

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO CENTRO-OESTE, UNICENTRO-PR

**CARACTERÍSTICAS AGRONÔMICAS, FISIOLÓGICAS
E DE PÓS COLHEITA DE MIRTILEIROS TRATADOS
COM SILÍCIO VIA FOLIAR**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

THAYS SILVA

GUARAPUAVA-PR

2020

THAYS SILVA

**CARACTERÍSTICAS AGRONÔMICAS, FISIOLÓGICAS E DE PÓS COLHEITA DE
MIRTILEIROS TRATADOS COM SILÍCIO VIA FOLIAR**

Dissertação apresentada à Universidade Estadual do Centro-Oeste, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, área de concentração em produção vegetal, para a obtenção do título de Mestre.

Profº. Drº. Renato Vasconcelos Botelho

Orientador

GUARAPUAVA-PR

2020

Catálogo na Publicação
Biblioteca Central da Unicentro, Campus Santa Cruz

S586c Silva, Thays
Características agronômicas, fisiológicas e de pós colheita de mirtilheiros tratados com silício via foliar / Thays Silva. -- Guarapuava, 2020.
xii, 85 f. : il. ; 28 cm

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual do Centro-Oeste, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, área de concentração em Produção Vegetal, 2020.

Orientador: Renato Vasconcelos Botelho

Banca examinadora: Juliano Tadeu Vilela de Resende, Kélin Schwarz

Bibliografia

1. Agronomia. 2. Mirtilo. 3. Pequenos frutos. 4. Fotossíntese. 5. Antocianinas. 6. Fenólicos. I. Título. II. Programa de Pós-Graduação em Agronomia.

CDD 630


THAYS SILVA


**CARACTERÍSTICAS AGRONÔMICAS, FISIOLÓGICAS E DE PÓS-COLHEITA DO
MIRTILEIRO TRATADAS COM SILÍCIO VIA FOLIAR**

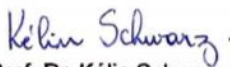
Dissertação apresentada à Universidade Estadual do Centro-Oeste, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, área de concentração em Produção Vegetal, para a obtenção do título de Mestre.

Aprovada em 12 de fevereiro de 2020.

Registra-se a publicação eletrônica por meio do UNICENTRO


Prof. Dr. Renato Vasconcelos Botelho
(UNICENTRO)


Prof. Dr. Juliano Tadeu Vilela de Resende
(UNICENTRO)


Prof. Dr. Kélin Schwarz
(UFTM)

GUARAPUAVA-PR

2020

THAYS SILVA

**CARACTERÍSTICAS AGRONÔMICAS, FISIOLÓGICAS E DE PÓS COLHEITA DE
MIRTILEIROS TRATADOS COM SILÍCIO VIA FOLIAR**

Dissertação apresentada à Universidade Estadual do Centro-Oeste, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, área de concentração em produção vegetal, para a obtenção do título de Mestre.

Prof. Dr. Juliano Tadeu Vilela de Resende – UEL

Prof(a). Dr(a). Kélin Schwarz – UFTM

Prof. Dr. Renato Vasconcelos Botelho
Orientador

GUARAPUAVA-PR

2020

“Dedico esta dissertação à meu muito amado avô, Antenor Pauletti (in memorian), que deixou muita saudade e também muitos ensinamentos, os quais sempre serão lembrados com muito carinho”.

AGRADECIMENTOS

À Deus, pela vida e pela força me concedida até aqui.

À Universidade Estadual do Centro-Oeste pela estrutura física e profissional durante minha formação e à Fundação Araucária e CAPES pela concessão da bolsa de mestrado.

Ao professor Renato, pela confiança e paciência com que me guiou nesta caminhada e pelas orientações.

À minha Co-orientadora, professora Gabriela por ter me incentivado a ingressar no mestrado, por ter participado da banca de qualificação deste trabalho, por todas as conversas e concelhos, pela confiança, paciência e muitas orientações.

Em especial ao prof^o Juliano por ter me apoiado no mestrado em diversos momentos, e por junto à professora Kélin, terem me concedido a oportunidade de ser orientada por eles em iniciação científica e no trabalho de conclusão de curso, momento da minha vida o qual aprendi a gostar da pesquisa, área a qual hoje pretendo seguir.

Aos meus pais Ieda e Arione pelo incentivo, preocupação, pela ajuda no trabalho pesado no experimento em domingos e feriados, e por me concederem a oportunidade de realizar esse mestrado apoiando financeiramente desde o início. Bem como à minha irmã Bruna pela preocupação, motivação e ajuda desde o meu ingresso no mestrado.

Ao meu grande amor, amigo, companheiro e marido Bruno, por desde o início estar ao meu lado, me ouvindo, incentivando, apoiando, comemorando cada conquista minha e pela compreensão nos meus momentos de nervosismo e cansaço.

Às minhas melhores amigas Bruna e Paola, por em momentos difíceis, darem concelhos e por sempre me fazerem esquecer das preocupações me dando ânimo para seguir.

Aos antigos colegas de laboratório da Olericultura, com os quais tive inúmeros aprendizados. E aos colegas de laboratório da Fruticultura, Carine, Maria Isabel, Allison e Ana Paula que ajudaram em análises, coletas e aplicações, e principalmente a Carla Garcia, pela amizade, paciência, e ajuda durante todos os processos da pesquisa, incluindo na banca de qualificação, tudo que foi essencial para realização deste trabalho.

À secretária do Programa de Pós-Graduação em Agronomia da UNICENTRO Lucília pela ajuda e paciência, e aos funcionários do campo, Elias, Manoel e Ângelo pelo apoio e suporte prestados.

A todos que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho, não somente com conhecimento científico, mas também com a amizade, com palavras de apoio, com sugestões, enfim a todos que torceram e que se orgulham de mim.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS	i
LISTA DE FIGURAS	ii
RESUMO	iv
ABSTRACT	v
1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS	3
2.1. Objetivo Geral.....	3
2.2. Objetivo Específico.....	3
3. REFERENCIAL TEÓRICO	4
3.1. Mirtilo	4
3.1.1. Histórico.....	4
3.1.2. Importância agrônômica do mirtilo.....	4
3.1.3. Características da planta de mirtilo	6
3.1.4. Morfologia do fruto.....	8
3.1.5. Aspectos nutricionais e compostos bioativos do mirtilo.....	9
3.2. Silício	11
3.2.1. Histórico	11
3.2.2. Dinâmica Solo-Planta.....	12
3.2.3. Benefícios do silício	14
3.3. Características bioquímicas de interesse agrônômico.....	16
3.4. Referências.....	21
4. CAPÍTULO I	29
4.1. Resumo	29
4.2. Introdução	30
4.3. Material e métodos.....	31
4.3.1. Local do experimento.....	31
4.3.2. Delineamento experimental.....	31
4.3.3. Massa fresca e área foliar	32
4.3.4. Teor de Clorofila	32
4.3.5. Fluorescência.....	33
4.3.6. Coleta das amostras utilizadas para análise de enzima e lignina	33
4.3.7. Determinação da Atividade Enzimática nas folhas de fenilalanina amônia- liase (PAL – E. C. 4.3.1.5)	33
4.3.8. Lignina	34

4.3.9. Produtividade	35
4.3.10. Análises estatísticas.....	35
4.4. Resultados e discussão	35
4.4.2. Massa fresca e área foliar	36
4.4.3. Teor de clorofila a, b e total	39
4.4.4. Fluorescência.....	41
4.4.5. Lignina	46
4.4.6. Atividade Enzimática nas folhas de fenilalanina amônia-liase (PAL – E. C. 4.3.1.5).....	48
4.4.1. Produtividade	49
4.5. Conclusão.....	50
4.6. Referências.....	50
5. CAPÍTULO II.....	55
5.1 Resumo.....	55
5.2. Introdução	56
5.3. Metodologia	57
5.3.1. Local do experimento.....	57
5.3.2. Delineamento experimental.....	58
5.3.3. Avaliações pós-colheita.....	58
5.4. Análise estatística	61
5.5. Resultados e discussão	61
5.5.1. Número, diâmetro e massa de frutos	62
5.5.2. Acidez titulável (AT)	64
5.5.3. Relação sólidos solúveis/acidez titulável (SS/AT).....	65
5.5.4. Compostos fenólicos	66
5.5.5. Antocianinas.....	67
5.5.6. Peroxidase	68
5.6. Conclusão.....	69
5.7. Referências.....	69
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	73

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Contribuição nutricional do mirtilo em relação às recomendações diárias de ingestão de nutrientes (DRI's).....	10
Tabela 2. Composição nutricional do Mirtilo.....	11
Tabela 1.1. Resumo da análise de variância para as características peso de folha, área foliar, lignina, PAL, clorofila A e B das cultivares de mirtilo Beckblue, O'Neal, Misty, Clímax, Bright Well com e sem a aplicação de Silício. Guarapuava, PR - UNICENTRO, 2020.	35
Tabela 1.2. Resumo da análise de variância para as características Fo, Fv, Fm, Fv/Fm e Fv/Fo das cultivares de mirtilo Beckblue, O'Neal, Misty, Clímax, Bright Well com e sem a aplicação de Silício. Guarapuava, PR - UNICENTRO, 2020.	36
Tabela 2.1 Resumo da análise de variância para as características de pós-colheita (Diâmetro, Massa, número de frutos, sólidos solúveis, pH, Acidez Titulável, Ratio, Fenólicos, Antocianinas e Peroxidase) das cultivares Bright Well, Beckblue e Clímax de frutos de Mirtilo com e sem a aplicação de silício. Guarapuava, PR - UNICENTRO, 2019.	61

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.1.** Pomar experimental do setor de Fruticultura do Departamento de Agronomia do Campus Cedeteg, da Universidade Estadual do Centro-Oeste (UNICENTRO), Guarapuava, PR. Fonte: GOOLGE EARTH, 2019. 31
- Figura 1.2.** Massa fresca de folha para as cultivares de mirtilheiro em função da aplicação de Si. Guarapuava, PR - UNICENTRO, 2020. 37
- Figura 1.3.** Área foliar para as cultivares de mirtilheiro em função da aplicação de Si. Guarapuava, PR - UNICENTRO, 2020..... 38
- Figura 1.4.** Índice de Clorofila Falker (ICF, adimensional) para clorofila A para as cultivares de mirtilheiro em função da aplicação de Si. Guarapuava, PR - UNICENTRO, 2020. 39
- Figura 1.5.** Índice de Clorofila Falker (ICF, adimensional) para a clorofila B das cultivares Beckblue, O’Neal, Misty, Clímax e Bright Well em função da aplicação de Si. Guarapuava, PR - UNICENTRO, 2020.....39
- Figura 1.6.** Clorofila Total das cultivares Beckblue, O’Neal, Misty, Clímax e Bright Well em função da aplicação de Si. Guarapuava, PR - UNICENTRO, 2020..... 40
- Figura 1.7.** Análise de parâmetros de fluorescência inicial (F_o), das cultivares Beckblue, O’Neal, Misty, Clímax e Bright Well em função da aplicação de Si. Guarapuava, PR - UNICENTRO, 2020. 42
- Figura 1.8.** Análise de parâmetros de fluorescência F_v (fluorescência variável), das cultivares Beckblue, O’Neal, Misty, Clímax e Bright Well em função da aplicação de Si. Guarapuava, PR - UNICENTRO, 2020..... .43
- Figura 1.9.** Análise de parâmetros de fluorescência máxima (F_m), das cultivares Beckblue, O’Neal, Misty, Clímax e Bright Well em função da aplicação de Si. Guarapuava, PR - UNICENTRO, 2020..... 45
- Figura 1.10.** Análise de parâmetros de fluorescência máxima eficiência fotoquímica do FSII (F_v/F_o), das cultivares Beckblue, O’Neal, Misty, Clímax e Bright Well em função da aplicação de Si. Guarapuava, PR - UNICENTRO, 2020..... 45
- Figura 1.11.** Análise de parâmetros de fluorescência F_v/F_m (atividade potencial do FSII), das cultivares Beckblue, O’Neal, Misty, Clímax e Bright Well em função da aplicação de Si. Guarapuava, PR - UNICENTRO, 2020. 46
- Figura 1.12.** Teor de lignina (TL) para as cultivares de mirtilheiro em função da aplicação de Si no tempo de avaliação 1. Guarapuava, PR - UNICENTRO, 2020. 47

Figura 1.13. Teor de lignina (TL) para as cultivares de mirtilheiro em função da aplicação de Si no tempo de avaliação 2. Guarapuava, PR - UNICENTRO, 2020.	47
Figura 1.14. Atividade de PAL para as cultivares de mirtilheiro em função da aplicação de Si no tempo de avaliação 1. Guarapuava, PR - UNICENTRO, 2020.	48
Figura 1.15. Atividade de PAL para as cultivares de mirtilheiro em função da aplicação de Si no tempo de avaliação 2. Guarapuava, PR - UNICENTRO, 2020.	49
Figura 1.16. Produtividade de cultivares de mirtilheiro em função da aplicação de Si. Guarapuava, PR - UNICENTRO, 2020.....	49
Figura 2.1. Pomar experimental do setor de Fruticultura do Departamento de Agronomia do Campus Cedeteg, da Universidade Estadual do Centro-Oeste (UNICENTRO), Guarapuava, PR. Fonte: GOOLGE EARTH, 2019.	57
Figura 2.2. Número de frutos de mirtilo cv. Bright Well, Beckblue e Clímax em função da aplicação de Silício. Guarapuava, PR – UNICENTRO, 2020.....	62
Figura 2.3. Diâmetro de frutos de mirtilheiro cv. Bright Well, Beckblue e Clímax em função da aplicação de Silício. Guarapuava, PR – UNICENTRO, 2020.....	62
Figura 2.4. Massa fresca de frutos de mirtilheiro cv. Bright Well, Beckblue e Clímax em função da aplicação de Silício. Guarapuava, PR – UNICENTRO, 2020.....	63
Figura 2.5. Acidez titulável de frutos de mirtilheiro cv. Bright Well, Beckblue e Clímax em função da aplicação de Silício. Guarapuava, PR – UNICENTRO, 2020.....	64
Figura 2.6. Relação Acidez Titulável/Sólidos Solúveis (Ratio) de frutos de mirtilheiro cv. Bright Well, Beckblue e Clímax em função da aplicação de Silício. Guarapuava, PR – UNICENTRO, 2019.	65
Figura 2.7. Teor de compostos fenólicos de frutos de mirtilheiro cv. Bright Well, Beckblue e Clímax em função da aplicação de Silício. Guarapuava, PR – UNICENTRO, 2019...	66
Figura 2.8. Teor de antocianinas de frutos de mirtilheiro cv. Bright Well, Beckblue e Clímax em função da aplicação de Silício. Guarapuava, PR – UNICENTRO, 2019.....	67
Figura 2.9. Atividade de Peroxidase de frutos de mirtilheiro cv. Bright Well, Beckblue e Clímax em função da aplicação de Silício. Guarapuava, PR – UNICENTRO, 2019.....	68

RESUMO

SILVA, Thays. **Características agronômicas, fisiológicas e de pós colheita de mirtilheiros tratados com silício via foliar.** Guarapuava: UNICENTRO, 2020. (Dissertação – Mestrado em Produção Vegetal).

O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito da aplicação foliar de silício (Si) em cultivares de mirtilo. O experimento foi conduzido no pomar experimental da Universidade Estadual do Centro-Oeste em Guarapuava, Paraná. Foi utilizado o delineamento em blocos casualizados em esquema fatorial 5×2 (cultivares \times tratamento) com parcelas subdivididas com três repetições cada, exceto para as análises de lignina e atividade de PAL, onde o delineamento foi $5 \times 2 \times 2$ (cultivares \times tratamentos \times tempo de avaliação). Os tratamentos consistiram das cultivares Beckyblue, O'Neal, Clímax, Brighthwell e Misty, com e sem a aplicação de silício via foliar. As avaliações realizadas foram produtividade, massa foliar (MF), área foliar (AF), fluorescência, clorofila, fenilalanina amônia liase (PAL) e lignina. Ainda, foram avaliados aspectos de pós-colheita nos frutos de três cultivares (Beckyblue, Clímax, Brighthwell), sendo número de frutos, diâmetro, massa, pH, sólidos solúveis (SS), acidez titulável (AT), relação SS/AT, compostos fenólicos (CF), antocianinas (ANT) e peroxidase (POD). O Si demonstrou efeitos positivos no desenvolvimento vegetativo das cultivares Clímax e Brighthwell, pois promoveu maior produtividade, AF, clorofila b e total, atividade de PAL nos dois tempos de avaliação, e melhor funcionamento do aparato fotossintético por meio de melhores relações de F_v/F_m e F_v/F_o . Os mesmos efeitos não foram observados para a cv. O'Neal, demonstrando o efeito prejudicial da utilização de Si nas características vegetativas de MF, atividade de PAL no tempo 2, lignina em ambos os tempos, e piores relações F_v/F_m e F_v/F_o mostrando menor eficiência fotossintética. As demais cultivares não demonstram influência significativa da aplicação foliar de Si tanto para aspectos vegetativos como de pós-colheita dos frutos. Em relação aos frutos das três cultivares avaliadas, a aplicação foliar de Si proporcionou melhora na qualidade dos frutos de mirtilo, sendo que houve aumento de massa, diâmetro e número de frutos. O efeito mais notável, o qual ocorreu para as três cultivares avaliadas, foi o maior teor de CF e ANT, sendo que o único efeito de redução encontrado nos frutos de todas as cultivares foi a diminuição da atividade de POD.

Palavras chave: Mirtilo; pequenos frutos; Fotossíntese; Antocianinas; Fenólicos.

ABSTRACT

SILVA, Thays. **Agronomic, physiological and postharvest characteristics of blueberries treated with foliar application of silicon.** Guarapuava: UNICENTRO, 2020. (Dissertation - Master's in plant production.

The objective of this work was to evaluate the effect of foliar application of silicon (Si) in blueberry cultivars. The experiment was conducted in the experimental orchard of the State University of the Midwest, in Guarapuava city, Paraná. A randomized blocks design in a 5x2 factorial scheme (cultivars x treatments) was used, except for lignin and PAL activity analyses, where the design of 5x2x2 (cultivars x treatment x evaluation time) was assigned. The treatments consisted of the cultivars Beckyblue, O'Neal, Climax, Brighthwell, and Misty, without and with the foliar application of Si. The evaluations were productivity, leaf mass (MF), leaf area (PA), fluorescence, chlorophyll, phenylalanine ammonia lyase (PAL), and lignin. Also, postharvest aspects were evaluated in the fruits of three cultivars (Beckyblue, Climax, Brighthwell) such as number of fruits, diameter, mass, pH, soluble solids (SS), titratable acidity (TA), SS/TA ratio, phenolic compounds (PC), anthocyanins (ANT), and peroxidase (POD). Si foliar application showed positive effects on the vegetative development of the cultivars Climax and Brighthwell, as it promoted higher productivity, AF, chlorophyll b and total, PAL activity in both times, and better functioning of the photosynthetic apparatus through better relationships of F_v/F_m and F_v/F_o . The same effects were not observed for cv. O'Neal, demonstrating the harmful effect of the use of Si on the vegetative characteristics of MF, PAL activity at time 2, lignin at both times, and worse Ratios F_v/F_m and F_v/F_o showing lower photosynthetic efficiency. The other cultivars have not shown significant influence of foliar application of Si for both vegetative and postharvest aspects of fruits. Foliar application of Si provided improvement in the quality of blueberry fruits, and there was an increase in mass, diameter and number of fruits. The most notable effect that occurred for the three cultivars evaluated was the highest content of PC and ANT, and the only negative effect found in the fruits of all cultivars was the decrease in POD activity.

Keywords: Blueberry; small fruits; Photosynthesis; Anthocyanins; Phenolics.

1. INTRODUÇÃO

O mirtilo é uma pequena baga de um arbusto caducifólio, membro da família Ericaceae, subfamília Vaccinoideae e gênero *Vaccinium*, incluindo mais de 3500 espécies (SOUSA, 2007), conhecido como arándano em espanhol, e blueberry em inglês (FACHINELLO, 2008). O mirtilo é um fruto nativo da América do Norte e da Europa, onde é cultivado no verão e comercializado durante todo o ano (REQUE et al., 2014), também muito apreciado, tanto na culinária como *in natura*, por suas características organolépticas e pelos benefícios à saúde humana (CANTUARIAS-AVILÉS et al., 2014; CANTUARIAS-AVILÉS, 2010; LI et al., 2016).

Os Estados Unidos é o maior importador de mirtilo no mundo, sendo o Chile o maior exportador com 34.707 toneladas por ano (SCHNETTLER et al., 2011). Em 2017, a área plantada com mirtilo no mundo foi de 109,5 mil ha, e a produção mundial foi de 596,8 mil toneladas, sendo 81,4% desse volume produzido nos países do continente americano, 16,8% no Europeu, 1,7% na Oceania e na Ásia 0,1% (FAO, 2019).

No Brasil, ainda não existem estatísticas oficiais sobre o cultivo de mirtilo, mas estimativas indicam que cerca de 400 ha de área plantada, divididos entre os estados maiores produtores, Rio Grande de Sul, Santa Catarina, Paraná, São Paulo e Minas Gerais. (CANTUARIAS-AVILES, 2014). O principal fator limitante para expansão da cultura do mirtileiro no Brasil é a exigência em frio que varia de 300 a 1100 horas de frio (com temperaturas menores ou iguais a 7,2°C), conforme a espécie e a cultivar (HOFFMANN, 2007). A região de Guarapuava tem cerca de 308,6 horas de frio anuais (BOTELHO; AYUB; MÜLLER, 2006), sendo então uma região propícia para o crescimento de uma ampla diversidade de cultivares desta espécie.

O mirtilo é um fruto com muito potencial de cultivo nos países do hemisfério sul, pois a colheita coincide com a entressafra dos maiores países consumidores, sendo uma porta para o mercado de exportação. Dessa forma, para que a produção de mirtilo tenha uma maior exploração, é necessário que se organize um sistema produtivo e que se ampliem as áreas de plantio (SANTOS, 2004).

Alguns minerais podem ser utilizados para melhorar o desempenho de plantas, podendo influenciar os níveis de compostos orgânicos, por meio da sua ação em processos bioquímicos ou fisiológicos (FERREIRA et al., 2006). O Silício (Si), é um dos minerais que pode ser utilizado na busca de uma maior eficiência de plantas, sendo o segundo

elemento mais abundante na crosta terrestre, com um teor médio de 28,8%. Segundo Datanoff e Rodrigues (2015), espécies cultivadas em solos que contêm maiores quantidades de Si apresentam um melhor desenvolvimento radicular em comparação àquelas cultivadas em solos com minerais considerados essenciais (DATNOFF, RODRIGUES, 2015).

O Si vem sendo usado na agricultura há cerca de 2000 anos, porém devido aos sintomas de deficiência não serem visíveis, o silício só começou a ser estudado cerca de 100 anos, (DATNOFF, RODRIGUES, 2015). Apesar de o Si ainda não ser considerado essencial no ponto de vista fisiológico, ele é considerado um elemento benéfico às plantas (JONES, HANDRECK, 1967; MENEGALE et al., 2015). Este mineral vem demonstrando diversos benefícios em muitas culturas, potencializando características desejáveis tais como: maior crescimento, biomassa e produção em de algumas culturas (LIANG et al., 2015), maiores taxas fotossintéticas em maracujá (COSTA et al., 2018), e proporcionou maior firmeza da polpa e níveis mais altos de antocianinas em frutos de morango (MUNARETTO et al., 2018), maior produtividade e aumento dos teores de sólidos solúveis, vitamina C, licopeno e firmeza em tomates (MARODIN et al., 2014; 2016).

Devido à baixa taxa de absorção de Si pelo sistema radicular, principalmente pelas dicotiledôneas, a aplicação via foliar vem sendo estudada como alternativa para reduzir os problemas causados pela deficiência desse mineral (CRUSCIOL, 2013). O Si via foliar, com pequenas quantidades do elemento, é uma maneira prática e facilmente adaptável aos pulverizadores utilizados por muitos produtores (FIGUEIREDO et al., 2010), e pode ser alternativa viável para suprir a necessidade, estimular a absorção de Si e outros nutrientes, trazendo assim os efeitos benéficos às culturas (REIS et al., 2008; FIGUEIREDO et al., 2010; SOUSA et al., 2010; CRUSCIOL, 2013). Sendo o mirtilheiro uma dicotiledônea (BOWLING, 2005; VIGNOLO et al., 2012), a aplicação foliar de Si é muito válida na tentativa de alcançar os benefícios causados pelo fornecimento deste mineral.

Sendo assim, observando a cultura do mirtilheiro como um potencial investimento de agricultores em alguns estados do Brasil, o Si pode trazer benefícios para o desenvolvimento de plantas de mirtilheiro, bem como na melhoria de qualidade de pós-colheita dos frutos.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo Geral

Avaliar o efeito do Silício nas características fisiológicas, agronômicas das plantas, e na qualidade pós-colheita de frutos de cultivares de mirtilheiro.

2.2. Objetivo Específico

Verificar o efeito da aplicação foliar de silício nos teores de clorofila, fenilalanina amônia liase e lignina das plantas de mirtilheiro.

Verificar características físico-químicas de pós-colheita como número de frutos, diâmetro, peso, pH, sólidos solúveis, acidez titulável, peroxidase, teor de fenólicos, antocianinas) em frutos de mirtilheiro, após aplicação de Si.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

3.1. Mirtilo

3.1.1. Histórico

Os frutos de mirtilo são consumidos desde a pré-história, sendo encontradas em escavações da Idade do Bronze, na Dinamarca, em pedaços de um pote de barro, vestígios desidratados de uma bebida ou compota que continha mirtilo. A quantidade de espécies e a importância deste fruto na alimentação de nativos da América do Norte contribuiu para que a popularidade do mirtilo aumentasse primeiramente nos Estados Unidos, depois no Canadá e posteriormente no resto do mundo (TREHANE, 2004; FONSECA, OLIVEIRA, 2007). Peculiaridades da espécie incluem a necessidade de solo ácido com boa drenagem e permanente, mas moderada umidade do solo. Esta necessidade é explicada pela ausência de pilosidade na raiz (GALLETTA, BALLINGTON, 1996; RASEIRA, FRANZON, 2012).

A domesticação do mirtilo iniciou em 1906 pelo cientista Frederick Vernon Coville, que realizou estudos desde a germinação da semente até a maturação do fruto (GALLETTA, BALLINGTON, 1996). De 1906 a 1910, Coville determinou as exigências do mirtilheiro para solo, nutrientes e tempo de frio, bem como procedimentos de propagação por estacas, enxertia e brotação. Ele também considerou que a auto-esterilidade poderia ser um problema. Em 1911, realizou o cruzamento de 'Brooks' com 'RusseI', seleção do tipo lowbush, realizada em 1909. Este foi o primeiro cruzamento bem-sucedido realizado com mirtilheiro. Em 1937, já haviam sido desenvolvido cerca de 70 mil híbridos e 15 cultivares (GALLETTA, BALLINGTON, 1996; RASEIRA, FRANZON, 2012).

O mirtilheiro entrou no Brasil em 1983, quando foram realizados estudos pela Embrapa Clima Temperado (Pelotas, RS), com a introdução de cultivares de baixa exigência em frio do grupo “rabbiteye”, trazidas da Universidade da Flórida (Estados Unidos). Em 1990 foram iniciados os plantios comerciais na cidade de Vacaria (RS) (ANTUNES, RASEIRA, 2006; SOUSA, 2007).

3.1.2. Importância agronômica do mirtilo

Em 2017 a área plantada com mirtilheiro no mundo foi de 109,5 mil ha, e a produção mundial de 596,8 mil toneladas, sendo 81,4% desse valor produzido nos países das américas, 16,8% na Europa, 1,7% na Oceania e na Ásia 0,1% (FAO, 2019). Segundo a FAO (2019), atualmente os EUA, Canadá, Peru e México são os maiores produtores com 236, 160, 52 e 36 mil toneladas, respectivamente. De 2007 a 2017 houve um crescimento de 124% na área plantada com 58% de aumento produção mundial de mirtilos. Os principais motivos para esse crescimento foram o aprimoramento de técnicas de produção, novas regiões produtoras e disponibilização de cultivares de menor exigência em frio hibernal, com maior potencial produtivo (BRAZELTON, 2011), além de uma maior demanda por produtos com alto valor nutritivo e nutracêutico (CANTUARIAS-AVILES, 2014).

No Brasil, a maior parte da produção de mirtilo se encontra nos Estados do Rio Grande de Sul, Santa Catarina, Paraná, São Paulo e Minas Gerais. Ainda não existem estatísticas oficiais atualizadas para área plantada e produção de mirtilos no Brasil, mas estima-se que a área plantada seja de 400 hectares aproximadamente, e principalmente em pequenas propriedades com poucos empreendimentos em grande escala. A maior parte dos mirtilheiros no Sul do Brasil são da variedade *Rabbiteye*, que é de mediana exigência de frio, com bom desempenho para os fruticultores locais, contudo, produz adequadamente em regiões com menos de 200 horas de frio anual (CANTUARIAS-AVILES, 2014).

O Brasil tem um elevado potencial para a exportação de mirtilos frescos, como a possibilidade de produção precoce na entressafra do Hemisfério Norte, a proximidade dos mercados europeus e a disponibilidade de água e terras para o cultivo do mirtilheiro (CANTUARIAS-AVILÉS, 2010; CANTUARIAS-AVILES, 2014). Em locais onde não há ocorrência de geadas no Sul do Brasil, as cultivares do tipo *Southern Highbush*, 'Misty' e 'O'Neal' são as mais exploradas, pois estas apresentam menor exigência em frio hibernal, sendo destinadas à produção precoce do fruto, nos meses de outubro e novembro, visando melhor preço nos mercados externos, porém precisam de pelo menos, 100 horas de frio para produzir, e não têm boa adaptação em regiões de clima quente (CANTUARIAS-AVILES, 2014).

O principal fator limitante para expansão da cultura do mirtilo é a exigência em frio que varia de 300 a 1100 (com temperaturas menores ou iguais a 7,2°C), conforme a espécie e a cultivar (HOFFMANN, 2007). A região de Guarapuava tem cerca de 308,6

horas de frio anuais (BOTELHO; AYU; MÜLLER, 2006), sendo considerada uma região com alto potencial para cultivo de uma ampla diversidade de cultivares desta espécie.

3.1.3. Características da planta de mirtilheiro

3.1.3.1. Taxonomia

O mirtilo, também chamado de arándano em espanhol, e blueberry, em inglês (FACHINELLO, 2008), é uma pequena baga que cresce em um arbusto caducifólio, membro da família Ericaceae, subfamília Vaccinoideae e gênero Vaccinium, incluindo mais de 3500 espécies, que são encontradas em diferentes áreas geográficas, dependendo das condições climáticas que são necessárias para o crescimento (SOUSA, 2007). Esta é um fruto nativa da América do Norte e da Europa, onde é amplamente cultivada nos meses de verão e intensamente comercializado durante todo o ano (REQUE et al. 2014). A América do Norte é a maior produtora e importadora deste fruto, e o Chile é o principal exportador, com um volume anual de 34 mil toneladas (SCHNETTLER et al., 2011).

A planta de mirtilheiro pode ter cinco classificações de grupos, estes grupos possuem diferenças entre porte, exigência em frio e classificação botânica, sendo estes:

1 – Northern Highbush: Normalmente tem 2 m ou mais de altura, e necessidade entre 650 e 850 horas de frio (GALLETTA, BALLINGTON, 1996). São compostos de ramos que surgem da coroa ou raízes e podem ter cerca de 4 anos de vida produtiva. As folhas são pequenas (2,5-5 cm de comprimento), ovais, margens inteiras e pontas agudas (RIEGER, 2006). Bluecrop, Duke e Elliot, são cultivares importantes deste grupo (DAL MOLIN et al., 2013).

2 - Halfhigh: É de porte médio e as plantas têm 0,5 a 1,0 m de altura, a exigência em frio é menor que o grupo Highbush (GALLETTA, BALLINGTON, 1996). Exemplos de cultivares deste grupo são a 'SI. Cloud' e 'Superior', porém estas ainda não são estudadas no Brasil.

3 - Southern Highbush: É um arbusto de porte alto, que tem origem no sul dos EUA, tem melhor desempenho nos planaltos, e boa resistência a doenças. Possuem maior exigência hídrica, bem como de maior qualidade de solo, drenagem e teor de matéria orgânica que as cultivares do tipo rabbiteye, (GALLETTA, BALLINGTON, 1996). No Brasil as principais cultivares são Georgea Gem, Misty, O'Neal e Sharpblue (DAL MOLIN et al., 2013).

4 - Rabbiteye (olho-de-coelho): Geralmente crescem até 2 ou 4 m de altura, e tem como características vigor, longevidade, produtividade, tolerância ao calor, seca, fungos, variações de pH do solo, tem baixa necessidade em frio, frutos ácidos, firmes e de longa conservação. O período até alcançar o máximo de produtividade é longo, cor escura da

película correlacionada com frutos mais doces e autoesterilidade, mas algumas dessas características negativas já foram solucionadas através do melhoramento genético (GALLETTA, BALLINGTON, 1996). E no Brasil as principais cultivares deste grupo são a Aliceblue, Beckblue, Bluegem, Brightwell, Clímax e Powderblue.

5 – Lowbush: é uma planta de pequeno porte onde as plantas alcançam 0,5 m de altura (GALLETTA, BALLINGTON, 1996), sendo consideradas arbustos rizomatosos de crescimento baixo e rastejantes. A parte principal da planta é rizoma ou caule subterrâneo, produzem brotos verticais ao longo de seu comprimento. As folhas são menores que highbush ou rabbiteye e têm margens serradas (RIEGER, 2006). A principal espécie deste grupo é a *V. angustifolium*.

3.1.3.2. Cultivares

Das cultivares utilizadas neste estudo, três são do grupo rabbiteye (Beckyblue, O'Neal, Clímax) e duas são do grupo Highbush (Brightwell e Misty), cujas características são descritas a seguir:

Beckblue: Lançada em 1978 na Florida por Sherman e Sharpe, sendo originária de um cruzamento entre uma hexaplóide *V. ashei* Reade por E96, uma seleção tetraplóide de highbush. É um arbusto com grande vigor, de crescimento ereto, produz frutos grandes, redondos firmes, com coloração azul média. Necessita de 300-400 horas de acúmulo de frio abaixo de 7,2 °C. A planta desta cultivar tem hábito de crescimento aberto e não é auto fértil, necessitando ser plantada com outras cultivares (DAL MOLIN et al., 2013; PEREIRA, 2013).

Brightwell: Lançada em 1981 na Georgia, do grupo Rabbiteye, é um arbusto vigoroso, vertical, muito produtivo, com frutos de tamanho médio, firmes, de coloração azul média e boa cicatrização na região do pedúnculo (DAL MOLIN et al., 2013).

Climax: Lançada em 1974 em Tifton na Georgia, é um arbusto do grupo Rabbiteye de vigor moderado, entre ereto e aberto, com início da floração na terceira semana de agosto e maturação até o final de novembro, tem necessidade de 400 a 500 horas de frio. Tem frutos de tamanho médio, excelente firmeza, sabor doce-ácido, boa cicatrização na região do pedúnculo e coloração azul escura, amadurecem de maneira uniforme. Alta sensibilidade a geadas na primavera. Produz cerca de 3 kg/planta, os frutos têm cerca de 1,8 g e 10° à 12,4 °Brix (DAL MOLIN et al., 2013; PEREIRA, 2013).

Misty: Do grupo Shouthern Highbush, foi lançada nos EUA em 1990 pela universidade da Flórida. Arbusto vigoroso e ligeiramente aberto, tende a produzir gemas florais em excesso e precisa de poda de inverno, com necessidade de frio de 150 a 200 horas. As bagas são azuis-claras, grandes, com boa cicatrização na região do pedúnculo e com excelentes atributos de firmeza e sabor, e a massa do fruto varia de 0,7 a 11,1 g. O início da maturação dos frutos é partir da segunda quinzena de outubro. Devido a precocidade da primeira floração é recomendado controle antigeada (DAL MOLIN et al., 2013; PEREIRA, 2013).

O'Neal: É um arbusto do grupo Shouther Highbush lançado em 1987 pela universidade da Carolina do Norte. É uma planta vigorosa, com boa produtividade e de arquitetura semiereta, supera dormência com 400 a 500 horas de frio. A primeira floração ocorre entre julho e agosto. Os frutos são grandes, firmes, coloração azul e sabor doce, pesam geralmente de 1 a 6g. A maturação é precoce e inicia a partir da segunda quinzena de outubro, recomenda-se controle antigeada (DAL MOLIN et al., 2013; PEREIRA, 2013).

3.1.4. Morfologia do fruto

O fruto do mirtilheiro é uma baga com várias sementes, de formato globoso, com tamanho variável, suculento e com sabor agridoce (SOUSA, 2007). É um fruto epiginoso, ou seja, “falso”, todas as espécies requerem grau de frutificação de 60 a 80 % para uma colheita completa (RIEGER, 2006). São frutos não climatéricos, ou seja, a respiração diminui progressivamente após a colheita até a senescência, e por isso devem ser colhidos em um ponto de maturação no qual já serão consumidos. Geralmente tem sua maturidade completa de 2 a 3 meses após a floração. Apresenta cor azul variando de mais claro a mais escuro e intenso, cor esta que é influenciada pela presença de pruína, que é uma cera epicuticular. A camada de cera também está relacionada à perda de água, sendo uma barreira importante que impede que o fruto murche (SOUSA, 2007).

Segundo Rieger (2006) as características dos frutos de cada espécie do mirtilo são descritas a seguir:

1 - Highbush do Norte e do Sul – Tem uma cor preta azulada, e a qualidade do fruto é de boa a excelente. Tem um período mais curto desde a floração até a maturidade de todos os mirtilos que vai de 45 a 75 dias (RIEGER, 2006). Os frutos são grandes, azuis claros, com cicatriz, firmes e saborosos (ANTUNES, RASEIRA, 2006)

2 - Rabbiteye – Possui coloração azulada e amadurece em aproximadamente 90 dias após a floração (RIEGER, 2006). Os frutos são ácidos, firmes (SANTOS, 2002) e no geral, têm sementes mais numerosas ou perceptíveis e a película é mais espessa (RASEIRA, 2012).

3 - Lowbush – A coloração vai de preto à cor azul brilhante, o fruto é pobre em qualidade em comparação a outras cultivares, por isso geralmente são destinadas a indústria. O período médio de maturação dos frutos de 70 a 90 dias (RIEGER, 2006), com tamanho pequeno, maciez e baixa acidez (SANTOS, 2002).

No geral, os frutos do mirtilheiro são uma baga epiginosa ou "falsa". Todas as espécies requerem alto grau de frutificação para uma colheita completa (60 a 80%). São altamente perecíveis, sendo 2 semanas a vida útil quando armazenados à 0°C e 90-95% de umidade. Os principais problemas com doenças de pós-colheita são causados por *Botrytis*, *Alternaria*, *Phomopsis* e *Colletotrichum* (RIEGER, 2006).

3.1.5. Aspectos nutricionais e compostos bioativos do mirtilo

O mirtilo pode ser consumido *in natura* e também utilizado na elaboração de pratos de alta gastronomia, além de fazer parte da fabricação de produtos processados como chás, tortas, bolos, pudins, biscoitos, sorvetes, geleias, compotas (CANTUARIAS-AVILÉS et al., 2010; CANTUARIAS-AVILÉS, 2014) e suco, em combinação com o de outros pequenos frutos (RIEGER, 2006).

O consumo do mirtilo pode trazer diversos benefícios para a saúde humana, devido a riqueza de nutrientes presentes no mesmo, podendo ajudar na prevenção de doenças como as cardiovasculares, neurodegenerativas, diabetes, cânceres e inflamações (LI et al., 2016).

O mirtilo é um alimento rico em vitamina C, vitamina K e manganês, pois supre 21,6%, 29,7% e 14,6%, respectivamente da necessidade diária desses nutrientes em um adulto (Tabela 1). Nutrientes estes que contribuem de maneira positiva na saúde humana, a vitamina C com efeitos no metabolismo do tecido conjuntivo, no processo de cicatrização, sobre a atividade antioxidante e mecanismos de ação (MANELA-AZULAY, 2003). A vitamina K tem papel no metabolismo ósseo, e na coagulação sanguínea (DÔRES, 2001), o manganês age como hipoglicemiante, tem ação sobre o metabolismo das gorduras, protege células hepáticas, e também tem papel na biossíntese das proteínas e dos mucopolissacarídeos das cartilagens, assim como implicação no metabolismo dos

neurotransmissores (FIORINI, 2008). Além disso, o mirtilo também possui boas quantidades de outros nutrientes importantes para a saúde humana como vitamina E, ácido fólico, ácido pantotênico, tiamina, riboflavina, niacina, Vitamina B6, cobre (Tabela 1).

O mirtilo tem umas das mais altas quantidades de antocianinas dentre frutas e hortaliças (PRIOR et al., 1998; KALT et al., 2001; GÜNDÜZ, SERÇE, HANCOCK, 2015). As antocianinas, têm propriedades farmacológicas e medicinais, incluindo propriedades anticarcinogênicas, antiinflamatórias, antimicrobianas e antioxidantes, prevenindo assim a oxidação do LDL, doenças cardiovasculares e neurológicas. Além disso, as antocianinas garantem uma melhor circulação sanguínea e protegem o organismo do acúmulo de placas de gordura (OLIVEIRA, COSTA, ROCHA, 2015). Segundo estudo de Kalt et al. (1999), Rodriguez-Mateos et al. (2012) e Reque et al. (2014), o perfil de antocianinas presentes no mirtilo mostra que a delphinidina é a antocianidina dominante, seguida por malvidina e petunidina.

Existem métodos que podem identificar a atividade antioxidante dos alimentos, e um destes é o ORAC (Capacidade de absorvência dos radicais de oxigênio). Entre os pequenos frutos, o valor ORAC do mirtilo é um dos mais elevados, sendo este de 2.300 ORAC (Tabela 2).

O mirtilo também é rico em compostos fenólicos, estes fazem parte de uma das classes mais diversificadas do reino vegetal. Nesse grupo, as classes mais comuns são as flavonas, flavononas, flavonolóis, isoflavonas, flavanóis e antocianinas (DAMODORAN et al., 2010).

O fruto do mirtilheiro apresenta em média 84% de água (Tabela 2), e essa elevada porcentagem os torna suscetíveis à danos na pós-colheita, pois aumenta o risco de contaminação por crescimento microbiano. Os açúcares mais presentes na composição deste fruto são a glicose (4,78g em 100g) e a frutose (4,97 em 100g) (Tabela 2), o que confere sabor adocicado ao fruto (RIEGER, 2006).

Tabela 1. Contribuição nutricional do mirtilo em relação às recomendações diárias de ingestão de nutrientes (DRI's).

Nutriente	Necessidade diária ¹	Valor em 100 g de mirtilo ²	Valores diários (%)
Proteína	50 g	0,74 g	1,5
Vitamina A	600 mcg	3 mcg	0,5
Vitamina C	45 mg	9,7 mg	21,6
Vitamina E	10 mg	0,57 mg	5,7

Tiamina	1,2 mg	0,037 mg	3,1
Riboflavina	1,3 mg	0,041 mg	3,2
Niacina	16 mg	0,418 mg	2,6
Vitamina B6	1,3 mg	0,052 mg	4
Ácido fólico	240 mcg	6 mcg	2,5
Ácido pantotênico	5 mg	0,124 mg	2,5
Vitamina K	65 mcg	19,3 mcg	29,7
Colina	550 mg	6 mg	1,1
Cálcio	1000 mg	6mg	0,6
Ferro	14 mg	0,28 mg	2
Magnésio	260 mg	6 mg	2,3
Zinco	7 mg	0,16 mg	2,3
Fósforo	700 mg	12 mg	1,7
Cobre	0,9 mg	0,057 mg	6,3
Selênio	34 mcg	0,1 mcg	0,3
Manganês	2,3 mg	0,336 mg	14,6

Fontes:

¹Departamento de Informática em Saúde, Escola Paulista de Medicina/Unifesp. Tabela de Composição Química dos Alimentos. Versão 3. 2014.

²INSTITUTE OF MEDICINE. Food and Nutrition Board. Dietary Reference Intakes. National Academic Press, Washington D.C., 2000-2001-2005.

²RDC nº 269, Regulamento técnico sobre a ingestão diária recomendada de proteína, vitaminas e minerais, 2006.

Tabela 2. Composição nutricional e compostos bioativos do Mirtilo.

Componente	Quantidade em 100 g	Componente	Quantidade em 100 g
Água	84,21g ¹	Monossacarídeos	9,96 g ¹
Valor energético (kcal)	57 kcal ¹	Sacarose	0,11 g ¹
Valor energético	240 kj ¹	Glicose	4,88 g ¹
Gorduras totais	0,33 g ¹	Amido	0,03 g ¹
Cinzas	0,24 g ¹	Sódio	1 mg ¹
Carboidratos	14,49 g ¹	Taninos	270-550 mg ²
Fibra alimentar	2,4 g ¹	Pectinas	300-600 mg ²
Potássio	77m g ¹	Capacidade antioxidante	2400 ² Un. ORAC
Betacaroteno	0,07 mg ¹	Antocianinas	300-725 mg ²

Fontes:

¹Departamento de Informática em Saúde, Escola Paulista de Medicina/Unifesp. Tabela de Composição Química dos Alimentos. Versão 3. 2014.

²SOUSA et. al, Mirtilo-Qualidade Pós-colheita. 2007.

3.2. Silício

3.2.1. Histórico

Aproximadamente 2000 anos atrás o Silício já estava sendo usado na agricultura, mas só começou a ser estudado a 100 anos atrás, quando Onodera (1917) publicou o primeiro relatório científico sobre Si relacionado a brusone, uma doença das folhas de arroz, sendo que as folhas de arroz com baixo teor de Si eram suscetíveis a brusone, enquanto folhas com alto Si eram mais resistentes (DATNOFF, RODRIGUES, 2015).

O papel do silício no crescimento de plantas e potencial redução de doenças foi notado pela primeira vez em dicotiledôneas em 1939, quando Raleigh verificou em seu estudo que o Si foi importante no crescimento e desenvolvimento da beterraba (DATNOFF, RODRIGUES, 2015). Segundo os relatos de Plucknett (1971), os materiais de silicato proporcionaram efeitos benéficos para o crescimento e produção de cana-de-açúcar e na redução de uma doença chamada *leaf freckling* ou sarda. Porém, mesmo com todas as evidências, o Si ainda era considerado essencial para o desenvolvimento das plantas (TOTTINGHAM, 1908; DATNOFF, RODRIGUES, 2015). Apesar de o Si ainda não ser considerado essencial, alguns o consideram um elemento benéfico para algumas espécies de plantas (JONES, HANDRECK, 1967; MENEGALE et al., 2015).

3.2.2. Dinâmica Solo-Planta

O Silício (Si) é o segundo elemento mais abundante na crosta terrestre depois do oxigênio, com um teor médio de 28,8%, assim todas as plantas que enraízam no solo contêm Si em maiores quantidades do que outros minerais considerados essenciais (DATNOFF, RODRIGUES, 2015).

Cultivos intensivos e monocultivo são fatores que podem reduzir o teor de Si no solo, porém a quantidade disponível desse mineral para absorção pelas plantas está associada não somente à quantidade, mas também, a sua forma e solubilidade, capacidade assimilativa da planta e as condições ambientais (KORNDÖRFER, 2006; MARODIN, 2011). O Si é absorvido pelas plantas preferencialmente na forma de ácido monossilícico (H_4SiO_4), a disponibilidade deste mineral é afetada por pH, temperatura, teor de matéria orgânica e concentração de Si na solução do solo (JONES, HANDRECK, 1967. MENEGALE et al., 2015).

O Si pode ser absorvido pelas plantas por três diferentes mecanismos: ativo, passivo e rejeitório. A absorção ativa é atribuída à transportadores de proteínas intrínsecas do subgrupo de aquaporinas (Lsi1, Lsi2 e Lsi6), que facilitam o processo de absorção através de proteínas de membrana das células radiculares. O mecanismo de absorção

passivo ocorre exclusivamente por meio de fluxo de massa. No mecanismo de rejeição, o acúmulo da concentração de H_4SiO_4 na solução do solo resulta em uma rejeição do mesmo na planta, sendo assim baixas concentrações de silício são absorvidas pela planta (CORNELIS et al. 2011; DATNOFF, RODRIGUES, 2015).

Segundo Takahasi et al. (1990), existem três espécies de plantas com base nos mecanismos de absorção de silício sendo elas: as que dependem de mecanismos ativos são “acumuladoras”, as que dependem de absorção passiva são “intermediárias” e as “não-acumuladoras” são as que estão relacionadas com o mecanismo rejeitório. Plantas acumuladoras absorvem e acumulam cerca de 100 a 150 $g\ kg^{-1}$ de Si, e são principalmente monocotiledôneas, plantas intermediárias são principalmente as gramíneas e absorvem e acumulam de 10 a 50 $g\ kg^{-1}$ de Si e dicotiledôneas que são as plantas não-acumuladoras absorvem e acumulam de 5 $g\ kg^{-1}$ de Si (MIYAKE, TAKAHASHI, 1983; MENEGALE; CASTRO, MANCUSO, 2015).

Como as diferentes capacidades de acumulação do Si entre as espécies tem sido relacionadas com as diferentes formas de absorção pelas raízes (MA, YAMAJI, 2006; CRUSCIOL, 2013), o fornecimento de Si via foliar tem sido utilizado na tentativa de contornar essa deficiência causada pela baixa absorção, principalmente pelas dicotiledôneas (CRUSCIOL, 2013). O fornecimento de Si via foliar com pequenas quantidades do elemento, além de ser uma alternativa prática por ser adaptável aos pulverizadores comumente utilizados por produtores (FIGUEIREDO et al., 2010), pode ser alternativa viável para suprir à sua necessidade, e estimular a absorção de Si e outros nutrientes, proporcionando efeitos benéficos às culturas (CRUSCIOL, 2013; FIGUEIREDO et al., 2010; REIS et al., 2008; SOUSA et al., 2010). Sendo o mirtileiro uma dicotiledônea (VIGNOLO et al., 2012; BOWLING, 2005), a aplicação foliar de Si é muito válida na tentativa de alcançar os benefícios causados pelo fornecimento deste mineral. Porém, segundo Liang et al. (2005), a aplicação foliar de Si só tem efeito significativo atribuído ao papel físico do Si depositado nas superfícies foliares ou efeito osmótico do silicato aplicado após pulverização em alta concentração de Si.

Em mirtileiro a aplicação de silício ainda não é amplamente estudada como em gramíneas (MORIKAWA, SAIGUSA, 2004). Segundo estudos de Morikawa e Saigusa, (2004), o Si foi o elemento mineral presente em maior quantidade em folhas de mirtileiro, com teor médio de 32,0 $mg\ g^{-1}$ (massa seca de folhas jovens) e 60,0 $mg\ g^{-1}$ (massa seca de folhas velhas). Estes mesmos autores relataram que o Si se acumula em muitas partes das folhas, formando fitólitos na epiderme superior, incluindo algumas partes do mesofilo

de paliçada, na epiderme inferior ao redor dos estômatos, incluindo células guarda, e em algumas partes do mesofilo esponjoso, nos vasos e na epiderme superior. Segundo os mesmos autores, o Si pode ser um elemento importante na nutrição dos mirtilheiros, mas que ainda são necessárias mais pesquisas para que o papel do Si seja avaliado mais profundamente.

3.2.3. Benefícios do silício

O silício não é considerado um elemento essencial às plantas, por não atender aos critérios diretos e indiretos de essencialidade (JONES, HANDRECK, 1967; MENEGALE et al., 2015), mas tem se mostrado promissor por apresentar uma série de efeitos benéficos para os vegetais (MENEGALE et al., 2015). Os benefícios do silício no crescimento e desenvolvimento das plantas ocorrem por meio das funções metabólicas deste elemento em plantas estressadas, por meio da formação de uma camada protetora externa composta de sílica, e pela reatividade do silício absorvido com os íons de metais pesados e outros compostos dentro das plantas (DATNOFF, RODRIGUES, 2015).

O silício também demonstrou efeitos benéficos em diversas culturas como, por exemplo, um maior crescimento vegetal, aumento na biomassa e da produção (LIANG et al., 2015), além de aumento no teor de clorofila, na atividade da enzima de carboxilação (Rubisco) e diminuição da transpiração (EPSTEIN, 1994). Com o acúmulo de silício nas paredes das células, uma melhora na arquitetura da planta foi observada (BOTELHO et al., 2005; COSTA et al., 2018), bem como um aumento da tolerância a estresses como frio, calor, seca, desequilíbrio nutricional e toxicidade de metais, além de reforçar a parede celular e aumentar a resistência contra patógenos e insetos, exercer efeito em atividades enzimáticas e na composição mineral (EPSTEIN, 2001). E por meio das melhoras nessas características com a aplicação de silício, ocorre aumento da taxa fotossintética (LIANG et al., 2015).

O efeito positivo da adubação silicatada foi observada em diversas culturas. Em maracujazeiros os estômatos foram mais funcionais com a aplicação de silício, e as plantas apresentaram maiores taxas fotossintéticas em relação ao controle (COSTA et al., 2018). A aplicação de silício foliar promoveu manutenção da firmeza da polpa e teores mais altos de antocianinas em duas cultivares de morangueiro, aumentando com a dose aplicada (MUNARETTO et al., 2018). Em tomates, a adubação com silício melhorou a produtividade (MARODIN et al., 2014) e a qualidade físico-química dos frutos,

umentando os sólidos solúveis, a vitamina C, licopeno e a firmeza (MARODIN et al., 2016). Em plantas de *Physalis Peruviana* a aplicação de silício promoveu incremento do número de folhas e do diâmetro do caule de 48,1% e 49,7% respectivamente, e comprimento da parte aérea em 191,1% (ASSIS et al., 2017).

A fertilização com Si pode resultar no acúmulo de compostos fenólicos, fitoalexinas e de lignina. Em plantas como abobrinha (*Cucurbita* sp.), aveia (*Avena sativa*) e sorgo (*Sorghum bicolor*), observou-se que a fertilização com Si resulta em um aumento na síntese de peroxidase, polifenoloxidase, glucanases e quitinases, enzimas que estão relacionadas ao aumento da produção de quinonas e espécies reativas de oxigênio que, possuem propriedades antibióticas, favorecem maior lignificação tecidual (AGUIRRE, 2007).

Em relação a aplicação de Si, segundo EPSTEIN (2001), o uso de uma fonte de silício pode ser benéfico para os níveis de clorofila nas plantas, ou seja, pode ser capaz de aumentar o teor de clorofila das folhas. Braga et al. (2009) encontraram maiores teores de clorofila *a*, *b* e total utilizando fonte de silício no cultivo *in vitro* de morangueiro 'Oso Grande'. A aplicação foliar de silicato de potássio também aumentou os níveis de clorofila *a* em tomates (LUZ et al., 2009).

Segundo pesquisa realizada por Tatagiba et al. (2017), em plantas de arroz cultivadas em solução nutritiva contendo Si, houve contribuição efetiva para o desempenho fotoquímico em folhas de arroz, estando associado principalmente ao aumento da eficiência quântica máxima da fotoquímica (F_v/F_m), ao coeficiente de extinção fotoquímica (q_p) e ao rendimento quântico do FSII.

O fornecimento de Si para as plantas pode aumentar as concentrações de compostos fenólicos e de antocianinas por meio da potencialização da via fenilpropanóide, ou do aumento da enzima fenilalanina amônia-liase (DATNOFF, RODRIGUES, 2015). O aumento da atividade da FAL é frequentemente associado ao aumento da concentração de fenilpropanóides. Na rota metabólica responsável pela síntese dos fenilpropanóides, os hidroxicinamatos oriundos da ação da FAL sobre o aminoácido fenilalanina alimentam várias vias metabólicas, que geram diferentes compostos e um desses compostos são os flavonoides assim, pode ocorrer o aumento da concentração de determinado composto fenólico (KOFALVI, NASSUTH, 1995; GOMES et al, 2008). Estudos já mostraram que a aplicação de Si pode aumentar o teor de fenóis em plantas de cacau (PINTO et al., 2012; SILVA, 2013), também promove

níveis mais altos de antocianinas em frutos de morango (MUNARETTO et al. 2018; SILVA, 2013).

Segundo GOMES et al. (2005), o silício pode aumentar a atividade de enzimas relacionadas com a resistência da planta, sendo uma delas a peroxidase, atuando como elicitador. Os elicitores são agentes que induzem qualquer resposta de defesa nas plantas, iniciando um processo de resistência induzida (DIXON et al., 1994).

O Si, quando absorvido de forma passiva e ou ativa pelas raízes das plantas, pode maximizar a produção de compostos fenólicos, bem como atuar no aumento da produção de algumas classes de fitoalexinas, na transcrição de alguns genes que codificam as enzimas fenilalanina amônia liase, peroxidase e polifenoloxidase, além do aumento na atividade das enzimas líticas à parede celular fúngica, ou associadas com o metabolismo secundário da planta (DATNOFF et al., 2007; LIANG et al., 2005; PEREIRA et al., 2009).

Segundo estudos de Pereira et al. (2009), os benefícios da aplicação foliar de silício em plantas de cafeeiro se deram devido ao aumento no potencial osmótico ou pela formação de placas de silicato após polimerização sobre os estômatos, sendo que os resultados indicaram que a aplicação de Si não potencializou a atividade das enzimas de defesa avaliadas.

3.3. Características bioquímicas de interesse agrônômico

3.3.1. Lignina

A lignina foi descoberta por Anselme Payen em 1938, quando ele colocou madeira em um tratamento químico com ácido sulfúrico concentrado. É o segundo composto orgânico com maior frequência nos tecidos vegetais, com grande quantidade de carbonos aromáticos (FENGEL, WEGENER, 1989; ZANUNCIO, COLODETTE, 2011). São estruturas complexas, com aproximadamente 30% do carbono da biosfera (FENGEL, WEGENER, 1989), existem na maioria das plantas, mas com estrutura básica diferente entre espécies vegetais. É um agente cimentante entre as células, reduz a permeabilidade da parede celular à água, protege a madeira contra microrganismos, aumenta a resistência da planta à compressão para permitir o seu crescimento, e aumenta a rigidez da parede celular (D'ALMEIDA et al., 1988; WILLFÖR et al., 2002; ZANUNCIO, COLODETTE, 2011).

A lignina é um componente importante na resistência de plantas à patógenos, desempenhando função importante na resistência ao ataque de pragas (HATFIELD, VERMERRIS, 2001; SCHURT, et al. 2013). Sua deposição na parede celular impede a propagação de enzimas e toxinas sintetizadas por patógenos e impossibilita a passagem de água e nutrientes da planta para o invasor (BARROS et al., 2010).

3.3.2. Fenilalanina amônia-liase (PAL – E. C. 4.3.1.5)

A PAL foi descoberta por Koukol e Conn (1961) e desde então tem sido muito estudada. É uma enzima tetramérica, composta por quatro subunidades diferentes (JONES, 1984), esta enzima provém da rota dos fenilpropanóides, e esta rota é responsável pela desaminação do aminoácido L-fenilalanina, o resultado dessa desaminação são o ácido trans-cinâmico e a amônia, que são os precursores dos fenilpropanóides (ZHANG, LIU, 2014). Esta enzima também utiliza cerca de 40% do carbono orgânico biosférico na síntese de lignina depositada na parede celular (ZHANG, LIU, 2015; GARCIA, et al. 2019). Se localiza em um ponto de ramificação entre os metabolismos primário e secundário, sendo que a reação catalisada por ela é uma etapa importante na formação de compostos fenólicos (TAIZ, ZEIGER, 2004).

A alta atividade da PAL pode estimular a produção dos compostos fenólicos, bem como estimular a formação de fenilpropanóides, cumarinas, flavonoides, taninos condensados, lignina (TAIZ, ZEIGER, 2004). A atividade da fenilalanina amônia-liase também aumenta em resposta a diferentes tipos de estresse, por exemplo o estresse térmico, relacionando-se com desenvolvimento de mecanismos de proteção e adaptação de plantas a situações adversas (CHAKRABORTY et al., 2001; TELAXKA, 2018).

3.3.3. Clorofila

Todos os organismos que realizam fotossíntese possuem pigmentos que são capazes de absorver radiação visível, esses pigmentos variam de acordo com a espécie da planta. As principais classes de pigmentos encontrados em plantas e algas são clorofilas que podem ser a clorofila a, b, c ou d, os carotenoides e as ficobilinas, ficoeritrobilina e ficocianobilina que são abundantes em cianobactérias e as algas vermelhas.

Os pigmentos clorofilianos participam de processos na absorção de energia luminosa para posterior conversão dessa energia em ATP e, portanto, são muito

importantes na fotossíntese. A clorofila *a* é a principal responsável pela coloração verde das plantas e pela realização da fotossíntese (MEYER, 1974; STREIT, 2005). É o pigmento utilizado para a reação fotoquímica, ou seja, no primeiro estágio do processo fotossintético (TAIZ, ZIEGER, 2004), sendo assim, o aumento do teor da clorofila *a* possibilita o aumento da taxa fotossintética (STREIT, 2005). Os demais pigmentos de clorofila, são chamados de “pigmentos acessórios”, pois auxiliam na absorção de luz e na transferência da energia radiante para os centros de reação, sendo estes pigmentos a clorofila *b* (presente em vegetais superiores, algas verdes e algumas bactérias), a clorofila *c* (presente em feofitas e diatomáceas), e a clorofila *d* (presente em algas vermelhas) (TAIZ, ZIEGER, 2004; STREIT, 2005). Em geral, as clorofilas são relativamente instáveis e sensíveis à luz, aquecimento, oxigênio e à degradação química (SCHOEFS, 2002; STREIT, 2005).

Devido a sua coloração e propriedades físico químicas, os pigmentos de clorofila podem ser utilizados em produtos alimentícios, como corantes naturais e antioxidantes para restabelecer o teor natural destas moléculas em produtos alimentares ou para preparar produtos enriquecidos (SCHOEFS, 2002; STREIT, 2005). Precursores e derivados das clorofilas também podem ser usados na medicina para tratamentos fotodinâmicos (BRITTON, 1995; SCHOEFS, 2002; STREIT, 2005).

3.3.4. Fluorescência

A energia luminosa que incide sobre as plantas pode seguir por diferentes rotas, sendo elas a via fotoquímica e as vias de dissipação. A via fotoquímica é a porção energética efetivamente absorvida que é responsável pela assimilação do carbono em moléculas orgânicas, e as vias de dissipação da energia não consumida, e essa pode ocorrer na forma de calor e/ou reemissão de fótons pela molécula de clorofila (SANTOS et al., 2010; FAVARO, 2017).

A absorção e uso da energia luminosa pelos vegetais podem ser estimados por meio de uma análise de fluorescência da clorofila. Esta análise é rápida e não invasiva, e permite observar o nível de excitação da energia que dirige a fotossíntese e fornece subsídios para estimar o processo de transferência de elétrons do fotossistema II (FSII), ou seja, pode estimar a eficiência do transporte de elétrons através do FSII. Ainda, é possível determinar a eficiência deste fotossistema quando correlacionada à assimilação de CO₂, e isso permite que se usem parâmetros da fluorescência da clorofila para

examinar o desempenho fotossintético de plantas, seja em laboratório ou à campo (SANTOS et al., 2010; BAKER, ROSENQVIST, 2004).

A fluorescência da clorofila, além de não ser destrutiva, é altamente sensível e permite a obtenção de informações qualitativas e quantitativas sobre a condição fisiológica do aparato fotossintético das plantas (FALQUETO et al., 2007).

3.3.5. Peroxidase

As peroxidases são glicoproteínas contendo heme codificadas por uma grande família multigênica devido à repetição de genes durante a evolução (PASSARDI et al., 2004). É uma enzima presente nas plantas, a qual tem grande importância em reações como ligações de polissacarídeos, oxidação do ácido indol-3-acético, ligações de monômeros, lignificação, cicatrização de ferimentos, oxidação de fenóis, defesa de patógenos, regulação da elongação de células e outras (KAO, 2003; BARROS et al., 2010).

Esta enzima também catalisa a oxirredução entre peróxido de hidrogênio e outros redutores, e possui classe I, II e III, sendo que a classe III corresponde a estimulação da enzima pelas injúrias ou infecções (JONES et al., 1998; PASSARDI, PENEL, DUNAND, 2004). As peroxidases de classe I são intracelulares, enquanto as peroxidases de classe III são secretadas na parede celular ou no meio circundante e evoluem de maneira diferente e estão relacionadas apenas estruturalmente a esse ancestral (SCHULLER et al., 1996; PASSARDI, PENEL, DUNAND, 2004).

As peroxidases podem ser consideradas como enzimas bifuncionais, pois oxidam vários substratos na presença de H₂O₂, mas também produzem espécies reativas de oxigênio (ERO's). Sua presença em processos fisiológicos nas plantas, pode ser detectada desde a germinação até a senescência (PASSARDI, PENEL, DUNAND, 2004).

3.3.6. Compostos Fenólicos e Antocianinas

Os compostos fenólicos possuem cerca de 8.000 compostos, sendo o maior grupo de antioxidantes naturais (ABDRABBA, HUSSEIN, 2015; BENNEMANN et al., 2018), são originados do metabolismo secundário das plantas, se formam principalmente em condições de estresse como, infecções, ferimentos, radiações UV, dentre outros. São biossintetizados pela rota do ácido chiquímico e a rota do ácido malônico, sendo que nestas há a formação de compostos fenólicos variados, lactonas de fenilpropanóides,

derivados de ácido benzóico, lignina, flavonóides e taninos condensados (TAIZ; ZEIGER, 2004). Para as plantas, são essenciais para o crescimento e reprodução (NACZK, SHAHIDI, 2004; JACQUES, ZAMBIAZI, 2011), atuam também como agentes antipatogênicos e contribuem na pigmentação, adstringência e estabilidade oxidativa (JACQUES, ZAMBIAZI, 2011).

Estes compostos têm grande capacidade de inativação dos radicais livres, ou seja, capacidade antioxidante, a qual é atribuída à presença de grupamentos hidroxilas (OH^-), que possuem capacidade de se ligar a radicais livres presentes no organismo, impedindo danos e/ou oxidação de componentes celulares (SEVERO et al., 2009; JACQUES, ZAMBIAZI, 2011).

O mirtilo é o fruto fresco mais rico em antioxidantes já estudado, com um alto teor de compostos fenólicos na casca e na polpa, e por isso é conhecido como “fruto da longevidade” (PAES et al., 2014). Além disso, o mirtilo também possui níveis altos de compostos fenólicos do grupo dos flavonoides, mais especificamente de antocianinas (GOLDMEYER, et al., 2014).

As antocianinas são o maior grupo de pigmentos solúveis em água do reino vegetal (BRIDLE, TIMBERLAKE, 1997,) e, assim como os outros flavonoides, têm grande capacidade antioxidante envolvendo a eliminação direta ou extinção de radicais livres, e a inibição de enzimas oxidativas que geram essas espécies reativas de oxigênio (KANG et al., 2011). Quando em meio ácido, a antocianina aparece como pigmento vermelho e, em meio alcalino, a antocianina do pigmento azul prevalece (HOCK et al., 2017).

As antocianinas que são encontradas em maiores quantidades nos alimentos são a malvidina, a delphinidina, e a peonidina (BOGNAR et al., 2013), especificamente no mirtilo, a Malvidina-3-O-Galactósido, Petunidin-3-O-Galactósido e delphinidina-3-O-galactosídeo são as principais encontradas (BUNEA et al., 2013), segundo estudos de Kalt et al. (1999), Rodriguez-Mateos et al. (2012) e Reque et al. (2014), em diferentes variedades de mirtilo a antocianina majoritária é a Delphinidina-3-O-glucosídeo, esta antocianina tem uma característica química semelhante à maioria das antocianidinas, aparece como um pigmento azul-avermelhado ou roxo na planta, e também apresenta maior efeito inibitório na peroxidação lipídica e na atividade de eliminação de O_2 do que outras antocianinas (HOCK et al., 2017).

3.4.Referências

- ABDRABBA, S.; HUSSEIN, S. Chemical composition of pulp, seed and peel of red grape from libya. **Global Journal of Scientific Researches**. v. 3, n. 2, p. 6-11, 2015.
- AGUIRRE, C. El silício em los organismos vivos. **Asociación Interciencia**. Vol. 32, núm. 8, agosto, pp. 504-509. Caracas, Venezuela. 2007.
- ANTUNES, L.E.c.; RASEIRA, M. do C.B. Cultivo do mirtilo (*Vaccinium* sp.). Pelotas: **Embrapa Clima Temperado**, 2006.
- ASSIS, F.A. et al. Aplicação de silício no solo e/ou foliar no desenvolvimento vegetativo de *physalis peruviana* L. **Simpósio de propagação de plantas e produção de mudas**. 2017.
- BAKER, N., ROSENQVIST, E. Applications of chlorophyll fluorescence can improve crop production strategies: an examination of future possibilities. **Journal of Experimental Botany**, 55: 1607-1621. 2004.
- BARROS, F. C. et al. Indução de resistência em plantas à fitopatógenos. **Bioscience Journal**, v. 26, n. 2, 23 mar. 2010.
- BENNEMANN, GABRIELA & BOTELHO, RENATO & TORRES, YOHANDRA & CAMARGO, LUCIANA & KHALIL, NAJEH & OLDONI, TATIANE & SILVA, DIEGO. Compostos bioativos e atividade antirradicalar em farinhas de bagaço de uvas de diferentes cultivares desidratadas em liofilizador e em estufa. **Brazilian Journal of Food Technology**. 2018.
- BOGNAR, E., SARSZEGI, Z., SZABO, A., DEBRECENI, B., KALMAN, N., TUCSEK, T., GALLYAS JR, F. Antioxidant and anti-inflammatory effects in RAW 264.7 macrophages of malvidin, a major red wine polyphenol. **Plos One**, v. 8, p. 1, 2013.
- BOTELHO, DMS; POZZA, EA; POZZA, AAA; CARVALHO, JD de; BOTELHO, CE; SOUZA, PE de. Intensidade de cercosporios em mudas de café em função de fontes e doses de silício. **Fitopatologia Brasileira**, v.30, p.582-588, 2005.
- BOTELHO, R.V; AYU. R. A; MÜLLER M. M. L. Somatória de horas de frio e de unidades de frio em diferentes regiões do estado do paraná. **Scientia Agraria**, v.7, n.1-2, p.89-96, 2006.
- BOWLING, B.L. The berry growers's companion. **Oregon: Timber**, 284p. 2005.
- BRAGA, F.T. et al. Características anatômicas de mudas de morangueiro micropropagadas com diferentes fontes de silício. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.44, n.2, p.128-132, 2009.
- BRAZELTON, C. **World blueberry acreage & production**. Folsom: U.S. Highbush Blueberry Council 51 p. 2011.
- BRIDLE, P.; TIMBERLAKE, C.F. Anthocyanins as natural food colours-selected aspects. **Food Chemistry**, Barking, v. 58, n. 12, p. 103-109, 1997.

BRITTON, G. UV/ visible spectroscopy. In: BRITTON, G. et al. (Eds). **Carotenoids, spectroscopy**. Birkhauser, V.1, p.13-62.1995.

BUNEA, A. et al. Anthocyanin determination in blueberry extracts from various cultivars and their antiproliferative and apoptotic properties in B16-F10 metastatic murine melanoma cells. **Phytochemistry**, v. 95, p. 436–444, 2013.

CANTUARIAS-AVILÉS, T. **Cultivo do mirtilheiro (*Vaccinium* sp.)**. Piracicaba: ESALQ. 38 p. (Série Produtor Rural, 48). 2010.

CANTUARIAS-AVILES, Tatiana et al. Cultivo do mirtilo: atualizações e desempenho inicial de variedades de baixa exigência em frio no Estado de São Paulo. **Rev. Bras. Frutic.** Jaboticabal, v. 36, n. 1, p. 139-147, Mar. 2014.

CHAKRABORTY, U.; DUTTA, S.; CHAKRABORTY, B. Drought induced biochemical changes in Young tea leaves. **Indian Journal of Plant Physiology**, 6:103-106, 2001.

CORNELIS JT, TITEUX H, RANGER J et al. Identification and distribution of the readily soluble silicon pool in a temperate forest soil below three distinct tree species. **Plant Soil**. 2011.

COSTA, Bárbara Nogueira Souza et al. Modificações morfoanatômicas e fisiológicas de maracujazeiro fertilizado com silício. **Pesq. agropec. bras.** Brasília, v. 53, n. 2, p. 163-171, fev. 2018.

CRUSCIOL, Carlos Alexandre Costa et al. Aplicação foliar de ácido silícico estabilizado na soja, feijão e amendoim. **Rev. Ciênc. Agron.** Fortaleza, v. 44, n. 2, p. 404-410. June, 2013.

DAL MOLIN, S. et al. Fenologia e aptidão de cultivares de mirtilo. **VII Seminário Brasileiro sobre Pequenas Frutas**, Vacaria, RS 18 jul. 2013.

D'ALMEIDA, M.L.O. Composição química dos materiais lignocelulósicos. In: D'ALMEIDA, M.L.O. **Celulose e papel: tecnologia de fabricação da pasta celulósica**. 2.ed., São Paulo: IPT, v.1. p.45-106. 1988.

DAMODARAN, S.; PARKIN, K. L.; FENNEMA, O. R. Química de Alimentos de Fennema. 4. ed., Porto Alegre: **Artmed**, 900p. 2010.

DATNOFF LE, RODRIGUES FA, SEEBOLD KW. Silicon and Plant Nutrition. In: Datnoff LE, Elmer WH, Huber DM (Eds.) **Mineral nutrition and plant disease**. Saint Paul MN. APS Press, pp. 233-246. 2007.

DATNOFF, L.; RODRIGUES, F. **Silicon and Plant Diseases**.2015.

Departamento de Informática em Saúde, Escola Paulista de Medicina/Unifesp. **Tabela de Composição Química dos Alimentos**. Versão 3. 2014.

DIXON R. A., PAIVA N. L. Stress-induced phenylpropanoid metabolism. **Plant Cell**. 7, 1085–1097 10.1105/tpc.7.7.1085. 1995.

- DÔRES, S. M. C. das; PAIVA, S. A. R. de; CAMPANA, Á. O. Vitamina K: metabolismo e nutrição. **Revista de Nutrição**, v. 14, n. 3, p. 207–218, dez. 2001.
- EPSTEIN, E. Silicon in plants: Facts vs. concepts. In: DATNOFF, L. E.; SNYDER, G. H.; KORNDÖRFER, G. H. (Ed.). **Studies in Plant Science. Silicon in Agriculture**. 8p. 1–15. 2001.
- EPSTEIN, E. The anomaly of silicon in plant biology. **Proceedings of National Academy of Sciences of the United States of America**, Washington, v. 91, n. 1, p. 11-17, 1994.
- FACHINELLO, J. C. Mirtilo **Rev. Bras. Frutic.** Jaboticabal, v. 30, n. 2 de junho de 2008.
- FALQUETO, A. R. *et al.* Características da fluorescência da clorofila em cultivares de arroz com ciclo precoce, médio e tardio. **Revista Brasileira de Biociências**, v. 5, supl. 2, p. 579-581, 2007.
- FAO. **Dados do cultivo do mirtilo**. 18 jan. 2019. Disponível em: <<http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC/visualize>>. Acesso em: 1 ago. 2019.
- FAVARO, Renata. Ácido salicílico como indutor de resistência ao tetranychus urticae (koch) em morangueiro. **Dissertação** – Mestrado em Agronomia. UNICENTRO, Guarapuava. 2017.
- FENGEL, D.; WEGENER, G. **Wood: chemistry, ultrastructure, reactions**. Berlin: Walter de Gruyter, 1989.
- FERREIRA, M.M.M.; FERREIRA, G.B.; FONTES, P.C.R.; DANTAS, J.P. Qualidade do tomate em função de doses de nitrogênio e da adubação orgânica em duas estações. **Horticultura Brasileira**. v.24, p.141-145, 2006.
- FIGUEIREDO, F. C. *et al.* Pulverização foliar e fertirrigação com silício nos atributos físico-químicos de qualidade e índices de coloração do morango. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 34, n. 5, p. 1306-1311, 2010.
- FIORINI, LS. Dossiê dos Minerais na Alimentação. **Food Ingredients Brasil**, 4, 2008.
- FONSECA, L. L.; OLIVEIRA, P. B. A Planta de Mirtilo: Morfologia e fisiologia. **Divulgação Agro**, v. 556, n. 2, 2007.
- GALLETTA, G.J. Blueberries and cranberries. In: JANICK, J.; MOORE, J.N. (Ed.). **Advances in fruit breeding**. West Lafayette: Purdue University, p.154-196. 1975.
- GALLETTA, G.J.; BALLINGTON, J.R. Blueberry, cranberries, and lingonberries. In: JANICK, J.; MOORE, J.N. **Fruit Breeding**, Vol. 2, Vine and Small Fruit Crops, John Wiley & Sons, Inc., New York. 1996.
- GARCIA, Carla et al. Óleos essenciais no controle de Botrytis cinerea: influência na qualidade pós-colheita de uvas ‘Rubi’. **Braz. J. Food Technol.**, Campinas, v. 22, e2018177, 2019.

GOLDMEYER, Bruna et al. Características físico-químicas e propriedades funcionais tecnológicas do bagaço de mirtilo fermentado e suas farinhas. **Rev. Bras. Frutic. Jaboticabal**, v. 36, n. 4, p. 980-987, Dec. 2014.

GOMES, Flávia B. et al. Uso de silício como indutor de resistência em batata no *Myzus persicae* (Sulzer) (Hemiptera: Aphididae). **Neotrop. entomol.** Londrina, v. 37, n. 2, p. 185-190, abril de 2008.

GOMES, Flávia Batista et al. Indução de resistência em plantas de trigo por silício e pulgões. **Sci. agric. (Piracicaba, Brasil)**, Piracicaba, v. 62, n. 6, p. 547-551, dezembro de 2005.

GÜNDÜZ, K.; SERÇE, S.; HANCOCK, J. F. Variation among Highbush and Rabbiteye Cultivars of Blueberry for Fruit Quality and Phytochemical Characteristics. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 38, p. 69–79, mar. 2015.

HALL, David O; RAO, K. Krishnamurthy. **Fotossíntese**, 2ª ed. São Paulo, EPU: 1980.

HATFIELD, R.; VERMERRIS, W. Lignin formation in plants. The dilemma of linkage specificity. **Plant Physiology**, v.126, p.1351-1357, 2001.

HOCK E. K., et al. Anthocyanidins and anthocyanins: colored pigments as food, pharmaceutical ingredients, and the potential health benefits. **Food & Nutrition Research**, vol. 61, 1361779. 2017.

HOFFMANN, A. Mirtilo: Aspectos gerais da cultura. Embrapa uva e vinho, **Revista da Maçã**, Fraiburgo, v. 1, n. 5, p. 26-27, 2007.

HOFFMANN, A. Mirtilo: Aspectos gerais da cultura. Embrapa uva e vinho, **Revista da Maçã**, Fraiburgo, v. 1, n. 5, p. 26-27, 2007.

IAPAR. Instituto Agrônomo do Paraná. Agrometeorologia. 2011.

INSTITUTE OF MEDICINE. Dietary Reference Intakes for Energy, Carbohydrate, Fiber, Fat, Fatty Acids, Cholesterol, Protein, and Amino Acids. Washington, DC: **The National Academies Press**. 2005.

INSTITUTE OF MEDICINE. Dietary Reference Intakes for Vitamin A, Vitamin K, Arsenic, Boron, Chromium, Copper, Iodine, Iron, Manganese, Molybdenum, Nickel, Silicon, Vanadium, and Zinc. Washington, DC: **The National Academies Press**. 2001.

INSTITUTE OF MEDICINE. Food and Nutrition Board. Dietary Reference Intakes. **National Academic Press**, Washington D.C., 1999-2001

INSTITUTE OF MEDICINE. Dietary Reference Intakes for Vitamin C, Vitamin E, Selenium, and Carotenoids. Washington, DC: **The National Academies Press**. 2000.

JACQUES, A. C.; ZAMBIAZI, R. C. Fitoquímicos em amora-preta (*Rubus* spp). **Ciências Agrárias**. Londrina, v. 32, n. 1, p. 245-260, jan/mar. 2011.

- JONES, C. J. Superoxide in apoptosis. Mitochondrial generation triggered by cytochrome c loss. **Journal of Biological Chemistry**, v. 273, p. 11401–11404, 1998.
- JONES, D.H. Phenylalanina amonnie-lyase: regulation of its induction, and its role in plant development. **Phytochemistry, Oxisford**, v.23, p.1349-1359, 1984.
- JONES, L.H.P.; HANDRECK, K.A. Silica in soils, plants, and animals. **Advances in Agronomy**, v.19, p.107-149, 1967.
- KALT, W.et al. Interspecific ariation in anthocyanins, phenolics, and antioxidant capacity among genotypes of highbush and lowbush blueberries (*Vaccinium* Section *cyanococcus* spp.). **Journal of Agricultural and Food Chemistry**. 2001.
- KANG, J. et al. Flavonoids from Acai (*Euterpe Oleracea* Mart.) Pulp and Their Antioxidant and Anti-Inflammatory Activities. **Food Chemistry**, v. 128, n. 1, p. 152–157, set. 2011.
- KAO, C. H. Differential effect of sorbitol and polyethylene glycol on antioxidant enzymes in rice leaves. **Plant Growth Regulation**, v. 39, p. 83-89, 2003.
- KOFALVI, S.A. & A. NASSUTH. Influence of wheat streak mosaic virus infection on phenylpropanoid metabolism and the accumulation of phenolics and lignin in wheat. **Physiol. Mol. Plant Pathol.** 47: 365-377. 1995.
- KORNDÖRFER, G.H. Elementos benéficos. In: FERNANDES, M.S. (Ed.) **Nutrição Mineral de Plantas**. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa MG. p. 355-374. 2006.
- KOTTEK M., GRIESER J., BECK C., RUDOLF B., RUBEL F. World Map of the Köppen-Geiger climate classification updated. **Meteorologische Zeitschrift**, 15, 259-263. 2006.
- KOUKOL, J., AND CONN, E.E. The metabolism of aromatic compounds in higher plants. Purification and properties of the phenylalanine deaminase of *Hordeum vulgare*. **J Biol. Chem.** 236, 2692-2698. 1961.
- LI, J. et al. Blueberry Component Pterostilbene Protects Corneal Epithelial Cells from Inflammation via Anti-Oxidative Pathway. **Scientific Reports**, v. 6, p. 19408, 14 jan. 2016.
- LIANG, Y. et al. Effect of Silicon on Crop Growth, Yield and Quality. In: **Silicon in Agriculture**. p. 209–223. 2015.
- LUZ, J.M.Q; et al. Níveis de clorofila em tomateiro em função da aplicação de Silicato de potássio. **Horticultura Brasileira**. v. 27, n. 2, agosto. 2009.
- MA, J. F.; YAMAJI, N. Silicon uptake and accumulation in higher plants. **Trends in Plant Science**, v. 11, n. 8, p. 392-397, 2006.
- MAINLAND, C. Frederick V. Coville and the History of North American Highbush Blueberry Culture. **International Journal of Fruit Science**. 2012.

- MANELA-AZULAY, M. et al. Vitamina C. **An bras Dermatol**, p. 10, 2003.
- MARODIN, J. C. et al. Tomato Post-Harvest Durability and Physicochemical Quality Depending on Silicon Sources and Doses. **Horticultura Brasileira**, v. 34, n. 3, p. 361–366, set. 2016.
- MARODIN, J. C. et al. Yield of Tomato Fruits in Relation to Silicon Sources and Rates. **Horticultura Brasileira**, v. 32, n. 2, p. 220–224, jun. 2014.
- MARODIN, Josué Clock. Produtividade, qualidade físico-química e conservação pós-colheita de frutos de tomateiro em função de fontes e doses de silício. **Dissertação – Mestrado em Produção Vegetal**. Guarapuava: UNICENTRO, 2011.
- MENEGALE, M.; CASTRO, G.; MANCUSO, M. Silício: Interação com o sistema solo-planta. **Journal of Agronomic Sciences**, v. 4, p. 435–454, 1 jan. 2015.
- MEYER, S.E. Rosa L. In: **Woody plant seed manual**. Washington: USDA Forest Service, 1974.
- MIYAKE, Y.; TAKAHASHI, E. Effect of silicon on the growth of solution-cultured cucumber plant. **Soil Science and Plant Nutrition**, Tokyo, v.29, p.71-83, 1983.
- MORIKAWA, C. K.; SAIGUSA, M. Mineral Composition and Accumulation of Silicon in Tissues of Blueberry (*Vaccinium Corymbosus* Cv. Bluecrop) Cuttings. **Plant and Soil**, v. 258, n. 1, p. 1–8, 1 jan. 2004.
- MUNARETTO, L. M. et al. Productivity and Quality of Organic Strawberries Pre-Harvest Treated with Silicon. **Horticultura Brasileira**, v. 36, n. 1, p. 40–46, mar. 2018.
- NACZK, M.; SHAHIDI, F. Extraction and analysis of phenolics in food. **Journal Chromat. A.**, Washington, v. 1054, n. 1/2, p. 95-111, 2004.
- OLIVEIRA A.G; COSTA M.C.D; ROCHA S.M.B.M. Benefícios funcionais do açaí na prevenção das doenças cardiovasculares. n. **Journal of Amazon Health Science**. Vol.1, n.1, p. 10, 2015.
- ONODERA I. Chemical studies on rice blast. **J Sci Agric Soc**. 180:606–617. 1917.
- PASSARDI, F., PENEL, C. AND DUNAND, C. Performing the paradoxical: how plant peroxidases modify the cell wall. **Trends in Plant Science**, 9, 534-540. 2004.
- PEREIRA, I. dos S. et al. Informações técnicas de cultivares de mirtilo. **Embrapa Clima Temperado**, 2013.
- PEREIRA, S. C. et al. Efeito da aplicação foliar de silício na resistência à ferrugem e na potencialização da atividade de enzimas de defesa em cafeeiro. **Tropical Plant Pathology**. 34 (4) July - August 2009.
- PINTO, D. G. et al. Alterações fisiológicas após aplicação de silício em cacau e sua influência na preferência por pulgões. **Rev. Ceres, Viçosa**, v. 59, n.3, p. 360-367, mai/jun, 2012.

- PLUCKNETT D.L. The use of soluble silicates in Hawaiian agriculture. **Univ Queensland**. Publ 1:203–223. 1971.
- PRIOR, R.L. et al. Antioxidant capacity is influenced by total phenolic and anthocyanin content, maturity, and variety of *Vaccinium* species. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**. 1998.
- RASEIRA, M. C.B.; FRANZON, R.C. Melhoramento genético e cultivares de amora-preta e mirtilo. **Informe Agropecuário, Belo Horizonte**, v.33, n.268, p.11-20, 2012.
- RDC nº 269, **Regulamento técnico sobre a ingestão diária recomendada de proteína, vitaminas e minerais**, 2006;
- REIS, T. H. P. *et al.* Efeito da associação silício líquido solúvel com fungicida no controle fitossanitário do cafeeiro. **Coffee Science**, v. 3, n. 1, p. 78-80, 2008.
- REQUE, P. M. et al. Characterization of blueberry fruits (*Vaccinium* spp.) and derived products. **Food Sci. Technol (Campinas)**, Campinas, v. 34, n. 4, p. 773-779, Dec. 2014.
- RIEGER M. Blueberry (*Vaccinium* spp.). In: **Introduction to fruit crops**. New York: The Haworth Press, 105–117. 2006.
- RODRIGUEZ-MATEOS, A., CIFUENTES-GOMEZ, T., TABATABAEE, S., LECRAS, C., & SPENCER, JPE. Procianidina, antocianina e conteúdo de ácido clorogênico de Blueberries Highbush e Lowbush. **Jornal de Química Agrícola e Alimentar**, 60 (23), 5772-5778. 2012.
- SANTOS, A. M. dos. Situação e perspectivas do Mirtilo no Brasil. In: **Encontro de pequenas frutas e frutas nativas**. Anais. Pelotas: Embrapa, p. 281. 2004.
- SANTOS, C. M.; GONÇALVES, E. R.; ENDRES, L.; GOMES, T. C. A.; JADOSKI, C. J.; NASCIMENTO, L. A.; SANTOS, E. D. Atividade fotossintética em alface (*Lactuca sativa* L.) submetidas a diferentes compostagens de resíduos agroindustriais. **Pesquisa Aplicada & Agrotecnologia**, v.3, p.95-102, 2010.
- SCHNETTLER, B., H. MIRANDA, J. SEPULVEDA, M. DENEGRI, M. MORA AND G. LOBOS. "Preferences for berries among consumers in southern Chile: blueberries are produced but are they consumed?". **J Food Sci**. 76(7): S458-464. 2011.
- SCHOEFS B. Chlorophyll and carotenoid analysis in food products. Properties of the pigments and methods of analysis. **Trends in Food Science & Technology**, v.13, p.361-371, 2002.
- SCHULLER, D.J. et al. The crystal structure of peanut peroxidase. **Structure**, 4, 311–321. 1996.
- SCHURT, D A. et al. Efeito do silício nas concentrações de lignina e açúcar das bainhas das folhas de plantas de arroz infectadas por *Rhizoctonia solani*. **Bragantia**, Campinas, v. 72, n. 4, p. 360-366, 2013.
- SEVERO, J.; GALARÇA, S.P.; AIRES, R.F; CANTILLANO, R.F.F.; ROMBALDI, C.V.; SILVA, J.A. Avaliação de compostos fenólicos, antocianinas, vitamina C e

capacidade antioxidante em mirtilo armazenado em atmosfera controlada. **Braz. J. Food Technol.**, janeiro 2009.

SILVA, M.L.S; RESENDE, J.T.V; TREVISAN,A.R; FIGUEIREDO, A.S.T; SCHWARZ,K Influência do silício na produção e na qualidade de frutos do morangueiro, Semina: **Ciências Agrárias**, Londrina, v. 34, n. 6, suplemento 1, p. 3411-3424, 2013.

SOUSA, M. B., et al. Mirtilo-Qualidade Pós-colheita. **Divulgação Agro.** 556, n 8. 2007.

STREIT, Nivia Maria et al. Como clorofilas. **Cienc. Rural**, Santa Maria, v. 35, n. 3, p. 748-755, junho de 2005.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. Fisiologia vegetal. 3ed. Porto Alegre: **Artmed**, 2004.

TAKAHASHI, E.; MA, J.F.; MIYAKE, Y. The possibility of silicon as an essential element for higher plants. **Comments in Agriculture and Food Chemistry**, v.2, p.99-122, 1990.

TATAGIBA, SANDRO & PELOSO, ANELISA & RODRIGUES, FABRÍCIO. (2017). O silício potencializa o desempenho fotoquímico em folhas de arroz. **Revista Univap.** 22. 892.

TELAXKA, F. J. Manejo de giberela e mancha-amarela na cultura do trigo. **Dissertação (mestrado)**. Universidade Estadual do Centro-Oeste, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, área de concentração em Produção Vegetal, Guarapuava, 2018.

TOTTINGHAM W.E. The status of silicon in certain plants. **Master of Science**, University of Wisconsin, Madison. 1908.

TREHANE, J. Blueberries, cranberries and other vacciniiums. **Cambridge: Timber Press**, 2004.

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. **Economics, statistics and market information system**. Washington: U.S. Blueberry Industry, 2013.

VASANTHI, N.; SALEENA, L. M.; RAJ, S. A. Silicon in Day Today Life. **World Applied Sciences Journal**, 17, 1425-1440. 2012.

VIGNOLO, G. K. et al. Rooting of hardwood cuttings of three blueberry cultivars with different concentrations of IBA. **Ciencia Rural**, 2012. Acesso em: 23 ago. 2019.

WILFÖR, S. M.; SMEDS, A. I.; HOLMBOMA, B. R. Chromatographic analysis of lignans. **Journal of Chromatography A**, v.1112, p.64-77, 2006.

ZANUNCIO, A. J. V.; COLODETTE, J. L. Teores de lignina e ursos químicos na madeira e polpa celulósica de eucalipto. **Rev. Árvore**, Viçosa, v. 35, n. 2, p. 341-347, abril de 2011.

ZHANG, X., & LIU, C. Multifaceted regulations of gateway enzyme phenylalanine ammonia-lyase in the biosynthesis of phenylpropanoids. **Molecular Plant**, 8(1), 17-27. 2015.

4. CAPÍTULO I

CARACTERÍSTICAS AGRONÔMICAS E FISIOLÓGICAS DE CULTIVARES DE MIRTILEIRO APÓS APLICAÇÃO FOLIAR DE SILÍCIO

4.1 Resumo

Este capítulo teve como objetivo avaliar o efeito da aplicação foliar do Si em características agronômicas e fisiológicas dos mirtilheiros. O delineamento foi em blocos casualizados em esquema fatorial 5 x 2 (cultivares x tratamentos), para as análises de atividade de PAL e lignina foram realizadas avaliações em dois tempos, ou seja, o delineamento para essas avaliações foi 5 x 2 x 2. O Si demonstrou efeitos positivos no desenvolvimento vegetativo das cultivares Clímax e Brighthwell, pois promoveu maior massa foliar, área foliar, clorofila b e total, atividade de PAL nos dois tempos de avaliação, e melhor funcionamento do aparato fotossintético por meio de melhores relações de F_v/F_m e F_v/F_o . Os mesmos efeitos não foram observados para a cv. O'Neal, demonstrando o efeito prejudicial da utilização de Si nas características vegetativas de massa foliar, atividade de PAL no tempo 2, lignina em ambos os tempos, e piores relações F_v/F_m e F_v/F_o mostrando menor eficiência fotossintética. As demais cultivares não demonstram influência significativa da aplicação foliar de Si.

Palavras chave: *Vaccinium*; Mirtilo; Fluorescência; Clorofila;

4.2. Introdução

O mirtilo, também chamado de arándano em espanhol, e blueberry em inglês (FACHINELLO, 2008), é uma pequena baga que cresce em um arbusto caducifólio, membro da família Ericaceae, subfamília Vaccinoideae e gênero Vaccinium (SOUSA, 2007). É um fruto nativo da América do Norte e da Europa, onde é amplamente cultivado nos meses de verão e comercializado durante todo o ano (REQUE et al., 2014). A América do Norte é a maior produtora e importadora do fruto e o Chile é o principal exportador com cerca de 35 mil toneladas por ano (SCHNETTLER et al., 2011).

No Brasil, o mirtilo é um fruto pouco conhecido, sendo produzido em maiores quantidades somente nos estados do Rio Grande de Sul, Santa Catarina, Paraná, São Paulo e Minas Gerais, principalmente em pequenas propriedades (cerca de 400 hectares) com a maioria de empreendimentos com baixa escala (CANTUARIAS-AVILES, 2014). Porém, o Brasil tem condições favoráveis para a produção e exportação de mirtilos frescos, como a possibilidade de produção precoce na entressafra do Hemisfério Norte, além da proximidade dos mercados europeus (CANTUARIAS-AVILÉS, 2010; CANTUARIAS-AVILES, 2014).

Apesar da maioria dos estudos sobre o efeito da aplicação de silício terem sido realizados em monocotiledôneas, tendo em vista que as culturas dicotiledôneas, são consideradas não acumuladores, a aplicação de Si também tem se mostrado benéfica (CRUSCIOL, 2013), principalmente via foliar, a qual pode fornecer o mineral de uma forma mais prática e eficiente neste tipo de plantas (FIGUEIREDO et al., 2010; CRUSCIOL, 2013).

Em estudos com plantas frutíferas, o silício já tem mostrado alguns benefícios em algumas espécies, tais como a maior funcionalidade de estômatos em maracujazeiro (COSTA et al., 2018) e o maior número de folhas, diâmetro do caule e comprimento da parte aérea em physalis (ASSIS et al., 2017). O Si é o elemento mineral presente em maior quantidade em folhas de mirtilo, com teor médio de 32,0 mg g⁻¹ (massa seca de folhas jovens) e 60,0 mg g⁻¹ (massa seca de folhas velhas) (MORIKAWA, SAIGUSA, 2004). Portanto, o silício mineral tem sido considerado um elemento de grande importância para a cultura do mirtilo.

Observando o efeito combinado do potencial de crescimento da cultura do mirtilo no Brasil e os benefícios que a aplicação de silício pode trazer às plantas de silício, o objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito da aplicação foliar do silício em

massa, área foliar, teor de clorofila, fenilalanina amônia liase e lignina em cinco cultivares de mirtilheiro.

4.3. Material e métodos

4.3.1. Local do experimento

O experimento foi conduzido no pomar experimental (Figura 1.1) do Departamento de Agronomia do Campus Cedeteg, da Universidade Estadual do Centro-Oeste (UNICENTRO), em Guarapuava, Paraná, (25°23'36" S, 51°27'19" O) e altitude de 1.120 m. Segundo a Embrapa (2013), o solo da área experimental é classificado como Latossolo Bruno distroférico típico.

O clima da região é do tipo subtropical úmido mesotérmico (Cfb), conforme a classificação de Köppen-Geiger (KOTTEK et al., 2006), com verões frescos e inverno moderado com ocorrência de geadas severas e frequentes, não apresentando estação seca definida. A temperatura média máxima anual é de 23,5 °C e a temperatura média mínima anual é de 12,7 °C (IAPAR, 2011). E a média de hora de frio da região de Guarapuava é de cerca de 308,6 horas (BOTELHO et al., 2006).



Figura 1.1. Pomar experimental do setor de Fruticultura do Departamento de Agronomia do Campus Cedeteg, da Universidade Estadual do Centro-Oeste (UNICENTRO), Guarapuava, PR. Fonte: GOOLGE EARTH, 2019.

4.3.2. Delineamento experimental

O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados em esquema fatorial 5 x 2 (cultivares x tratamentos), com parcelas subdividas constituídas de 3 repetições cada, exceto para as análises de lignina e atividade de PAL, onde o delineamento foi 5 × 2 × 2 (cultivares × tratamentos × tempo de avaliação). Os tratamentos consistiram das cinco cultivares de mirtilheiro (Beckyblue, O’Neal, Clímax, Brighthwell e Misty), com a aplicação de Si (CS) e sem a aplicação de silício (SS). O plantio dos mirtilheiros foi realizado no dia 08 de dezembro de 2015.

A aplicação de silício foi realizada semanalmente com pulverizador costal elétrico. Foi utilizada uma solução aquosa na concentração de 1,5 gL⁻¹ de óxido de silício, e a fonte de silício utilizada foi o produto comercial AgriSil® (98% de SiO₂, Agrobiológica Soluções Naturais Ltda., Atibaia-SP). As aplicações iniciaram no dia 5 de novembro de 2018 a partir da formação das primeiras flores e finalizaram no dia 25 de março de 2019, totalizando 21 aplicações. As coletas das folhas do mirtilheiro foram realizadas no dia 11 de dezembro de 2018 (após 6 aplicações de Si) e no dia 26 de março de 2019 (após 21 aplicações de Si)

Durante o período experimental, foi realizado o controle manual de plantas daninhas na linha de plantio de acordo com a necessidade, bem como os procedimentos de controle de pragas conforme as recomendações da agricultura orgânica. Duas aplicações de Óleo de Neem (1%) foram realizadas, uma em janeiro e outra em fevereiro de 2019, além das aplicações quinzenais de calda bordalesa (1:1:100) para controle de doenças fúngicas. As plantas foram periodicamente irrigadas por meio de um sistema de irrigação por gotejamento, permitindo a reposição de água no solo em períodos de estiagem.

4.3.3. Massa fresca e área foliar

Foram coletadas 10 folhas de cada planta de maneira aleatória, sendo pesadas em balança de precisão, e os resultados expressos em gramas. A área foliar foi obtida por meio de um medidor de área foliar LI-COR®, modelo LI 3100C, instalado sobre bancada, os resultados foram expressos em cm².

4.3.4. Teor de Clorofila

O teor de clorofila foi determinado com o auxílio ClorofiLOG modelo CFL 1030 (Falker Automação Agrícola, Porto Alegre, RS, Brasil), sendo os resultados expressos

em índice de clorofila Falker (ICF) (FALKER, 2008). Em cada planta foram realizadas leituras em cinco folhas utilizando a parte mediana de cada folha e em folhas novas e totalmente expandidas. O teor, denominada Índice de Clorofila Falker (ICF), é analisado por meio da relação de absorção de três faixas de frequências de luz, levando em consideração a presença de clorofila dos tipos A e B (FALKER, 2008). O teor de clorofila total foi avaliado levando em consideração a soma da clorofila A e B.

4.3.5. Fluorescência

Os parâmetros da fluorescência nas plantas foram medidos utilizando um fluorômetro portátil Portable Chlorophyll Fluorometer modelo PAM-2500 (Walz, Effeltrich, Germany). A avaliação foi realizada no dia 19 de novembro de 2019 (3 semanas após aplicação de Si) entre às 08h00min e 11h00min, sendo esse dia caracterizado por dia completamente ensolarado. O equipamento foi primeiramente adaptado ao escuro de 20 minutos e as medições foram realizadas em folhas completamente expandidas.

A partir da resposta dos primeiros pulsos de luz da indução de curva, foram obtidos os seguintes parâmetros: F_0 (fluorescência inicial da folha), F_m (Fluorescência máxima da folha), F_v (fluorescência variável da folha) e ainda, foram calculados os seguintes parâmetros: F_v/F_0 (atividade potencial do FSII) e F_v /F_m (eficiência fotoquímica máxima).

4.3.6. Coleta das amostras utilizadas para análise de enzima e lignina

Sete a oito folhas de cada parcela experimental para posterior análise laboratorial de enzimas e lignina. As amostras foram envoltas em papel alumínio, resfriadas em nitrogênio líquido, colocadas em caixa de isopor com gelo para transporte até o laboratório e posteriormente armazenadas em freezer a $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$, até o preparo de extratos para as análises enzimáticas e de lignina.

4.3.7. Determinação da Atividade Enzimática nas folhas de fenilalanina amônia-liase (PAL – E. C. 4.3.1.5)

4.3.7.1. Obtenção do substrato enzimático

O extrato foi preparado com as folhas coletadas sendo inicialmente pesadas, homogeneizadas com almofariz e pistilo em 1,0 ml de tampão Tris-HCl 0,1 M (pH 7,3) e maceradas completamente, depois foram centrifugadas a 6.000 g por 10 min a 4 °C. Foi pipetado 200 µL do sobrenadante e acrescentou-se 5 mL do tampão de extração (KAR, MISHRA, 1976).

4.3.7.2. Extração da fenilalanina amônia-liase (PAL – E. C. 4.3.1.5)

Após essa diluição, para a determinação da PAL, pipetou-se para tubos de ensaio 1,5 mL de cada extrato enzimático, acrescentando-se 1,0 mL do tampão de extração e 0,5 mL de fenilalanina (49,6 mg/mL) ou água destilada na prova em “branco”. A mistura foi incubada a 40°C por uma hora, interrompendo-se a reação com banho de gelo e procedendo-se as leituras espectrofotométricas a 290 nm em espectrofotometro modelo UV 0 1800 (Shimadzu, Kyoto, Japão) e os resultados foram expressos em UAbs - 1min - 1 mgprot (HYODO et al. 1978).

4.3.7.3. Determinação do conteúdo proteico nas folhas

As amostras de folhas que estavam armazenadas no freezer à -18 °C foram pesadas em balança de precisão e maceradas em nitrogênio líquido, utilizando almofariz, pistilo e homogeneizados mecanicamente com 1% (p/p) de PVP (polivinilpirrolidona) e 4 mL de tampão fosfato de potássio 50 mM (pH 7,0) contendo 0,1 mM EDTA. Posteriormente a solução foi centrifugada a 30.000 g por 25 min com temperatura de 4 °C, e recuperação do sobrenadante, o qual teve o seu conteúdo total de proteína determinado. Para determinar o conteúdo total de proteína das amostras, utilizou-se 50 µL com 2,5 mL do reagente de Bradford, em seguida agitado e após 5 min foi efetuada a leitura da absorbância a 595 nm em espectrofotômetro modelo UV 0 1800 (Shimadzu, Kyoto, Japão). A concentração de proteínas, expressa em mg por mL de amostra (mg proteína mL⁻¹), foi determinada utilizando-se curva-padrão de concentrações de albumina de soro bovino (ASB) de 0 a 0,5 mg mL⁻¹ (BRADFORD, 1976).

4.3.8. Lignina

O teor de lignina foi analisado conforme o método adaptado de – Klason, com a metodologia descrita por Rohella et al. (1996), onde foi determinado para as folhas do mirtilheiro coletadas, sua massa fresca em balança de precisão, área foliar no medidor de superfície foliar, bem como a massa seca a partir do peso das mesmas após secagem em estufa de circulação de ar à 50°C por quatro dias. Em seguida as folhas secas foram trituradas em moinho Puvette 14 (Fritsch), e armazenadas em sacos plásticos identificados, em local seco.

Embalagens de tecido TNT (tecido não tecido) com 10 cm² foram confeccionadas, e em seguida, foram pesadas e colocadas em estufa a 105°C por 14 horas, posteriormente foram retiradas da estufa. Após isso, as embalagens foram novamente pesadas e adicionados 0,25g de amostra das folhas secas e moídas. Posteriormente, esse material foi colocado em um recipiente com ácido sulfúrico à 72% e a cada uma hora adicionado mais ácido até completar o volume final de 30 mL por amostra, totalizando 3 horas. Então, as amostras foram retiradas do recipiente, lavadas em água destilada e colocadas em estufa a 60°C por 2 horas e, em seguida, a temperatura foi elevada para 105°C, na qual as amostras permaneceram por 12 horas (ROHELLA, 1996). Por fim, foram pesadas em balança de precisão, demonstrando o peso final de lignina expresso em mg-1 g -1MF-1.

4.3.9. Produtividade

A partir da área total de cada parcela e do somatório das massas dos frutos colhidos de cada parcela, foi obtida a produtividade total de frutos com valores expressos em gramas por hectare (g ha⁻¹).

4.3.10. Análises estatísticas

Os resultados de massa fresca de folha, área foliar, clorofila e fluorescência clorofila foram submetidos à análise de variância e, em seguida, avaliados pelo teste Tukey ao nível de 5% de probabilidade, e os resultados de fenilalanina amônio-liase e lignina foram submetidos à análise de variância, todos os resultados foram avaliados pelo programa estatístico Sisvar (FERREIRA, 2014). As correlações relevantes foram investigadas empregando-se os coeficientes de correlação de Pearson, análise que foi realizada por meio do programa *Statistical Package for the Social Science*® (SPSS® 22).

4.4. Resultados e discussão

Nas tabelas 1.1 e 1.2 são apresentados os resultados das análises de variâncias. Foi observado interação entre os fatores para todas as variáveis avaliadas. Para as análises de lignina e da atividade de fenilalanina amônio liase, foi incluído o fator tempo, considerando que foram feitas duas avaliações, tendo sido verificada interação tripla para ambas variáveis.

Tabela 1.1. Resumo da análise de variância para as características peso de folha, área foliar, lignina, PAL, clorofila A e B das cultivares de mirtilheiro Beckblue, O’Neal, Misty, Clímax, Bright Well com e sem a aplicação de Silício. Guarapuava, PR - UNICENTRO, 2020.

	Q.M								
	GL	MF	AF	LIG	PAL	Cl A	Cl B	CL T	PDT
Cultivar	4	0.03**	48.1**	0.5 ^{ns}	0.0008*	240.1**	319.5**	103.2**	0.00028 ^{ns}
Si	1	0.01**	22.0**	0.02 ^{ns}	0.0004*	30.5 ^{ns}	27.3**	115.7**	0.00074*
Tempo	1	-	-	2.7*	0.0107*	-	-	-	-
Cv x Si	4	0.01**	12.8**	0.7 ^{ns}	0.0008*	124.7**	33.8**	454.7**	0.00037 ^{ns}
Cv x Tempo	4	-	-	2.5*	0.0007*	-	-	-	-
Si x Tempo	1	-	-	1.1*	0.0004*	-	-	-	-
Six Tempo x Cv	4	-	-	2.0*	0.0004*	-	-	-	-
Média	-	0.18	6.2	2.5	0.017	42.69	13.10	7.97	0.018
CV (%)	-	7.04	12.4	15.0	25.36	9.78	15.47	56.60	15.75

Cv: Cultivar; MF: Massa fresca foliar; AF: área foliar; LIG: lignina; PAL: atividade de Fenilalanina Amônio Liase; Cl A: clorofila A; Cl B: clorofila B; CL T: clorofila total; PDT: produtividade

ns: Não significativo;

* Significativo pela análise de variância;

** Significativo a 5% de probabilidade pelo teste Tukey;

Tabela 1.2. Resumo da análise de variância para as características Fo, Fv, Fm, Fv/Fm e Fv/Fo das cultivares de mirtilheiro Beckblue, O’Neal, Misty, Clímax, Bright Well com e sem a aplicação de Silício. Guarapuava, PR - UNICENTRO, 2020.

	Q.M					
	GL	Fo	Fv	Fm	Fv/Fm	Fv/Fo
Cultivar	4	1.01*	13,79*	22,35*	0,004*	0,94*
Si	1	0.03 ^{ns}	1,94*	2,25*	0,005*	1,21*
Cv x Si	4	0.60*	1,82*	11,40*	0,011*	2,55*
Média	-	0,77	2,39	3,15	0,75*	3,06*
CV (%)	-	18,24	20,41	20,46	2,43	8,98

Cv: Cultivar; Fo: Fluorescência inicial; Fv: Fluorescência variável; Fm: Fluorescência máxima;

ns: Não significativo;

* Significativo a 5% de probabilidade pelo teste de tukey;

4.4.2. Massa fresca e área foliar

Para massa fresca de folhas no tratamento SS, as maiores médias foram para as cultivares O’neal e Climax, enquanto no tratamento CS, Misty e Clímax foram estatisticamente superiores às demais. A aplicação de Si proporcionou resultados positivos para as cultivares Misty, Clímax e Brighthwell, sendo que ocorreu maior massa fresca de folhas em comparação ao tratamento SS. Ainda, a cv. O’Neal foi a única a qual o Si teve efeito negativo reduzindo a massa fresca das folhas, sendo então o tratamento CS foi o melhor para massa fresca de folhas (Figura 1.2).

Em estudo realizado por Costa et al. (2016), as concentrações crescentes de silício aplicadas em plantas de maracujazeiro aumentaram proporcionalmente a biomassa de folhas frescas e secas. Em contrapartida, o estudo realizado por Assis, et al. (2017) a aplicação de Si via foliar em plantas de *Physalis peruviana*, não foi observada diferença significativa entre os tratamentos para massa fresca da parte aérea.

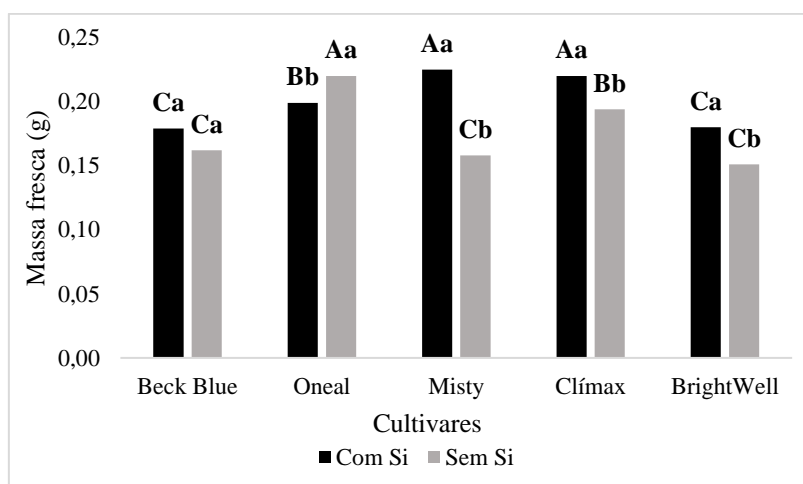


Figura 1.2. Massa fresca de folha de cultivares de mirtilheiro em função da aplicação de Si. Guarapuava, PR - UNICENTRO, 2020.

Em relação a área foliar, no tratamento CS a cv. Clímax apresentou o maior valor, porém não diferiu estatisticamente das cultivares Misty e O’Neal. No tratamento SS, a cv. O’Neal e a cv. Clímax não diferiram entre si, apresentando os maiores resultados. Para a maioria das cultivares, a aplicação foliar teve efeito positivo sobre a área foliar e relação ao tratamento SS, exceto para a cv. O’Neal, que não apresentou diferenças significativas (Figura 1.3).

De maneira geral, as cultivares do grupo Rabbiteye demonstraram resultados melhores do que as cultivares do grupo Highbush em resposta a aplicação de Si, segundo estudo de Pasa et al. (2014) onde foi avaliado o desenvolvimento vegetativo e produtivo

de cultivares de mirtilheiros com dois tipos diferentes de coberturas de solo, foi verificado que em ambas as coberturas, as cultivares do grupo *rabbiteye* são mais produtivas e vigorosas do que as do grupo *highbush*. Isso pode ocorrer devido ao fato de as cultivares do grupo *Rabbiteye*, serem mais fáceis de cultivar do que as do grupo *highbush* levando em consideração eu são mais tolerantes à seca, menos suscetíveis à podridão das raízes, menos suscetíveis ao final do inverno/início da primavera pois florescem no final da primavera, exigem menos matéria orgânica e menos cobertura morta e são na maioria das vezes mais vigorosas (WILLIAMSON; LYRENE; OLMSTEAD, 2012)

No estudo de Sobral et al. (2011) onde foram usados resíduos da siderurgia com fonte de Si em plantas de cana de açúcar, o aumento de área foliar foi significativo, assim como os estudos de Assis et al. (2017) com aplicação foliar de Si em *Physalis* e; de Costa et al. (2016) com aplicação de Si ao redor do caule de plantas de maracujazeiro.

O aumento da massa fresca de folhas está associado ao aumento da área foliar, levando em consideração a correlação positiva apresentada entre massa foliar e área foliar no valor de 0,600 (Tabela 1, Anexo 1), e por consequência ambos podem estar associados ao fato de o Si depositar-se abaixo da cutícula epidérmica, formando uma camada dupla de sílica nas células, mudando a arquitetura da planta, deixando-as mais eretas, captando uma maior quantidade de luz solar e portanto aumentando a taxa fotossintética (RAVEN, 1983; SILVA, 2013), e esse acúmulo de Si abaixo da cutícula da folha também pode reduzir a perda de água por transpiração, evitando a desidratação e, conseqüentemente, reduzindo a perda de biomassa vegetal (ASSIS et al., 2017; ASSIS et al., 2013). A relação entre uma maior taxa fotossintética e maior massa fresca e área foliar, pode ser observada nas correlações para as cultivares Beck Blue, Clímax e Brightwell, onde houve correlação negativa, entre área foliar e os parâmetros Fm (-0,443), Fv (-0,465), Fv/Fm (-0,474) e Fv/Fo (-0,452) da fluorescência, ou seja, quando o aparato fotossintético das plantas teve melhor funcionamento a área foliar era maior (Tabela 2, Anexo 1).

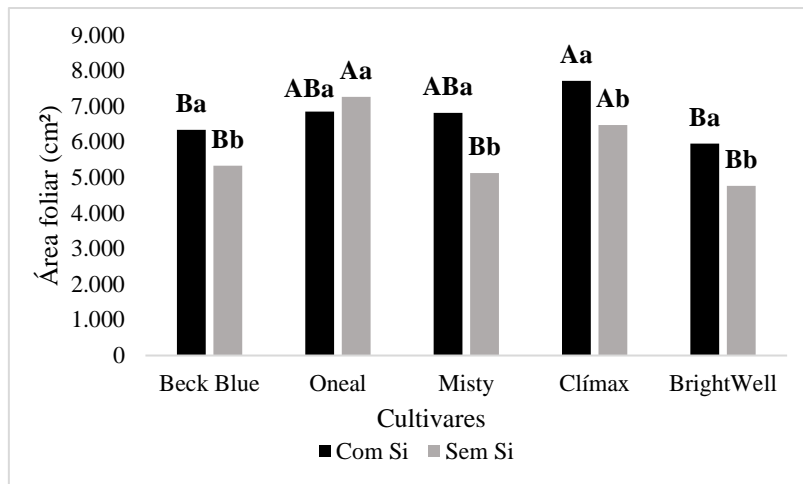


Figura 1.3. Área foliar para as cultivares de mirtilheiro em função da aplicação de Si. Guarapuava, PR - UNICENTRO, 2020.

4.4.3. Teor de clorofila a, b e total

Para Clorofila A, a cv. Beckblue teve o menor resultado de ICF no tratamento CS, sendo que as demais cultivares não diferiram estatisticamente. Para o tratamento SS, a cv. Brightwell teve o menor resultado entre todas as cultivares, porém, não diferindo estatisticamente das cultivares Clímax, Misty e Beckblue. O tratamento CS demonstrou efeito positivo somente para cv. Brightwell, e efeito negativo para a cv. Beckblue. As demais cultivares não tiveram diferença significativa (Figura 1.4).

Nas avaliações de Clorofila B, no tratamento CS, as cultivares Beckblue e a Brightwell apresentaram os menores valores de ICF, diferindo estatisticamente das demais cultivares. Já as cultivares O'Neal e Misty obtiveram os maiores valores neste tratamento. No tratamento sem Si, a cultivar O'Neal se destacou com o maior valor de Clorofila B. De maneira geral, o tratamento CS mostrou efeito positivo para as cultivares Misty e Clímax, e efeito negativo para Beckblue (Figura 1.5).

Resultados do trabalho de Silva et al. (2013), com aplicação de Si em morangueiros, mostraram que os valores de clorofila A e B foram alterados pela forma de aplicação, sendo que os valores foram superiores quando o Si foi aplicado via foliar. No estudo de Luz et al. (2009) a aplicação de Si em tomateiro proporcionou incrementos nos teores de clorofila A e B. Para ambos os estudos, os resultados corroboram parcialmente com os do presente estudo, sendo que cv. Beckblue houve redução ao invés do aumento de teores de clorofila A e B.

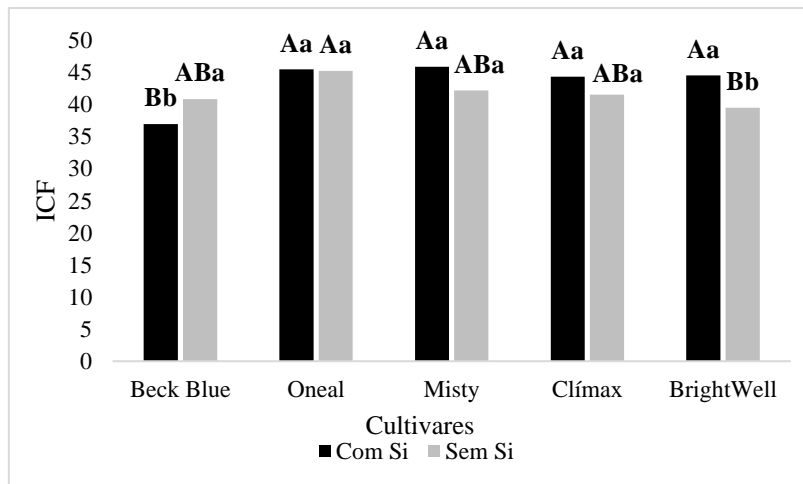


Figura 1.4. Índice de Clorofila Falker (ICF, adimensional) para clorofila A para as cultivares de mirtilheiro em função da aplicação de Si. Guarapuava, PR - UNICENTRO, 2020.

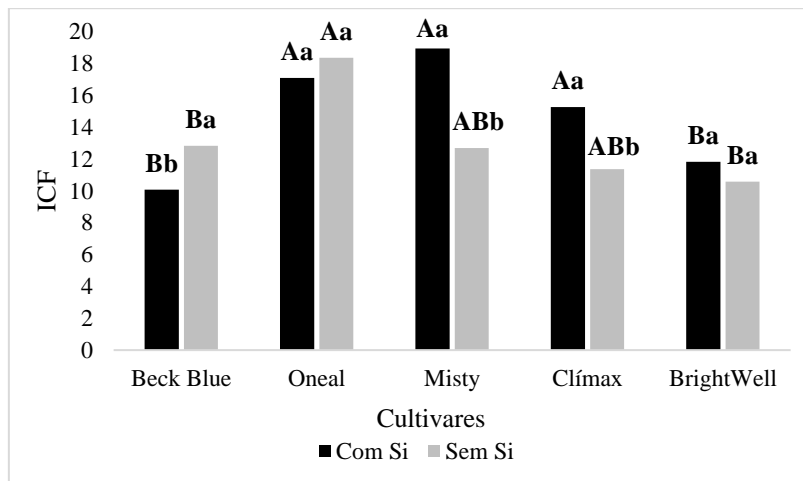


Figura 1.5. Índice de Clorofila Falker (ICF, adimensional) para a clorofila B das cultivares Beckblue, O’Neal, Misty, Clímax e Bright Well em função da aplicação de Si. Guarapuava, PR - UNICENTRO, 2020.

A ausência de aplicação foliar de Si foi estatisticamente maior para os resultados clorofila total para cv. Beck Blue (Figura 1.6). Além disso, a aplicação foliar de Si gerou um acréscimo nos teores de clorofila total das cultivares Misty, Clímax e Brightwell, não tendo significância na cv. O’Neal. No tratamento CS a cv. Misty teve o maior teor de clorofila total, seguida das cultivares O’Neal e Clímax, e com os menores resultados estão as cultivares Brightwell e Beckblue. Em estudos em que foi investigado o efeito da aplicação de Si em morangueiro (SILVA et al., 2013) e em roseiras (LOCARNO et al., 2011), os teores de clorofila total também foram aumentados quando essas culturas foram suplementadas com Si foliar.

O aumento da clorofila total pode ser explicado pelo fato de que a aplicação foliar de Si faz com que o Si seja depositado abaixo da cutícula epidérmica, formando uma

camada dupla de sílica nas células que, conseqüentemente, modifica a arquitetura foliar e reflete em uma maior captação de luz solar e, portanto, aumentando a taxa fotossintética (RAVEN, 1983; SILVA, 2013, LOCARNO et al., 2013). O efeito negativo da aplicação foliar do Si observado na cv. Beckblue para clorofila a, b e total, pode ser explicado pela possível ocorrência de um estresse oxidativo que é causado pelo excesso de luz solar. Quando há a ocorrência de estresse oxidativo, existe uma maior produção de oxigênio reativo, sendo este classificado como um fitotóxico para as plantas, desencadeando uma redução da biossíntese da planta e, portanto, uma maior degradação da clorofila (TAIZ, ZEIGER, 2004; BUCHANAN et al., 2000; LUZ et al., 2009).

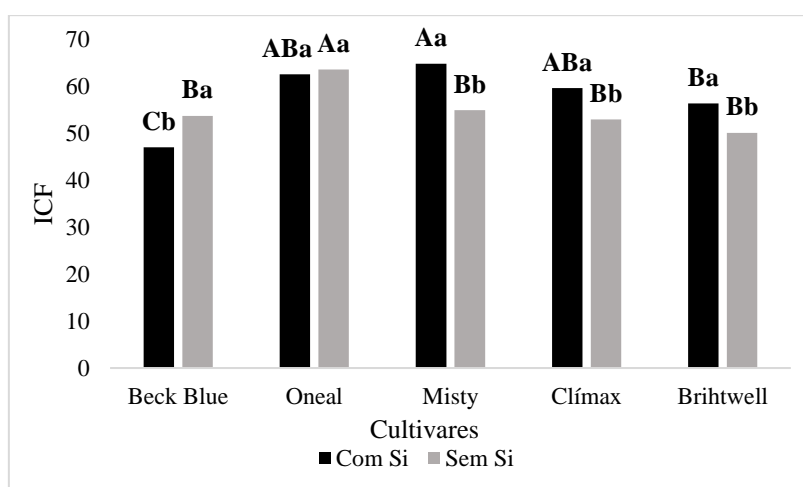


Figura 1.6. Clorofila Total das cultivares Beckblue, O’Neal, Misty, Clímax e Bright Well em função da aplicação de Si. Guarapuava, PR - UNICENTRO, 2020.

4.4.4. Fluorescência

No parâmetro de F_o dentro do tratamento com a aplicação de Si, a cv. Misty teve o maior resultado (0,95), diferindo somente de Clímax e Brightwell as quais tiveram os menores valores sendo estes de 0,62 e 0,64, respectivamente (Figura 1.7). No tratamento SS a cv. Beckblue teve o maior resultado sendo este de 1,02, diferenciando de Brighwell com 0,71, sendo que ambas as cultivares diferenciaram de Misty e Clímax, que obtiveram os menores valores (0,48 e 0,54, respectivamente). A aplicação de Si proporcionou para a cv. Misty um incremento de 49% no valor de F_o , sendo que nas demais cultivares não foi observado diferença significativa (Figura 1.7). O aumento de F_o com a aplicação de Si apresentados nesse estudo difere dos resultados encontrados por Favaro (2017), onde a aplicação de ácido salicílico reduziu os valores de F_o em plantas de tomateiro, porém,

concorda com o trabalho de Tatagiba et al. (2016), em que as plantas de arroz com aplicação de Si tiveram aumento significativo no parâmetro Fo.

O Fo é o rendimento mínimo de fluorescência da clorofila quando adaptada ao escuro e que indica perda de energia durante a transferência de energia de excitação no complexo antena, e da antena para o centro de reação do fotossistema II (FSII). Valores elevados de Fo indicam uma eficiência baixa de transferência de energia de excitação entre moléculas de pigmento na antena de coleta de luz de FSII. Essa menor eficiência é observada, por exemplo, sob estresse térmico que danifica os tilacóides e inativa o FSII (MURKOWSKI, 2002; GOLTSEV et al., 2016). O aumento de Fo também pode ser relacionado à diminuição da eficiência da transferência de energia em direção ao centro de reação do FSII após a dissociação do complexo antena do núcleo do FSII (HAVAUX, 1993; GOLTSEV et al., 2016). Portanto, o elevado aumento da FSII no tratamento com aplicação de Si para a cv. Misty sugere um efeito maléfico para essa cultivar quando tratada com esse mineral.

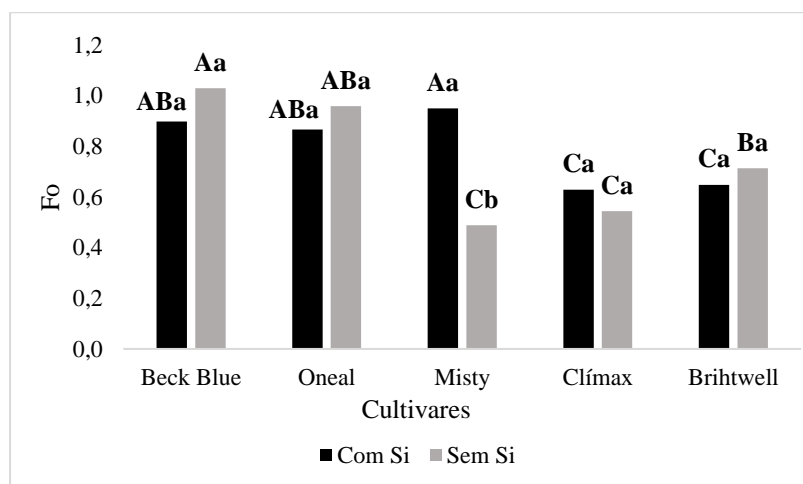


Figura 1.7. Análise de parâmetros de fluorescência inicial (Fo), das cultivares Beckblue, O’Neal, Misty, Clímax e Bright Well em função da aplicação de Si. Guarapuava, PR - UNICENTRO, 2020.

Para Fv a cv. Beckblue e Misty obtiveram os maiores valores no tratamento CS, sendo 3,10 e 3,17, respectivamente. Estes valores diferiram das cultivares Clímax e Brightwell que demonstraram os menores valores (2,02 e 2,17). No tratamento SS, as cultivares Beckblue e O’Neal tiveram os maiores resultados, ambas com Fo de 3,17, diferindo das demais cultivares. O fornecimento de Si resultou em um Fv para a cv. O’Neal 22% menor do que no tratamento SS, para a cv. Misty houve um aumento de 53%

em relação a SS, as demais cultivares não diferiram entre os tratamentos (Figura 1.8). Souza et al. (2012) verificaram que a aplicação de Si levou a um aumento de 9,3 vezes do parâmetro de Fv em relação ao tratamento testemunha em cacauzeiro. Ainda, Melo Filho (2019) demonstrou que o Si aplicado em plantas de beterraba promoveu aumento de Fv.

Fv é a diferença entre os valores de Fm e Fo que são medidos após a adaptação ao escuro. Este parâmetro está relacionado ao rendimento quântico máximo do FSII. Quando o valor de Fv está baixo, indica a diminuição da atividade do FSII e a dissipação da energia de excitação como calor. Estresses causados pelo ambiente podem reduzir os valores de Fv por meio de danos aos tilacóides (REIGOSA, WEISS, 2001; GOLTSEV et al., 2016). Portanto, o Si teve efeito na cv. O'Neal reduzindo o Fv, e na cv. Misty aumentando-o.

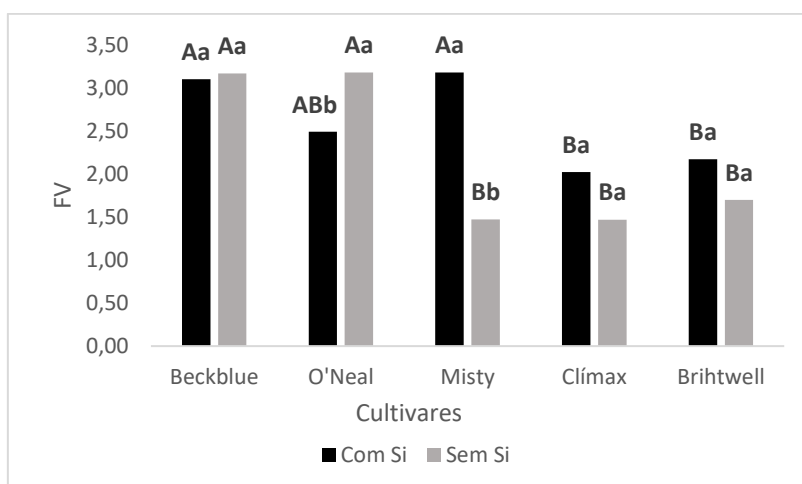


Figura 1.8. Análise de parâmetros de fluorescência Fv (fluorescência variável), das cultivares Beckblue, O'Neal, Misty, Clímax e Bright Well em função da aplicação de Si. Guarapuava, PR - UNICENTRO, 2020.

Para o parâmetro Fm e as plantas que não foram tratadas com Si, as cultivares Beckblue e O'Neal tiveram os maiores valores (3,99 e 3,46; respectivamente) diferenciando significativamente das cvs. Misty, Clímax e Brightwell, sendo que este parâmetro apresentou valores menores em 52,3%, 52,0% e 42,6% em relação à cv. Beckblue, respectivamente (Figura 1.9). Dentro do tratamento CS, as cvs. Beckblue, O'Neal e Misty tiveram os maiores resultados, diferenciando significativamente de Clímax e Brightwell que tiveram resultados 34% e 30% maiores, respectivamente, em comparação à a cultivar com maior Fm. A adubação foliar com Si promoveu aumento do

parâmetro Fm somente para a cv. Misty, aumentando em 51% em SS (Figura 1.9). Similarmente, Favaro (2017) também observou que valores mais elevados de Fm foram obtidos nas folhas de tomate sob as doses 25, 50 e 75 mgL⁻¹ de ácido salicílico. Na aplicação de Si em plantas de arroz, Tatagiba (2016) identificou um aumento de 2% no parâmetro Fm. Ainda, Souza et al (2012) constatou que os maiores valores de Fm foram obtidas para dose 7,15 mL L⁻¹ de Si aplicada em plantas de cacauzeiro, conferiu cerca de 4% de diferença em relação à testemunha.

Fm é a intensidade máxima de fluorescência que pode ser obtida em condições específicas em que todas as moléculas de plastoquinona no FSII ficam reduzidas, todos os centros de reação do FSII são temporariamente fechados e não podem passar elétrons adicionais. O declínio de Fm indica que o objeto fotossintetizador sofre estresse, o que significa que os receptores de elétrons FSII não podem ser totalmente reduzidos (GOLTSEV et al., 2016). Sendo assim, o menor nível de Fm encontrado na cultivar Misty para plantas sem Si indica que o aparelho fotossintético destas plantas estavam sob estresse, e que o Si permitiu que as plantas desta cultivar tivessem maior capacidade de transferir a energia dos elétrons ejetados das moléculas dos pigmentos para a formação do poder redutor NADPH, ATP e Fd e, conseqüentemente, maior a capacidade de assimilação do CO₂ na fase bioquímica da fotossíntese (ROHÁČEK, 2002; BAKER, 2008; FAVARO, 2017).

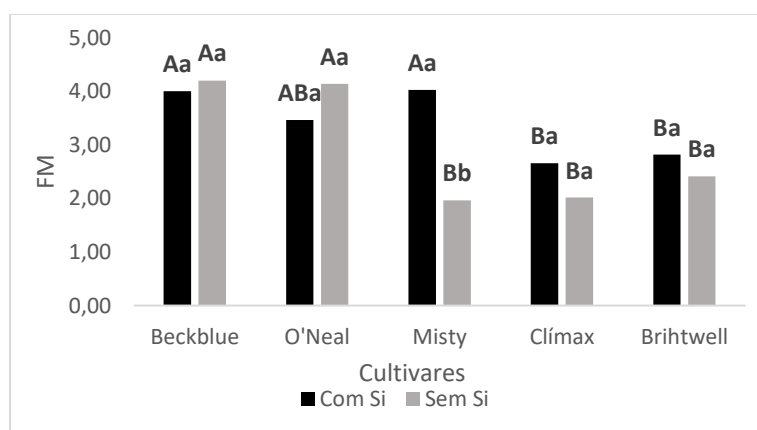


Figura 1.9. Análise de parâmetros de fluorescência máxima (Fm), das cultivares Beckblue, O'Neal, Misty, Clímax e Bright Well em função da aplicação de Si. Guarapuava, PR - UNICENTRO, 2020.

Para a razão Fv/Fo, a cv. Brightwell apresentou o maior resultado no tratamento CS, diferenciando somente da cultivar O'Neal a qual teve um valor 17% menor (Figura

1.10). No tratamento SS, a cv. O'Neal teve o maior resultado, sendo que houve diferença significativa somente para Clímax e Brightwell que obtiveram valores de Fv/Fo 18% e 21% menores, respectivamente. A aplicação de Si teve efeito positivo nas cultivares Beckblue, Clímax e Brightwell, porém não teve efeito para Misty, enquanto para O'Neal reduziu este parâmetro (Figura 1.9). Para a aplicação de ácido salicílico em tomateiro Favaro (2017) encontrou maiores valores de Fv/Fo com uma dose de 100 mg L⁻¹.

Fv/Fo é a razão de constantes de taxa para uso fotoquímico e não fotoquímico da energia de excitação do centro de reação, ou seja, indica a eficiência máxima do processo fotoquímico no FSII e/ou da atividade fotossintética potencial. E a diminuição na razão Fv/Fo é indicativo de um declínio na taxa fotoquímica (KRAUSE, WEISS, 1991; GOLTSEV et al., 2016). Portanto, no presente trabalho, o Si promoveu um aumento na taxa fotoquímica para as cvs. Beckblue, Clímax e Brightwell, e uma redução para O'Neal. Geralmente, plantas saudáveis apresentam valores entre 4 e 6 para Fv/Fo (GOLTSEV et al., 2016). Apesar de que os valores da relação Fv/Fo das cultivares de mirtilheiro quando submetidas à aplicação foliar de Si foram ligeiramente abaixo daquelas consideradas saudáveis (3,5), é importante enfatizar que a aplicação desse mineral proporcionou um aumento com relação às plantas sem aplicação de silício (2,9), indicando que o Si tem potencial para promover benefícios fisiológicos para plantas de mirtilheiro.

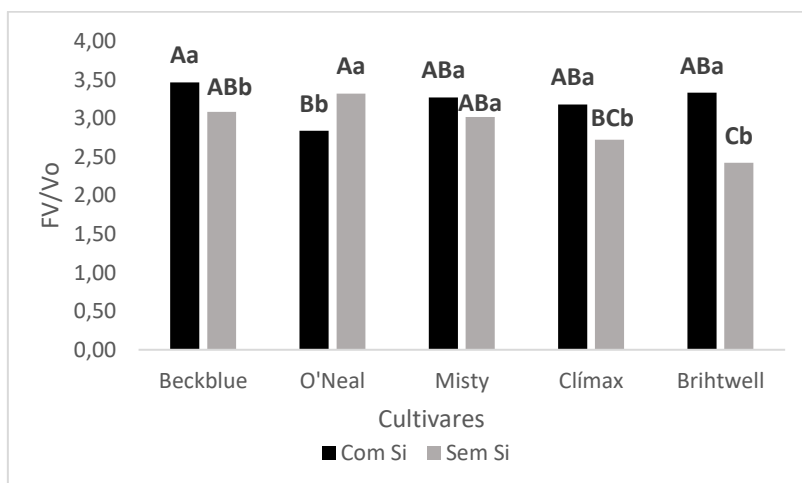


Figura 1.10. Análise de parâmetros de fluorescência máxima eficiência fotoquímica do FSII (Fv/Fo), das cultivares Beckblue, O'Neal, Misty, Clímax e Bright Well em função da aplicação de Si. Guarapuava, PR - UNICENTRO, 2020.

Para a relação Fv/Fm, no tratamento com aplicação de Si, a cv. Beckblue teve maior resultado (3,46) em comparação com as demais, havendo diferença somente para a cv. O'Neal (2,83) (Figura 11). No tratamento SS, a cv. O'Neal apresentou o maior

resultado (3,32), diferenciando da cv. Clímax que teve 18% menos na razão Fv/Fm e da Brightwell que foi 27% menor. Em relação a aplicação de Si, para a cv. Clímax e Brightwell houve um aumento de 5% e 8 % respectivamente, e para a cv. O’Neal o Si provocou uma redução de 4% na relação Fv/Fm (Figura 1.11).

A razão Fv/Fm representa a eficiência fotoquímica máxima do PSII, sendo esta medida em plantas adaptadas ao escuro e que indica de forma confiável a atividade fotoquímica dos aparelhos fotossintéticos (GOLTSEV et al., 2016). Para a maioria das plantas totalmente desenvolvidas sob condições livres de estresse, o valor máximo de Fv/Fm é igual a 0,83 (POKORSKA, ROMANOWSKA, 2007; GOLTSEV et al., 2016). a média para as cultivares com aplicação de Si foi de 0,76, enquanto as plantas sem aplicação de Si tiveram uma média de 0,74.

A diminuição do Fv/Fm significa que a planta sofreu estresse antes das medições que danificaram as funções do PSII e diminuíram a eficiência da transferência de elétrons. Essa depressão é frequentemente observada em plantas expostas ao estresse. A mudança no valor de Fv/Fm é considerada o indicador mais sensível da fotoinibição (supressão da fotossíntese e danos ao aparelho fotossintético sob alta intensidade de luz) (HE, CHEE, GOH, 1996; GOLTSEV et al., 2016). Ou seja, o Si permitiu uma maior eficiência do aparelho fotossintético e na transferência de elétrons para as cultivares Clímax e Brightwell através da redução do estresse, e para a cv. O’Neal o Si provocou estresse o que danificou o PSII, reduzindo assim a eficiência fotossintética.

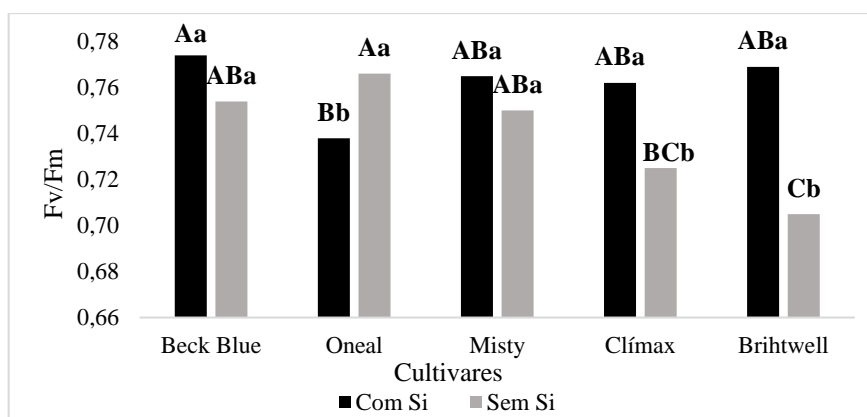


Figura 1.11. Análise de parâmetros de fluorescência Fv/Fm (atividade potencial do FSII), das cultivares Beckblue, O’Neal, Misty, Clímax e Bright Well em função da aplicação de Si. Guarapuava, PR - UNICENTRO, 2020.

4.4.5. Lignina

Para resultados de teor de lignina no tempo de avaliação 1, a cv. O’Neal demonstrou maior resultado no tratamento SS, seguida das demais cultivares com resultados que não diferiram estatisticamente, enquanto no tratamento CS não ocorreram diferenças estatísticas entre as cultivares (Figura 1.12). A aplicação de Si resultou em efeito negativo para a cultivar O’Neal, as demais não demonstraram diferença entre tratamentos. No tempo 2 (Figura 1.13), no entanto, a cv. Misty sem a aplicação de Si teve o maior teor de lignina, diferindo da cv. Brightwell a qual apresentou o menor teor quando submetido ao tratamento CS. A cultivar Beckblue apresentou o maior teor de lignina no tratamento CS, e diferiu das cultivares O’Neal e Clímax que demonstraram menor valor.

Dentre todos os tratamentos estudados, foi observado que a aplicação de Si teve efeito significativo na redução do teor de lignina para a cv. O’Neal nas duas épocas analisadas (Figuras 1.12 e 1.13). Esses resultados corroboram com aqueles apresentados por Ferreira (2006) em que o plantas de soja submetidas a adubação de silício via solo não diminuiu o teor de lignina nas folhas. Em contrapartida, os resultados apresentados para a cultivar O’Neal discordam daqueles apresentados por Gomes et al. (2008), onde plantas de trigo com aplicação de Si foliar tiveram maiores teores de lignina.

A redução de lignina que ocorreu para a cv. O’Neal com a aplicação de silício pode ser explicada pela redução da atividade de PAL (Figuras 1.12 e 1.13, pois, a atividade da PAL está associada à concentração de fenilpropanóides, porque na rota metabólica responsável pela síntese dos fenilpropanóides, os hidroxicinamatos oriundos da ação da PAL sobre o aminoácido fenilalanina alimentam várias vias metabólicas, que geram diferentes compostos, entre eles a lignina (GOMES et al., 2008).

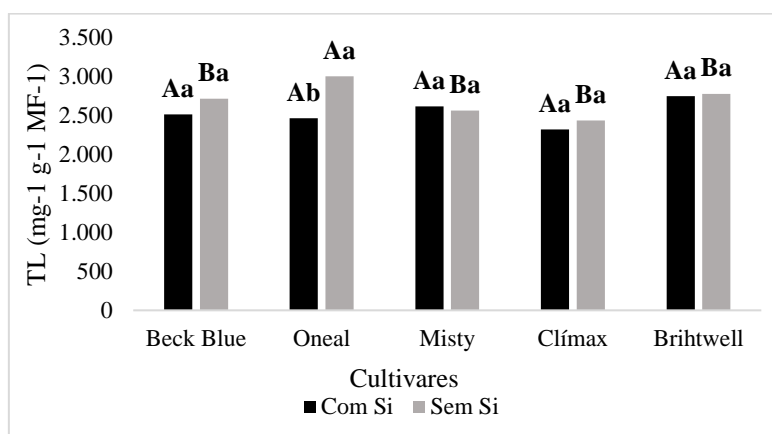


Figura 1.12. Teor de lignina (TL) para as cultivares de mirtilheiro em função da aplicação de Si no tempo de avaliação 1. Guarapuava, PR - UNICENTRO, 2020.

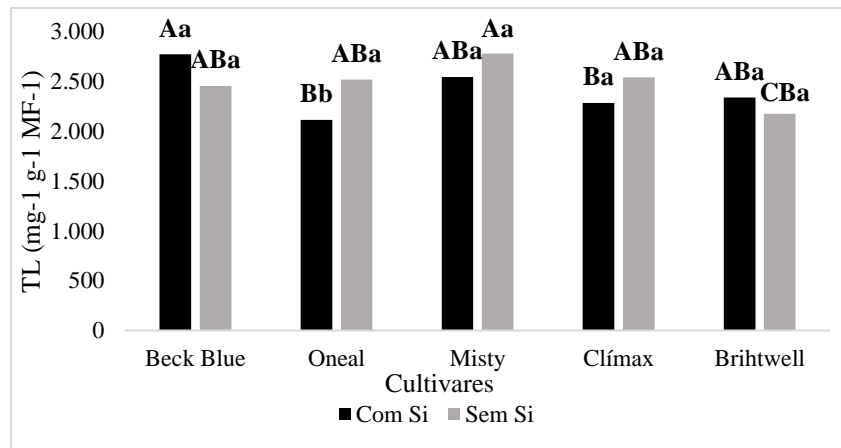


Figura 1.13. Teor de lignina (TL) para as cultivares de mirtilheiro em função da aplicação de Si no tempo de avaliação 2. Guarapuava, PR - UNICENTRO, 2020.

4.4.6. Atividade Enzimática nas folhas de fenilalanina amônia-liase (PAL – E. C. 4.3.1.5)

No tempo 1 de avaliação, a cultivar O’Neal teve maior resultado para a atividade de PAL quando não submetidas à aplicação de Si, seguida das cvs. Climax, Brightwell, Beckblue e Misty (Figura 1.14). Para as plantas tratadas com Si, as cultivares Clímax e Beckblue tiveram os maiores resultados, seguidas de Brightwell O’Neal e Misty. A aplicação de Si proporcionou maior atividade de PAL para as cultivares Beckblue, Misty e Clímax, não tendo efeito significativo para Brightwell e gerando efeito negativo para O’Neal.

No tempo 2, para o tratamento SS, a cv. O’Neal teve a maior atividade de PAL, seguida de Brightwell e das demais cultivares com os menores resultados, os quais não diferiram entre si (Figura 1.15). Para as plantas tratadas com Si, as cvs. Beckblue e Misty tiveram as maiores atividades da enzima e as demais cultivares não diferiram entre si. O Si teve efeito negativo na atividade de PAL somente para a cv. O’Neal, porém para as demais cultivares o Si aumentou a atividade da enzima PAL em relação ao tratamento SS.

Cai et al. (2008) comprovaram que a aplicação de Si em plantas de arroz promoveu o aumento da atividade de enzimas como a peroxidase, polifenoloxidase e fenilalanina amônia-liase, corroborando com os resultados do presente estudo. De maneira similar, Telaxka (2018) verificou que, após a aplicação de Si em plantas de trigo nas duas avaliações da atividade das enzimas FAL, constatou uma maior atividade das enzimas em relação à testemunha.

O aumento da atividade da enzima PAL pode estar associado a capacidade do Si de proporcionar maiores níveis de expressão relativa dos genes que codificam a fenilalanina amônia liase (RAHMAN et al. 2015; RODRIGUES, DATNOFF, 2015).

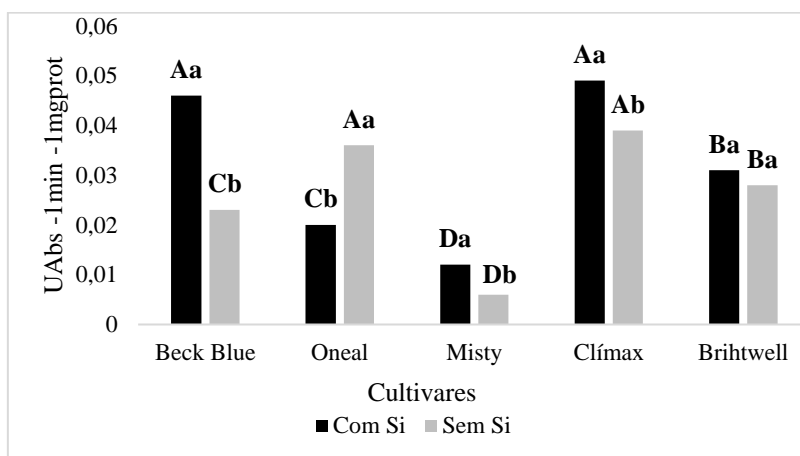


Figura 1.14. Atividade de PAL para as cultivares de mirtilheiro em função da aplicação de Si no tempo de avaliação 1. Guarapuava, PR - UNICENTRO, 2020.

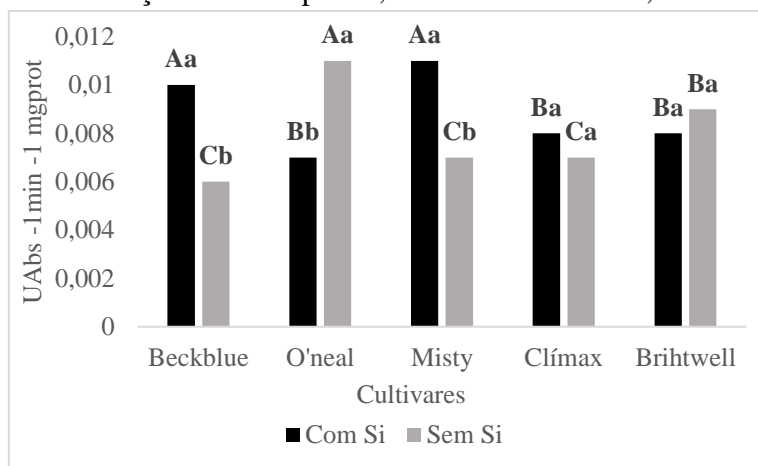


Figura 1.15. Atividade de PAL para as cultivares de mirtilheiro em função da aplicação de Si no tempo de avaliação 2. Guarapuava, PR - UNICENTRO, 2020.

4.4.1. Produtividade

Na produtividade o tratamento SS não demonstrou diferença significativa entre as cultivares, já no tratamento CS a cv. Clímax apresentou o maior resultado, porém, não diferindo de Beckblue. A aplicação foliar de Si influenciou a produtividade somente na cultivar Clímax, onde houve um aumento de 27% no tratamento CS em relação ao tratamento SS. Munaretto et al. (2018), não observaram aumento na produtividade de nem uma das cultivares de morangueiro avaliadas em relação a aplicação foliar de Si, ao contrário de Silva et al. (2013), onde foi verificado aumento da produtividade em plantas de morangueiro com aplicação de Si, bem como no estudo de Marodin et al. (2014), onde

a aplicação de Si proporcionou maior produtividade de tomate em relação ao tratamento testemunha.

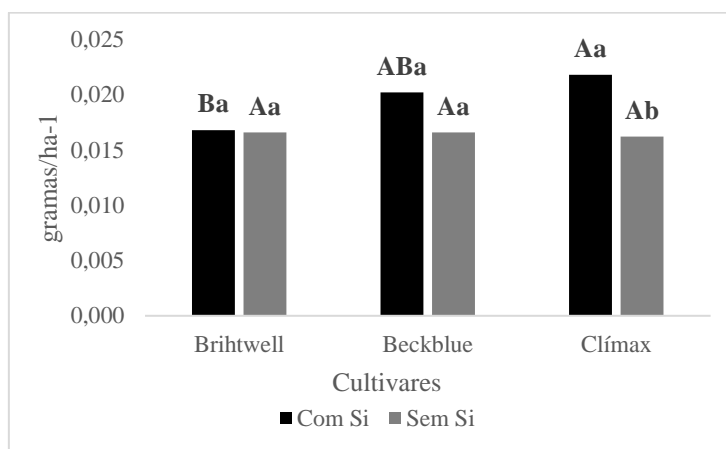


Figura 1.16. Produtividade de cultivares de mirtilheiro em função da aplicação de Si. Guarapuava, PR - UNICENTRO, 2020.

O aumento de produtividade para a cv. Clímax, pode estar associado a melhora que o Si causa na arquitetura da planta, proporcionando maior captação de luz solar, e por consequência maior eficiência fotossintética e maior teor de clorofila (LALITHYA et al., 2014), sendo que essa mesma cultivar apresentou maior teor de clorofila B e total, o que pode ter levado ao aumento da produtividade.

4.5. Conclusão

O Si demonstrou efeitos positivos no desenvolvimento vegetativo das cultivares Clímax e Brihtwell, pois promoveu maior massa foliar, área foliar, clorofila b e total, atividade de PAL nos dois tempos de avaliação, e melhor funcionamento do aparato fotossintético por meio de melhores relações de F_v/F_m e F_v/F_o .

Os mesmos efeitos não foram observados para a cv. O'Neal, demonstrando o efeito prejudicial da utilização de Si nas características vegetativas de massa foliar, atividade de PAL no tempo 2, lignina em ambos os tempos, e piores relações F_v/F_m e F_v/F_o mostrando menor eficiência fotossintética.

As demais cultivares não demonstram influência significativa da aplicação foliar de Si.

4.6. Referências

ASSIS, F.A, et al. The effects of foliar spray application of silicon on plant damage levels and components of larval biology of the pest butterfly *Chlosyne lacinia saundersii* (Nymphalidae). **International Journal of Pest Management**, Oxon, v.59, n.2, p.128-134, 2013.

ASSIS, F.A. et al. Aplicação de silício no solo e/ou foliar no desenvolvimento vegetativo de *physalis peruviana* L. **Simpósio de propagação de plantas e produção de mudas**. 2017.

BAKER, B. Chlorophyll Fluorescence: A Probe of Photosynthesis In Vivo. **Annual Review of Plant Biology**, Boca Raton, v.59, p.89-113, 2008.

BRADFORD, M. M. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. **Analytical Biochemistry**, Orlando, v. 72, p. 248–254, 1976.

BUCHANAN BB; GRUISSEM W; JONES RL. 2000. **Biochemistry and molecular biology of plants**. Rockville: ASPP. 1408p.

CAIK, GAO D, LUO S et al (2008) Physiological and cytological mechanisms of silicon-induced resistance in rice against blast disease. **Physiol Plant**, 134:324–333.

CANTUARIAS-AVILÉS, T. **Cultivo do mirtilheiro (*Vaccinium* sp.)**. Piracicaba: ESALQ. 38 p. (Série Produtor Rural, 48). 2010.

CANTUARIAS-AVILES, Tatiana et al. Cultivo do mirtilo: atualizações e desempenho inicial de variedades de baixa exigência em frio no Estado de São Paulo. **Rev. Bras. Frutic.** Jaboticabal, v. 36, n. 1, p. 139-147, Mar. 2014.

COSTA, Bárbara Nogueira Souza et al. Effects of silicon on the growth and genetic stability of passion fruit. **Acta Sci. Agron.**, Maringa, v. 38, n. 4, p. 503-511, Dec. 2016.

COSTA, Bárbara Nogueira Souza et al. Modificações morfoanatômicas e fisiológicas de maracujazeiro fertilizado com silício. **Pesq. agropec. bras.** Brasília, v. 53, n. 2, p. 163-171, fev. 2018.

CRUSCIOL, Carlos Alexandre Costa et al. Aplicação foliar de ácido silícico estabilizado na soja, feijão e amendoim. **Rev. Ciênc. Agron.** Fortaleza, v. 44, n. 2, p. 404-410. June, 2013.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Sistema brasileiro de classificação de solos. 3º ed. Rio de Janeiro: **Embrapa Solos**, 2013.

FACHINELLO, José Carlos. Mirtilo **Rev. Bras. Frutic.** Jaboticabal, v. 30, n. 2 de junho de 2008.

FALKER AUTOMAÇÃO AGRÍCOLA LTDA. **Manual do medidor eletrônico de clorofila ClorofiLOG CFL 1030**, Porto Alegre, 2008. 4p.

FAVARO, R. Ácido salicílico como indutor de resistência ao tetranychus urticae (koch) em morangueiro. Dissertação, **Mestrado em Agronomia**. Guarapuava, UNICENTRO, 2017.

FERREIRA, D. F. Sisvar: Guide for its Bootstrap procedures in multiple comparisons. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 38, n. 2, p. 109–112, abr. 2014.

FERREIRA, M.M.M.; FERREIRA, G.B.; FONTES, P.C.R.; DANTAS, J.P. Qualidade do tomate em função de doses de nitrogênio e da adubação orgânica em duas estações. **Horticultura Brasileira**. v.24, p.141-145, 2006.

GOLTSEV et al. Variable Chlorophyll Fluorescence and Its Use for Assessing Physiological Condition of Plant Photosynthetic Apparatus. **Russian Journal of Plant Physiology**, Vol. 63, No. 6, pp. 869–893. 2016.

GOMES, Flávia B. et al. Uso de silício como indutor de resistência em batata no Myzus persicae (Sulzer) (Hemiptera: Aphididae). **Neotrop. entomol.** Londrina, v. 37, n. 2, p. 185-190, abril de 2008.

HAVAUX, M., Rapid photosynthetic adaptation to heat stress triggered in potato leaves by moderately elevated temperatures, **Plant Cell Environ.**, vol. 16. 1993.

HE, J., CHEE, C.W., GOH, C.J., 'Photoinhibition' of Heliconia under natural tropical conditions: the importance of leaf orientation for light interception and leaf temperature, **Plant Cell Environ.**, vol. 19, pp. 1238–1248. 1996.

HYODO, H.; KURODA, H. YANG, S.F. Induction of phenylalanine ammonia-lyase and increase in phenolics in lettuce leaves in relation to the development of russet spotting caused by ethylene. **Plant Physiology**, v.62, p.31-35. 1978.

IAPAR. Instituto Agrônomo do Paraná. Agrometeorologia. 2011.

KAR, M.; MISHRA, D. Catalase, peroxidase, and polyphenoloxidase activities during Rice leaf senescence, **Physiologia Plantarum**, v. 57, p. 315-319, 1976.

KRAUSE, G.H. AND WEIS, E., Chlorophyll fluorescence and photosynthesis: the basics. **Rev. Plant Physiol.** Vol. 42, pp. 313–349. 1991.

LALITHYA, K.A., BHAGYA H. P, CHOUDHARY R. Response of silicon and micronutrients on fruit character and nutrient content in leaf of Sapota. **Biolife**, 2(2): 594-598. 2014.

LOCARNO, M.; FOCHI, C. G.; PAIVA, P. D. O. Influência da adubação silicatada no teor de clorofila em folhas de roseira. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 35, n. 2, p. 287-290, 2011.

LUZ, J.M.Q; et al. Níveis de clorofila em tomateiro em função da aplicação de Silicato de potássio. **Horticultura Brasileira**. v. 27, n. 2, agosto. 2009.

MARODIN, J. C. et al. Tomato Post-Harvest Durability and Physicochemical Quality Depending on Silicon Sources and Doses. **Horticultura Brasileira**, v. 34, n. 3, p. 361–366, set. 2016.

MARODIN, J. C. et al. Yield of Tomato Fruits in Relation to Silicon Sources and Rates. **Horticultura Brasileira**, v. 32, n. 2, p. 220–224, jun. 2014.

MELO FILHO, J. S. Crescimento, produção, trocas gasosas e qualidade de Beta vulgaris L. com águas salinas e silício via foliar e solo. Areia, Paraíba. **Tese (Doutorado em Agronomia)**. Programa de Pós-Graduação em Agronomia Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal da Paraíba, fevereiro de 2019.

MORIKAWA, C. K.; SAIGUSA, M. Mineral Composition and Accumulation of Silicon in Tissues of Blueberry (*Vaccinium Corymbosus* Cv. Bluecrop) Cuttings. **Plant and Soil**, v. 258, n. 1, p. 1–8, 1 jan. 2004.

MUNARETTO, L. M. et al. Productivity and Quality of Organic Strawberries Pre-Harvest Treated with Silicon. **Horticultura Brasileira**, v. 36, n. 1, p. 40–46, mar. 2018.

MURKOWSKI, A., Oddziaływanie czynników stresowych na luminescencję chlorofilu w aparacie fotosyntetycznym roślin uprawnych (Effects of Stress Factors on Chlorophyll Luminescence—Study of Plant Photosynthetic Apparatus), **Monogr. 61, Lublin: Inst. Agrofiz. im. Bohdana Dobrzańskiego**, Pol. Akad. Nauk, 2002.

PASA, M. Desempenho de cultivares de mirtilheiros dos grupos rabbiteye e highbush em função da cobertura de solo. **Revista Brasileira de Fruticultura**. [online]. v.36, n.1, p.161- 169. 2014.

POKORSKA, B. ROMANOWSKA, E., Photoinhibition and D1 protein degradation in mesophyll and agranal bundle sheath thylakoids of maize, **Funct. Plant Biol.**, vol. 34, pp. 844–852. 2007.

RAHMAN, A., WALLIS, C. M., AND UDDIN, W. Silicon-induced systemic defense responses in perennial ryegrass against infection by *Magnaporthe oryzae*. **Phytopathology** 105, 748–757. 2015.

RAVEN, J. A. The transport and function of silicon in plants. **Biological Reviews of the Cambridge Philosophical Society**, Cambridge, v. 58, n. 1, p. 179- 207, 1983.

REIGOSA, R.M.J. WEISS, O., **Fluorescence techniques, in Handbook of Plant Ecophysiology Techniques**, Reigosa, R.M., Ed., Dordrecht: Kluwer. 2001.

REQUE, P. M. et al. Characterization of blueberry fruits (*Vaccinium* spp.) and derived products. **Food Sci. Technol (Campinas)**, Campinas, v. 34, n. 4, p. 773-779, Dec. 2014.

RODRIGUES, F.; DATNOFF, L. **Silicon and Plant Diseases**.2015.

ROHÁČEK, K. Chlorophyll fluorescence parameters: the definition, photosynthetic meaning, and mutual relationship. **Photosynthetica, Prague**, v.40, n.1, p.13-29, 2002.

ROHELLA, R. S.; SAHOO, N.; PAUL, S. C.; CHOUDHURY, S.; CHAKRAVORTTY, V. Thermal studies on isolated and purified lignin. **Thermochimica Acta**, v. 287, n. 1, p. 131-138, 1996.

SCHNETTLER, B., H. MIRANDA, J. SEPULVEDA, M. DENEGRI, M. MORA AND G. LOBOS. "Preferences for berries among consumers in southern Chile: blueberries are produced but are they consumed?". **J Food Sci.** 76(7): S458-464. 2011.

SILVA, M.L.S; RESENDE, J.T.V; TREVISAN, A.R; FIGUEIREDO, A.S.T; SCHWARZ, K Influência do silício na produção e na qualidade de frutos do morangueiro. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 34, n. 6, suplemento 1, p. 3411-3424, 2013.

SOBRAL, Márcio F. et al. Escória de siderurgia e seus efeitos nos teores de nutrientes e metais pesados em cana-de-açúcar. **Rev. bras. eng. agríc. ambient.**, Campina Grande, v. 15, n. 8, p. 867-872, Aug. 2011.

SOUSA, M. B., et al. Mirtilo-Qualidade Pós-colheita. **Divulgação Agro.** 556, n 8. 2007.

SOUZA et al. Influência do silício sobre o crescimento, a fluorescência da clorofila a e na incidência de insetos-pragas em genótipos de cacau. **Agrotrópica**, 24. 2012.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 3ed. Porto Alegre: Artmed, 2004.

TATAGIBA, S. PELOSO, A. RODRIGUES, F. O silício potencializa o desempenho fotoquímico em folhas de arroz. **Revista Univap.** 22. 892. 2017.

TELAXKA, F. J. Manejo de giberela e mancha-amarela na cultura do trigo. **Dissertação (mestrado)** - Universidade Estadual do Centro-Oeste, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, área de concentração em Produção Vegetal, 2018.

WILLIAMSON, LYRENE & OLMSTEAD, JAMES. **Blueberry Gardener's Guide.** 8. 2012.

5. CAPÍTULO II

CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DE FRUTOS DE MIRTILEIRO DE DIFERENTES CULTIVARES TRATADAS COM SILÍCIO VIA FOLIAR EM PRÉ-COLHEITA

5.1 Resumo

O objetivo deste capítulo, foi avaliar o efeito da aplicação foliar de Si nas características físico-químicas de frutos de três cultivares de mirtilheiro. Foram realizadas análises das seguintes características: pH, acidez titulável, teor de sólidos solúveis, relação SS/AT, diâmetro, massa e número de frutos, teores de compostos fenólicos e antocianinas e atividade de peroxidase. A aplicação foliar de Si proporcionou melhora na qualidade dos frutos de mirtilheiro, sendo que houve aumento de massa, diâmetro e número de frutos. O efeito mais notável o qual ocorreu para as três cultivares avaliadas, foi o maior teor de compostos fenólicos e antocianinas, sendo que o único efeito de redução encontrado nos frutos de todas as cultivares foi a diminuição da atividade de POD.

Palavras chave: *Vaccinium*; Mirtilo; Compostos fenólicos; Antocianinas; Qualidade pós-colheita;

5.2. Introdução

O Mirtilo é um pequeno fruto, também chamado de arándano em espanhol, e blueberry, em inglês (FACHINELLO, 2008), o seu consumo pode trazer benefícios para a saúde humana, como a prevenção de doenças cardiovasculares, neurodegenerativas, diabetes, câncer e inflamações (LI et al., 2016). Isso ocorre porque este fruto é rico em antocianinas, e estes compostos são altamente antioxidantes, sendo o mirtilo um dos frutos com mais altas quantidade de antocianinas dentre as frutas e hortaliças (PRIOR et al., 1998; KALT et al., 2001; GÜNDÜZ et al., 2015).

Mundialmente a produção de mirtilo no ano de 2017 foi de 596,8 mil toneladas (FAO, 2019). Este é um fruto cultivado, comercializado e consumido principalmente nos países do hemisfério norte, porém tem grande potencial de crescimento nos países do hemisfério sul, pois a colheita coincide com a entressafra dos maiores países produtores e consumidores. Porém, um sistema produtivo mais organizado e um maior incentivo para ampliar as áreas de plantio são os principais motivos da baixa exploração comercial do mirtilo (SANTOS, 2004).

No Brasil, a maior parte da produção de mirtilo se encontra na região Sul e Sudeste. Ainda não existem estatísticas oficiais atualizadas para área plantada e produção de mirtilos no Brasil, no entanto, estima-se que a área plantada seja de 400 hectares, sendo principalmente em pequenas propriedades (CANTUARIAS-AVILES, 2014).

O silício, apesar de não ser considerado um elemento essencial às plantas (JONES, HANDRECK, 1967; MENEGALE et al., 2015), tem se mostrado importante por apresentar uma série de efeitos benéficos às plantas (MENEGALE et al., 2015). Entre eles se destacam a funções metabólicas do silício em plantas estressadas por meio da formação de uma camada protetora externa composta de sílica, bem como pela reatividade do silício absorvido com os íons de metais pesados e outros compostos dentro das plantas (DATNOFF, RODRIGUES, 2015).

A aplicação de silício tem demonstrado efeitos positivos como manutenção da firmeza e níveis maiores de antocianinas em frutos como o morango (MUNARETTO et al., 2018), além de apresentar melhoria da produtividade (MARODIN et al., 2014) e aumento dos sólidos solúveis, vitamina C e licopeno em tomates (MARODIN et al.,

2016). Portanto, o objetivo desse estudo foi avaliar os efeitos do silício em característica de pós-colheita de frutos de três cultivares de mirtilheiro.

5.3. Metodologia

5.3.1. Local do experimento

O experimento foi conduzido no pomar experimental (Figura 2.1) do Departamento de Agronomia do Campus Cedeteg, da Universidade Estadual do Centro-Oeste (UNICENTRO), em Guarapuava, Paraná, (25°23'36" S, 51°27'19" O) e altitude de 1.120 m. Segundo a Embrapa (2013), o solo da área experimental é classificado como Latossolo Bruno distroférico típico.

Segundo a classificação de Köppen-Geiger (KOTTEK et al., 2006), o clima da região é do tipo Cfa, caracterizado por um clima subtropical úmido mesotérmico, com verões frescos e inverno moderado com ocorrência de geadas severas e frequentes, não apresentando estação seca definida. A temperatura média máxima anual é de 23,5 °C e a temperatura média mínima anual é de 12,7 °C (IAPAR, 2011). Além disso, a média anual de horas acumuladas de frio requerida para a produção de mirtilo (abaixo de 7.6 °C) é de cerca de 308,6 horas (BOTELHO, AYUB, MÜLLER, 2006).



Figura 2.1. Pomar experimental do setor de Fruticultura do Departamento de Agronomia do Campus Cedeteg, da Universidade Estadual do Centro-Oeste (UNICENTRO), Guarapuava, PR. Fonte: GOOLGE EARTH, 2019.

5.3.2. Delineamento experimental

O delineamento foi em blocos casualizados em esquema fatorial 3 x 2 (cultivares x tratamentos), com parcelas subdivididas constituídas de 3 repetições cada, sendo três cultivares de mirtilo (Beckyblue, Clímax e Brightwell) e dois tratamentos em relação a aplicação de Si, com Si (CS) e sem Si (SS). A aplicação de silício foi realizada semanalmente com pulverizador costal elétrico, onde foi aplicada uma solução aquosa na concentração de $1,5 \text{ gL}^{-1}$ de óxido de silício, e a fonte de silício utilizada foi o produto comercial AgriSil® (98% de SiO_2 , Agrobiológica Soluções Naturais Ltda., Atibaia-SP).

A colheita dos frutos se iniciou no dia 18 de dezembro de 2018 (após 7 aplicações de silício), sendo realizada a cada 2 dias. Os frutos foram colhidos somente quando apresentaram coloração roxa escura. Os mirtilos colhidos foram colocados em sacos de polietileno, identificados e levados ao laboratório para a imediata determinação da massa e diâmetro. Em seguida, foram armazenados a $-18 \text{ }^\circ\text{C}$ para posterior análises físico-químicas.

5.3.3. Avaliações pós-colheita

5.3.3.1. Número, diâmetro e massa fresca de frutos

O número de frutos por parcela foi obtido a partir do somatório de frutos. E o diâmetro foi medido com o uso de um paquímetro digital (Vonder, PD 150, Curitiba Brasil), sendo os resultados expressos em cm. A massa fresca foi obtida por meio da pesados dos frutos em balança de precisão modelo AUW 220 (Shimadzu, Kyoto, Japão) sendo os resultados expressos em gramas.

5.3.3.2. Sólidos solúveis (SS)

Os teores de sólidos solúveis foram obtidos mediante leitura em refratômetro digital modelo Pal-1 (Atago, Tóquio, Japão). Foi utilizada a polpa homogeneizada após maceração dos frutos inteiros, com auxílio de pistilo e almofariz, os valores foram expressos em graus Brix.

5.3.3.3. Acidez titulável (AT)

A AT foi analisada por meio do método titulométrico padronizado pelo instituto Adolfo Lutz (2005). Foram utilizados 10 g da polpa do fruto diluído em 50 ml de água destilada, sendo esta solução titulada com solução padrão de NaOH 0,1 mol L⁻¹ até que atingisse pH 8,2. Os resultados foram expressos em gramas de ácido cítrico por 100 g de polpa.

5.3.3.4. Relação sólidos solúveis/acidez titulável (SS/AT)

O índice de maturidade (SS/AT) foi obtido por meio da razão entre os dois componentes, os sólidos solúveis e a acidez titulável (CHITARRA, CHITARRA, 2005).

5.3.3.5. Compostos fenólicos

O método utilizado para determinação de compostos fenólicos totais foi o Folin Ciocalteu (SINGLETON et al., 1999). Para obtenção do extrato as amostras foram maceradas e diluídas na proporção de 1:50 com etanol 80%. Posteriormente, adicionou-se uma alíquota de 500 µL de amostra à 6 mL de reagente Folin Ciocalteu, diluído a 10% em água destilada em tubo de ensaio. Após agitação aguardou-se 5 minutos e adicionou-se 2,5 mL de solução de carbonato de sódio 7,5% (m/v), agitando novamente. Os tubos de ensaio contendo o extrato foram deixados por duas horas à temperatura ambiente e em câmara escura, assim permitindo a reação total da solução. Em seguida, as soluções foram transferidas para cubetas para determinação da absorbância. Esta foi obtida utilizando comprimento de onda de 740 nm em espectrofotômetro modelo UV 1800 (Shimadzu, Kyoto, Japão). Todo o procedimento foi realizado na ausência de luz. Para os resultados, uma curva padrão de ácido gálico foi construída, e os valores de compostos fenólicos totais obtidos foram expressos em miligramas equivalentes de ácido gálico por grama de amostra (mg E.A.G/g amostra).

5.3.3.6. Antocianinas

Para análise dos teores de antocianinas foram utilizadas somente as cascas dos frutos. A determinação foi realizada pelo método de pH diferencial descrito por Giusti e Wrolstad (2003) e com adaptações de Paes (2016), onde foi introduzida uma etapa de filtração da amostra para eliminar os sólidos em suspensão e assim não influenciar de forma negativa nas leituras realizadas no espectrofotômetro. Todas as etapas foram

realizadas ao abrigo da luz. As soluções tampão foram preparadas sendo uma com pH 1,0 e outra com pH 4,5. Amostras contendo de 0,05 e 0,10 g foram completado com solução tampão até 25 ml. Para cada solução tampão, esta foi replicada três vezes. Em seguida, as amostras foram homogeneizadas em vórtex por 10s e, então, repousadas por 25 min. As amostras foram filtradas e as leituras de absorbância foram obtidas após 30 minutos da adição do tampão, em comprimento de onda de 510 nm. Primeiro foram lidas as amostras do tampão pH 1,0, sendo inicialmente o equipamento zerado com a solução tampão de pH 1,0. Então foi realizada a leitura das amostras em absorbância de 700 nm. O procedimento se repetiu para as amostras em pH 4,5. O teor de antocianinas foi expresso em mg de antocianinas (Delfinidina-3-O-glucosídeo) por 100 g de matéria-prima.

A diferença de absorbância (ΔA) entre os sistemas de tampões foi calculada por meio da equação 1:

$$Abs = (Abs_{510} - Abs_{700})_{pH1,0} - (Abs_{510} - Abs_{700})_{pH4,5} \quad (1)$$

A concentração de pigmentos antociônicos foi feita com base no volume de extrato e na massa da amostra, conforme a equação 2 (GIUSTI, WROLSTAD, 2001):

$$C (mg L) = Abs \times MM \times FD \times 1000 e \quad (2)$$

Onde:

Abs: absorbância

Abs 520: absorbância na faixa de 520 nm

Abs 700: absorbância na faixa de 700 nm

MM = Massa molecular da Delfinidina-3-O-glucosídeo = 465.2 g/mol

FD = Fator de diluição e = absortividade molar da Delfinidina-3-O-glucosídeo = 29000

Os cálculos foram feitos considerando a Delfinidina-3-O-glucosídeo como a antocianina presente em maior quantidade no mirtilo.

5.3.3.7. Determinação da Atividade Enzimática de peroxidase nos frutos

5.3.3.7.1. Obtenção do substrato enzimático

O substrato enzimático, necessário para avaliação da atividade enzimática, foi preparado utilizando a polpa dos frutos de mirtilo homogeneizada com almofariz e pistilo em 1,0 ml de tampão Tris-HCl 0,1 m (pH 7,3), macerados completamente, e centrifugadas a 6000g por 10 min a 4 °C. Foi pipetado 200 μ L do sobrenadante e acrescentou-se 5 mL do tampão de extração (KAR; MISHRA, 1976).

5.3.3.7.2. Peroxidase (POD) (E.C. 1.11.1.7)

Para determinar a atividade específica da peroxidase, adicionou-se 100 µL de extrato enzimático em 2,9 mL de solução contendo tampão acetato de sódio 50 mM pH 5,2 e peróxido de hidrogênio 20 mM. Em seguida, essa solução foi incubada em banho maria por 10 minutos em temperatura de 30 °C. Então, foi efetuada a leitura em espectrofotômetro modelo UV 0 1800 (Shimadzu, Kyoto, Japão) à 480 nm, determinando-se a conversão do guaiacol em tetraguaiacol. Os resultados foram expressos em absorvância de proteína $\text{min}^{-1} \text{mg}^{-1}$ (URBANEK et al., 1991).

5.3.3.7.3. Determinação do conteúdo proteico nos frutos

Os frutos que estavam armazenadas no freezer à -18 °C foram pesados em balança de precisão modelo AUW 220 (Shimadzu, Kyoto, Japão), e maceradas sob nitrogênio líquido, utilizando almofariz, pistilo e homogeneizados mecanicamente com 1% (p/p) de PVP (polivinilpirrolidona) e 4 mL de tampão fosfato de potássio 50mM (pH 7,0) contendo 0,1 mM EDTA. Posteriormente a solução foi centrifugada a 30.000 g por 25 min com temperatura de 4 °C, e recuperação do sobrenadante, o qual teve o seu conteúdo total de proteína determinado. Para determinar o conteúdo total de proteína das amostras, utilizou-se 50 µL com 2,5 mL do reagente de Bradford, em seguida agitado e após 5 min foi efetuada a leitura da absorvância a 595 nm em espectrofotômetro modelo UV 0 1800 (Shimadzu, Kyoto, Japão). A concentração de proteínas, expressa em mg por mL de amostra ($\text{mg proteína mL}^{-1}$), foi determinada utilizando-se curva-padrão de concentrações de albumina de soro bovino (ASB) de 0 a 0,5 mg mL^{-1} (BRADFORD, 1976).

5.4. Análise estatística

Os resultados foram submetidos à análise de variância estudando-se a interação entre os fatores e, em seguida ao teste Tukey à nível de 5% de probabilidade, todos os resultados foram avaliados pelo programa estatístico Sisvar 5.6 (FERREIRA, 2014). As correlações relevantes foram investigadas empregando-se os coeficientes de correlação de Pearson, análise que foi realizada por meio do programa *Statistical Package for the Social Science*® (SPSS®).

5.5. Resultados e discussão

Na tabela 2.1 são apresentados os resultados da análise de variância das variáveis avaliadas. Para a maioria das características estudadas houve interação entre os fatores cultivar e tratamento com silício, exceto para o teor de sólidos solúveis e pH em que não houve diferenças significativas (Tabela 2.1).

Tabela 2.1. Resumo da análise de variância para as características de pós-colheita (Diâmetro, Massa, número de frutos, sólidos solúveis, pH, Acidez Titulável, Ratio, Fenólicos, Antocianinas e Peroxidase) das cultivares Bright Well, Beckblue e Clímax de frutos de Mirtilo com e sem a aplicação de silício. Guarapuava, PR - UNICENTRO, 2019.

	Q.M										
	GL	DM	MA	N° F	SS	pH	AT	SS/AT	CF	ANT	POD
Cv	2	1.3 ^{ns}	0.03 ^{ns}	402.8*	1.65 ^{ns}	0.10 ^{ns}	0.01 ^{ns}	0.56 ^{ns}	1133.0*	5857.6*	0.002*
Si	1	8.4*	0.18*	30.2 ^{ns}	0.01 ^{ns}	0.04 ^{ns}	0.11*	13.30*	2135.9*	5209.2*	3.333 ^{ns}
Cv x Si	2	0.7*	0.04*	36.2 ^{ns}	0.05 ^{ns}	0.01 ^{ns}	0.24*	23.62*	29.70*	5154.5*	0.005*
Média	-	11.5	0.90	30.98	11.66	3.24	1.06	11.12	69.31	218.6	0.005
CV (%)	-	5.84	15.38	16.53	6.36	5.90	4.99	7.53	7.23	10.06	47.36

Cv: Cultivar; DM: diâmetro; MA: massa; N° F; número de frutos; SS: Sólidos solúveis; AT: Acidez Titulável; RATIO: relação SS/AT; CF: Compostos fenólicos; ANT: antocianinas; POD: peroxidase;

^{ns}: Não significativo; * Significativo a 5% de probabilidade pelo teste Tukey;

5.5.1. Número, diâmetro e massa de frutos

Para a característica de número de frutos no tratamento SS, a cv. Clímax teve o maior resultado, sendo que as demais cultivares não diferiram entre si (Figura 2.2). No tratamento CS a cv. Clímax também teve o maior resultado, seguida pelas cultivares Brightwell e Beckblue. O Si teve efeito positivo somente para a cultivar Brightwell, onde houve um aumento de 25% no número de frutos. De forma semelhante, Silva et al. (2013) verificaram que as adubações com Si, aplicadas via solo ou foliar, contribuíram para o aumento da produção de frutos do morangueiro. Fiori (2006) relatou que houve aumento do número total de frutos de plantas de tomateiro adubadas com escória siderúrgica agrícola como fonte de Si.

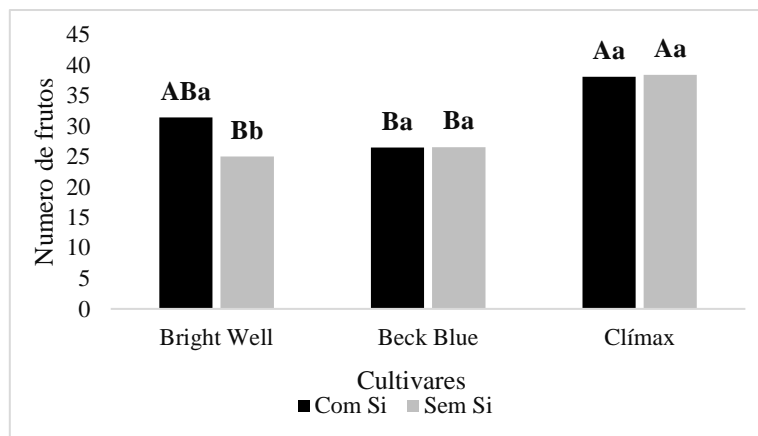


Figura 2.2. Número de frutos de mirtilo cv. Bright Well, Beckblue e Clímax em função da aplicação de Silício. Guarapuava, PR – UNICENTRO, 2020.

Para diâmetro de frutos, no tratamento SS, as cultivares não diferiram entre si. Para as plantas do tratamento CS a cultivar Beckblue teve o maior resultado não diferindo somente da cv. Clímax. A aplicação de Si, proporcionou aumento no diâmetro dos frutos das cvs. Beckblue e Clímax, sendo esse aumento de 10% e 14,5%, respectivamente (Figura 2.3). Em estudo realizado com a aplicação de Si em plantas de Sapotizeiro, Lalithya et al. (2014) observaram um incremento significativo no diâmetro dos frutos, diferentemente daqueles observados por Santos (2011), onde a aplicação de Si não teve efeito sobre o diâmetro de frutos de mamoeiro.

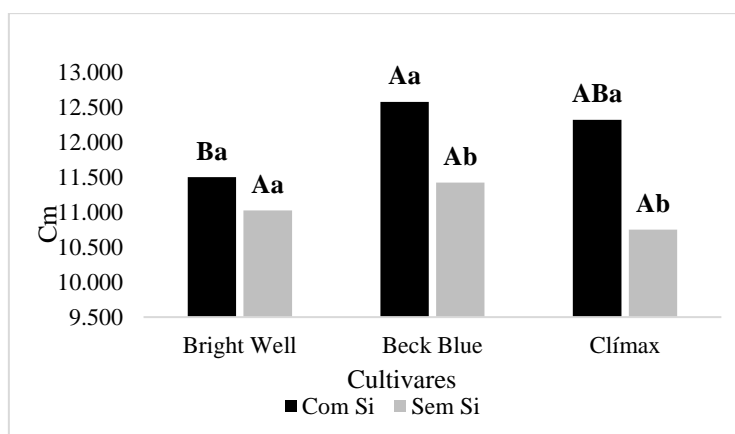


Figura 2.3. Diâmetro de frutos de mirtilo cv. Bright Well, Beckblue e Clímax em função da aplicação de Silício. Guarapuava, PR – UNICENTRO, 2020.

Para massa fresca de frutos, no tratamento SS, as cultivares não diferiram entre si, enquanto no tratamento CS, a cv. Clímax teve o maior resultado não diferindo somente da cv. Beckblue. O tratamento CS proporcionou um acréscimo de massa fresca para as cultivares Beckblue e Clímax, com aumentos de 22% e 34%, respectivamente (Tabela 2.1 Figura 2.4). Similarmente, Fiori (2006) verificou aumento de frutos de tomateiro com a

aplicação de escória de siderurgias como fonte de Si e, Silva et al. (2013), também relataram aumento da massa dos frutos com a aplicação foliar de Si em morangueiros. Em contrapartida, Munaretto et al. (2018) registrou que a aplicação foliar de Si não afetou os valores de massa de frutos de moragueiro.

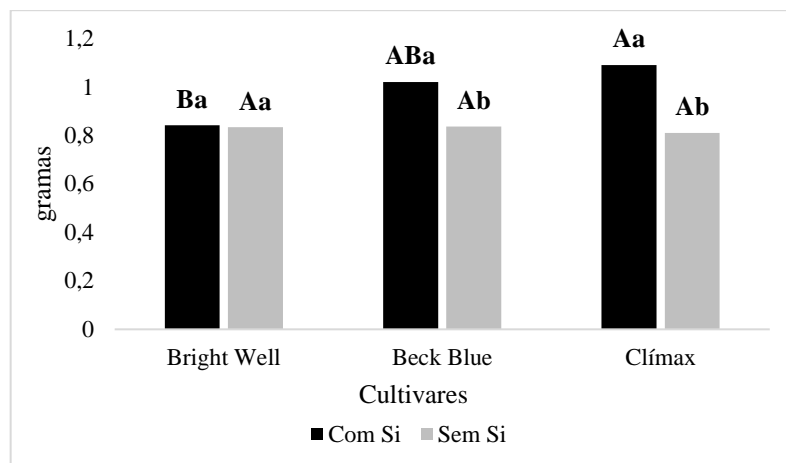


Figura 2.4. Massa fresca de frutos de mirtilheiro cv. Bright Well, Beckblue e Clímax em função da aplicação de Silício. Guarapuava, PR – UNICENTRO, 2020.

Segundo Lalithya et al. (2014) o aumento de número, diâmetro e massa frescas dos frutos, é resultado de uma maior atividade fotossintética, o aumento da fotossíntese pode ocorrer por meio de um melhor ângulo da planta, o que permite maior captação de luz solar e por conseguinte maior atividade fotossintética, como consequência disso aumenta a translocação dos metabólitos incrementando estas qualidades dos frutos. Sendo que houve correlação negativa entre n° de frutos e todos os fatores de fluorescência, ou seja, quando a fluorescência era menor o número de frutos era maior, sendo esses valores para Fo -0,601, Fm -0,672, Fv 0,674, Fv/Fm -0,377, Fv/Fo -0,409 (Tabela 2, Anexo 1).

5.5.2. Acidez titulável (AT)

Para acidez titulável, não houve diferença significativa entre as cultivares com ou sem aplicação de Si, porém, a aplicação de Si proporcionou maiores valores de acidez para todas as cultivares (Figura 2.5). De forma semelhante, Silva et al. (2013) verificaram que a aplicação de Si seja no solo ou via foliar proporcionou aumento na acidez titulável em morangos. Em contrapartida, no estudo de Munaretto et al. (2018), a aplicação foliar de Si em morangueiros não alterou a característica de acidez titulável. Segundo estudo realizado por Wang e Galleta (1998), o Si foi capaz de aumentar o teor de ácidos orgânicos como o ácido cítrico e málico nos tecidos das plantas, influenciando no

aumento da acidez titulável nos frutos de mirtilo, o que pode ter acontecido também no presente trabalho.

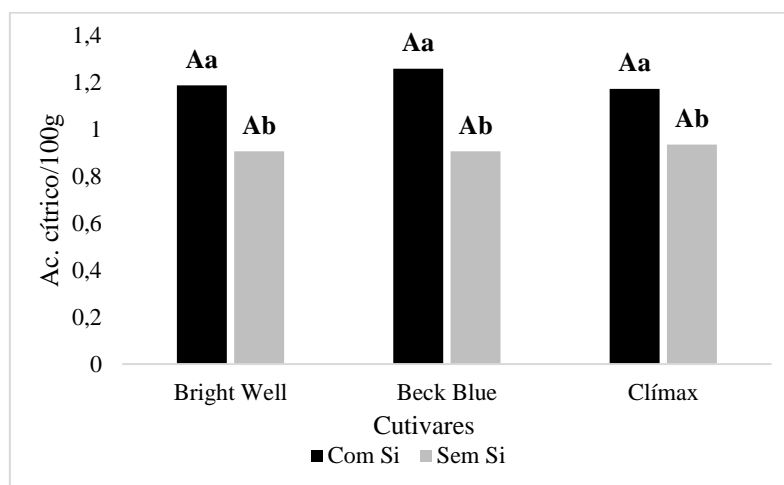


Figura 2.5. Acidez titulável de frutos de mirtilo cv. Bright Well, Beckblue e Clímax em função da aplicação de Silício. Guarapuava, PR – UNICENTRO, 2020.

5.5.3. Relação sólidos solúveis/acidez titulável (SS/AT)

A relação SS/AT também conhecido como “ratio” ou índice de maturidade, representa a proporção entre os teores de ácidos e açúcares dos frutos, mostrando o equilíbrio entre sabor e aroma (CHITARRA, CHITARRA, 2005). Nos resultados de ratio, para o tratamento SS, a cv. Brightwell e a cv. Beckblue tiveram valores maiores que diferenciaram estatisticamente da cv. Clímax (Figura 2.6). No tratamento CS, a cv. Clímax apresentou o melhor resultado diferenciando das demais. O Si proporcionou maior relação SS/AT para Clímax, e menor pra Brightwell e Beckblue. Para os resultados obtidos no estudo de Munaretto et al. (2018) o Si não afetou a relação SS/AT de morangos, bem como no estudo de Silva et al. (2013) também em morangos.

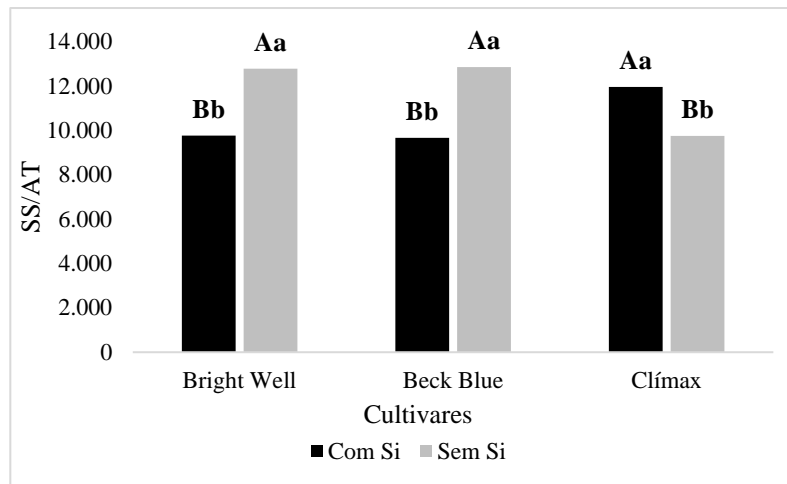


Figura 2.6. Relação Acidez Titulável/Sólidos Solúveis (Ratio) de frutos de mirtilheiro cv. Bright Well, Beckblue e Clímax em função da aplicação de Silício. Guarapuava, PR – UNICENTRO, 2019.

5.5.4. Compostos fenólicos

Para as análises de compostos fenólicos, tanto no tratamento SS como no tratamento CS, os maiores valores foram para as cvs. Brightwell e Clímax, seguidas da cv. Beckblue com o menor teor em ambos os tratamentos (Figura 2.7). No geral, para os compostos fenólicos, o fornecimento de Si via foliar teve efeito positivo proporcionando maiores teores para todas as cultivares, sendo esse aumento de 20% para Brightwell, 21% para Beckblue e 24% para Clímax. Esses resultados contradizem aqueles apresentados por Munaretto et al. (2018) e Ferreira (2006), em que a aplicação de Si não proporcionou mudanças nos compostos fenólicos em morangueiros e na soja, respectivamente.

O silício pode agir aumentando a atividade de enzimas como a fenilalanina amônia-liase (PAL), a qual está relacionada com a síntese de compostos fenólicos (GOMES et al., 2005; MENDONÇA et al., 2013). A PAL, catalisa a deaminação do aminoácido fenilalanina para formação dos fenilpropanóides, moléculas precursoras dos compostos fenólicos (STRACK, 1997; GOMES et al., 2008). Além disso, o Si é relacionado com a formação de compostos bioativos nas plantas por potencializar o processo fotossintético (GUNES et al., 2007; MUNARETTO et al., 2018), contribuindo assim para uma maior formação de Trioses - P, que é um carboidrato primário o qual, quando em alta concentração promove a ativação de vias metabólicas secundárias, as quais são responsáveis pela síntese dos compostos fenólicos (EPSTEIN, 1999; MUNARETTO et al., 2018). Essa relação está comprovada pelas correlações de fenólicos com maior atividade de PAL (0,376), maiores teores de clorofila A e total (0,470 e 0,449),

menor incidência de fluorescência ($F_o = -0,481$ e $F_m = -0,385$), bem como por menor atividade de POD ($-0,409$), apresentadas na (Tabela 2, Anexo 1).

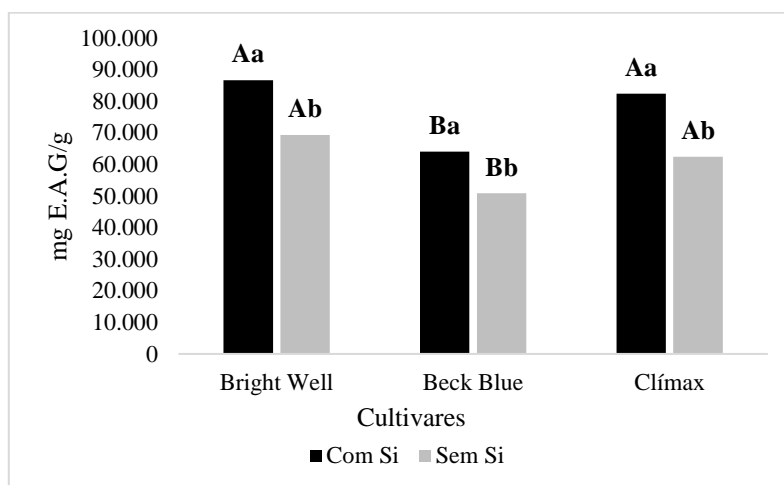


Figura 2.7. Teor de compostos fenólicos de frutos de mirtilheiro cv. Bright Well, Beckblue e Clímax em função da aplicação de Silício. Guarapuava, PR – UNICENTRO, 2019.

5.5.5. Antocianinas

Para o teor de antocianinas, no tratamento SS, não houve diferenças estatísticas entre as cultivares, porém, no tratamento CS a cv. Beckblue apresentou o menor valor diferindo das demais cultivares. O Si proporcionou maiores teores de antocianinas em todas as cultivares, e esse aumento foi de 38% para Brightwell, 15% para Beckblue e 39% para Clímax (Figura 2.8). Corroborando com os dados de Munaretto et al. (2018) e Silva et al. (2013) que verificaram que o fornecimento de Si via foliar promoveu maiores teores de antocianinas nos frutos de cultivares de morangueiro.

As antocianinas são flavonoides que estão inseridos no grupo dos compostos fenólicos e que são responsáveis pelas cores azul, violeta e tonalidades de vermelho, estas estão presentes em flores e frutos (SINGLETON, 1987). Levando em consideração os resultados semelhantes entre compostos fenólicos e antocianinas no presente trabalho, o aumento dos compostos fenólicos totais proporcionado pelo fornecimento de Si, influenciou diretamente na concentração de antocianinas, resultado visto também pela correlação positiva (0,480) entre fenólicos e antocianinas na (Tabela 2, Anexo 1).

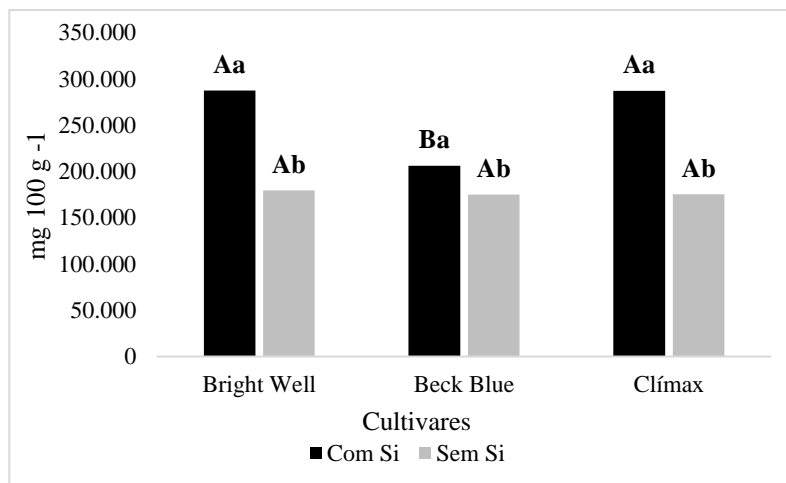


Figura 2.8. Teor de antocianinas de frutos de mirtilheiro cv. Bright Well, Beckblue e Clímax em função da aplicação de Silício. Guarapuava, PR – UNICENTRO, 2019.

5.5.6. Peroxidase

Para atividade de POD no fruto, no tratamento SS, a cv. Clímax teve a maior atividade, seguida de Beckblue e Brightwell. Nas plantas tratadas com Si, a cv. Clímax teve a maior atividade de POD em relação as demais cultivares avaliadas. A aplicação do Si demonstrou efeito negativo para a maioria das as cultivares, com uma redução de 54% para Clímax, de 60% para a cultivar Beckblue, enquanto para Brightwell não houve diferença significativa (Figura 2.9). A redução da atividade da enzima POD em frutos de mirtilo quando submetidos à aplicação foliar de Si é discordante da maioria dos resultados encontrados na literatura, em que o Si aumentou a atividade desta enzima em trigo (GOMES et al., 2005) e batata (GOMES et al., 2008).

A POD faz parte de processos fisiológicos importantes, sendo um deles a lignificação. Nesse processo, fenóis sofrem oxidação pela ação do peróxido de hidrogênio catalizada pela peroxidase, e então ocorre polimerização dos mesmos para a formação de lignina (STRACK, 1997). Essa redução da atividade de POD nos frutos de mirtilo sugere que outros mecanismos estão atuando para aumentar a resistência dos frutos relacionados à lignina, e esse resultado também está associado ao maior teor de compostos fenólicos, já que estes foram usados em menor quantidade na lignificação, o que pode ser observado na correlação negativa entre atividade de POD e compostos fenólicos (-0,409) (Tabela 2, Anexo 1).

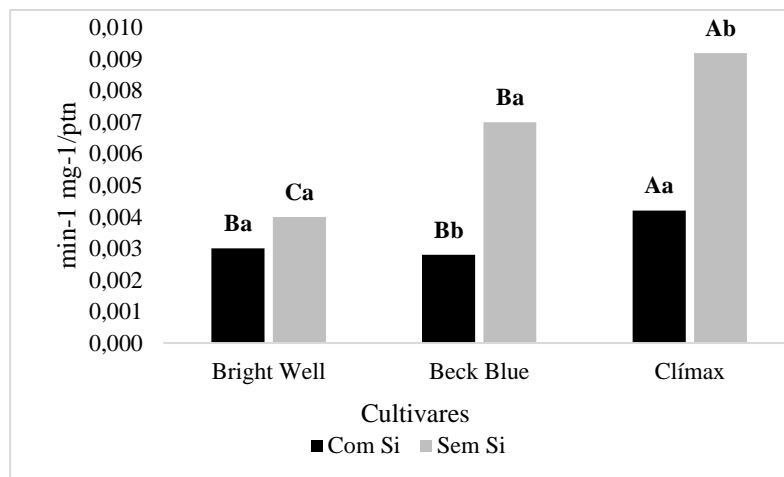


Figura 2.9. Atividade de Peroxidase de frutos de mirtilo cv. Bright Well, Beckblue e Clímax em função da aplicação de Silício. Guarapuava, PR – UNICENTRO, 2019.

5.6. Conclusão

A aplicação foliar de Si proporcionou melhora na qualidade dos frutos de mirtilo, sendo que houve aumento de massa, diâmetro e número de frutos. O efeito mais notável o qual ocorreu para as três cultivares avaliadas, foi o maior teor de compostos fenólicos e antocianinas, sendo que o único efeito de redução encontrado nos frutos de todas as cultivares foi a diminuição da atividade de POD.

5.7. Referências

BOTELHO, R.V; AYU. R. A; MÜLLER M. M. L. Somatória de horas de frio e de unidades de frio em diferentes regiões do estado do paraná. **Scientia Agraria**, v.7, n.1-2, p.89-96, 2006.

BRADFORD, M. M. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. **Analytical Biochemistry**, Orlando, v. 72, p. 248–254, 1976.

CANTUARIAS-AVILES, Tatiana et al. Cultivo do mirtilo: atualizações e desempenho inicial de variedades de baixa exigência em frio no Estado de São Paulo. **Rev. Bras. Frutic.** Jaboticabal, v. 36, n. 1, p. 139-147, Mar. 2014.

CHITARRA, M.I.F.; CHITARRA, A.B. **Pós-colheita de frutas e hortaliças: fisiologia e manuseio**. 2 ed. Lavras: UFLA, 2005.

DATNOFF, L.; RODRIGUES, F. **Silicon and Plant Diseases**.2015.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Sistema brasileiro de classificação de solos. 3º ed. Rio de Janeiro: **Embrapa Solos**, 2013.

EPSTEIN, E. Silicon. Ann. **Rev. Plant Physiol.** Plant Molecular Biology, 50:641-664, 1999.

FACHINELLO, J. C. Mirtilo **Rev. Bras. Frutic.** Jaboticabal, v. 30, n. 2 de junho de 2008.

FAO. **Dados do cultivo do mirtilo.** 18 jan. 2019. Disponível em: <<http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC/visualize>>. Acesso em: 1 ago. 2019.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a guide for its Bootstrap procedures in multiple comparisons. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 38, n. 2, p. 109–112, abr. 2014.

FERREIRA, M.M.M.; FERREIRA, G.B.; FONTES, P.C.R.; DANTAS, J.P. Qualidade do tomate em função de doses de nitrogênio e da adubação orgânica em duas estações. **Horticultura Brasileira**. v.24, p.141-145, 2006.

FIORI, M.P. Comportamento de cultivares de tomateiro quanto à utilização de escórias siderúrgicas em ambiente protegido. 54p. **Dissertação Mestrado.** Faculdade de Ciências Agrárias da Universidade de Marília- UNIMAR. Marília, SP. 2006.

GIUSTI, M., M., WROLSTAD, R., E. Acylated Anthocyanins from edible sources and their applications in food systems. **Biochemical Engineering Journal**. v. 14, p. 227-225, 2003.

GIUSTI, M., WROLSTAD, R., E. Characterization and measurement of Anthocyanins by UV–visible spectroscopy. In: WROLSTAD, R.E. (Ed.). **Current Protocols in Food Analytical Chemistry**. New York: John Wiley & Sons, 2001.

GOMES F. B.; MORAES J. C.; SANTOS C. D.; GOUSSAIN M. M. Resistance induction in wheat plants by silicon and aphids. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 62, p. 547-551, 2005.

GOMES, Flávia B. et al. Uso de silício como indutor de resistência em batata no *Myzus persicae* (Sulzer) (Hemiptera: Aphididae). **Neotrop. entomol.** Londrina, v. 37, n. 2, p. 185-190, abril de 2008.

GÜNDÜZ, K.; SERÇE, S.; HANCOCK, J. F. Variation among Highbush and Rabbiteye Cultivars of Blueberry for Fruit Quality and Phytochemical Characteristics. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 38, p. 69–79, mar. 2015.

GUNES, A; INAL, A; BAGCI, EG; COBAN, S; PILBEAM, DJ. 2007. Silicon mediates changes to some physiological and enzymatic parameters symptomatic for oxidative stress in spinach (*Spinacia oleracea* L) grown under B toxicity. **Scientia Horticulturae**113: 113-119.

IAPAR. Instituto Agrônomo do Paraná. Agrometeorologia. 2011.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. Brasil. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Métodos físico-químicos para análise de alimentos**. Brasília: Ministério da Saúde, 2005.

JONES, L.H.P.; HANDRECK, K.A. Silica in soils, plants, and animals. **Advances in Agronomy**, v.19, p.107-149, 1967.

KALT, W. et al. Interspecific variation in anthocyanins, phenolics, and antioxidant capacity among genotypes of highbush and lowbush blueberries (*Vaccinium* Section *cyanococcus* spp.). **Journal of Agricultural and Food Chemistry**. 2001.

KAR, M.; MISHRA, D. Catalase, peroxidase, and polyphenoloxidase activities during Rice leaf senescence, **Physiologia Plantarum**, v. 57, p. 315-319, 1976.

KOTTEK M., GRIESER J., BECK C., RUDOLF B., RUBEL F. World Map of the Köppen-Geiger climate classification updated. **Meteorologische Zeitschrift**, 15, 259-263. 2006.

LALITHYA, K.A., BHAGYA H. P, CHOUDHARY R. Response of silicon and micronutrients on fruit character and nutrient content in leaf of Sapota. **Bioline**, 2(2): 594-598. 2014.

LI, J. et al. Blueberry Component Pterostilbene Protects Corneal Epithelial Cells from Inflammation via Anti-Oxidative Pathway. **Scientific Reports**, v. 6, p. 19408, 14 jan. 2016.

MARODIN, J. C. et al. Tomato Post-Harvest Durability and Physicochemical Quality Depending on Silicon Sources and Doses. **Horticultura Brasileira**, v. 34, n. 3, p. 361–366, set. 2016.

MARODIN, J. C. et al. Yield of Tomato Fruits in Relation to Silicon Sources and Rates. **Horticultura Brasileira**, v. 32, n. 2, p. 220–224, jun. 2014.

MENDONÇA, A. et al. Acúmulo de silício e compostos fenólicos na parte aérea de plantas de trigo após a adubação silicatada. **Bioscience Journal**, 29(5). 2013.

MENEGALE, M.; CASTRO, G.; MANCUSO, M. Silício: Interação com o sistema solo-planta. **Journal of Agronomic Sciences**, v. 4, p. 435–454, 1 jan. 2015.

MUNARETTO, L. M. et al. Productivity and Quality of Organic Strawberries Pre-Harvest Treated with Silicon. **Horticultura Brasileira**, v. 36, n. 1, p. 40–46, mar. 2018.

PAES, J. Concentração de compostos bioativos de resíduos de mirtilo (*Vaccinium myrtillus* L.) usando extração com CO₂ supercrítico e nanofiltração. **Dissertação – Campinas, SP**, 2016.

PRIOR, R.L. et al. Antioxidant capacity is influenced by total phenolic and anthocyanin content, maturity, and variety of *Vaccinium* species. **J. of Agri. and Food Chemistry**. 1998.

SANTOS, A. C. N. dos. Fontes de silício na adubação de mamoeiro sunrise solo: efeito sobre as características químicas do solo, o desenvolvimento das plantas e a qualidade dos frutos. **Dissertação** (Mestrado em Agronomia: Produção Vegetal) - Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Universidade Federal de Alagoas, Rio Largo, 2011.

SANTOS, A. M. dos. Situação e perspectivas do Mirtilo no Brasil. In: **Encontro de pequenas frutas e frutas nativas**. Anais. Pelotas: Embrapa, p. 281. 2004.

SILVA, M.L.S; RESENDE, J.T.V; TREVISAN, A.R; FIGUEIREDO, A.S.T; SCHWARZ, K Influência do silício na produção e na qualidade de frutos do morangueiro. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 34, n. 6, suplemento 1, p. 3411-3424, 2013.

SINGLETON, V.L. Oxygen with phenols and related reactions in musts, wines and model systems: observations and practical implications. **Am. J. Enol. Vitic.**, v. 38, p. 69-77, 1987.

SINGLETON, V.L.; ORTHOFER, R.; LAMUELA-RAVENTÓS, R.M. Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of Folin-Ciocalteu reagent. **Methods Enzymol**. San Diego, v. 299, p. 152- 178, 1999.

STRACK, D. Phenolic metabolism. In P.M. Dey & J.B. Harborne (eds.), **Plant biochemistry**. London, Academic Press, 554p. 1997.

URBANEK, H.; KUZNIAK-GEBAROWSKA, E.; HERKA H. Elicitation of defense responses in bean leaves by *Botrytis cinerea* polygalacturonase. **Acta Physiologia Plantarum**, v.13, p.43-50, 1991.

WANG, S.Y.; GALLETÀ, G.J. Foliar application and potassium silicate induces metabolic changes in strawberry plants. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v.21, n.1, p.157-167, 1998.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O Si se mostrou um elemento de grande importância para a nutrição de algumas das cultivares de mirtilheiro, pois proporcionou efeito positivo tanto no desenvolvimento vegetativo como na melhor qualidade dos frutos de algumas cultivares, o que de maneira geral ocorreu para as cultivares Clímax e Brightwell, estas melhorias no desempenho das plantas e na qualidade nutricional dos frutos beneficiam tanto produtores de mirtilo, bem como os consumidores, levando em consideração o aumento de diâmetro, massa e número de frutos para algumas cultivares e principalmente de fenólicos e antocianinas, os quais sendo antioxidantes, são de grande importância para a saúde humana, e também, melhoram a cor dos frutos o que é um atrativo para os consumidores na hora da comercialização.

Além disso é importante salientar que os efeitos positivos não ocorreram em todas as cultivares, sendo que a cv. O'Neal apresentou desempenho inferior quando comparado ao tratamento SS, neste sentido demonstrando a importância da pesquisa para a nutrição de diferentes espécies bem como de cultivares.

ANEXO 1

Tabela 1. Correlação de Pearson para as cultivares Beckblue, O'Neal, Misty, Clímax e Brightwell para todas as características foliares avaliadas. Guarapuava, PR - UNICENTRO, 2019.

Correlações TODAS AS CVS PARA PLANTA														
	LIG1	LIG2	PAL1	PAL2	CA	CB	CT	MF	AF	Fo	FM	FV	FV/FM	FV/Fo
LIG1	1,00	-0,23	-0,02	0,19	0,02	0,00	0,01	-0,23	-0,19	.284*	0,24	0,23	-0,03	-0,03
LIG2		1,00	-0,25	-0,10	-0,10	-0,13	-0,12	0,02	0,09	-0,09	-0,09	-0,09	0,04	-0,02
PAL1			1,00	0,16	-0,09	-0,06	-0,08	0,25	0,19	0,03	0,08	0,08	0,11	0,17
PAL2				1,00	0,05	0,23	0,15	-0,03	0,14	0,08	0,12	0,16	0,12	0,17
CA					1,00	.750**	.939**	-0,15	-0,22	0,05	0,03	0,03	0,03	0,00
CB						1,00	.932**	-0,20	-0,24	0,26	0,26	0,27	0,15	0,13
CT							1,00	-0,19	-0,24	0,16	0,15	0,16	0,09	0,07
MF								1,00	.600**	-0,14	-0,19	-0,21	-0,23	-0,23
AF									1,00	-0,10	-0,20	-0,22	-.401**	-.380**
Fo										1,00	.955**	.928**	0,22	0,24
FM											1,00	.995**	.485**	.508**
FV												1,00	.554**	.576**
FV/FM													1,00	.988**
FV/Fo														1,00

LIG1: lignina tempo1 de avaliação; LIG2: lignina tempo 2 de avaliação; PAL1: Atividade de PAL no tempo 1 de avaliação; PAL2: atividade de PAL no tempo 2 de avaliação; CA: clorofila a; CB: clorofila B; CT: clorofila total; MF: massa foliar; AF: área foliar; Fo: fluorescência inicial; FM: fluorescência máxima; FV: fluorescência variável; FV/FM: relação entre fluorescência variável e máxima; FV/Fo: relação entre fluorescência variável e inicial;

*. A correlação é significativa no nível 0,05 (2 extremidades).

** . A correlação é significativa no nível 0,01 (2 extremidades).

Tabela 2. Correlação de Pearson para as cultivares Beckblue, Clímax e Brightwell para todas as características foliares e de fruto avaliadas. Guarapuava, PR - UNICENTRO, 2019.

	LIG1	LIG2	PAL1	PAL2	CA	CB	CT	MF	AF	Fo	FM	FV	FVFM	FVF0	DM	MF	SS	pH	AT	Ratio	nFR	FEN	ANT	POD
LIG1	1,00	-0,31	.526**	-0,06	-0,11	-.372*	-0,22	-0,17	-0,12	0,04	-0,02	-0,03	-0,14	-0,14	-0,33	-0,35	0,09	0,00	-0,17	0,21	-0,11	-0,26	-.561**	0,12
LIG2		1,00	0,09	0,02	-0,04	-0,03	-0,04	-0,10	-0,06	0,08	0,18	0,20	0,29	0,26	0,20	0,11	0,36	0,25	.484**	-0,32	-0,16	-0,17	0,04	0,08
PAL			1,00	.362*	0,09	0,28	0,17	0,30	0,26	-0,26	-0,15	-0,12	0,17	0,21	0,36	.504**	-0,06	0,07	0,16	-0,17	0,23	.376*	0,14	-0,14
PAL				1,00	-0,22	-0,36	-0,29	0,33	.476**	-0,17	-0,13	-0,12	-0,07	-0,01	0,33	.384*	0,05	0,18	0,22	-0,11	-0,13	0,11	-0,04	-0,32
CA					1,00	.696**	.957**	-0,05	-0,19	-0,23	-0,27	-0,28	-0,06	-0,10	-0,01	0,10	-0,24	0,12	-0,10	0,02	0,24	.470**	0,27	0,20
CB						1,00	.874**	-0,01	-0,20	0,02	0,00	0,00	0,06	0,02	0,01	0,04	-0,05	0,04	-0,33	0,27	0,23	0,32	0,16	0,13
CT							1,00	-0,04	-0,21	-0,15	-0,19	-0,19	-0,02	-0,06	0,00	0,08	-0,18	0,09	-0,20	0,12	0,26	.449*	0,25	0,19
MF								1,00	.542**	-0,35	-.371*	-.368*	-0,19	-0,18	0,14	0,24	-0,11	0,03	-0,29	0,23	0,11	0,28	0,15	-0,22
AF									1,00	-0,32	-.443*	-.465**	-.474**	-.452*	0,11	0,27	-0,11	-0,02	-0,13	0,17	0,18	-0,06	-0,18	0,00
Fo										1,00	.926**	.883**	0,16	0,16	0,15	-0,10	0,33	.386*	-0,13	0,23	-.601**	-.481**	-0,19	-0,08
FM											1,00	.995**	.504**	.520**	0,29	-0,02	.419*	.377*	0,06	0,07	-.672**	-.385*	-0,08	-0,16
FV												1,00	.585**	.602**	0,33	0,00	.431*	.366*	0,11	0,03	-.674**	-0,35	-0,05	-0,17
FVF													1,00	.990**	.447*	0,23	0,26	0,18	.372*	-0,30	-.377*	0,17	0,26	-0,22
FVF														1,00	.436*	0,20	0,31	0,15	.425*	-0,32	-.409*	0,16	0,25	-0,23
DM															1,00	.874**	-0,25	.478**	0,09	-0,22	-0,30	0,08	0,22	-0,35
MFR																1,00	-.431*	.498**	-0,01	-0,18	0,01	0,17	0,26	-0,22
SS																	1,00	-0,04	0,14	0,32	-.396*	-0,29	-0,16	-0,08
pH																		1,00	0,04	-0,09	-0,33	-0,12	-0,11	0,12
AT																			1,00	-.872**	-0,27	0,11	0,13	-0,03
Rati																				1,00	0,08	-0,23	-0,18	0,01
nFR																					1,00	0,02	-0,08	.462*
FEN																						1,00	.480**	-.409*
ANT																							1,00	-0,23
POD																								1,00

LIG1: lignina tempo1 de avaliação; LIG2: lignina tempo 2 de avaliação; PAL1: Atividade de PAL no tempo 1 de avaliação; PAL2: atividade de PAL no tempo 2 de avaliação; CA: clorofila a; CB: clorofila B; CT: clorofila total; MF: massa foliar; AF: área foliar; Fo: fluorescência inicial; FM: fluorescência máxima; FV: fluorescência variável; FV/FM: relação entre fluorescência variável e máxima; FV/Fo: relação entre fluorescência variável e inicial; DM: diâmetro; Mfr: massa de frutos; SS: sólidos solúveis; AT: Acidez titulável; nFR: número de frutos; FEN: compostos fenólicos; ANT: antocianinas; POD: atividade de peroxidase;

*. A correlação é significativa no nível 0,05 (2 extremidades).

** . A correlação é significativa no nível 0,01 (2 extremidades).