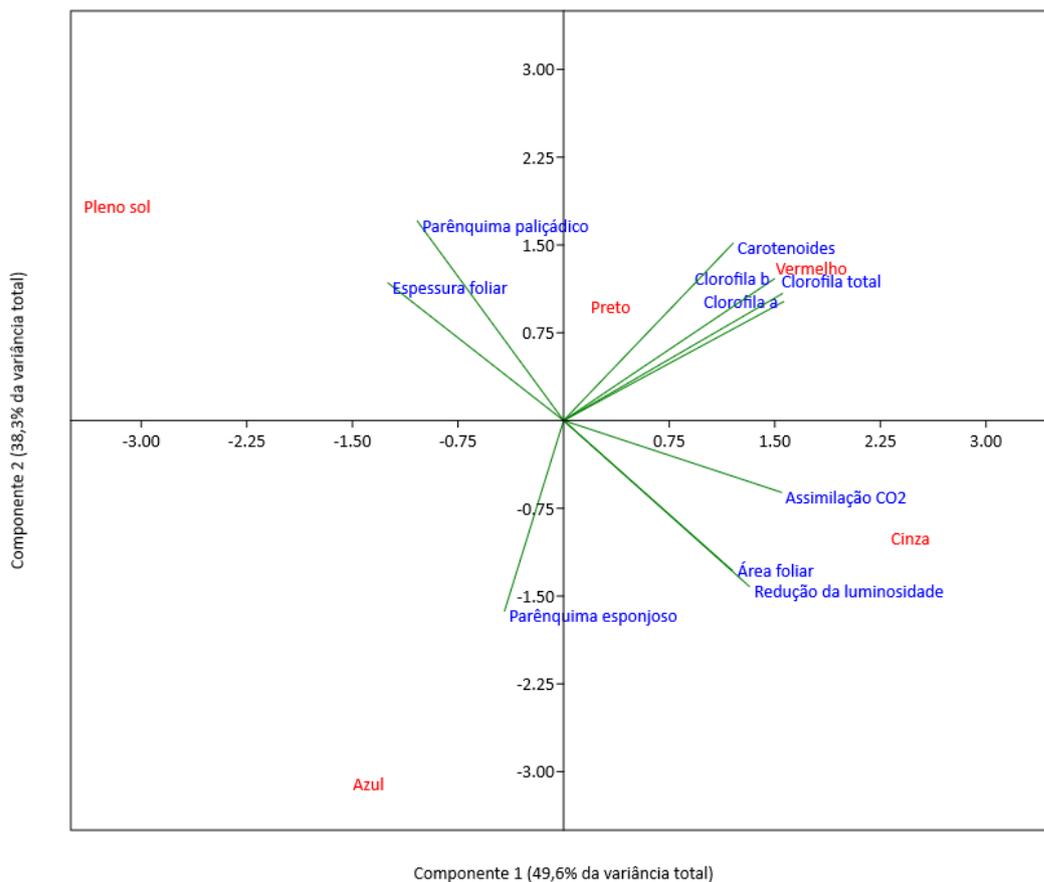


Figura 4. Análise dos componentes principais biplot bi-dimensional caracterizando as folhas dos cinco tratamentos de acordo com suas características anatômicas e bioquímicas.

A espessura da folha apresentou alta correlação com a espessura do parênquima paliçádico. A área foliar foi fortemente relacionada com a redução da

luminosidade, e ambos foram inversamente relacionados à espessura foliar. Os teores dos pigmentos clorofila a, b e carotenoides foram fortemente correlacionados entre si. As folhas dos cinco tratamentos podem ser separadas em termos de características anatômicas e bioquímicas. Os tratamentos cinza, vermelho e preto situaram-se no lado positivo do eixo x, demonstrando que nestes tratamentos as folhas apresentaram maior teor de pigmentos, principalmente a clorofila a. Por outro lado, os tratamentos em que as folhas estiveram sob tela azul ou a pleno sol foram as que apresentaram os menores valores de clorofila a e também de assimilação de carbono. A distribuição espacial sobre o eixo y dividiu os tratamentos em dois grupos, sendo os tratamentos a pleno sol, preto e vermelho positivamente correlacionados com a espessura do parênquima paliçádico, enquanto as telas de cor azul e cinza apresentaram as menores espessuras das paliças. A separação dos tratamentos pelo componente 2, também segue a quantidade de radiação fotossinteticamente ativa recebida pelas plantas, evidenciando a plasticidade fenotípica e a conseqüente habilidade das folhas de framboeseira em modificar a sua morfometria de acordo com o ambiente em que é cultivada.

4.4 Discussão

Modificação da intensidade e qualidade de luz e seu impacto na anatomia e morfometria das folhas

As telas fotosseletivas promoveram mudanças tanto na quantidade como na qualidade da luz transmitida. As reduções da RFA promovidas pelas telas e medidas neste estudo foram diferentes das informadas pelo fabricante, sendo inferior em 2 pontos percentuais (p.p.) para a tela preta, 3 p.p. maior para tela vermelha, 11 p.p. maior para tela azul e 4 p.p maior para a tela cinza. Além dessas diferenças aferidas, foi observado que as telas pretas e cinzas não interferiram no desenho do espectro de luz que é transmitido. Os materiais constituintes destas telas filtram a luz de forma homogênea em todos os comprimentos de onda. Por outro lado, as telas fotosseletivas azuis e vermelhas filtraram alguns comprimentos de onda mais do que outros, transmitindo mais radiação em alguns espectros, alterando as proporções de fótons nos espectros da luz azul e vermelha.

As alterações no ambiente afetam diretamente os parâmetros morfoanatômicos das folhas, que se adaptam de acordo com a intensidade luminosa (Hanba et al., 2002). Quanto menor a intensidade de luz, maior a área das folhas,

como forma de maximizar a captação de luz (Taiz; Zeiger, 2004; Kim et al., 2005). Em contrapartida, folhas de plantas que crescem sob alta intensidade luminosa são menores e mais espessas, reduzindo a área passível de perda de água por transpiração. Os resultados encontrados na literatura estão de acordo com os obtidos neste estudo, em que folhas de plantas a pleno sol receberam a maior intensidade de luz e apresentaram a menor área foliar e a maior espessura do limbo (Martins et al., 2008; Ribeiro et al., 2018).

As diferentes reflectâncias das folhas nos quatro subgrupos do espectro indicam alterações bioquímicas e estruturais que ocorreram em resposta aos tratamentos aplicados. No espectro da luz visível (400-700 nm) a menor reflectância nas faixas azul e vermelha (400-500 e 600-700 nm) ocorre devido à absorção de luz dos pigmentos, e a não-absorção de luz pelos pigmentos na faixa verde (560 nm) promove a visualização da cor verde natural das folhas (Croft; Chen, 2017). A região espectral do vermelho limítrofe (690 - 750 nm) marca a transição entre a forte absorção da faixa vermelho pelas clorofilas e os altos valores de reflectância. As folhas a sol pleno e telas azuis tiveram maior reflectância neste intervalo, indicando uma saturação mais rápida das clorofilas quando o comprimento de onda passa do vermelho para o infravermelho, indicando menor teor de clorofila comparado aos outros tratamentos (Filella; Penuelas, 1994). A reflectância no IVP mostra valores mais altos em folhas cultivadas sob as telas azul e cinza, enquanto as folhas a pleno sol tiveram os menores valores, indicando um mesofilo mais compacto para folhas a pleno sol, em contraste com os tratamentos azul e cinza (Croft; Chen, 2017; Jacquemoud; Ustin, 2019).

As condições ambientais durante o desenvolvimento das plantas influenciam o tamanho e arranjo das células do parênquima paliçádico, bem como da densidade do parênquima esponjoso (Retta et al., 2019). Ambientes com maior disponibilidade de RFA promovem o desenvolvimento de mais de uma camada de paliças, como observado no presente estudo em folhas de framboeseira a pleno sol e sob tela preta. A camada de transição entre o parênquima paliçádico típico e o esponjoso, visto no mesofilo de folhas sob telas vermelhas e azuis também foi observado por Baraldi et al. (1998) utilizando filtros plásticos para transmitância da luz azul + infravermelha.

O parênquima paliçádico prevalece em relação ao esponjoso em condições de iluminação adequada. Porém, algumas espécies quando cultivadas sob sombra,

apresentam uma diminuição das diferenças entre os parênquimas, ou até mesmo uma reversão das espessuras, com os parênquimas esponjosos maiores que os paliçádicos (Ivanova; P'yankov, 2002; Silva et al. 2015). O *ratio* observado entre o PP e PE nas folhas foi maior que 1,0 nas folhas em plantas mantidas a pleno sol e sob telas pretas e vermelhas. As telas azuis e cinzas promoveram folhas com *ratio* menor que 1,0, indicando um parênquima esponjoso maior que o paliçádico nestes tratamentos, o que corrobora a ideia da reversão das espessuras em ambientes de menor disponibilidade de luz.

As diferentes respostas que as plantas apresentam nas estruturas internas das folhas, relacionadas às condições do ambiente, indicam uma adaptação fotomorfogênica específica que visa aumentar a captação de luz e absorbância (Li et al., 2020). Os tratamentos a pleno sol e com tela preta estimularam a formação de mesofilo adensado, com dupla camada de paliçada bem definida, aumentando a espessura total da folha. Este comportamento similar ocorrido entre folhas a pleno sol e sob tela preta pode estar relacionado ao fato da tela preta ter a menor redução da luminosidade entre as telas, além de não ter interferido no desenho do espectro da luz solar. O estímulo à formação de um mesofilo adensado, com dupla camada de paliças e consequente espessamento do limbo foliar está relacionado à distribuição da luz no mesofilo. As células colunares do tecido paliçádico permitem o espalhamento luminoso, permitindo penetração mais profunda da luz, enquanto as do esponjoso aumentam a captura de luz por espalhamento da luz (Evans, 1999; Hanba et al., 2002). Yano e Terashima (2004) discutem ainda que a diferença no número de camadas é causada por mudanças direcionais na divisão celular, não por divisões celulares adicionais. A manutenção de plantas em ambiente sombreado, de forma contrária, implica na redução do número de camadas de células do mesofilo bem como na redução da compactação (Yano; Terashima, 2004; Gregoriou et al., 2007). A luz azul diminui o adensamento celular ao aumentar os espaços intercelulares os quais são menores em plantas sob luz vermelha (Baraldi et al., 1998; Bastías et al., 2021). O aumento nos espaços intercelulares interfere também na condutância de CO₂ a partir dos estômatos (Gregoriou et al., 2007).

O aumento da densidade estomática proporcionado pelo aumento da disponibilidade de luz observado neste estudo para a framboesa está de acordo com trabalhos realizados para outras espécies (Hanba et al., 2002; Bastías et al., 2012; Ribeiro et al., 2018). Apesar das diferenças observadas na densidade estomática e

número de células epidérmicas, a proporção entre estes dois parâmetros se manteve igual entre os tratamentos, evidenciado pelos índices estomáticos obtidos. Por tanto, de uma maneira geral, quanto menor a intensidade luminosa, maior foi a área foliar. Esta expansão da área foliar, contudo, não alterou a relação entre estômatos e células epidérmicas, mantendo o índice igual, o que indica uma proporção igual entre o número de células epidérmicas e de estômatos em uma mesma área da folha, independentemente da disponibilidade de luz. Entretanto em macieiras, os resultados observados foram inversos, pois um aumento de 10 a 15% na proporção de estômatos ocorreu em folhas cultivadas sob telas azuis e vermelhas (40% de sombreamento), em comparação ao controle com telas brancas com 20% de sombreamento (Bastías et al., 2021).

A resposta da espessura das células epidérmicas parece ser bem heterogênea. Alguns trabalhos convergem para uma tendência de aumento da espessura das células da epiderme tanto adaxial quanto abaxial em condições de iluminação intensa (Kim et al., 2005; Solomakhin; Blanke, 2010; Baraldi et al., 1998; Ribeiro et al., 2018; Costa et al., 2018). Contudo, nenhuma diferença foi observada para cultivo de maçãs e de alfavaca (*Ocimum gratissimum*) (Bastías et al., 2021; Martins et al., 2008). Lee et al. (2000) discorrem que o espessamento das células é resposta protetiva ao excesso de luminosidade, corroborando os resultados obtidos para framboesa, em que as menores espessuras de epiderme foram observadas em folhas sob telas cinzas, com a maior redução da luminosidade.

Modificação da intensidade e qualidade de luz e seu impacto nos teores de pigmentos e fotossíntese das folhas

Folhas sob telas vermelha e cinza apresentaram maiores concentrações totais de clorofila ($\mu\text{g cm}^{-2}$). Telas azuis mostraram as menores concentrações de clorofila e carotenoides. Estes resultados diferem dos referidos na literatura, que relatam maiores concentrações de clorofila sob telas azuis e menores sob tela vermelha e pleno sol (Souza et al., 2011; Pacheco et al., 2013; Soares et al., 2017; Bastías et al., 2021). Estas respostas estão associadas ao aumento das clorofilas em resposta ao sombreamento enquanto estratégia de aclimatação e ao estímulo à produção de clorofila sob luz azul, pela ação de fototropinas (Tsunoyama et al.,

2002; Takemiya et al., 2005). Entretanto, a tela azul, ao filtrar grande parte da luz vermelha, reduziu o *ratio* entre vermelho : vermelho distante, o que resulta em redução do estado fotoestacionário do fitocromo (Kalaitzoglou et al., 2019), desencadeando algumas respostas possivelmente relacionadas ao escape ao sombreamento, dentre elas o maior comprimento de folhas, menor massa por área de folha e redução do conteúdo de clorofila (Smith; Whitelam, 1997; Evans; Poorter, 2001; Sasidharan et al., 2010). Estas respostas foram observadas para framboesas no presente estudo em Piracicaba, onde houve um aumento da área foliar, menor espessura de folha, indicando menor massa por área de folha e menores teores de clorofilas.

O efeito positivo das telas de sombreamento na fotossíntese das folhas de framboeseira pode estar relacionado à mitigação de estresses causados pelo excesso de radiação e maior temperatura do ambiente no tratamento a pleno sol. O excesso de radiação pode causar elevação da temperatura ambiente, o que causa degradação das clorofilas *a* e *b*, reduzindo assim a fotossíntese (Gotame, 2014).

A reflectância das folhas como indicativo de mudanças na bioquímica e anatomia das folhas

De maneira geral, as curvas de reflectância das folhas verdes de diferentes espécies apresentam formas muito semelhantes, variando apenas na magnitude de seus valores (Jacquemoud; Ustin, 2019). O espectro compreendido entre 400 e 700 nm é a região de maior absorção de luz por pigmentos, o que causa a menor reflectância das folhas. As clorofilas *a* e *b* absorvem fortemente a luz na banda do azul e do vermelho, porém seus picos de absorção são diferentes, o que amplia e maximiza a captação de luz solar (Croft; Chen, 2017). A reflectância na banda da luz verde é a maior dentro do espectro visível, uma vez que a absorção por pigmentos é baixa, o que explica a coloração verde da maioria das folhas. Menores conteúdos de clorofila causam tons de verde mais claro, e têm maior fator de reflectância da luz na banda do verde, em comparação com folhas verde-escuras e de maior teor de clorofilas (Buschmann et al., 2012). Desta forma, os maiores valores observados para o fator de reflectância em 550 nm nos tratamentos a pleno sol e sob tela azul

indicam folhas de tom verde mais claro e estão de acordo com os menores teores de clorofilas encontrados.

A região de espectro vermelho limítrofe (690 – 750 nm) marca a transição entre a forte absorção de luz na banda do vermelho pelas clorofilas e a baixa absorção e, conseqüentemente, altos valores de refletância, causada pela estrutura interna do mesofilo. Esta região é mais assertiva para quantificar os teores de clorofila das folhas do que a própria faixa do vermelho, pois esta última satura rapidamente em teores ainda baixos de clorofila (Croft; Chen, 2017). Nesta região de transição para o infravermelho, quanto menor for o teor de clorofila, mais rápida é a saturação e maior a reflectância (Jacquemoud; Ustin, 2019). Os maiores valores de reflectância neste espectro para os tratamentos pleno sol e tela azul corroboram os teores de clorofila encontrados nas folhas.

A refletância do IVP, observado nas bandas entre 750 e 1300 nm é caracterizada pela baixíssima absorção dos constituintes da folha e pela refração da luz na estrutura do mesofilo sendo ditada pela quantidade de espaços intercelulares no mesofilo (Jacquemoud; Ustin, 2019). Os maiores valores para folhas sob telas azuis e cinzas indicaram um mesofilo com mais espaços intercelulares, enquanto folhas a pleno sol possuíram os menores valores, o que pode indicar um mesofilo mais compacto.

O uso de telas em regiões quentes é uma técnica de manejo de proteção da cultura que visa mitigar, entre outros fatores, problemas relacionados ao excesso de luz e calor. As respostas fisiológicas são específicas para cada espécie vegetal e variam de acordo com o material de composição, a porcentagem de sombreamento e a seletividade das telas. Em síntese, a opção do tipo de fotosseletividade das telas deve ser considerada para cada cultura, local de produção e finalidade do sombreamento baseado nas informações experimentais de comportamento agrônomo.

4.5 Conclusão

Nas condições de clima subtropical, plantas de framboeseira a pleno sol apresentam menor área foliar, menor eficiência fotossintética e maior espessamento de parênquima.

Plantas sob tela de cor cinza possuem maior área foliar e maior eficiência fotossintética quando comparadas com plantas cultivadas sob telas preta, vermelha e azul.

Framboeseiras demonstram boa capacidade de adaptação aos diferentes ambientes de cultivo. As telas de sombreamento promovem alterações morfológicas, anatômicas, bioquímicas e fisiológicas em folhas de framboeseiras relacionadas possivelmente a um escape ao sombreamento.

A intensidade da luz é mais determinante na plasticidade da folha do que a qualidade da luz.

Referências

- Aoun, M., Manja, K. (2020). Effects of a photoselective netting system on Fuji and Jonagold apples in a Mediterranean orchard. *Scientia Horticulturae*, 263, 109104.
- Arthurs, S. P., Stamps, R. H., Giglia, F. F. (2013). Environmental modification inside photoselective shadehouses. *HortScience*, 48(8), 975-979.
- Baraldi, R.; Rapparini, F.; Rotondi, A.; Bertazza, G. (1998). Effects of simulated light environments on growth and leaf morphology of peach plants. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, v. 73, n. 2, p. 251-258.
- Barbosa, C. M. A., Martins, M. M. V., Spósito, M. B. (2019). Panorama das exportações e importações brasileiras de framboesas e amoras pretas *in natura*. In: X Seminário brasileiro sobre pequenas frutas, Vacaria. *Anais do X seminário brasileiro sobre pequenas frutas*, v.1.
- Bastías, R. M., Losciale, P., Chieco, C., Corelli-Grappadelli, L. (2021). Red and Blue Netting Alters Leaf Morphological and Physiological Characteristics in Apple Trees. *Plants*, 10(1), 127.
- Buschmann, C.; Lenk, S.; Lichtenthaler, H. K. (2012). Reflectance spectra and images of green leaves with different tissue structure and chlorophyll content. *Israel Journal of Plant Sciences*, 60(1-2), 49-64.
- Chen, L. L.; Zhang, K.; Gong, X. C.; Wang, H. Y.; Gao, Y. H.; Wang, X. Q.; Zeng, Z. H.; Hu, Y. G. (2020). Effects of different LEDs light spectrum on the growth, leaf anatomy, and chloroplast ultrastructure of potato plantlets *in vitro* and minituber production after transplanting in the greenhouse. *Journal of Integrative Agriculture* 19(1): 108-119.
- Costa, B. N. S.; Costa, I. J. S.; Souza, G. A.; Santos, D. N.; Silveira, F. A.; Melo, E. T.; Martins, A. D.; Pasqual, M.; Setotaw, T. A.; Rodrigues, F. A. (2018). Anatomical modifications of *Butia capitata* propagate under colored shade nets. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, v. 90, n. 4, p. 3615-3624.

- Croft, H.; Chen, J. M. (2017). Leaf pigment content. *Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences*. Oxford: Elsevier Inc, 1-22.
- Darnell, R. L., Alvarado, H. E., Williamson, J. G., Brunner, B., Plaza, M., Negrón, E. (2006). Annual, off-season raspberry production in warm season climates. *HortTechnology*, 16(1), 92-97.
- De Souza, V. R., Pereira, P. A. P., da Silva, T. L. T., de Oliveira Lima, L. C., Pio, R., Queiroz, F. (2014). Determination of the bioactive compounds, antioxidant activity and chemical composition of Brazilian blackberry, red raspberry, strawberry, blueberry and sweet cherry fruits. *Food Chemistry*, 156, 362-368.
- Evans, J. R. (1999). Leaf anatomy enables more equal access to light and CO₂ between chloroplasts. *The New Phytologist*, 143(1), 93-104.
- Evans, J. R.; Poorter, H. (2001). Photosynthetic acclimation of plants to growth irradiance: the relative importance of specific leaf area and nitrogen partitioning in maximizing carbon gain. *Plant Cell Environ.* 24, 755–767.
- Filella, I.; Penuelas, J. (1994). The red edge position and shape as indicators of plant chlorophyll content, biomass and hydric status. *International Journal of Remote Sensing*, v. 15, n. 7, p. 1459-1470.
- Food and Agriculture Organization of United Nations (FAO). Faostat. (2021). Available at: <<http://faostat.fao.org/>>. Access on: 8 May 2021.
- Gotame, T. P. (2014). Understanding the effects of temperature on raspberry physiology and gene expression profiles. 174 p. [Ph.D thesis] – Aarhus University, Aarslev, 2014.
- Gratani, L. (2014). Plant phenotypic plasticity in response to environmental factors. *Advances in Botany*, 2014.
- Gregoriou, K.; Pontikis, K.; Vemmos, S. (2007). Effects of reduced irradiance on leaf morphology, photosynthetic capacity, and fruit yield in olive (*Olea europaea* L.). *Photosynthetica*, v. 45, n. 2, p. 172-181.
- Hammer, Ø.; Harper, D. A.; Ryan, P. D. (2001). PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis. *Palaeontologia electronica* 4(1): 9. http://palaeo-electronica.org/2001_1/past/issue1_01.htm.
- Hanba, Y.; Kogami, H.; Terashima, I. (2002). The effect of growth irradiance on leaf anatomy and photosynthesis in *Acer* species differing in light demand. *Plant, Cell and Environment*, v. 25, n. 8, p. 1021-1030.
- Hiscox, J. D.; Israelstam, G. F. (1979). A method for the extraction of chlorophyll from leaf tissue without maceration. *Canadian Journal of Botany* 57(12): 1332-1334.
- Ivanova, L. A.; P'yankov, V. I. (2002). Structural adaptation of the leaf mesophyll to shading. *Russian Journal of Plant Physiology*, v. 49, n. 3, p. 419-431.

- Jacquemoud, S.; Ustin, S. (2019). Leaf Optical Properties in Different Wavelength Domains. In *Leaf Optical Properties* (pp. 124-169). Cambridge: Cambridge University Press.
- Kalaitzoglou, P., Van Ieperen, W., Harbinson, J., van der Meer, M., Martinakos, S., Weerheim, K., ... & Marcelis, L. F. (2019). Effects of continuous or end-of-day far-red light on tomato plant growth, morphology, light absorption, and fruit production. *Frontiers in Plant Science*, 10, 322.
- Karnovsky, M. J. (1965). A formaldehyde–glutaraldehyde fixative of high osmolality for use in electron microscopy. *Journal of Cell Biology* 27: 137–138.
- Kempler, C.; Hall, H. K. (2013). World raspberry production and marketing: Industry changes and trends from 1960. In: Funt, R. C.; Hall, H. K., eds. *Raspberries*. CABI, Wallingford, UK. (pp 213-234).
- Klewicka, E., Sójka, M., Ścieszka, S., Klewicki, R., Milczarek, A., Lipińska, L., & Kołodziejczyk, K. (2020). The antimycotic effect of ellagitannins from raspberry (*Rubus idaeus* L.) on *Alternaria alternata* ŁOCK 0409. *European Food Research and Technology*, 246(7), 1341-1349.
- Kim, G.; Yano, S.; Kozuka, T.; Tsukaya, H. (2005). Photomorphogenesis of leaves: Shade-avoidance and differentiation of sun and shade leaves. *Photochemical and Photobiological Sciences*, v. 4, n. 9, p. 770-774.
- Köppen, W.; Geiger, R. (1928). *Klimate der Erde*. Gotha: Verlag Justus Perthes. Wall-Map 150cmx200cm.
- Lee, D. W.; Oberbauer, S. F.; Johnson, P.; Krishnaplay, B.; Mansor, M.; Mohamad, H.; Yap, S. K. (2000). Effects of irradiance and spectral quality on leaf structure and function in seedlings of two Southeast Asian *Hopea* (Dipterocarpaceae) species. *American Journal of Botany*, v. 87, n. 4, p. 447-455.
- Li, Y.; Xin, G.; Liu, C.; Shi, Q.; Yang, F.; Wei, M. (2020). Effects of red and blue light on leaf anatomy, CO₂ assimilation and the photosynthetic electron transport capacity of sweet pepper (*Capsicum annuum* L.) seedlings. *BMC Plant Biology*, 20(1), 1-16.
- Manja, K.; Aoun, M. (2019). The use of nets for tree fruit crops and their impact on the production: A review. *Scientia Horticulturae* 246: 110-122.
- Martins, J. R.; Alvarenga, A. A.; Castro, E. M.; Silva, A. P. O.; Oliveira, C.; Alves, E. (2008). Anatomia foliar de plantas de alfavaca-cravo cultivadas sob malhas coloridas. *Ciência Rural*, v. 39, n. 1, 82-87.
- Oguchi, R.; Onoda, Y.; Terashima, I.; Tholen, D. (2018). Leaf anatomy and function. In: Adams III, W. W.; Terashima, I. eds. *The Leaf: A Platform for Performing Photosynthesis. Advances in Photosynthesis and Respiration (Including Bioenergy and Related Processes)*. Springer: Cham, 97-139.
- Õunapuu-Pikas, E.; Sellin, A. (2020). Plasticity and light sensitivity of leaf hydraulic conductance to fast changes in irradiance in common hazel (*Corylus avellana* L.). *Plant Science* 290: 110299.

- Paul, V.; Sharma, L.; Pandey, R.; Meena, R. C. (2017). Measurements of stomatal density and stomatal index on leaf/plant surfaces. *Manual of ICAR Sponsored Training Programme for Technical Staff of ICAR Institutes on "Physiological Techniques to Analyze the Impact of Climate Change on Crop Plants"*, 27.
- Pacheco, F. V.; Silveira, H. R. O.; Alvarenga, A. A.; Alvarenga, I. C. A.; Pinto, J. E. B. P.; Lira, J. M. S. (2013). Gas Exchange and production of photosynthetic pigments of *Piper aduncum* L. grown at different irradiances. *American Journal of Plant Sciences*, v. 04, n. 12, 114-121.
- R Core Team. (2018). R: A language and environment for statistical computing. *R Foundation for Statistical Computing*. Vienna, Austria. <https://www.R-project.org/>.
- Rasband, W. S. (2018). *Image J*. Maryland: Bethesda, United States National Institute of Health. Available at: <http://rsb.info.nih.gov/ij/>. Access on: 12 Feb. 2020.
- Retta, M. A.; Abera, M. K.; Berghuijs, H. N.; Verboven, P.; Struik, P. C.; Nicolaï, B. M. (2020). *In silico* study of the role of cell growth factors in photosynthesis using a virtual leaf tissue generator coupled to a microscale photosynthesis gas exchange model. *Journal of Experimental Botany*, 71(3), 997-1009.
- Ribeiro, A. S.; Ribeiro, M. S.; Bertolucci, S. K. V.; Bittencourt, W. J. M.; Carvalho, A.; Tostes, W. N.; Alves, E.; Pinto, J. E. B. P. (2018). Colored shade nets induced changes in growth, anatomy and essential oil of *Pogostemon cablin*. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, v. 90, n. 2, 1823-1835.
- Sakai, W. S. (1973). Simple method for differential staining of paraffin-embedded plant material using toluidine blue O. *Stain Technology* 48(5): 247-249.
- Sasidharan, R.; Chinnappa, C. C.; Staal, M., Elzenga; J. T. M., Yokoyama; R., Nishitani, K., (2010). Light quality-mediated petiole elongation in arabidopsis during shade avoidance involves cell wall modification by xyloglucan endotransglucosylase /hydrolases. *Plant Physiol.* 154, 978–990.
- Schlichting, C. D. (1986). The evolution of phenotypic plasticity in plants. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 17(1), 667-693.
- Si, X., Chen, Q., Bi, J., Wu, X., Yi, J., Zhou, L., Li, Z. (2016). Comparison of different drying methods on the physical properties, bioactive compounds and antioxidant activity of raspberry powders. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 96(6), 2055-2062.
- Silva, R. A. L.; Soares, J. D. R.; Dias, G. M. G.; Pasqual, M.; Chagas, E. A.; Gavilanes, M. L. (2015). Cultivo de tamarindo sob malhas coloridas: Plasticidade anatômica foliar. *Ciência Rural*, v. 45, n. 2, p. 238-244.
- Smith, H., & Whitelam, G. C. (1997). The shade avoidance syndrome: multiple responses mediated by multiple phytochromes. *Plant, Cell & Environment*, 20(6), 840-844.

- Soares, J. D. R., Dias, G. D. M. G., Silva, R. A. L., Pasqual, M., Labory, C. R. G., Asmar, S. A., & Ramos, J. D. (2017). Photosynthetic pigments content and chloroplast characteristics of tamarind leaves in response to different colored shading nets. *Australian Journal of Crop Science*, 11(3), 296-299.
- Solomakhin, A.; Blanke, M. (2010). The microclimate under coloured hailnets affects leaf and fruit temperature, leaf anatomy, vegetative and reproductive growth as well as fruit colouration in apple. *Annals of Applied Biology* 156(1): 121-136.
- Souza, G. S.; Castro, E. M.; Soares, A. M.; Santos, A. R.; Alves, E. (2011). Teores de pigmentos fotossintéticos, taxa de fotossíntese e estrutura de cloroplastos de plantas jovens de *Mikania laeviagata* Schultz Bip. Ex Baker grown under colored nets. *Semina: Ciências Agrárias*, v. 32, sup. 1, p 1843-1854.
- Taiz, L.; Zeiger, F. (2004) *Fisiologia Vegetal*. 3. ed. Porto Alegre: Artmed. p. 719.
- Sultan, S. E. (2000). Phenotypic plasticity for plant development, function and life history. *Trends in Plant Science*, 5(12), 537-542.
- Tafuya, F. A., Juárez, M. G. Y., Orona, C. A. L., López, R. M., Alcaraz, T. D. J. V., Valdés, T. D. (2018). Sunlight transmitted by colored shade nets on photosynthesis and yield of cucumber. *Ciência Rural*, 48.
- Takemyia, A.; Inoue, S.; Doi, M.; Kinoshita, T.; Shimazaki, K. (2005). Phototropins promote plant growth in response to blue light in low light environments. *Plant Cell*, v. 17, n. 4, p, 1120-1127.
- Tsunoyama, Y.; Morikawa, K.; Shiina, T.; Toyoshima, Y. Blue light specific and differential expression of a plastid σ factor, Sig5 in *Arabidopsis thaliana*. *Federation of European Biochemical Societies Letters*, v, 516, n. 1-3, p. 225-228.
- Wellburn, A. R. (1994). The spectral determination of chlorophylls a and b, as well as total carotenoids, using various solvents with spectrophotometers of different resolution. *Journal of Plant Physiology* 144(3): 307-313.
- Yano, S.; Terashima, I. (2004). Developmental process of sun and shade leaves in *Chenopodium album* L. *Plant, Cell and Environment*, v. 2004, n. 6, p. 781-793.
- Žádníková, P., Smet, D., Zhu, Q., Straeten, D. V. D., Benková, E. (2015). Strategies of seedlings to overcome their sessile nature: auxin in mobility control. *Frontiers in Plant Science*, 6, 218.
- Zheng, L., Van Labeke, M. C. (2017). Long-term effects of red-and blue-light emitting diodes on leaf anatomy and photosynthetic efficiency of three ornamental pot plants. *Frontiers in Plant Science*, 8, 917.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A framboesa é uma fruta saborosa, visualmente atrativa e muito demandada por possuir compostos benéficos à saúde humana. Comercialmente, a produção tem alto valor agregado, sendo uma opção de cultivo muito interessante para pequenos produtores rurais, com mão de obra familiar.

Os Estados Unidos da América têm uma situação peculiar em relação à framboesa. São o quarto maior país produtor e, apesar disso, os maiores importadores dessa fruta no mundo (US\$ 1,5 bilhões/ano). As importações ocorrem principalmente nos períodos de outubro a maio, quando boa parte das áreas produtoras do país está sob temperaturas baixas e pouca disponibilidade de luz.

O Brasil é altamente dependente da importação de framboesas, sendo a carência de informações acerca da fisiologia das plantas e de técnicas de cultivo em regiões não tradicionais um dos fatores que mais limitam a expansão das áreas de cultivo e conseqüentemente da produção desta fruta no país.

Assim, existe um enorme potencial de mercado no Brasil que, para ser explorado, necessita de novas informações científicas e técnicas de cultivo bem como de conhecimentos adicionais sobre a fisiologia da planta que permita a expansão das áreas produtoras do sul do país a regiões diferentes, e de mudanças na forma de cultivo empregado nessas regiões tradicionais que propiciem épocas diferenciadas de colheita para suprir as atuais lacunas de comercialização.

Demonstrou-se nesta tese que o uso de telas fotosselativas em cultivo protegido em ambiente de alta luminosidade, bem como o manejo da poda em situações de ausência de dormência das plantas quando cultivadas em regiões não tradicionais de clima subtropical como Piracicaba, SP, se mostraram importantes ferramentas para viabilizar o cultivo de framboeseiras nessa região. A alteração da quantidade e qualidade da luz incidente na cultura, além das intervenções de tratamentos culturais durante o desenvolvimento da planta traz impactos favoráveis na fisiologia que se refletem em respostas tanto fenológicas como bioquímicas das plantas. Estas alterações permitem entre outros benefícios a alteração na produtividade das plantas e a ampliação da janela produtiva, com produções em épocas de menor oferta e conseqüentemente de maiores preços no mercado. Além disso, o adequado controle do ambiente e sistema de cultivo nessa região de clima Cwa, pode proporcionar oportunidades suplementares para melhorar a qualidade das frutas,

tanto em aspectos visuais como tamanho e massa fresca, como em aspectos bioquímicos de compostos bioativos com propriedades antioxidantes.

As respostas diferenciais das framboeseiras às diferentes telas fotosseletivas estudadas neste trabalho indicaram a existência de novas oportunidades de mercado. Verificou-se não somente a possibilidade agronômica do estabelecimento de uma cultura de alto valor agregado em uma região não convencional e de clima quente (Cwa), como também demonstrou a possibilidade de se utilizar uma combinação de diferentes telas fotosseletivas para diferentes objetivos. As telas azuis, por proporcionarem frutos com maior diâmetro, podem ser utilizadas para produção de frutas para nichos de mercado com preços mais altos por framboesas de maior calibre, como as docerias. Já as plantas cultivadas sob tela vermelha produzem maior quantidade de framboesas, e com maior teor médio de antocianinas e sólidos solúveis, o que pode ser desejável para indústria alimentícia, farmacêutica e cosmética. Além disso, o desencontro parcial das colheitas obtido em plantas sob telas azul e vermelha poderá incrementar o lucro da atividade ao otimizar a mão de obra nas colheitas, obter melhores preços de venda em época de menor oferta e fidelizar mercados como comércio de frutas durante um período de tempo mais longo.

Este trabalho contribui, portanto para o conhecimento científico e aplicado sobre a fisiologia e a produção de framboeseiras, propiciando subsídios técnicos para a expansão do cultivo tanto para regiões que não são tradicionalmente cultivadas, como também para a produção de frutas em épocas de mercado mais favoráveis.

Cabe salientar ainda a peculiar situação geográfica de Piracicaba, SP, muito próxima a Campinas, SP, onde se localiza aeroporto de Viracopos, estabelecido terminal de exportação de frutas e flores para a Europa e Estados Unidos, atrativos mercados para a entressafra da framboesa.

ANEXOS

Anexo A. Médias mensais de temperatura média (Tmed), umidade relativa média (URmed), temperatura máxima (Tmax), temperatura mínima (Tmin), radiação solar global (Rad Glob) e radiação líquida (Rad Liq) em Piracicaba, SP, de janeiro de 2017 a setembro de 2021. Fonte: Série de Dados Climatológicos do Campus Luiz de Queiroz de Piracicaba, SP.

	2017					
	Tmed (°C)	URmed (%)	Tmax (°C)	Tmin (°C)	Rad Glob (MJ m ⁻² d ⁻¹)	Rad Liq (MJ m ⁻² d ⁻¹)
Janeiro	24,1	82,1	30,3	20,2	19,3	9,9
Fevereiro	25,3	73,9	32,3	19,9	22,8	12,1
Março	23,5	77,0	30,5	18,5	20,4	10,0
Abril	21,9	77,1	28,3	16,6	15,9	7,1
Mai	19,9	81,4	26,2	14,9	13,1	5,3
Junho	17,9	78,1	25,1	11,6	12,4	4,5
Julho	17,0	68,4	25,2	9,5	13,7	5,4
Agosto	19,2	69,5	26,6	12,6	14,6	5,8
Setembro	23,2	55,1	32,1	14,4	21,8	8,9
Outubro	23,3	71,0	30,4	17,5	18,7	9,1
Novembro	22,7	73,0	29,6	17,2	22,4	11,5
Dezembro	24,3	75,7	31,0	19,7	21,4	10,9
	2018					
	Tmed (°C)	URmed (%)	Tmax (°C)	Tmin (°C)	Rad Glob (MJ m ⁻² d ⁻¹)	Rad Liq (MJ m ⁻² d ⁻¹)
Janeiro	23,7	80,5	30,3	19,5	20,0	10,3
Fevereiro	23,6	75,6	30,1	18,7	20,5	10,2
Março	24,8	78,9	32,0	19,9	20,5	10,6
Abril	22,5	73,0	29,5	16,5	18,0	7,9
Mai	19,9	71,4	27,8	13,0	14,9	6,0
Junho	20,5	72,6	27,5	13,6	11,5	4,2
Julho	19,4	62,5	28,6	10,7	14,4	4,8
Agosto	18,3	73,0	25,7	12,1	14,6	5,7
Setembro	21,2	71,0	28,7	14,9	17,4	7,7
Outubro	22,7	77,0	29,0	17,6	19,2	9,7
Novembro	23,2	75,6	29,4	18,3	18,5	9,3
Dezembro	25,2	69,2	32,2	19,2	24,4	12,7
	2019					
	Tmed (°C)	URmed (%)	Tmax (°C)	Tmin (°C)	Rad Glob (MJ m ⁻² d ⁻¹)	Rad Liq (MJ m ⁻² d ⁻¹)
Janeiro	26,2	73,6	33,4	20,4	23,9	12,9

Fevereiro	24,1	78,3	30,2	19,5	18,2	9,3
Março	24,0	79,7	30,1	19,4	19,2	10,2
Abril	23,1	79,2	30,1	17,9	17,2	8,6
Mai	21,0	79,9	27,9	15,6	13,5	5,9
Junho	19,3	73,2	27,0	12,6	13,5	5,3
Julho	17,3	71,0	26,0	9,8	14,8	5,5
Agosto	19,3	66,8	27,7	12,1	16,3	6,8
Setembro	23,1	67,1	30,5	15,9	18,1	8,5
Outubro	25,2	62,8	33,6	17,9	23,0	11,1
Novembro	23,7	75,4	30,6	18,3	20,7	10,7
Dezembro	24,3	77,2	30,6	19,2	20,5	10,7

2020

	Tmed (°C)	URmed (%)	Tmax (°C)	Tmin (°C)	Rad Glob (MJ m ⁻² d ⁻¹)	Rad Liq (MJ m ⁻² d ⁻¹)
Janeiro	24,4	79,6	31,0	19,6	21,0	11,3
Fevereiro	23,4	84,9	29,1	19,6	16,3	8,8
Março	23,3	74,2	30,3	17,6	21,3	11,1
Abril	21,4	72,1	28,9	14,7	18,8	9,1
Mai	18,0	69,8	26,5	10,5	15,0	6,7
Junho	19,7	77,2	27,2	13,5	12,2	5,7
Julho	19,5	68,1	27,8	11,9	15,0	7,1
Agosto	19,8	64,9	27,6	11,9	15,6	6,9
Setembro	24,1	57,6	33,1	16,0	18,9	9,4
Outubro	24,5	62,7	32,5	17,8	19,4	9,3
Novembro	23,1	68,5	31,2	16,7	25,0	13,1
Dezembro	24,0	80,4	30,5	19,5	20,4	11,0

2021

	Tmed (°C)	URmed (%)	Tmax (°C)	Tmin (°C)	Rad Glob (MJ m ⁻² d ⁻¹)	Rad Liq (MJ m ⁻² d ⁻¹)
Janeiro	25,0	80,4	31,8	20,6	20,5	11,2
Fevereiro	24,2	77,4	31,0	19,0	21,3	11,6
Março	24,4	77,6	31,5	19,2	19,2	11,1
Abril	21,2	72,9	28,3	15,1	17,1	8,4
Mai	19,2	71,9	27,2	12,4	14,1	6,3
Junho	18,0	75,8	25,5	11,5	12,2	5,3
Julho	16,4	61,0	26,2	7,8	14,8	5,9
Agosto	20,3	60,3	29,1	12,7	16,7	7,3
Setembro	24,2	57,7	33,7	16,3	19,2	9,1