

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS
Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel
Programa de Pós-Graduação em Agronomia



Tese

Hidráulica e anatomia do xilema no gênero *Rubus* spp.

Katia Guadalupe Ruiz Canul

Pelotas, 2023

Katia Guadalupe Ruiz Canul

Hidráulica e anatomia do xilema no gênero *Rubus* spp.

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia da Universidade Federal de Pelotas, como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Ciências (área do conhecimento: Fruticultura).

Orientador: Flavio Gilberto Herter, Ph.D. – FAEM/UFPel
Co-orientador: Paulo Celso de Mello Farias, Ph.D. – FAEM/UFPel

Pelotas, 2023

Universidade Federal de Pelotas / Sistema de Bibliotecas
Catalogação na Publicação

C235h Canul, Katia Guadalupe Ruiz

Hidráulica e anatomia do xilema no gênero *Rubus spp.*
/ Katia Guadalupe Ruiz Canul ; Flavio Gilberto Herter,
orientador ; Paulo Celso de Mello Farias, coorientador. —
Pelotas, 2023.

87 f. : il.

Tese (Doutorado) — Agronomia, Faculdade de
Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas,
2023.

1. Déficit hídrico. 2. Amora-preta. 3. Framboesa. 4.
Vasos do xilema. I. Herter, Flavio Gilberto, orient. II. Farias,
Paulo Celso de Mello, coorient. III. Título.

CDD : 634.4

Elaborada por Maria Beatriz Vaghetti Vieira CRB: 10/1032

Katia Guadalupe Ruiz Canul

Hidráulica e anatomia do xilema no gênero *Rubus* spp.

Tese aprovada, como requisito parcial, para obtenção do grau de Doutor em Ciências, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas.

Data da Defesa: 28/08/2023

Banca examinadora:

Dr. Flavio Gilberto Herter (Orientador)
Doutor em Agronomia pela Universidade Federal de Pelotas

Dra. Mónica López Hernández
Doutora em Fisiologia Vegetal no Instituto Tecnológico de México

Dra. Juliana Aparecida Fernando
Doutora em Botânica pela Universidade Federal de Pelotas

Dra. Doralice Lobato de Oliveira Fischer
Doutor em Agronomia pela Universidade Federal de Pelotas

A Deus, eu te agradeço por tudo, mas em especial pela força que recebi para alcançar esta vitória tão desejada.

Aos meus pais, Zaida Miriam e Pastor Ruiz por todo o amor incondicional, carinho e apoio, agradeço por estarem sempre presente em todos os momentos mais importantes da minha vida.

A toda minha família, por me apoiarem e estarem sempre ao meu lado.

Minha parceira de vida Sacnicte Novelo, obrigada por tudo aquele amor, paciência, apoio, esforço e carinho durante a viagem e da vida, e sempre incentivar nossos planos.

Aos meus irmão Karen Ruiz e Omar Ruiz, por incentivar nossas metas e objetivos pessoais e profissionais, e sempre se manter juntos além da distância.

Para meu amigo e irmão da viagem Luis Chairez, obrigada pela grande amizade e sempre cuidar de mim.

Dedico

Agradecimentos

Primeiramente quero agradecer a Deus por tudo. Obrigada por ser minha proteção e a fonte de toda a minha força.

A minha família, por nunca me deixarem desistir e sempre me lembrar do quanto sou amada e sou capaz de tudo.

A meu querido Prof. Flavio Herter, obrigado por acreditar em mim quando ninguém mais acreditava. Sou uma pessoa muito melhor por sua causa e me inspirou a pensar fora da caixa, fora da sala de aula e no futuro.

Ao Professor Paulo Celso, por toda a dedicação e paciência e por me ensinar coisas que eu achei que nunca conseguiria compreender.

Ao Professor Luciano Carlos da Maia, por estar sempre apoiando a gente e por ser guia na viagem e pelo conhecimento transmitido.

A Professora Juliana Fernando, agradecer pela paciência, pela partilha de conhecimento, pelos ensinamentos para a vida.

A Professora Roberta Peil, obrigada você por criar um ambiente tão bom para aprender e onde fomos encorajados a expressar nossos próprios pensamentos e opiniões.

A Doutora Maria do Carmo, pelo empenho e pela dedicação com que se entrega às nobres tarefas de ensinar.

Aos amigos que aqui formei no Brasil, colegas na minha área da Fruticultura e amigos Ruth, Raymond, Winder, Alfredo, Lola, Alejandro, Karina, Alfonso, os brasileiros, Eva, Adriel, João, Mariana, Amanda, Jonathan, Mateus, Gabriel, Lucas, Cinthia, Valeria, Karine, Victoria, Celeste, Perla, Toyi, Anais, Ezequiel e Erika.

Quero expressar meu muito obrigado Vilson (Junior) que me ensinou a determinar a condutância hidráulica além de me conduzir nas madrugadas frias para coleta e avaliação do potencial hidráulico na propriedade do Prof Flavio, meus mais sinceros agradecimentos.

Aos meus amigos e irmãos de profissão Lindomar e Andressa, pela amizade, conhecimento, paciência e quero que vocês recebam em dobro tudo que vocês me deram e quero que saibam que eu desejo que sua vida seja abençoada por vibrações de paz e amor.

A minha querida Família Montiel Rodriguez, por tudo aquele amor e sempre que precisei de um ombro amigo eram vocês quem apareciam e me apoiava incondicionalmente e nos momentos bons e ruins.

A minha amiga Carla, obrigada por termos nos encontrado na vida e por termos escolhido cultivar essa linda amizade.

Agradeço ao Conselho Nacional de Ciência y Tecnologia (CONACyT), à Universidade Federal de Pelotas (UFPel) e ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia por ter permitido o acesso à grandes conhecimentos e aos seus docentes que nos incentivaram a percorrer o caminho da pesquisa científica e que abriu portas para que estes sonhos se tornassem realidade.

Ao Instituto Tecnológico de Chiná, Campeche, que com muita competência, me proveu de materiais necessários para a realização deste trabalho.

Muito Obrigada!

Resumo

CANUL, Katia R. **Hidráulica e anatomia do xilema no gênero *Rubus* spp.** 2023. Orientador: Flavio Gilberto Herter. 2023.87 f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Agronomia. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas – RS, 2023.

A amoreira-preta e a framboeseira pertencentes ao gênero *Rubus*, da família Rosaceae classificadas como frutíferas de clima temperado, cujos frutos tem grande importância econômica e valor nutricional. Entretanto, as plantas apresentam baixa tolerância a estresses hídrico A disponibilidade hídrica se constitui num fator primordial para o desenvolvimento e crescimento da planta e para os processos metabólicos. Porém a planta tem a capacidade de adaptação da sua estrutura anatômica conforme as condições climáticas e disponibilidade de água no solo. Objetivou-se neste trabalho determinar a perda de condutância hidráulica (PLC) e caracterizar os vasos do xilema em duas espécies, a amoreira-preta e a framboeseira. A condutância hidráulica foi determinada em plantas em produção na Tupy, em Morro Redondo-RS. Um segundo experimento foi realizado em plantas conduzidas em vasos O estudo foi feito na amoreira-preta ‘Tupy’, ‘BRS Caingua’, ‘BRS Xavante’, ‘BRS Xingu’ e ‘Black 348’, enquanto que na framboeseira utilizou-se plantas das cultivares, ‘Fallgold’, ‘Heritage’ e ‘Heil Face’. A partir dos resultados conclui-se que a framboeseira apresenta maior diâmetro e densidade de vasos do xilema comparado àqueles da amoreira-preta. A frequência de distribuição do tamanho vasos na amoreira varia com a cultivar sendo que a ‘BRS Caingua’ apresenta maior tamanho de vaso. Conclui-se, ainda, ser um indicativo de pesquisas futuras sobre o gênero *Rubus* spp para potencializar o aumento da produtividade e melhor manejo de cultivo.

-
,
Palavras-chave: Déficit hídrico, amora-preta, framboesa, vasos do xilema

Abstract

CANUL, Katia R. **Hydraulics and xylem anatomy in the genus *Rubus* spp.** Advisor: Flavio Gilberto Herter. 2023.87 p. Thesis (Doctorate degree) – Graduate in Agronomy Program. Federal University of Pelotas, Pelotas - RS, 2023.

Blackberry and raspberry trees belong to the genus *Rubus*, from the Rosaceae family, classified as temperate fruit trees, whose fruits have great economic importance and nutritional value. However, plants have low tolerance to water stress. Water availability is a key factor for plant development and growth and metabolic processes. However, the plant has the ability to adapt its anatomical structure according to climatic conditions and water availability in the soil. The objective of this work was to determine the loss of hydraulic conductance (PLC) and characterize the xylem vessels in two species, the blackberry tree and the raspberry tree. Hydraulic conductance was determined in plants in production at Tupy, in Morro Redondo-RS. A second experiment was carried out on plants grown in pots. The study was carried out on the black mulberry tree 'Tupy', 'BRS Caingua', 'BRS Xavante', 'BRS Xingu' and 'Black 348', while on the raspberry tree plants were used of the cultivars, 'Fallgold', 'Heritage' and 'Heil Face'. From the results it is concluded that the raspberry tree has a greater diameter and density of xylem vessels compared to those of the blackberry tree. The frequency of distribution of vessel size in mulberry varies with the cultivar, with 'BRS Caingua' having the largest vessel size. It is also concluded that it is indicative of future research on the genus *Rubus* spp to enhance increased productivity and better crop management.

Keywords: Water deficit, blackberry, raspberry, xylem vessels

Lista de figuras

Figura 1 – Seção transversal de um segmento de um ramo de amora-preta da variedade ‘Tupy’ (<i>Rubus</i> spp). Barras: I=500 µm e II= 100 µm, 4X e 10X.	35
Figura 2 – Temperatura dos meses avaliados (°C), Temperatura média (T° Média), máxima (T° Máxima) e mínima (T° Mínima), Precipitação (mm) e Umidade Relativa (%), dados obtidos da estação da Embrapa Clima Temperado, RS, no ano de 2022.	35
Figura 3 – Distribuição de frequência estimada de vasos, em área de 1 mm ² , do número médio dos vasos do xilema em ramos de <i>Rubus</i> spp. da cultivar Tupy... 40	40
Figura 4 – Seção transversal de um segmento de um ramo de Framboesa da variedade ‘Heritage’ (<i>Rubus</i> spp).Barras: I=500 µm e II= 100 µm, 4X e 10X.	45
Figura 5 – Distribuição de frequência estimada de vasos, em área de 1mm ² , do número médio dos vasos do xilema em ramos de Framboesa (<i>Rubus</i> spp), das variedades ‘Fallgold’, ‘Heritage’ e Hell Face’.	48
Figura 6 – Distribuição de frequência estimada de vasos, em área de 1 mm ² , do número médio dos vasos do xilema em ramos de amora-preta, das cultivares BRS Xingu, BRS Caingua, BRS Xavante e Black 348.	48
Figura 7 – Câmara de Scholander, B. Avaliação do potencial hídrico (Predawn) e C. Avaliação do potencial hídrico (Midday).	55
Figura 8 – Temperatura dos meses avaliados (°C), Temperatura média (T° Média), máxima (T° Máxima) e mínima (T° Mínima), Precipitação (mm) e Umidade Relativa (%), dados obtidos da estação da Embrapa Clima Temperado, RS, no ano de 2022.	55
Figura 9 – Médias do Potencial Hídrico xilemático base (Predawn) e potencial ao Meio-dia (Midday), dos folíolos da amoreira-preta (<i>Rubus</i> spp.), cultivar Tupy, no município do Morro Redondo-RS, no ano 2022.	57
Figura 10 – A) Corte transversal do caule da amoreira-preta da variedade ‘tupy’ (<i>Rubus</i> spp); Escala A= 0,1 mm; B = 40 µm; C = 40 µm. A (Zoom optico 4X,), B (Zoom optico 10X) e C (Zoom optico 20X). Com as seguintes características anatômica: B) Córtex (a), floema (b), zona do câmbio (c), Camada fibrosa do floema	

(d); C) Vasos do xilema (e), parênquima xilemático (f), Raios do xilema(g); Escala = 20 µm 87

Figura 11 – A) Corte transversal do caule da Framboesa da variedade ‘Heritage’ (*Rubus spp*); Escala A= 0,1 mm; B = 40 µm; C = 40 µm. A (Zoom optico 4X), B (Zoom optico 10X) e C (Zoom optico 20X). Com as seguintes características anatômica: B) Córtex (a), floema (b), zona do câmbio (c), Camada fibrosa do floema (d); C) Vasos do xilema (e), parênquima xilemático (f), Raios do xilema(g); Escala = 20 µm 87

Lista de tabelas

Tabela 1 – Análise de Variância da Condutância Hidráulica, Diâmetro médio de vasos, condutância hidráulica teórica, Largura do xilema secundário, da cultivar Tupy, no município de Morro Redondo- RS, no 2022.	36
Tabela 2– Perda percentual de condutividade hidráulica (PCH), condutância hidráulica teórica (kh), largura do xilema secundário (LXS), número médio de vasos (NMV), diâmetro médio dos vasos (DMV) e área média de vasos (AMV), durante cinco meses na cultivar Tupy, no município de Morro Redondo-RS, 2022.	39
Tabela 3 – Características anatômicas das cultivares amora-preta e Framboesa. Largura do xilema secundário (LXS), número de vasos (NMV), Diâmetro médio dos vasos (DMV) e área média de vasos (AMV) e Condutância Teórica (kh), das variedades de amora-preta e framboesa, no 2022.....	47

Sumário

1. Introdução Geral	15
1.1.1 Objetivo Geral	20
1.1.2 Objetivo específico	20
1.2 Hipóteses	20
2 Revisão de literatura	21
2.1 Socioeconomia das frutas vermelhas	21
2.2 Água na planta	22
2.2.1 Absorção de água nas plantas	22
2.2.2 Transporte de água	23
2.2.3 Teoria de Coesão- Tensão	24
2.2.4 Potencial químico da água nas plantas (Ψ)	25
2.2.5 Perda de condutividade hidráulica (PCH)	26
2.3 Risco do déficit hídrico: cavitação e alterações de processos metabólicos	26
2.3.1 Tolerância ao déficit hídrico	27
2.4 Espécies utilizadas na pesquisa	28
2.4.1 Amoreira-preta	28
2.4.2 Framboeseira	29
3. Capítulo 1 - Condutância Hidráulica e anatomia de vasos do xilema em amoreira-preta	30
3.1. Introdução	30
3.2 Material e métodos	32
3.2.1 Localização, material vegetativo e características do solo	32
3.2.2 Avaliação da perda de condutância hidráulica (PCH)	32
3.2.3 Avaliação das características anatômicas dos ramos da amoreira-preta ...	34
3.2.4 Dados climáticos	35
3.2.5 Delineamento Experimental	36
3.3 Resultados e discussão	36
3.4 Conclusões	41

4 Capítulo 2- Caracterização anatômica do xilema da amoreira e framboeseira

42

4.1	Introdução	42
4.2	Material e Método.....	43
4.2.1	Material vegetativo	43
4.3	Condutância Teórica (kh)	45
4.4	Delineamento Experimental	46
4.5	Resultados e Discussão	46
4.6.	Conclusão	51

5. Capítulo 3- Potencial Hídrico na amora-preta (*Rubus spp*). no município de Morro Redondo-RS.

5.1	Introdução	52
5.2.	Material e método.....	54
5.2.1	Material vegetativo e localização.....	54
5.2.2	Avaliação do Potencial químico da água.....	54
5.2.3	Delineamento Experimental	56
5.3	Resultados e Discussão	56
5.4	Conclusão	59
6.	Considerações finais	59
7.	ANEXOS	72
	Artigo Publicado	72
	Revista: Observatorio de la Economía Latinoamericana (ISSN 1696-8352).....	72
	Qualis CAPES: A4.....	72

1. Introdução Geral

O Brasil ocupa o terceiro lugar como produtor mundial de frutas com a produção aproximada, em 2020, de 44,3 a 44,5 milhões de toneladas, existindo uma grande expectativa para o crescimento da área (ANUÁRIO BRASILEIRO DE FRUTICULTURA, 2021). Dentre as frutíferas de clima temperado, a maior parte da produção é destinada ao mercado estrangeiro com 37% do valor total de exportação, tendo maior destaque culturas como a videira, macieira, figueira, pessegueiro, ameixeira, nectarineira e oliveira. A região Sul do país, destaca-se como a maior produtora de frutas de clima temperado, com 49,3% de total da produção de frutas (LISBINSKI et al., 2023). No grupo das pequenas frutas, também conhecidas como “berries”, as mais produzidas são o morango (*Fragaria x ananassa*), a framboesa (*Rubus idaeus* L.), a amora-preta (*Rubus spp.*), o mirtilheiro (*Vaccinium spp.*), a groselheira (*R. rubrum*). Mas falando sob o gênero *Rubus*, pertence à família Rosaceae, onde existe aproximadamente 700 espécies de framboeseira e amoreiras na América (RASEIRA et al., 2004B; HUANG; HU, 2009).

O nome do *Rubus*, está associado às características do fruto que são compostas por frutas tipo polidrupa, pequenos gomos ou drupas, cada uma delas apresenta uma semente (FUKE, 1984; REILLE, 2015). Segundo Fachinello et al. (1994), existem muitas espécies de amoreira que são nativas do Sul do Brasil. No entanto, a introdução de cultivares e “seedling”, foram trazidos dos Estados Unidos quando se deu início às pesquisas de melhoramento genético na estação experimental da EMBRAPA em Pelotas-RS (EMBRAPA- Clima Temperado), a partir do ano 1972 (ANTUNES; RASEIRA, 2018). A variedade mais cultivada no Brasil é a Tupy, apresentando grande potencial de produtividade e qualidade da fruta, resultante do cruzamento entre as variedades Uruguai e Comanche (ANTUNES; REGINA; DUARTE FILHO, 2002).

Segundo Antunes (2014), a produção aproximada é de 25 ton ha⁻¹, com média de 16 ton ha⁻¹ da ‘Tupy’. A variedade BRS Xavante, apresenta baixa produtividade bem como, baixa necessidade de frio, além de apresentar baixa, ou nenhuma, densidade de espinhos (RASEIRA; SANTOS; BARBIERI, 2004). A

variedade 'BRS Xingu', possui as mesmas características que a variedade Tupy, com uma produtividade de 10 ton ha⁻¹, surgiu pelo cruzamento entre a 'Tupy' X 'Americana Aparaho'. (RASEIRA; FRANZON; SCARANERI, 2018). A variedade 'Caingua', foi criada pela hibridação entre variedade de seleção 2/96 e a variedade Caingangue, com menos espinhos, seu conteúdo de teor de açúcar é semelhante à 'Tupy' (ANTUNES; RASEIRA,2018). Para a cultivar de framboeseira, sendo descendente do norte da Ásia e Europa Oriental, onde na Grécia, foi quem denominou o nome das espécies "*Rubus idaeus*" (ALCAYAGA,2009).

A cultura de framboesa ingressou no Brasil com a chegada dos alemães para os quintais das suas colônias, para consumo próprio na década dos anos 50 na cidade de Campos do Jordão (São Paulo), introduzidas pelo Barão Suiço Otto Von Leithner, com grande sucesso e sua expansão no país especialmente no Sul do Brasil (PAGOT, 2016).

A variedade Heritage é a mais cultivada no mundo, sendo resultante do cruzamento entre as cultivares 'Milton' e 'Cuthbert' com Durham, na Universidade de Cordell em 1969. A planta tem o potencial de adaptabilidade a diferentes climas apresentando boa resistência a doenças que acometem a cultura (KRETZSCHMAR et al., 2013; MARTÍN, 2013). Outra variedade é 'Fallgold' obtida em 1967, por meio do cruzamento entre NH 56-1 x (Taylor x *Rubus pungens oldhami*), apresenta baixa qualidade, quando submetidas a congelamento, tipo remontante (BUSHWAY et al., 2008). A 'Golden Bliss', foi criada por meio de mutação natural, existe pouca informação, no entanto, é cultivada na Sérvia e no Brasil, principalmente na Serra da Mantiqueira-MG (BOTANICAL ON LINE, 2015).

O cultivo das chamadas "pequenas frutas", que incluem a amora-preta e framboeseira, oferecem grande potencial de produtividade, adaptação e aceitação dentro do país devido às características organolépticas, importantes para a saúde humana, já que tem alto conteúdo de antioxidantes, minerais, fibras, ácido fólico e vitaminas.

Essas características nutricionais tornam o cultivo das pequenas frutas como opção para diversificação da agricultura familiar, além disso um cultivo agroecológico, pelo baixo uso de agrotóxicos. Apresentam bons retornos

financeiros, mas também a comercialização em diferentes produtos in natura, minimamente processados (congelados) ou em industrializados (ANTUNES et al., 2014).

A maior produção mundial de amora-preta está no México (287.125 Mg), seguido pelo Vietnã (148.538 Mg) e a Nova Guiné (107.699Mg) (FAO, 2020). Os maiores produtores no Brasil encontram-se no Rio Grande do Sul (1.488 ton em 409 ha), Minas Gerais (704 ton em 396 ha), Paraná (266 ton em 328 ha) e São Paulo (137 ton em 72 ha) (IBGE, 2021). Para a cultura do framboeseira a maior produção mundial, está nos países Europeus com 73,8%, seguido das Américas, Ásia, Oceânia e África. Os países produtores como a Rússia (174 mil ton), Sérvia (120 mil ton), Polónia (76 mil ton) e Estados Unidos (102 mil ton) (FAO, 2021). Os Estados produtores no Brasil, são o Rio Grande Do Sul, destacando-se a região de Vacaria, com cerca 150 hectares (CAMINITI et al., 2016), seguidos pelos Estados de São Paulo e Minas Gerais, no entanto, atualmente, a produção brasileira ainda é insuficiente para atender a demanda nacional, devido a isso, acaba importando os frutos de outros países (MARO et al., 2012; ABAURRE et al., 2017).

Na atualidade, a influência das mudanças climáticas tornou-se uma das maiores problemáticas, períodos de restrição hídrica é um fator limitante na produtividade, crescimento e desenvolvimento da produção agrícola (YANG et al., 2021). Segundo Vergara et al. (2016), o gênero *Rubus* é sensível às restrições hídricas e dos efeitos das mudanças climáticas afetando a qualidade da fruta e produtividade. Em áreas não tropicais, espera-se que a restrição do soluto limite a produção de espécies perenes nas regiões áridas e semiáridas (MARTINICH et al., 2019).

Os efeitos da mudança do clima podem ter um grande impacto sob as frutas, pois afeta a totalidade nas propriedades estruturais, organolépticas e produtivas da planta, e por isso que países como Reino Unido, adotam estratégias como métodos de irrigação, para manter a produtividade e alta qualidade da fruta (ELSE & ATKINSON, 2010). Segundo Araújo (2015), uma das principais exigências do gênero é a irrigação na época de escassez de chuvas, sendo que reduz a absorção da água e nutrientes absorvidas pelas raízes, ocasionando-se uma mudança na

anatomia, fisiológica e bioquímica, devido ao estresse hídrico. As plantas sofrem diversas modificações ao longo dos anos quando é alterado os recursos que precisam para subsistir.

A água nas plantas é um fator essencial para o desenvolvimento e crescimento, porém, o déficit hídrico ou excesso do recurso pode ocasionar um estresse hídrico (BALBOA, 2019). O mesmo autor descreve que, quando existe variações no conteúdo da umidade, as plantas podem sofrer alterações nos processos metabólicos, bioquímicos e estruturais, refletindo sobre o transporte e absorção de água e nutrientes pelas mesmas.

Os fatores abióticos são considerados limitantes para o setor agrícola, por afetar a produtividade, sendo que o estresse abiótico tem incentivado o interesse dos pesquisadores, por serem responsáveis pelos impactos do crescimento e produtividade da planta. Outro fator importante, o estresse ocasionado por deficiência hídrica, ocasionando uma reação comum e natural dentro do ecossistema e causando disfunções pelo decréscimo de turgor das células (essencial nos processos metabólicos) (KIM et al., 2020).

O transporte da água na planta inicia das raízes para o dossel pelos vasos condutores do xilema, através de um gradiente de pressão impulsionado pela evapotranspiração (WASON et al., 2021) sendo também pela Teoria Tensão-Coesão descrita por Dixon (1984). Conforme o solo perde umidade os estômatos regulam a perda de água e evitam o aumento da pressão no xilema, dentro de um período de tolerância do sistema hidráulico como proteção do xilema à embolia, que na ausência de reabastecimento da água transpirada, aumenta-se a tensão nos vasos xilemáticos ocasionando a quebra da coluna de água e formação de bolhas de ar por cavitação (CHOAT et al., 2012; CHARRIER et al., 2016; TRUEBA et al., 2017).

De acordo com Choat (2012), a resistência a embolia nas plantas é relacionada entre a pressão do xilema e a perda de condutividade hidráulica. (PCH), assim o P_{50} , atua como indicador de resistência à embolia, o qual determina o valor do potencial químico da água (Ψ_w).

Outro parâmetro para determinar o PCH e embolia nas plantas, algumas espécies apresentam a capacidade para mudar suas características anatômicas dependendo do nível do estresse hídrico, como também modificando a densidade de vasos do xilema para determinar a vulnerabilidade à embolia causada pelos fatores ambientais (DÓRIA et al., 2016). Para Davis et al., (1999) o diâmetro dos vasos do xilema exerce uma influência significativa no vigor da planta e está diretamente ligado ao fenômeno da embolia. Vasos xilemáticos com diâmetros maiores tendem a ser mais suscetíveis que aqueles de menor diâmetro. Além disso, a densidade de vasos também desempenha um papel crucial na resistência à cavitação. (DAVIS; SPERRY; HACKE, 1999).

O presente trabalho expõe uma revisão sobre a situação no Brasil do gênero *Rubus* spp especialmente nas culturas da amora-preta e Framboeseira, com aspectos relacionados ao transporte da água na planta e a influência das características como diâmetro de vasos, número de vasos e a frequência de do xilema.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo Geral

Caracterização da estrutura anatômica dos ramos de amorira-preta e framboeseira do gênero *Rubus* spp. E avaliação da perda da condutividade hidráulica e potencial hídrico em amoreira-preta, na região do município de Morro Redondo.

1.1.2 Objetivo específico

Caracterizar a estrutura anatômica dos vasos do xilema da variedade 'Tupy', assim como a perda de condutividade hidráulica (PCH) e potencial hídrico.

Caracterizar a estrutura anatômica dos vasos do xilema da cultura de framboesa 'Fall Gold', 'Heritage' e 'Heil Face'.

1.2 Hipóteses

As estruturas anatômicas do gênero *Rubus* spp. podem sofrer variações dependendo das condições edafoclimáticas estabelecidas.

As plantas de amora-preta podem ser mais tolerantes ao estresse hídrico comparada a framboesas.

Cultivares das culturas da amoreira-preta e framboeseira podem apresentar características distintas quanto a estrutura anatômica dos vasos do xilema; a perda de condutividade hidráulica e do potencial hídrico

2 Revisão de literatura

Serão abordados os principais pontos envolvidos na pesquisa que trata da hidráulica das duas espécies utilizadas neste trabalho, a amoreira-preta e a framboeseira. Inicialmente será descrito os aspectos socioeconômicos da cadeia de frutas vermelhas, os fundamentos físico-fisiológicos e uma descrição da cultivares utilizada em cada uma das espécies.

2.1 Socioeconomia das frutas vermelhas

As pequenas frutas no Brasil têm um grande destaque pelas características nutricionais, por isso, tem despertado o interesse do produtor, comerciantes e consumidores e pesquisadores (CURI et al., 2015).

Os maiores produtores da cultura de amoreira estão localizados nas regiões do Sul e Sudeste do Brasil, Rio Grande Do Sul, Santa Catarina, Paraná, Minas Gerais, São Paulo e Espírito Santo (ANTUNES et al., 2014).

A cultivar de amoreira-preta Tupy é considerada a mais importante nas regiões onde o clima é ameno no Brasil, devido a sua adaptabilidade, produtividade, qualidade da fruta, baixo custo de produção e reduzido uso de defensivos agrícolas (RASEIRA et al., 2004; SOETHE et al., 2016).

A framboeseira tem grande importância na América do Norte e leste europeu, com produtividade mundial de 870 mil t (CORTEZ et al., 2019). Os maiores produtores desta fruta são Rússia (165 mil t), México (130 mil ton), Sérvia (127 mil ton), Polónia (115 mil ton) e Estados Unidos (99mil ton) segundo a FAO (2020). No Brasil foi introduzida na serra da Mantiqueira, na cidade Campos Jordão (São Paulo), na década de 1950 (RASEIRA et al., 2004).

No Brasil a framboeseira, tem apresentado um crescimento favorável devido ao alto valor agregado da fruta e a baixa oferta no mercado (CORTEZ et al., 2019). Na produtividade dessa cultura o Rio Grande do Sul posiciona-se como uns dos maiores produtores, seguido por São Paulo e Minas Gerais (ABAURRE et al., 2017). O consumo de framboesa tem aumentado no Brasil pelo alto conteúdo de Vitamina C e B6, minerais e compostos fenológicos (antioxidantes,

anticancerígenos e anti-inflamatório), classificados como fruta diurética, baixas calorias e boa proporção de água (GIOVANEELI et al., 2014). A framboesa apresenta grande perecibilidade na pós-colheita, assim, a comercialização in natura, deve se dar em áreas mais próximas da sua produção. Outra forma de comercialização é através de conservas, geleias, sorvete, suco, iogurte e polpa congelada.

2.2 Água na planta

A disposição da vegetação sobre a terra se dá pela disponibilidade da água. As plantas têm uma porcentagem de água que varia entre 80 a 90% do peso fresco. A água permite que gases e minerais, possam adentrar as células e distintos órgãos da planta. Mas também atua como reagente para cumprir processos fisiológicos, fotossínteses e processo metabólicos como a hidrólises do amido em açúcar, auxilia no crescimento e desenvolvimento da planta. (SILVA & FREITAS, 1998).

Castro (2006), descreve que as plantas estão classificadas em três grupos: hidrófilas, mesófilas e Xerófitas, conforme sua relação com a água, plantas submersas, plantas adaptadas a diferentes condições de alta transpiração e falta de água, respectivamente. A estrutura de cada planta pode determinar as estratégias relacionados ao transporte de água. Além disso, as plantas podem modificar sua estrutura e fisiologia, dependendo do hábitat, das características do solo, temperatura e a disponibilidade de água (SILVA & FREITAS, 1998).

2.2.1 Absorção de água nas plantas

A absorção de água pelas plantas é realizada através das raízes, por meio dos pelos radiculares, também conhecidos como zona pilosa (PAIVA & OLIVEIRA, 2006). Segundo Larcher (1995), os pelos radiculares são células epidérmicas com prolongamento que se estendem entre as partículas do solo. Assim, a sua quantidade determinará maior ou menor possibilidade de absorção da água. Além

disso, a planta pode absorver água do solo pelo o potencial hídrico das raízes mais finas.

A seção transversal da raiz primária revela uma organização em três sistemas de tecidos: dérmico, córtex e cilindro vascular. Ao se examinar de fora para dentro, identificamos a epiderme como a camada mais externa, composta por células de parede celular delicada. Em seguida, o córtex, composto por células irregulares e espaços intercelulares. Na extremidade do córtex, encontramos a endoderme, cujas células desempenham um papel crucial ao reforçar-se com suberina ou uma combinação de suberina e lignina, formando as "faixas ou estrias de Caspary". No cilindro vascular, o periciclo é notável, abrigando os feixes liberianos e xilemáticos internamente (CASTRO, 2006).

A movimentação da água ocorre nas camadas mais externas da raiz de duas formas: por apoplasto, percorrendo os espaços intercelulares, ou por simplasto, atravessando as células por meio dos plasmodesmos. Dentro da zona da endoderme, a rota principal para o transporte de água ocorre via apoplasto. Desde a endoderme até alcançar os vasos xilemáticos, a água é conduzida via simplasto (PAIVA, 2006).

2.2.2 Transporte de água

A estrutura predominante nas plantas compreende um sistema condutor de água que percorre o seu interior. Esse sistema vital é conhecido como xilema, desempenhando um papel central não apenas no transporte de água, mas também na condução de solutos, na sustentação e no armazenamento de nutrientes. Por sua vez, o floema assume a responsabilidade de transportar os nutrientes. O xilema exibe características estruturais distintas, constituindo um sistema vascular coeso que se estende de maneira contínua por todo o corpo da planta (COSTA, 2001).

O xilema é constituído por três tipos de células condutoras: os traquedes, elementos de vasos, as fibras e parênquima xilemática. No caso específico do parênquima, em plantas lenhosas, essas células permanecem vivas. As células do parênquima se organizam em raios que surgem na estrutura da madeira das árvores, além de estarem distribuídas de forma mais ampla dentro do tecido

xilemático. As fibras, por outro lado, que permeiam os feixes, conferindo resistência à estrutura. Os elementos condutores representam as células responsáveis pelo transporte da solução xilêmica. Quando a água e os minerais alcançam os vasos xilemáticos, o movimento é regido pela teoria de Coesão-Tensão (COSTA, 2001), um princípio fundamental na compreensão desse processo.

2.2.3 Teoria de Coesão- Tensão

Esta teoria foi desenvolvida por Dixon e Joly (1895), sendo a teoria mais aceita, de acordo com o movimento ascendente da seiva bruta pelo conduto do xilema na planta. Conseqüentemente deve-se a perda de vapor de água através dos estômatos. A teoria descreve que o motor para o movimento da seiva bruta no conduto, o responsável é a tensão que é a pressão hidrostática negativa (transpiração).

Sendo um gradiente de pressão de vapor entre os espaços intercelulares e superfície da folha, o potencial hídrico (energia livre das moléculas) diminui, conseqüentemente influencia pela força de coesão entre as moléculas de água, as quais as moléculas deslocar-se nas células xilemáticas mais próximas, onde o potencial hídrico é mais alto, para o mesófilo transita desde o potencial mais alto até o mais negativo. Depois vai se gerando um gradiente de potencial hídrico nas colunas de água do xilema, com uma força chamada tensão que permite o movimento de água solo-planta-atmosfera (TAIZ. e ZEIGER, 2010).

Enquanto a integridade da coluna de água, no interior dos vasos do xilema, ocorre pela coesão entre as moléculas de água e adesão dessas moléculas às paredes do vaso condutor, formando uma linha continua que infunde a tensão. Para estas três forças relatadas permitem manter o processo de transpiração, sendo responsável pela geração de um déficit hídrico e absorção de água por meio da raiz (RAVEN, P. et al 2013).

2.2.4 Potencial químico da água nas plantas (Ψ).

A água em seu estado líquido mantém um fluxo onde as moléculas estão em movimento constante (AGUIRRE-GUTIÉRREZ et al., 2019) Esse movimento das moléculas depende de um sistema particular de energia livre, devido a isso, para medir a magnitude e avaliar o estado da energia livre na planta é por meio do potencial químico da água (Ψ). Este parâmetro pode se expressar em unidades de energia por unidade já seja de massa ou volume, a unidade de maior uso é megapascal (Mpa= 10 bares) e como também se utiliza à atmosfera (1 bar = 0.987).

O fluxo de água dentro das plantas ocorre de maneira espontânea, seguindo o gradiente de energia livre. Nas regiões com maior disponibilidade de água, ou seja, aquelas com alta energia livre por unidade de volume (representadas por Ψ mais elevados), a água se move em direção às áreas de menor volume hídrico (indicadas por Ψ mais baixos) (LOOMIS R.S. et al., 1992). Em seu estado puro, a água possui uma energia livre mais alta, permitindo que as moléculas se movam livremente. Mesmo quando solutos estão presentes sem interação com outros elementos e com pressão normal, o potencial é mantido em zero. O potencial hídrico é influenciado por diversos fatores, como o efeito estomático, a presença de solutos, forças métricas que retêm água em matrizes sólidas ou coloidais, bem como a influência da altitude, pressões positivas, negativas e tensão. Esses fatores coletivamente afetam o potencial hídrico do solo ou da planta, resultando na soma algébrica dos componentes a seguir:

$$\Psi_w = \Psi_s + \Psi_p + \Psi_m + \Psi_g$$

O termo Ψ_s , representa potencial de soluto ou potencial osmótico, é o efeito dos solutos dissolvidos sobre o potencial, aonde as moléculas dipolares da água são atraídas e retidas pelo soluto (cátions e ânions). O potencial osmótico apresenta um valor negativo. Potencial de Pressão (Ψ_p), representa a pressão hidrostática (valores positivos ou negativos), vai depender se a água está submetida a uma pressão ou tensão. Para Ψ_m , representa o grau de retenção de água, entre a

interação das matrizes sólidas ou coloides e para Ψ_g é a influência do campo gravitatório e comumente é positiva (FAUBA. 2004).

No sistema solo-planta-atmosfera, o potencial pode ser avaliado em distintos pontos da via do movimento de água desde o solo até atmosfera, sendo que pode ser influenciada pelas características ou dos componentes.

2.2.5 Perda de condutividade hidráulica (PCH)

A condutância hidráulica (K), define-se como o fluxo de água (Kg m s^{-1}), pela gradiente de pressão (MPa), responsável pelo transporte de água através da planta pelos sistemas considerados. Steudle (1993) descreve que a água se transporta aos órgãos da planta por três rotas: apoplasto, simplasto e transmembrana. A condutância hidráulica é considerada como o principal fator que controla movimentação da água através do sistema solo-planta. Segundo Passioura (1988), se diferencia na condutância hidráulica da raiz, influencia no transporte da água na parte aérea da planta, influenciando no potencial hídrico da folha e nos processos fisiológicos da planta. De modo, a capacidade hidráulica do sistema vascular é essencial para regular a condutância estomática e a troca gasosa (SPERRY et al., 1993, HUBBARD et al., 2001, LO GULLO et al., 2007).

2. 3 Risco do déficit hídrico: cavitação e alterações de processos metabólicos

Quando os vasos do xilema de uma planta cavitam, indica que existe uma fragmentação da força de coesão do líquido xilemático, formando bolhas no seu interior, que vai se espalhando até produzir embolia. Sendo que a presença da embolia nos condutos xilemáticos vai influenciar no movimento do fluxo da água, porém, o xilema tem a capacidade de minimizar o possível efeito por que possui pontuações através das quais pode continuar o fluxo da água, mas também a cavitação é mais frequente nos condutos de maior largura e pontuações maiores (VALLADARES et al., 2004).

A presença da cavitação pode acontecer por três fatores: presença de patógenos (fungos), congelamento (descongelamento pela formação das bolhas do ar) e déficit hídrico. Quando numa planta apresenta déficit hídrico quer dizer que existe um aumento da transpiração, sendo que aumenta a tensão dentro dos vasos, criando bolhas de ar. As plantas tem algumas estratégias para evitar a cavitação, um exemplo nas plantas herbáceas, tratam de igualar a pressão atmosférica através do aumento da pressão hidrostática positiva durante a noite. A pressão radical é devido à pressão do aumento do soluto no xilema da raiz, favorecendo a ascensão da água através do conduto xilemático (VALLADARES ET AL., 2004).

2.3.1 Tolerância ao déficit hídrico

O déficit hídrico ocorre quando um dos principais responsáveis pelo estresse nas plantas, influenciando nas etapas fisiológicas. Os efeitos da deficiência hídrica na célula vegetal sofrem uma desidratação, conseqüentemente a redução do déficit hídrico e da resistência hidráulica nos vasos do xilema. (TAIZ et al., 2017).

Para se manter a turgência na célula, existe um ajuste osmótico. A presença da turgência permite o desenvolvimento dos processos habituais da planta. Quando o potencial químico da água muito baixo durante a seca, a planta sintetiza os compostos osmoprotetores, para ajudar à retenção de água no citoplasma ou estabilizado as membranas (AZCÓN- BIETOJ, et al., 2008).

Segundo Syvertsen (1994), as características anatômicas são importantes para que a planta possa puxar mais água do solo, manter alto potencial hídrico da copa, maior turgência na célula, dessa forma maior eficiência fotossintética. Durante a presença do estresse hídrico severo, a raiz da planta tem a capacidade de mudar a estrutura anatômica (ZIMMERMANN et al., 2000).

2.4 Espécies utilizadas na pesquisa

2.4.1 Amoreira-preta

Pertence ao gênero *Rubus*, da família Rosaceae, apresenta 12 subgêneros, sendo dois com maior importância econômica *Eubatus* (amoras) e *Idaeobatus* (framboesa). As características que apresenta esta cultura quanto a seu hábito de crescimento (ereto, semiereto ou rasteiro), o desenvolvimento e crescimento do sistema radicular é importante para o suporte da planta e das suas ramificações, obtendo melhor qualidade da cultura e frutas além de facilitar os tratamentos culturais (como poda, colheita, fertirrigação) (PIO et al., 2012).

De acordo com Jennings (1981), na Califórnia, o cientista Judge Logan conduziu um dos programas de melhoramentos genéticos na cultura de amoreira-preta. Segundo Fachinello et al. (1994), diferentes espécies de amoreira-preta são nativas do Sul do Brasil. No entanto, a partir da obtenção de mudas e cultivares nos Estados Unidos, começaram os trabalhos de melhoramento genético no centro de pesquisa EMBRAPA Clima Temperado no ano 1972 (MOREIRA, 1989).

Depois programas de melhoramento genético, resultaram as cultivares Guarani, Caingangue, Xavante e Tupy. Alguns anos depois, o cultivo foi expandido para o sul de Minas Gerais, São Paulo, Paraná e Santa Catarina (SCHAKER; ANTONIOLLI, 2009).

No ano de 1974, foi feita a primeira plantação, no município de Canguçu (RS). As cultivares que foram introduzidas no país provenientes da Universidade de Arkansas, Estados Unidos, Brazos, Comanche e Cherokee (RASEIRA et al., 1984; RASEIRA et al., 1992).

Amoreira-preta é uma espécie arbustiva (de porte ereto ou rasteiro), com ramos de cor castanho com presença de espinhos ou não, com folhas imparifolioladas. (ATTÍLIO, 2009). A formação das flores ocorre na axila das folhas de ramos do ano. A flor apresenta um receptáculo desenvolvido, a cor das pétalas é branca, salpicadas de rosa. O cálice é formado por cinco sépalas e a corola por cinco pétalas (POLING, 1996; ANTUNES; RASEIRA, 2004). Mas há genótipos com um número maior de pétalas os quais em geral são usados como ornamentais.

(ANTUNES; HOFFMANN, 2012; PIO; GONÇALVES, 2014). Do cruzamento entre as cultivares Urugua' x Comanche, realizado na EMBRAPA Clima Temperado, no ano 1982, resultou a cultivar Tupy.

2.4.2 Framboeseira

A Framboeseira (*Rubus idaeus* L.), pertence à família Rosaceae, ao gênero *Rubus* com origem na China (Thompson, 1997), tem uma ampla diversidade de espécies com número de cromossomos de $x=7$, e apresenta níveis de ploidia que podem variar de diplóide a dodecaplóide (JENNINGS, 1988; MENG & FINN, 2002).

O cultivo do framboeseira ocorre nas regiões de clima temperado da Europa e América do Norte (FAO, 2020). Sobressai pela sua coloração, sabor e aroma, além de ter alto conteúdo nutricional (antocianinas, aminoácidos e vitaminas) (ANTONIOLLI, 2011). As espécies de uso comercial pertencem ao subgênero *Idaeobatus* (FORTER et al., 2019). O subgênero composto das espécies *R. idaeus* L., subsp. *Idaeus*, de cor avermelhada, e da framboesa norte-americana das espécies *R. occidentalis* L., de coloração preta (GRAHAM & BRENNAN, 2018). A framboesa foi domesticada e reproduzida controlada na década de 1920, atingindo um número de 100 cultivares lançadas em 1981 e 2001 (MOORE, 2008).

3. Capítulo 1 - Condutância Hidráulica e anatomia de vasos do xilema em amoreira-preta

3.1. Introdução

A pesquisa sobre déficit hídrico no gênero *Rubus* é ainda reduzida, mas estudos realizados com framboeseira (*Rubus idaeus* L.) indicam que a planta pode tolerar períodos curtos de déficit hídrico. Durante períodos prolongados, a planta sofre impactos negativos no crescimento e na produção de frutas, afetando a frutificação e, por consequência o rendimento para o próximo ciclo de cultivo (DA SILVA et al., 2020).

A amoreira-preta, pertence ao grupo das espécies produtoras de frutas vermelhas, é uma importante cultura na cadeia de frutas do Brasil. A Região Sul é responsável pela maior parte dos plantios, representando 50% da produção nacional, com uma área cultivada de 239 hectares e uma produtividade média de 9,24 toneladas por hectare (ANTUNES et al., 2014; BARBOSA et al., 2019). Os principais estados produtores são Rio Grande do Sul, São Paulo, Minas Gerais, Paraná, Santa Catarina e Espírito Santo. A cultivar de amoreira-preta Tupy é a mais plantada no Brasil, devido às suas características e propriedades adaptativas no setor agrícola (CURI et al., 2015).

A água desempenha um papel crucial para as plantas, representando a maior parte de sua massa fresca, de aproximadamente 50 a 90%, sendo um elemento essencial para diversas atividades vitais, incluindo a fotossíntese e a transpiração (FREITA et al., 2015,). O transporte da água começa nas raízes por meio dos pelos radiculares, seguindo três rotas possíveis: apoplasto, simplasto e transmembrana. Em seguida, a água é conduzida através dos vasos do xilema, impulsionada pela teoria de coesão-adesão e pressão hidrostática negativa. Por fim, ocorre a transpiração, que é a liberação de água no estado gasoso, induzida pela tensão. Em condições de déficit hídrico, ocorre uma forte tensão na seiva do xilema, aumentando o risco de embolia nos vasos condutores da planta (DIXON; JOLY, 1894).

A cavitação hidráulica nos vasos do xilema pode levar à morte parcial ou total da planta (GAUTHEY et al., 2020). Em resposta ao déficit hídrico, as plantas possuem mecanismos de defesa, como o ajuste osmótico e o fechamento estomático, que reduzem a perda de água por transpiração e minimizam o potencial hídrico do xilema (energia livre associada às moléculas de água), a fim de retardar os níveis que induzem à cavitação (LEITE et al., 2023).

Um fator a considerar no estudo sob o uso eficiente de água, são as características dos vasos condutores do xilema, relacionados com a condutância hidráulica da planta. A menor condutância hidráulica induz à redução da condutância estomática (G_s), ao fechamento dos estômatos e à diminuição da taxa fotossintética (JONES; SUTHERLAND, 1991; BRODRIBB, 2017). O potencial da água do caule também é influenciado pela condutância hidráulica que está relacionada com as características anatômicas dos vasos do xilema (TYREE; SPERRY, 1989).

Dessa forma, é de suma importância desenvolver novas estratégias de implantação para os produtores agrícolas que visam melhorar o rendimento e a gestão da cultura da amoreira-preta. Portanto, é necessário um maior entendimento de tais processos para otimizar o manejo da água e obter melhores resultados na produção de amoreiras-pretas.

Diante dessa problemática, objetivou-se com o presente estudo determinar a influência das relações hídricas e estruturais dos vasos condutores da amoreira-preta, durante as fases de verão e outono, através da avaliação de variáveis fisiológicas e anatômicas do xilema, e das condições climáticas ambientais na região do município de Morro Redondo/RS.

3.2 Material e métodos

3.2.1 Localização, material vegetativo e características do solo

O experimento foi realizado em pomar comercial da variedade Tupy, foi implantado em 2003, espaçamento de 3m X 0,70m, situado no município de Morro Redondo/RS, coordenadas geográficas: latitude 31°31'S e longitude 52°35'W., Classificação climática Cfa segundo Köppen, durante as estações de verão e outono de 2022. As plantas são conduzidas sem uso de irrigação. O solo do local é classificado como Cambissolo húmico eutrófico típico (MOURA, 2013). Usando por cada tratamento seis ramos produtivos da cultivar Tupy para as avaliações de perda percentual de condutância (PLC), juntamente com as avaliações de caracterização do diâmetro dos vasos do xilema, foram coletados dois ramos por planta e levados para o Laboratório de Fisiologia de Plantas Frutíferas de Clima Temperado, situado no prédio Prof. Fachinello, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel (FAEM), Campus Capão do Leão.

3.2.2 Avaliação da perda de condutância hidráulica (PCH)

Para as avaliações foram selecionados ramos de amoreira-preta sadios com 130 cm comprimento e aproximadamente 6 mm de diâmetro. Durante a coleta, a região onde os ramos foram podados foi submergida em um recipiente com água destilada, para minimizar o efeito da atmosfera nos vasos condutores. Após a poda, os ramos foram postos em baldes, deixando a parte basal completamente submersa para transporte até o laboratório.

No laboratório, os ramos foram aclimatados em baldes contendo 1/3 de água destilada a uma temperatura de 23 °C. Em seguida, os ramos foram completamente submersos em água destilada em bandejas. Utilizou-se o aparelho Xyl'em® (Bronkhorst, versão 2, 2012) para cortar os segmentos a serem utilizados. Todos os cortes foram realizados sob a água, descartando-se os primeiros 15 centímetros das extremidades dos ramos para evitar a influência da atmosfera nos vasos do xilema. Os segmentos foram cortados em comprimentos de 5 cm, totalizando quatro

segmentos por ramo. Foi utilizada uma lâmina de corte precisa para minimizar resíduos de material vegetal e evitar rachaduras na epiderme que possam obstruir a condutividade dos vasos xilemáticos.

No Xyl'em®, cada segmento foi conectado a uma mangueira de silicone transparente, com um diâmetro de 7 mm, que foi fixada em uma torneira do tipo Luer de três pontos para dar início aos testes. A embolia nativa foi medida utilizando uma solução desgaseificada e filtrada (0,22 µm) de 10 mM KCl, aplicando um gradiente de pressão hidrostática de 3 kPa. Em seguida, esses segmentos passaram por um processo de saturação do vaso do xilema, utilizando a mesma solução a uma pressão de 1 MPa até que não houvesse mais a emissão de bolhas de ar pelas extremidades das amostras. Foram feitas quatro novas medições de condutância hidráulica (K), até atingir o máximo de medições de K. Os valores de PLC (%) foram calculados expressando a condutância hidráulica nativa como uma porcentagem do máximo de condutância hidráulica (ABREU et al., 2021, DE AGUIAR JUNIOR et al., 2023), utilizando-se a equação [1]:

$$PLC = 100 \cdot \left(\frac{1 - \text{native } K}{\text{Maximum } K} \right) \quad \text{Eq. [1]}$$

Para a análise de condutância teórica (Kh, kg m MPa⁻¹ s⁻¹) utilizou-se a fórmula Hagen-Poiseuille, modificada, utilizando os diâmetros médios do xilema de cada foto, estimando a condutividade hidráulica teórica por dia (POORTER et al., 2010; ZHANG et al., 2023, DE AGUIAR JÚNIOR et al., 2023) Eq. [2]:

$$k_h = \left(\frac{\pi \rho}{128 \eta} \right) \sum_{i=1}^n (d_i^4) * DV * 3600 \quad \text{Eq. [2]}$$

Onde: d é raio do vaso na unidade em metros, ρ é a densidade do fluido (assim como 1000 kg × m⁻³ ou igual à da água a 20 °C), η é a viscosidade (assim como 1 × 10 Mpa⁻⁹ s⁻¹, ou igual à da água a 20 °C), NMV é a densidade de vasos (número de vasos mm⁻²) e 3600 é quantidade de segundos em 1 hora (TOMBESI et al. 2010).

3.2.3 Avaliação das características anatômicas dos ramos da amoreira-preta

Para as análises histológicas foram utilizados os mesmos segmentos, sendo conservados em frascos nas proporções de 50 mL de ácido acético glacial, 50 mL de formaldeído (a 37%) e 900 mL de álcool etílico. Isso incluiu o corte transversal dos segmentos e o repouso das amostras em diferentes concentrações de álcool (70%, 50% e 30%) por diferentes períodos de tempo (10, 5, e 2 minutos, respectivamente). Em seguida, as amostras foram coradas com Safranina a 2% para melhor contraste. Para fixação das amostras nas lâminas foi utilizada Gelatina de Glicerina de Kaiser para prolongar a viabilidade das amostras (DE AGUIAR JÚNIOR et al., 2023).

As lâminas obtidas no processo foram analisadas utilizando uma Câmera digital (AxioCam ERc 5s) acoplada ao microscópio óptico (10x), através do software Axion Vision® (versão 4.8.2 SP2 (06-2012)). A partir das imagens obtidas foram mensurados os seguintes parâmetros anatômicos: Largura do xilema secundário (LXS), número médio de vasos (NMV), diâmetro médio dos vasos (DMV) e área média de vasos (AMV).

Para a análise dos ramos, foram selecionadas quatro áreas aleatórias de cada amostra, com uma área aproximada de 1 mm² (Figura 1). Essas áreas foram utilizadas para determinar a distribuição de frequências dos diâmetros médios dos vasos. Esses foram categorizados em classes: 0 – 25 µm, 25 – 50 µm, 50 – 75 µm, 75 – 100 µm e > 100 µm. Seguiu-se uma adaptação da metodologia descrita por Tombesi (2011) e realizou-se a distribuição de frequências dos diâmetros de vasos conforme Barigah e Gyenge (2021) e De Aguiar Júnior (2023).

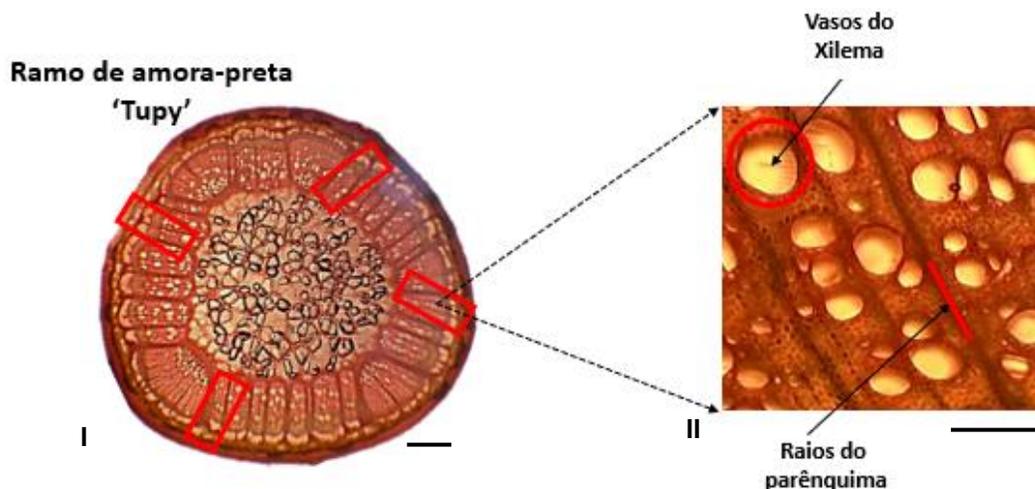


Figura 1 – Seção transversal de um segmento de um ramo de amora-preta da variedade ‘Tupy’ (*Rubus* spp). Barras: I=500 µm e II= 100 µm, 4X e 10X. Fonte: Katia Ruiz Canul (2022).

3.2.4 Dados climáticos

Foram obtidos da estação meteorológica da Embrapa Clima Temperado (Estação Experimental Cascata), base física mais próxima do local dos experimentos, no município do Morro Redondo/RS (Figura 2).

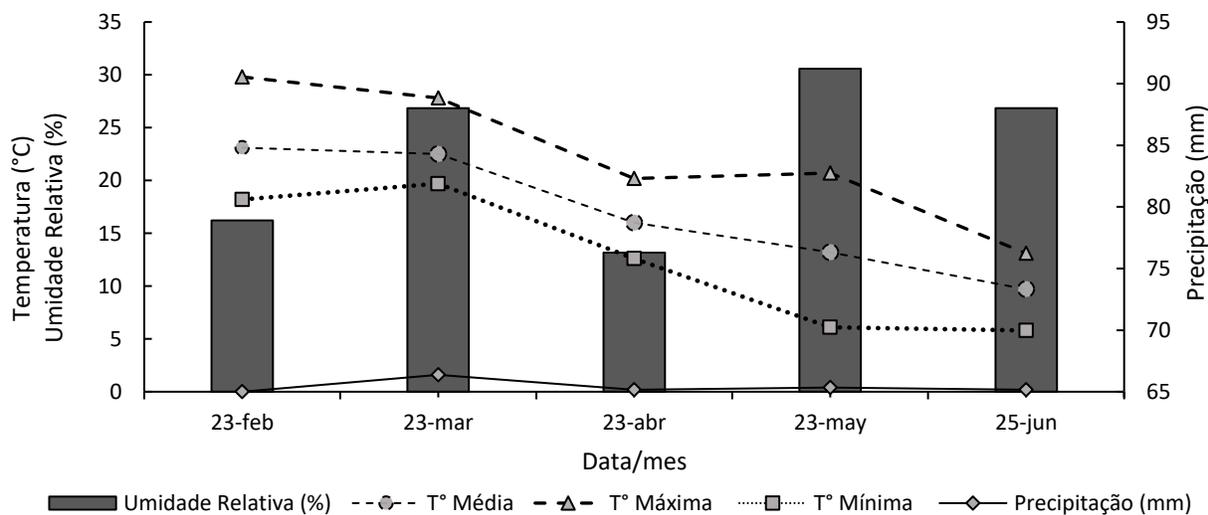


Figura 2 – Temperatura dos meses avaliados (°C), Temperatura média (T° Média), máxima (T° Máxima) e mínima (T° Mínima), Precipitação (mm) e Umidade Relativa (%), dados obtidos da estação da Embrapa Clima Temperado, RS, no ano de 2022.

3.2.5 Delineamento Experimental

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado em esquema unifatorial, avaliando-se a cultivar (Tupy) por cinco meses, desde fevereiro até junho, para todos os parâmetros descritos anteriormente (PCH, Kh, LXS, NMV, DMV, AMV). Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) a 5% de probabilidade, sendo testados quanto à normalidade pelo teste de Shapiro-Wilk e de homocedasticidade dos erros por Bartlett e Hartley. Quando pertinente, aplicou-se o Teste de Tukey ($p < 0,05$) para comparação entre as médias dos tratamentos, utilizando-se o software SISVAR (FERREIRA, 2016).

3.3 Resultados e discussão

Os estudos sobre a anatomia do xilema são necessários para mensuração do fluxo de seiva, permitindo estabelecer possíveis repostas para os processos de crescimento e desenvolvimento das plantas.

Na Tabela 1 é apresentada a análise da variância dos dados de condutância hidráulica (PLC), diâmetro médio dos vasos (DMV), condutância hidráulica teórica (Kh) e largura do xilema secundário (LXS). Observa-se resposta diferente, significativamente da variação temporal dentre os parâmetros avaliados.

Tabela 1 – Análise de Variância da Condutância Hidráulica, Diâmetro médio de vasos, condutância hidráulica teórica, Largura do xilema secundário, da cultivar Tupy, no município de Morro Redondo-RS, no 2022.

Fonte de variação	Variáveis (QM)							
	GL	PCH (%)	GL	DMV μm^2	GL	Kh ($\text{kg mMpa}^{-1} \text{ hora}^{-1}$)	GL	LXS (μm)
Trat (meses)	4	136575*	4	1711.8*	4	7,50E-11*	4	97848*
Blocos	5	13,089	3	437,73	2	3,76E-11	4	2781
resíduo	20	19,737	12	437,73	8	9,00E-12	16	9448
Total	29		19		14		24	
Cv (%)		34,72		16,82		19,01		11,91
p		0.0011		0.0103		0.00593		0.0309

* Significativo ($p \leq 0,05$). QM – Quadrado médio; GL – Graus de liberdade; PCH – Perda de Condutância Hidráulica; DMV – Diâmetro médio de vasos; Kh – condutância hidráulica teórica; LXS – Largura do xilema secundário.

Foram observadas diferenças significativas nas variáveis analisadas entre os meses (Tabela 2). No caso do Percentual de Perda da Condutividade hidráulica (PCH), o mês de março apresentou valores superiores comparados aos meses de abril, maio e junho, enquanto não houve diferenças significativas entre fevereiro e os demais meses. O transporte da água por meio da condutância hidráulica a longa distância, pode ser afetado pela presença de embolia no conduto do xilema. Assim, as bolhas de ar formadas nestes condutos deveriam diminuir a condutividade hidráulica dependendo dos elementos ativos do xilema, o processo de recomposição dos condutos, pode ocorrer quando existe uma pressão positiva no xilema, mas também o resultado pode variar dependendo à idade da planta, já que apresenta maior desenvolvimento e crescimento, para a absorção de água que encontrar-se mais profunda, sendo que a estrutura radicular mais desenvolvidas tem a capacidade de captação de água mais eficiente (TANEDA et al., 2021).

Em relação ao fluxo de seiva, a condutância hidráulica teórica foi menor no mês de março, possivelmente influenciada pelo diâmetro e densidade dos vasos.

Segundo Zwieniecki e Holbrook (1998), o aumento da condutância hidráulica deve-se à reparação da embolia nos intervalos de tempo curto (durante a noite) e de algumas horas após a transpiração (SALLEO et al., 1996; TYREE et al., 1999). Outra possível razão é da ocorrência de mecanismo de compensação do PLC, chamado efeito iônico, que consiste na indução pela embolia reduzida com o aumento da condutância nos condutos do xilema em funcionamento pelo incremento síncrono na concentração iônica do xilema (NARDINI et al., 2011).

Em relação à largura do xilema secundário (LXS), nos meses de março, abril e maio apresentaram maior LXS. Enquanto ao número de vasos de xilema (μm^2), foi observada diferença significativa entre os meses, sendo que as amostras coletadas em abril e junho apresentaram maior número de vaso em relação a maio e fevereiro. Não foram encontradas diferenças significativas nos diâmetros médios e áreas médias dos vasos do xilema entre os meses avaliados (Tabela 2).

Os grupos de vasos maiores podem viabilizar rotas alternativas quando alguns se encontrarem embolizados em ambiente seco. Outra teoria sob a

condutância teórica afirma que quando existe uma alta conectividade dos vasos, a resistência à embolia é reduzida, acrescentando o risco de embolia por propagação do ar (HACKE et al., 2017; TOMBESI; ALMEHDI; DEJONG, 2011). Na presente pesquisa os resultados obtidos coincidem com a teoria de Calquist, com número médio de vasos ($94 \mu\text{m}^{-2}$), mas com diâmetro médio dos vasos ($44,56 \mu\text{m}^{-2}$).

O número e o diâmetro de vasos do xilema são elementos importantes para o transporte de água da raiz até as folhas, influenciando na sua eficiência (ZHANG et al., 2023) Pesquisas realizadas com pessegueiro e macieira, descrevem que pode haver diferença entre o diâmetro dos vasos, de acordo com o diâmetro das hastes. Maior diâmetro de vasos na base auxilia no aumento da resistência ao fluxo de água, influenciado pela altura da planta (TOMBESI et al., 2010; TOMBESI et al., 2011; HACKE et al., 2017).

Observa-se que a variação do diâmetro do vaso condutor está associada ao hábito da planta, sendo que as plantas arbustivas apresentam vasos estreitos e plantas lenhosas mais largos (APGAUA et al., 2017).

O déficit hídrico é um fator limitante a ser considerado para ocorrência da embolia nas plantas (ENNAJEH et al. 2010). Por tais razões, as condições climáticas, a nível de precipitações e umidade relativa do ar, podem impactar nas características de diâmetro e densidade dos vasos do xilema (AYUP et al., 2015). Resultados de pesquisas realizadas por Liu et al. (2019) relatam correlação positiva entre o diâmetro de vasos do xilema e vulnerabilidade à cavitação em condições de déficit hídrico, no entanto, plantas com vasos condutores menores apresentam maior resistência a efeitos de embolia (DAVIS et al., 1999; SHTEIN et al., 2011).

O ambiente e fatores genéticos, podem influenciar na formação e tamanho dos vasos do xilema e minimizar o embolismo na planta, de acordo com Ayup (2015), a propriedade de transporte e vulnerabilidade ao embolismo estabelece a distribuição geral nas plantas, para isso é essencial entender como a condutância hidráulica e embolia ocorrem nas plantas. Estudos de Fell e Rowson (1961) mostram que o diâmetro de vasos do gênero *Rubus* é em média de $60 \mu\text{m}$, resultados coincidentes com os obtidos na presente pesquisa.

Tabela 2– Perda percentual de condutividade hidráulica (PCH), condutância hidráulica teórica (kh), largura do xilema secundário (LXS), número médio de vasos (NMV), diâmetro médio dos vasos (DMV) e área média de vasos (AMV), durante cinco meses na cultivar Tupy, no município de Morro Redondo-RS, 2022.

Mês	PCH (%)	Kh (kg mMpa ⁻¹ hora ⁻¹)	LXS (µm)	NMV (µm ⁻²)	DMV (µm ²)	AMV (µm ²)
Fevereiro	4,26 ab	2,07e-07 a	768,80 ab	81 b	50,51 ^{ns}	2701,69 ^{ns}
Março	6,526 a	7,37e-08 b	932,776 a	94 ab	44,56	1956,28
Abril	3,690 b	1,77e-07 a	890,832 a	123 a	49,14	2617,210
Mai	2,736 b	1,62e-07 a	895,848 a	99a b	52,62	2784,88
Junho	3,015 b	1,68e-07 a	591,414 b	131 a	48,54	2374,02
CV (%)	34,72	19,01	11,26	16,82	14,85	25,32
(p>0,05)	0.0011	0.00593	0.0309	0.0103	0.4902	0.2766

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro; ns: não significativo.

A distribuição de frequência dos vasos do xilema (Figura 3) indica que a classe de diâmetro de 25-50 µm é significativamente superior comparada às demais, com uma variação entre 35 e 45%. No mês de fevereiro, foi observada diferença nas classes de diâmetro dos vasos do xilema. A classe predominante em termos de porcentagem de vasos foi a de 25 - 50 µm, seguida pelas classes de 0-25 µm e 50 - 75 µm, sem diferenças significativas. Não foram encontradas diferenças significativas na classe de 75 - 100 µm e acima de 100 µm. No mês de março, as classes de 25 - 50 µm e 50 - 75 µm apresentaram a maior frequência de vasos do xilema não apresentando diferenças entre si, enquanto a classe de 75-100 µm e acima de 100 µm mostraram a menor densidade de vasos por área.

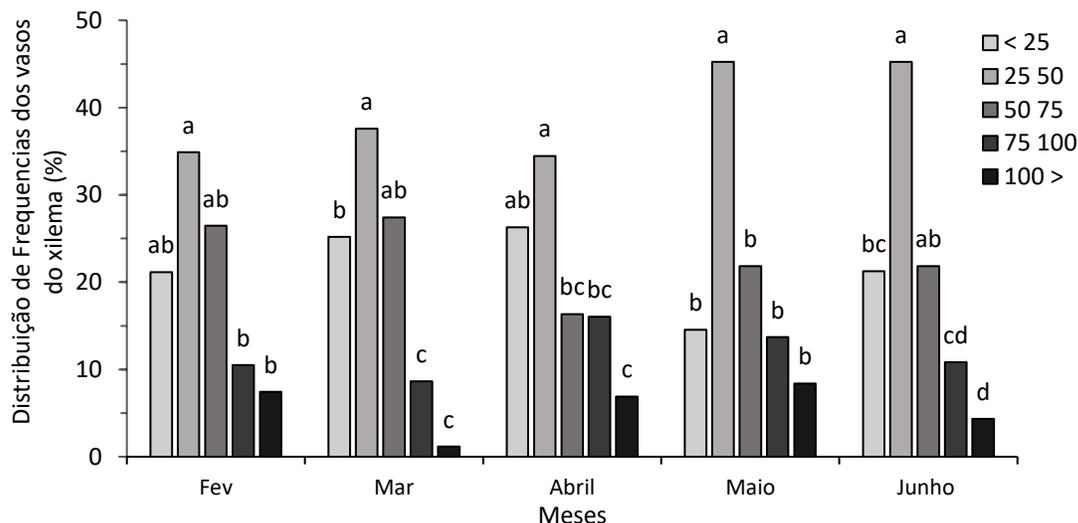


Figura 3 – Distribuição de frequência estimada de vasos, em área de 1 mm², do número médio dos vasos do xilema em ramos de *Rubus* spp. da cultivar Tupy. Médias seguidas de mesma letra não apresentam diferenças significativa entre si pelo teste Tukey a 5 % de probabilidade de erro. Cada valor representa cinco fotos aleatórias de cada um dos meses (N=5).

Carlquist (1977) descreve que elementos de vasos mais estreitos possuem maior resistência à pressão na coluna de água, porém quanto maior densidade de vasos, menor é o seu diâmetro, tornando menos susceptíveis a sofrer estresse hídricos. Ennajeh et al. (2010) relatam que como mecanismo de defesa as plantas têm estratégias adaptativas diferentes para resistir ao estresse hídrico, como maior quantidade de vasos do xilema. A frequência de vasos no xilema e as características estão associadas e, influenciam os índices de PLC, como um indicador da cavitação, quando a planta se encontra em estresse hídrico. A embolia está associada com as características dos vasos xilemáticos, ou seja, os vasos condutores com maior diâmetro são mais susceptíveis à embolia do que vasos do menor diâmetro (APGAUA et al., 2017; AYUP et al., 2015).

Os estudos realizados auxiliam a compreender melhor a situação da cultura da amoreira preta com a relação ao deficit hidrico, já que algumas espécies apresentam a capacidade para alterar densidade de vasos do xilema para mitigar efeitos relacionados à embolia causadas por períodos de restrição hídrica na região.

3.4 Conclusões

Nas condições que o experimento foi conduzido e com o material vegetal utilizado, concluiu-se que:

A precipitação que antecedeu as avaliações possibilitou menores índices de PCH.

As maiores concentrações de diâmetros dos vasos do xilema estão entre 25 a 50 μm , não ocorrendo variações durante o período de análises.

Com relação ao diâmetro médio dos vasos, observou-se diâmetro médio dos vasos foi verificado no mês de abril.

4 Capítulo 2- Caracterização anatômica do xilema da amoreira e framboeseira

4.1 Introdução

As pequenas frutas estão dentre os grupos mais ricos em conteúdo nutricionais, especialmente flavonoides, atraindo ao consumidor, produtores e pesquisadores, pelo seu potencial produtivo e adaptativo (VEBERIC et al., 2014).

Dentre o grupo das pequenas frutas, pertence o morango (*Fragaria x ananassa*), o mirtilo (*Vaccinium ashei Reade*), framboesa (*Rubus idaeus L.*), e a amora-preta (*Rubus spp.*). A amora-preta pertence à família *Rosaceae*, cultivada em regiões de clima frio, uma das frutas mais valorizada nos últimos anos, devido ao conteúdo de açúcares e ácidos orgânicos e o elevado teor de antocianinas (Shi et al., 2017). A framboesa (*Rubus idaeus L.*), apresenta características de clima temperado e subtropicais. Na atualidade tem um aumento da demanda desta fruta sendo relacionada pelos benefícios à saúde humana e pelo conteúdo de compostos bioativos, antocianinas e elagitaninos (CHEN et al., 2019).

A extraordinária diversidade que existe no mundo conforme à estrutura e forma das plantas, já que algumas delas tem a capacidade de se adaptar sua estrutura morfoanatomia quando existe a presença de estresse hídrico, os estudos anatômicos das plantas intentam por meio de métodos ou técnicas científicas rigorosas e observações meticolosas, pesquisar seus aspectos microscópios, explorar e entender o funcionamento interno de cada uns dos órgãos e seus componentes (DÓRIA et al., 2016).

Em situações, a planta pode apresentar características para assegurar à segurança hidráulica, com o objetivo de evitar a suspensão de condução de água pela formação de bolhas de ar dentro do xilema chamado embolismo, quando a planta apresenta vasos de menor diâmetro e maior frequência é possível reduzir o risco da embolia, mas também quando a potência hidráulica como presença de vasos maior diâmetro pode aumentar o risco de embolia (ZIMMERMANN, 1983; HACKE et al., 2006). Outro fator importante que pode contribuir na segurança e eficiência da condução de água é o estudo das características dos vasos do xilema (GLEASON et al., 2016).

O tecido xilemático, estão relacionados com os diâmetros, frequência dos vasos, espessura da parede e as pontuações intravasculares, as características destes parâmetros podem variar dependendo de cada cultura. A relação entre a eficiência hidráulica e as características dos vasos condutores, quando os vasos são de maior diâmetro, existe uma maior eficiência de condução do fluxo de água na planta e para a segurança hídrica é influenciada pelas pontuações intravasculares, porosidade e espessura dos vasos (CHRISTMAN, et al., 2012).

Atualmente vem-se explorando e fazendo estudos das características anatômicas em relação a dinâmica hidráulica na planta. Outras células do xilema como fibras e parênquima axial e radial, são parte da eficiência e segurança hídrica, as fibras dão suporte à planta, quando os vasos estão sob tensão e parênquima axial e radial, como transporte radial, restaurando os vasos embolizados, aumentando a capacidade hídrica, transporte dos nutrientes e água (CHRISTMAN, et al., 2012).

A literatura relata sobre as modificações na anatomia do xilema das espécies como dependente da disponibilidade de água no solo. A dinâmica hídrica no solo seleciona plantas adaptadas a essa variação da disponibilidade de água. Esta mudança é uma reação à sobrevivência das plantas relacionada à sua capacidade de transportar água e manter aquele turgor na célula viva em escassez de água no solo (KÖRNER, 2019).

Objetivou-se neste estudo caracterizar as células condutoras do xilema relacionadas ao estresse hídrico em diferentes variedades de amoreira-preta e framboesa do gênero *Rubus* spp. no município do Capão do Leão.

4.2 Material e Método

4.2.1 Material vegetativo

Utilizou-se ramos de diferentes variedades de amoreira-preta: Caingua, BRS Xingu, BRS Xavante e Black 348 e da cultura de framboesa: Fallgold, Heritage e Heil face, material obtido na Faculdade de Agronomia “Elise Maciel”, situado no campus da Universidade Federal de Pelotas (UFPel), as plantas foram de amora-

preta e framboesa foram cultivadas em vasos de 10 ltrs, com aproximadamente de um ano de idade, localizado no município de Capão do Leão- RS, com as coordenadas seguintes: latitude 31° 52' S, longitude 52° 21' W e altitude média de 13 metros acima do nível do mar e apresenta um clima temperado, durante o ano apresenta chuvas distribuídas e de verões quentes.

4.2.2.1 Avaliação das características anatômicas dos ramos da amora-preta e framboesa

Para as análises histológicas foram coletados ramos das duas culturas, sendo conservados em frascos nas proporções de 50 mL de ácido acético glacial, 50 mL de formaldeído (a 37%) e 900 mL de álcool etílico. Isso incluiu o corte transversal dos segmentos e o repouso das amostras em diferentes concentrações de álcool (70%, 50% e 30%) por diferentes períodos de tempo (10, 5, e 2 minutos, respectivamente). Em seguida, as amostras foram coradas com Safranina a 2% para melhor contraste. Para fixação das amostras nas lâminas foi utilizada Gelatina de Glicerina de Kaiser para prolongar a viabilidade das amostras (DE AGUIAR JÚNIOR et al., 2023).

As lâminas obtidas no processo foram analisadas utilizando uma Câmera digital (AxioCam ERc 5s) acoplada ao microscópio óptico (10x), através do software Axion Vision® (versão 4.8.2 SP2 (06-2012)). A partir das imagens obtidas foram mensurados os seguintes parâmetros anatômicos: Largura do xilema secundário (LXS), número médio de vasos (NMV), diâmetro médio dos vasos (DMV) e área média de vasos (AMV).

Para a análise dos ramos, foram selecionadas quatro áreas aleatórias de cada amostra, com uma área aproximada de 1 mm² (Figura 4). Essas áreas foram utilizadas para determinar a distribuição de frequências dos diâmetros médios dos vasos. Esses foram categorizados em classes: 0 – 25 µm, 25 – 50 µm, 50 – 75 µm, 75 – 100 µm e > 100 µm. Seguiu-se uma adaptação da metodologia descrita por Tombesi (2011) e realizou-se a distribuição de frequências dos diâmetros de vasos conforme Barigah e Gyenge (2021) e De Aguiar Júnior (2023).

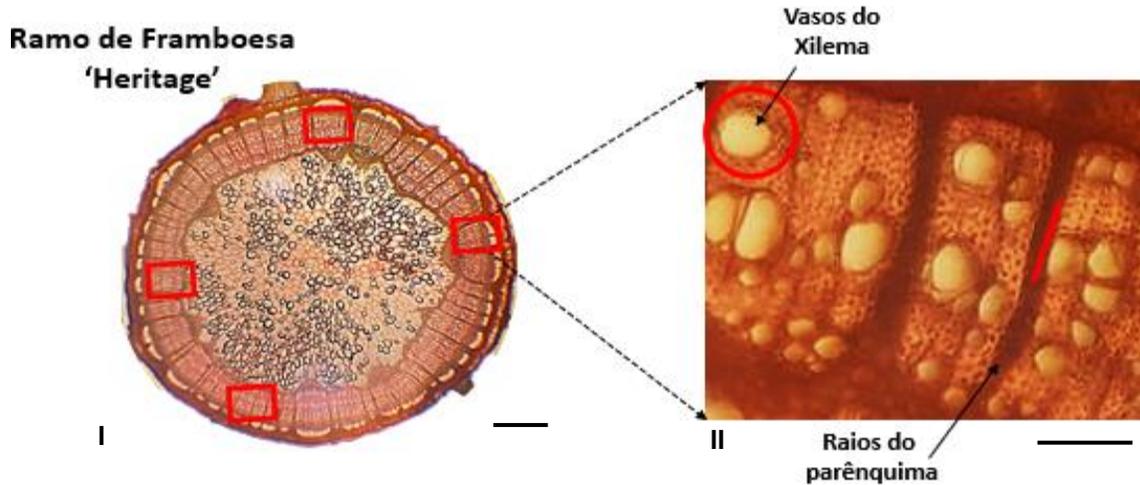


Figura 4 – Seção transversal de um segmento de um ramo de Framboesa da variedade 'Heritage' (*Rubus* spp). Barras: I=500 μm e II= 100 μm , 4X e 10X. Fonte: Katia Ruiz Canul (2022).

4.3 Condutância Teórica (kh)

Para a análise de condutância teórica (K_h), dos vasos do xilema dos ramos da amora-preta, expresso $\text{Kg m MPa}^{-1} \text{ dia}^{-1}$, utilizou-se a fórmula dos princípios da equação Hagen-Poiseuille (POORTER et al., 2010; ZHANG et al., 2023, DE AGUIAR JÚNIOR et al., 2023) Eq. [1]:

$$k_h = \left(\frac{\pi \rho}{128 \eta} \right) \sum_{i=1}^n (d_i^4) * DV * 3600 \quad \text{Eq. [1]}$$

Onde: d é raio do vaso na unidade em metros, ρ é a densidade do fluido (assumida como $1000 \text{ kg} \times \text{m}^{-3}$ ou igual à da água a $20 \text{ }^\circ\text{C}$), η é a viscosidade (assumida como $1 \times 10^{-9} \text{ Mpa} \cdot \text{s}$, ou igual à da água a $20 \text{ }^\circ\text{C}$), DV é a densidade de vasos (número de vasos mm^{-2}) e 3600 é quantidade de segundos em 24h.

4.4 Delineamento Experimental

Foi DBC unifatorial, avaliando-se cultivares de amoreira (Caingua, Xingu, Xavante e Black 348) e framboesa (Fall Gold, Heritage e Hell Face). Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) a 5% de probabilidade, sendo testados quanto à normalidade pelo teste de Shapiro-Wilk e de homocedasticidade dos erros por Bartlett e Hartley. Quando pertinente, aplicou-se o Teste de Tukey ($p < 0,05$) para comparação entre as médias dos tratamentos, utilizando-se o software SISVAR (FERREIRA, 2011).

4.5 Resultados e Discussão

Os estudos sobre a anatomia do xilema permitem estabelecer os possíveis usos e futuros comportamentos dos processos fisiológicos da planta.

Como resultado das avaliações dos cortes histológicos observa-se (Tabela 3), que houve diferencia significativa no parâmetro da largura do xilema secundário (LXS), entre as variedades de amora-preta, onde 'BRS Caingua' e 'BRS Xavante', apresentando maior LXS, seguido do 'Black 348' e por último a variedade 'BRS Xingu'. Para as avaliações sob o número de vasos as variedades 'BRS Caingua' e 'Black 348', apresentam maior densidade de vasos do que os outros. As variedades 'BRS Caingua' e 'BRS Xingu', amostram maior diâmetro de vasos do xilema. E conforme as avaliações da área média dos vasos não existe diferencia significativa. A variedade Heritage, apresenta maior LXS (Tabela 3).

Tabela 3 – Características anatômicas das cultivares amora-preta e Framboesa. Largura do xilema secundário (LXS), número de vasos (NMV), Diâmetro médio dos vasos (DMV) e área média de vasos (AMV) e Condutância Teórica (kh), das variedades de amora-preta e framboesa, no 2022.

Variedades (<i>Rubus spp</i>)	Características Avaliadas				
	LXS (μm)	NMV (μm^2)	DMV (μm^2)	AMV (μm^2)	Kh ($\text{kg mMpa}^{-1} \text{ hora}^{-1}$)
Amora-preta					
BRS Caingua	1398,15a	87 ab	38,21a	7869,39 ^{ns}	1.61E-04
BRS Xingu	891,87 c	71 b	43,13ab	4897,32	2.38E-04
BRS Xavante	1312,51ab	82ab	25,29b	6681,91	1.63E-04
Black 348	1176,85 b	95 a	26,56ab	6444,68	2.09E-04
CV (%)	8,7	11,84	28,25	35,18	35,7
(p>0,05)	0.728	0.2607	0.1207	0.0386	0.2667
Framboesa					
Heritage	828,69a	85,61 ^{ns}	43 ^{ns}	1674.696 ^{ns}	5.54E-04
Fallgold	516.13b	104.05	44	1712.248	5.49E-04
Hell Face	444.526b	119,03	41	1459.593	4.14E-04
CV (%)	11,42	21,22	8,86	16,57	20,36
(p>0,05)	0.637081	0.6521	0.229	0.2374	0.3175

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro; ns: não significativo.

Como resultado da Distribuição de frequência dos vasos do xilema, pode-se observar (Figura 5 e 6), que não existe diferença significativa entre as variedades de framboesa e amora-preta. Mas na variedade 'BRS Caingua' pode-se observar que apresenta maior porcentagem de vasos do xilema na classe <100.

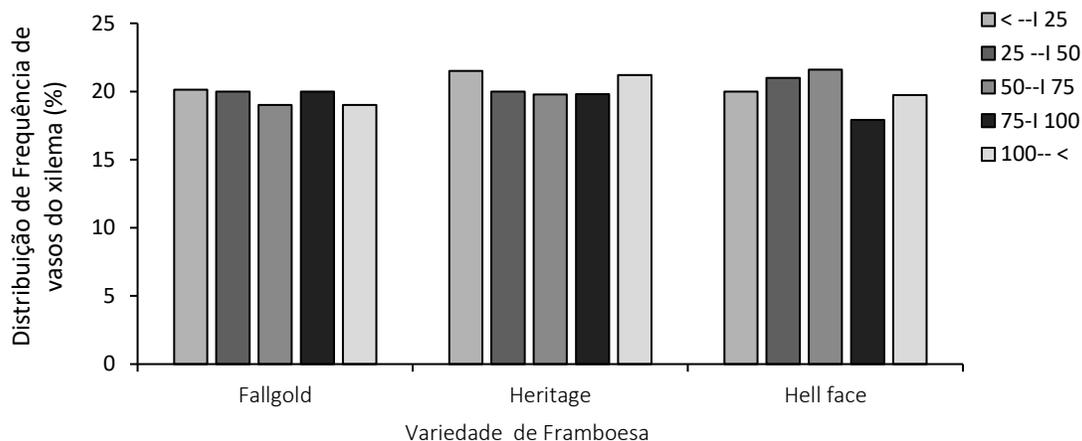


Figura 5 – Distribuição de frequência estimada de vasos, em área de 1mm^2 , do número médio dos vasos do xilema em ramos de Framboesa (*Rubus* spp), das variedades 'Fallgold', 'Heritage' e Hell Face'. Médias seguidas de mesma letra não apresentam diferença entre as classes pelo teste Tukey a 5 % de probabilidade de erro. Cada valor representa cinco fotos aleatórias de cada um dos meses (N=5).

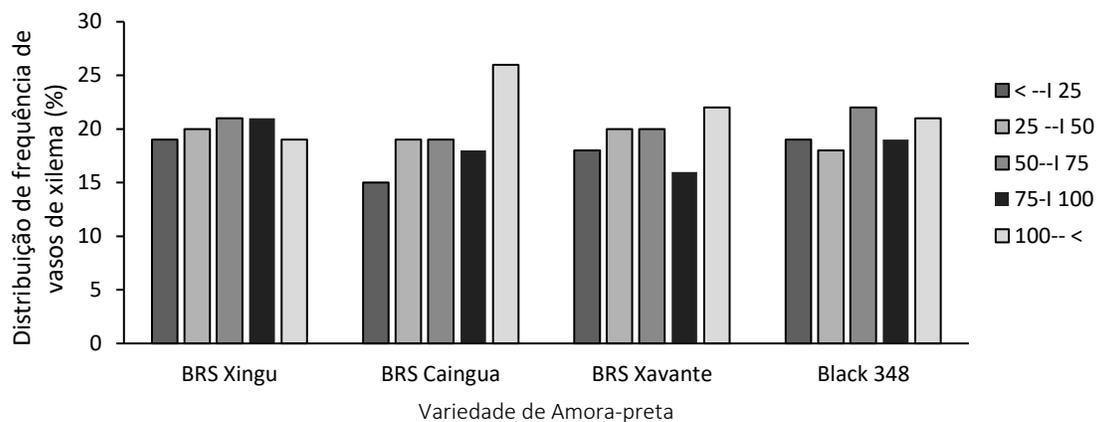


Figura 6 – Distribuição de frequência estimada de vasos, em área de 1mm^2 , do número médio dos vasos do xilema em ramos de amora-preta, das cultivares BRS Xingu, BRS Caingua, BRS Xavante e Black 348. Médias seguidas de mesma letra não apresentam diferenças significativas entre si pelo teste Tukey a 5 % de probabilidade de erro. Cada valor representa cinco fotos aleatórias de cada um dos meses (N=5).

Segundo (Orsham, 2012), as condições ambientais podem influenciar na anatomia funcional das plantas. Por exemplo, no verão aonde se apresenta maior absorção de água, sendo que algumas regiões apresentam sequias muito fortes, porem a influência da sequia pode afetar o crescimento da espécie, como anatomia do xilema e crescimento radial. Alguns estudos realizados sobre as mudanças climáticas, conseguiram obter informação sobre os vasos do xilema, aonde as mudanças especialmente em espécies de madeira, foi afetado pela gradiente climática da disponibilidade hídrica (BAAS et al., 1983; BAAS E SCHWEINGRUBER 1987; ZHANG et al., 1992; WOODCOCK E IGNAS 1994; SASS E ECKSTEIN 1995). O aumento da eficiência condutiva é fornecido pelos vasos do xilema mais compridos, é por isso que aumenta o risco de cavitação. Os diâmetros e o número de vasos presentes na planta, podem variar dependendo da demanda hidráulica dentro da planta (GLEASON et al., 2016). Na pesquisa pode observa-se diferencias no número de vasos do xilema entre as variedades de amoreira.

As características xilemáticas, principalmente do diâmetro do vaso do xilema e frequência dos vasos, influenciam grandemente na condutividade hidráulica. De acordo com a lei de Hagen-Poiseuille a condutividade hidráulica de um conduto vai com o diâmetro do vaso elevado à quarta potência (TYREE et al., 1994).

O principal fator do diâmetro do vaso é pela baixa temperatura devido à cavitação induzida pelo congelamento ou climas frios (SPERRY et al., 1994).

A anatomia do xilema e das raízes das plantas, estão fortemente relacionadas com o vigor da planta. observou-se que plantas com área foliar robusta, frequentemente apresentam maior proporção de vasos do xilema com diâmetros maiores, resultando maior transporte de água nos condutos da planta (HUGALDE et al., 2020),

Por exemplo a presença de vasos com as características mencionadas, na sua maioria estão presente na cultura de pessegueiros e cerejeira jovens, onde a seleção de plantas com base em características do xilema pode ser uma estratégia de pré-seleção de cultivares adaptadas as diferentes regiões (DE AGUIAR JÚNIOR et al., 2023). A relação com a cultura do pessegueiro e cerejeira jovens, esta relacionadas diretamente entre um maior diâmetro de vaso xilemático em plantas

com maiores áreas foliares. Aquela relação indica a capacidade aumentada de transporte de água, viabilizando o suporte às altas demandas metabólicas das folhas, porém um crescimento da planta saudável (JOHNSON et al., 2010)

Outra teoria, descrita por Zhao (2016) explica que o agrupamento de vasos pode fornecer vias alternativas para transportar o soluto (água) na planta, caso da presença da embolia. Por outra perspectiva, o agrupamento de vasos pode aumentar a vulnerabilidade à embolia, por causa da existência da aspiração de ar.

A embolia reduz a condutividade hidráulica ao diminuir o número de vasos ativos do xilema. Estudos sobre a hidráulica das plantas, o xilema amostra a capacidade de ajustar sua estrutura às diferentes condições climáticas no diâmetro do vaso xilemático, a distribuição dos vasos ou por agrupamentos de vasos (HACKE et al., 2006). Em regiões com climas frios ou secos, o diâmetro dos vasos condutores inclina-se a ser menores, com aumento na propensão de riscos de cavitação. A redução do diâmetro dos vasos pode ser compensada com o incremento de densidade dos vasos, mantendo a demanda para a manutenção da condutividade hidráulica (BAAS et al., 1998).

É crucial observar, no entanto, que a aplicabilidade dessas conclusões pode variar de acordo com a espécie vegetal e as condições de crescimento. Estudos sobre os fatores ambientais enfatizam, como disponibilidade de água e nutrientes, também desempenham um papel importante na relação entre a anatomia do xilema e o vigor da planta. Além disso, embora o diâmetro dos vasos xilemáticos e o número de vasos sejam indicadores promissores, outros fatores como resistência a pragas e doenças também devem ser considerados no processo geral de seleção de plantas (ORSHAM et al., 2012).

Os resultados obtidos nesse estudo podem incrementar a informação e compreensão sobre o desenvolvimento e crescimento em relação ao ambiente da cultura baseados nas relações hídricas e arquitetura da planta, sendo que as características dos vasos do xilema influenciam na resistência do fluxo de água e nutrientes, assim como também fornecem valiosas informações práticas de manejo e estratégias de melhoramento genético em diversas nas culturas.

4.6. Conclusão

Com base nesse estudo e com material analisado infere-se que:

Existem diferença no diâmetro de vasos entre a amoreira-preta e framboeseira.

A framboeseira apresenta maior diâmetro e densidade de vasos do xilema em relação as cultivares de amoreira-preta.

A amoreira-preta 'BRS Caingua' apresenta maior frequência de vasos na classe <100.

Na variedade de framboesa da variedade 'Heritage' amostra vasos similar diâmetro do que amoreira, sendo de $43 \mu\text{m}^2$

5. Capítulo 3 - Potencial Hídrico na amora-preta (*Rubus* spp). no município de Morro Redondo-RS.

5.1 Introdução

No Brasil, o cultivo de amora-preta (*Rubus* spp), tem mostrando grande crescimento na área cultivada, principalmente no Rio Grande Do Sul, apresentado potencial nos demais estados com características climatológicas semelhantes (DE SOUZA et al., 2017).

Além disso, a demanda de consumo aumentando, já que apresenta boas características agronômicas e alto conteúdo nutricional (compostos antioxidantes, compostos fenólicos e vitamina C), que são bons para a saúde. A amora-preta, representa uma boa opção para as pequenas propriedades, por ser rústica, com alta produtividade e a qualidade de frutas com bom equilíbrio de açúcar e acidez (GUEDES et al., 2017).

Alguns autores ressaltam a importância do conhecimento detalhado e específico do comportamento vegetativo da planta (FERREIRA et al., 2016). A cultivar mais plantada é a variedade 'Tupy', com mais de 90% do plantios, seguido da variedade 'Xavante', pouca exigência de frio, produtiva, de haste vigorosas e eretas e sem espinhos (RASEIRA & FRAZON, 2012).

O aumento das temperaturas e a disponibilidade de água, representam um grande desafio para o sector agrônomico. A água é indispensável na vida da planta, influenciando no crescimento e produtividade. A pouca disponibilidade de água que encontrar-se no solo, pode ocasionar que a transpiração seja maior do que o consumo da água absorvida pela raiz, atividade conhecida como estresse hídrico usando-se o parâmetro de medida o potencial hídrico (Ψ). Correia, (2014), descreve que o potencial hídrico de uma planta é importante para a compressão das relações hídricas entre solo e atmosfera, mas também representa o potencial química da água ($J\ mol^{-1}$), ou seja, energia livre. A resposta mais visível quando uma planta sofre estresse hídrico, é o crescimento e desenvolvimento, aonde esta condição, reduz a área foliar, conseqüentemente diminuindo a taxa fotossintética (PARRA et al., 1999).

O potencial hídrico foliar diminui quando aumenta o estresse hídrico, ocasionando menor crescimento vegetativo e produção de biomassa (MAY et al., 2011). Além disso, uma redução moderada de umidade no solo pode beneficiar a planta, aumentando o rendimento e qualidade da fruta, quando é irrigada com 80% que com 100% da evapotranspiração potencial (GONZÁLEZ et al., 2000).

Dependendo a intensidade do estresse hídrico na planta, pode influenciar no crescimento, diminuindo a área foliar, caule e raiz, altura da planta, e biomassa. É interessante que durante o período de plântula, ela amostra maior estresse hídrico, já que a raiz não está completamente desenvolvida e com a capacidade de absorção pouco profunda (KIBRIA et al., 2017).

Estudos em berries (*Rubus* spp) mostram que quando existe déficit hídrico reduz a biomassa do caule e da raiz em proporções semelhantes (CASIERRA et al., 2005). Na cultura de uva o estresse hídrico pode influenciar diretamente ao metabolismo por meio da influência do ácido abscísico, derivado da raiz ou produzido localmente, como também diminuído o tamanho e a densidade da copa (HOCHBERG, 2015).

Mas também a framboesa pode tolerar déficit hídrico moderado, ou seja de curto tempo, sendo que a presença de déficit hídrico mais prolongado pode influenciar no crescimento da planta e na fruta, além disso, o desenvolvimento geral da planta é retardado, ocasionando que a parte vegetativa (folha) seja de menos tamanho, alterações anatômicas, devido ao tamanho da célula, senescência, e conseqüentemente a morte da planta, similar reação para algumas espécies (BAÑON et al., 2004, JALEEL et al., 2008). Na variedade 'Heritage', foi relatado que o estresse hídrico influencia diretamente, a transpiração e a fotossínteses, sendo sensíveis, depois de dois dias sob estresse hídrico a planta diminui até a reidratação (PERCIVAL et al., 1998).

O objetivo da pesquisa foi avaliado o potencial hídrico na variedade 'Tupy', no período verão- outono, no município Morro Redondo- RS, no ano 2022.

5.2. Material e método

5.2.1 Material vegetativo e localização

Se usaram ramos produtivos e sadios de amora-preta, foram coletados de um pomar comercial de nove anos da variedade Tupy, com espaçamento de 3m X 0,70m, situado no município de Morro Redondo-RS, coordenadas geográficas: latitude 31°31'S e longitude 52°35'W., Classificação climática Cfa segundo Köppen, e solo do local é classificado como Cambissolo húmico eutrófico típico (MOURA, 2013).

5.2.2 Avaliação do Potencial químico da água

Foi utilizado o equipamento Câmara de Scholander (model 600 pressure Chamber Instrument), avaliando o potencial base (Predawn) antes do alvorecer no horário das 4 da manhã e do potencial ao meio-dia (Midday). Utiliza-se um segmento de folha, coloca-se dentro da câmara de scholander, e gas pressurizado inserindo lentamente à câmara, quando a pressão foi alta , o liquido da amostra foi forçada a sair do conduto xilemático e ficou visível do lado de fora da câmara. (Figura 7).

Utilizando-se seis folha de seis plantas para as avaliações do potencial base e para as avaliações do potencial meio-dia, usa-se mesmas plantas avaliadas inicialmente, selecionou-se por cada planta três folhas que estavam mais expostas à energia solar e sadias, começando por cobrir a folha com plástico filme e papel alumínio, com o objetivo de minimizar a transpiração.



Figura 7 – Avaliação do potencial químico da água em amora-preta. Câmara de Scholander, B. Avaliação do potencial hídrico (Predawn) e C. Avaliação do potencial hídrico (Midday)

Após 40 minutos foi retirada a envoltura para fazer as medições correspondentes ao potencial máximo. Os dados climáticos foram obtidos da estação meteorológica da Embrapa Clima Temperado (Estação Experimental Cascata), pois esta é a base física mais próxima do município do Morro Redondo-RS (Figura 8).

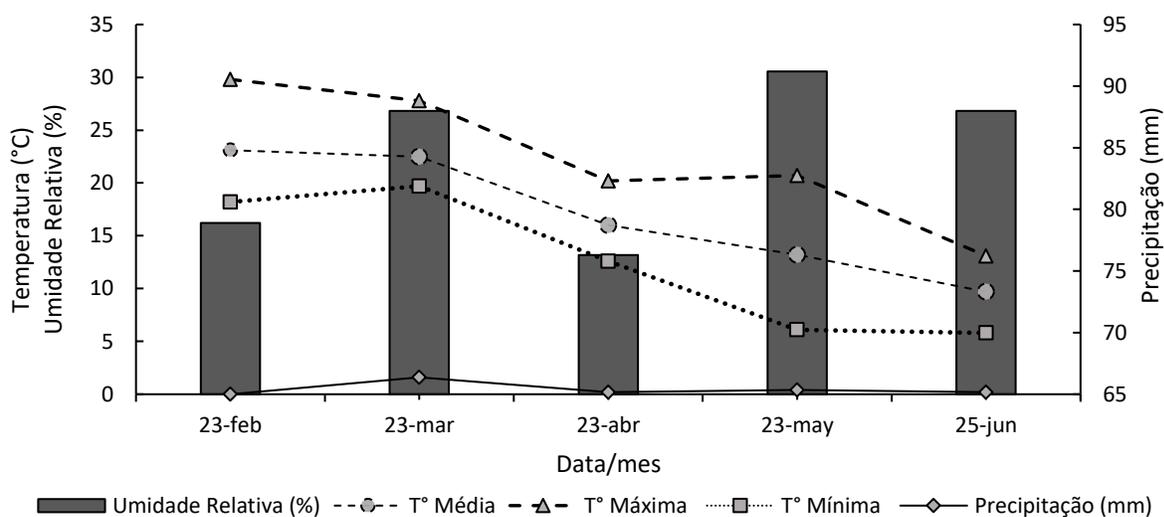


Figura 8 – Temperatura dos meses avaliados (°C), Temperatura média (T° Média), máxima (T° Máxima) e mínima (T° Mínima), Precipitação (mm) e Umidade Relativa (%), dados obtidos da estação da Embrapa Clima Temperado, RS, no ano de 2022.

5.2.3 Delineamento Experimental

Foi utilizado blocos ao acaso com 6 tratamentos e 3 repetições, totalizando 18 unidades experimentais por cada mês avaliado (fevereiro, março, abril, maio, junho e julho). Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) a 5% de probabilidade, sendo testados quanto à normalidade pelo teste de Shapiro-Wilk e de homocedasticidade dos erros por Bartlett e Hartley. Quando pertinente, aplicou-se o Teste de Tukey ($p < 0,05$) para comparação entre as médias dos tratamentos, utilizando-se o software SISVAR (FERREIRA, 2011).

5.3 Resultados e Discussão

Ao analisar o potencial hídrico em predawn, observou-se que a medição de abril apresentou diferença estatística significativa em comparação aos outros meses. Os meses de fevereiro e março registraram resultados, respectivamente, sem diferença significativa entre eles. No entanto, os meses de maio e junho apresentaram médias mais baixas e diferença estatística significativa em relação aos demais meses.

Com relação aos resultados obtidos na avaliação realizada ao meio-dia, no mês de maio e junho mostram menor déficit hídrico não tendo diferença significativa com o mês de março, mas no mês de fevereiro e abril, aonde as plantas apresentaram menor tensão hidrostática negativa, sendo influenciado pelas características climáticas, ou seja quando mais negativo seja os resultados a planta apresenta menor quantidade de água no organismo (Figura 9).

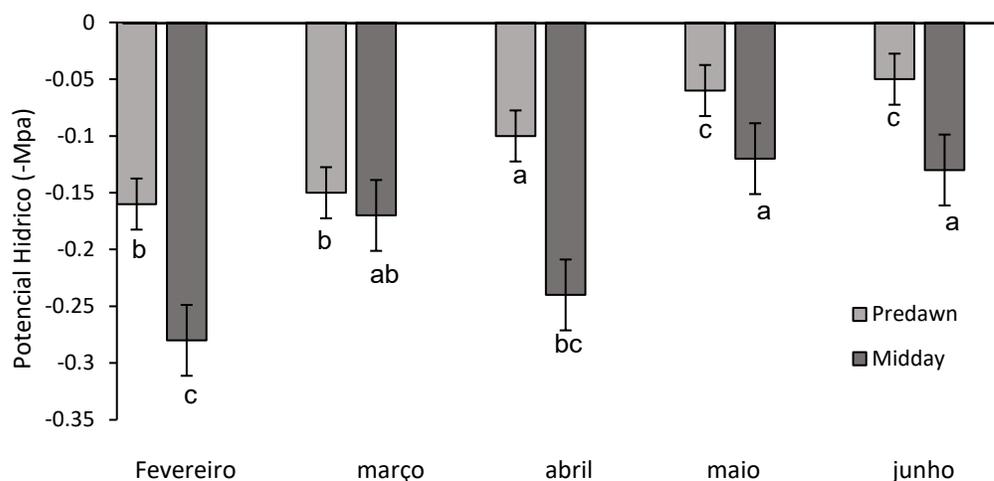


Figura 9 – Médias do Potencial Hídrico xilemático base (Predawn) e potencial ao Meio-dia (Midday), dos folíolos da amoreira-preta (*Rubus* spp.), cultivar Tupy, no município do Morro Redondo-RS, no ano 2022.

Pesquisas feitas com a cultura de pessegueiro especialmente com porta-enxertos, o potencial hídrico é similar com Flordaguard (-0,25MPa). Potencial hídrico de predawn e meio-dia (Midday) não seguem a mesma tendência pois pode ser influenciada pelas condições climáticas bem como, as características do solo. Marsal e Girona (1997) descrevem que o potencial xilemático obtido ao midday é o que melhor descreve o estado hídrico da planta nesse momento. O potencial hídrico xilemático é um fator importante sob o estresse hídrico das plantas (Ding et al., 2014).

A maioria das espécies perenes são isohídricas em relação à regulação das mudanças no potencial mínimo de água da folha, estudos relacionados com o potencial hídrico apesar da estação seca, as espécies perene mantêm seu potencial hídrico semelhantes durante no período de chuva, quando o nível de água é alta no solo (MEDINA & FRANCISCO 1994 ; FRANCO 1998 ; MEINZER et al., 1999). Bucci (2004), relata que espécies lenhosas com área foliar mínima no período de seca, também pode influenciar no comportamento isohídrico. Além disso, a regulação da tensão do xilema, pelo fechamento dos estômatos e regulação da área foliar pode limitar a cavitação, a embolia e perda de condutividade hidráulica dentro da planta.

A restauração da embolia diurna, sob as condições de alta evaporação que existe na estação de seca, tal vez seja uma condição para manter o fluxo eficiente da água a longa distância para as folhas que transpiram (Bucci et al., 2004)

Outros estudos em espécies *Rubus*, concluíram que a quantidade de água no solo, diminui o turgor da células foliares, assim como diminuir a condutância estomática, como também o estresse hídrico está relacionada altamente, com a condutância estomática e a transpiração (CHAVES et al., 2003 , FLEXAS et al., 2004).

Entre os mecanismos de tolerância à seca, o fechamento dos estômatos, existe um ajuste fotossintético e do potencial hídrico (LUDLOW, 1980). Em algumas espécies de planta, observa-se um melhor crescimento quando o potencial hídrico é baixo, em resposta ao nível de água no solo (WYN JONES E GORHAM, 1983).

Além disso, o estresse hídrico em espécies frutíferas tem se associado ao acúmulo transitório de carboidratos solúveis na folha e frutos (Miller et al., 1998).

Pesquisas feitas em amora-preta, em consequência sob ao estresse hídrico, a condutância estomática e transpiração depois de um dia inteiro, não apresenta variações no turgor foliar (desidratação). Os pesquisadores, expõem, que a amora-preta sem irrigação ela apresenta acúmulo maior de prolina duplo, ou seja, a planta aumenta usa a prolina como agente osmótico, para se proteger da desidratação em comparação com plantas irrigadas (QUEZADA et al., 1999).

Segundo Millones et al., (2022), a variedade Tupy, apresenta tolerância frente ao estresse hídrico de -0,2 MPa a -0.4 MPa, o qual permite identificar cultivares, com plasticidade fenotípica, para minimizar os efeitos negativos do estresse hídrico.

(YANG et al., 2021), o estudo relacionado com a disponibilidade de água na planta é importante já que está relacionado com a produtividade e dos processos fisiológicos e metabólicos durante seu desenvolvimento e seu crescimento. Mas também as plantas tem a capacidade de desenvolver mecanismos estratégicos e modificar sua arquitetura morfológica para minimizar os efeitos do estresse abiótico, algumas plantas são capazes de incrementar o sistema radicular na etapa do

crescimento, como comprimento de raiz, volumem, peso, densidade, variáveis que podem estar associadas à resistência ao estresse hídrico.

5.4 Conclusão

Conforme aos resultados obtidos no potencial base (Predawn), amostra um descenso conforme às seguintes fases fisiológicas da planta, mas também no potencial do meio-dia, apresentaram um pequeno déficit hídrico no mês de fevereiro e abril, amostra um moderado estresse hídrico, tal vez influenciado pelas questões climáticas.

6. Considerações finais

Apesar das restrições durante a pandemia SARS-COV-2/ COVID 19 (anos de 2020, 2021, 2022), graças aos esforços dos alunos e pesquisadores de pós-doutorado da Fruticultura e da área da botânica da Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, os experimentos puderam ser implementados.

Este estudo buscou avaliar as características anatômicas do xilema do gênero *Rubus*, e como também relacionando os caracteres hídricos da amoreira e framboeseira.

No primeiro estudo foi observado que amora-preta do gênero *Rubus* spp. da variedade 'Tupy' na avaliação do PLC, demonstrou que durante os meses avaliados apresentam diferença perda de condutividade devido à área foliar e disponibilidade de água no solo, como também a distribuição de frequências de vasos do xilema, a maior porcentagem na classe de 25-50 μm . Apresentando maior diâmetro de vasos no mês de abril.

No segundo estudo, foi apresentado a cultura de framboeseira avaliando as variedades 'Heritage', 'Fallgold' e 'Hell Face' e amora-preta variedades de BRS Caingua', 'BRS Xingu', 'BRS Xavante' e 'Black 348', aonde avalia-se características anatômicas dos vasos do xilema, Kh e Distribuição de Frequências de vasos do xilema. Apresentando a cultivar 'BRS Caingua' e variedade de 'Heritage' mostrando

características similares entre as variáveis, densidade de vasos e diâmetro médio dos vasos.

No terceiro estudo foi avaliado o potencial hídrico da cultivar 'Tupy', durante as estações verão- outono, aonde o potencial base vai diminuindo conforme ao passo das etapas fisiológicas e no potencial meio-dia, influenciando nos meses de fevereiro e abril, ocasionado um pequeno estresse hídrico.

Referências

ABAURRE, M. E. O.; ZANÚNCIO JUNIOR, J. S.; BALBINO, J. M. de S.; GUARÇONI, R. G.; COSTA, H. Framboeseira: cultivo e pós-colheita na Região Serrana do Espírito Santo. Vitória: Incaper, 2017.

ABREU, E. S. et al. Native embolism in “Rocha” pear under different rootstocks and their relationship with plant vigor. **Acta Horticulturae**, v. 1303, p. 221–226, 5 fev. 2021.

AGUIRRE-GUTIÉRREZ, Jesús et al. Drier tropical forests are susceptible to functional changes in response to a long-term drought. **Ecology Letters**, v. 22, n. 5, p. 855-865, 2019.

ALMEIDA, D. P. Pequenos frutos com grandes problemas: recomendações para a qualidade da cadeia de abastecimento. **Actas Portuguesas de Horticultura**, Lisboa-Portugal, nº 26, p. 199- 207, 2016.

ANTUNES, L. E. C.; PEREIRA, I. S.; PICOLOTTO, L.; VIGNOLO, G. K.; GONÇALVES, M. A. Produção de amoreira-preta no Brasil. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 36, n. 1, p. 100-111, março, 2014.

ANTUNES, L.E.C.; PEREIRA, I. DOS S.; PICOLOTTO, L.; VIGNOLO, G.K. & GONÇALVES, M.A.–. Blackberry production in Brazil. **Revista Brasileira de Fruticultura**, vol. 36, n. 1, p. 100-111, 2014.

ANUÁRIO BRASILEIRO DE FRUTICULTURA. Santa Cruz do Sul. **Editora Gazeta**, p. 16, 2021.

ARAÚJO NETO, R. A.; SARMENTO, P. L.; FERREIRA JÚNIOR, R. A.; SILVA, M. B. P.; ROCHA, A. E. Q.; TEODORO, I. Desempenho de um sistema de irrigação por gotejamento em cana-de-açúcar. **Ciência Agrícola**, Rio Largo, v. 13, n. 1, p. 15-18, abril, 2015.

AZCÓN-BIETO, J. Y TALÓN M.. Fundamentos de fisiología vegetal 2ªEd. McGraw-Hill Interamericana de España, S.A.U., Madrid.2008.

BAAS, P.; WERKER, E.; FAHN, A. Some ecological trends in vessel characters. **Iawa Journal**, v. 4, n. 2-3, p. 141-159, 1983.

BAAS, Pieter; SCHWEINGRUBER, Fritz H. Ecological trends in the wood anatomy of trees, shrubs and climbers from Europe. **IAWA journal**, v. 8, n. 3, p. 245-274, 1987.

BALBOA, K. (enero de 2019). Variación en las respuestas fisiológicas y moleculares de cultivares de arándano (*Vaccinium corymbosum* L.) sometidos

a estrés por déficit hídrico. Obtenido de Universidad de Chile:<http://repositorio.conicyt.cl/.../Tesis%20Karen%20Balboa%20Silva.pdf>. Ingreso: 16 de agosto de 2019.

BAÑÓN, Sebastián et al. Effects of water stress and night temperature preconditioning on water relations and morphological and anatomical changes of *Lotus creticus* plants. **Scientia Horticulturae**, v. 101, n. 3, p. 333-342, 2004.

BARBIERI, R. L.; VIZZOTTO, M. **Pequenas frutas ou frutas vermelhas**. Embrapa Clima Temperado, Belo Horizonte-MG, v. 33, n. 268, p. 7-10, maio/jun. 2012.

BARBOSA, C. M. de A., MARTINS, M. M. V., SPÓSITO, M. B. Panorama das Exportações e Importações Brasileiras de Framboesas e Amoras-Pretas in natura. In: **Seminário Brasileiro Sobre Pequenas Frutas** (pp. 1-5). Vacaria: Emater/UCS, BAUERLE, T. L., 2019.

BARIGAH, T. S. et al. Narrow vessels cavitate first during a simulated drought in *Eucalyptus camaldulensis*. **Physiologia Plantarum**, v. 173, n. 4, p. 2081–2090, 2021.

BARTOLINI, A. J. Avaliação de diferentes sistemas de condução para a cultura da framboeseira no planalto sul catarinense. 2016. 75f. Tese de Doutorado (Especialização em mestre em produção vegetal) - Universidade do Estado de Santa Catarina, 2016.

BELO, A. F.; FERREIRA, R. L.; FERREIRA, E. A.; AGUIAR, L. M.; SANTOS, J. B.; CECON, P. R. Atividade fotossintética de plantas cultivadas em solo contaminado com sulfentrazone. **Revista Brasileira de Herbicidas**, .15, n.2, p.165-174, abr./jun. 2016.

BERDEJA-ARBEU, R., VILLEGAS-MONTER, A., BORJA, R. A., SAHAGÚN CASTELLANOS, J., BARRIOS, D. B., & REYES, A. J. C. Interacción lima 'Persa'-portainjertos: Características de xilema en tallo de portainjerto y vigor de árboles. **Ciencias Agrícolas Informa**, 22(1), 15–22,2013.

BRODRIBB, T. J.; HOLBROOK, N. M. Forced depression of leaf hydraulic conductance in situ: effects on the leaf gas exchange of forest trees. **Functional Ecology**, v. 21, n. 4, p. 705-712, 2007.

BRODRIBB, Timothy J.; MCADAM, Scott AM; CARINS MURPHY, Madeline R. Xylem and stomata, coordinated through time and space. **Plant, Cell & Environment**, v. 40, n. 6, p. 872-880, 2017.

BUCCI S.J, GOLDSTEIN G, MEINZER FC, SCHOLZ FG, FRANCO AC, BUSTAMENTE. Functional convergence in hydraulic architecture and water relations

of tropical savanna trees: from leaf to whole plant. **Tree Physiology** 24: 871-899. 2004.

BUNCE, J. A . Comparative responses of leaf conductance to humidity in single attached leaves. **Journal of Experimental Botany**, 32, 629-34,1981.

CARLQUIST, S. Ecological factors in wood evolution: a loric approach. **American Journal of Botany**, Saint Louis, v. 64, p. 887- 896, 1977.

CASIERRA-POSADA, Fánor; GARCÍA, Nehidy. Crecimiento y distribución de materia seca en cultivares de fresa (*Fragaria* sp.) bajo estrés salino. **Agronomía Colombiana**, v. 23, n. 1, p. 83-89, 2005.

CASIERRA-POSADA, Fánor; GARCÍA, Nehidy. Crecimiento y distribución de materia seca en cultivares de fresa (*Fragaria* sp.) bajo estrés salino. **Agronomía Colombiana**, v. 23, n. 1, p. 83-89, 2005.

CASTRO, E. M de. Textos Acadêmicos – Histologia e Anatomia Vegetal de Plantas Ornamentais. Lavras. Ed. UFLA,. 120 p. 2006.

Cátedra de Fisiología Vegetal, FAUBA.. Las Plantas y el Agua. CEABA 2004.

CENTINARI, M., & BAUERLE W. L. Shifts in xylem vessel diameter and embolisms in grafted apple trees of differing rootstock growth potential in response to drought. **Planta**, 234,1045–1054, 2011.

COMIOTTO, A. et al. Desenvolvimento, produção e qualidade dos frutos de pessegueiros enxertados sobre diferentes porta-enxertos. Semina: **Ciências Agrárias**, Londrina, v. 34, n. 6, suplemento 1, p. 3553-3562, 2013.

CORREIA, Barbara et al. Integrated proteomics and metabolomics to unlock global and clonal responses of *Eucalyptus globulus* recovery from water deficit. **Metabolomics**, v. 12, p. 1-12, 2016.

CORREIA, S.,. *Potencial hídrico*, Rev. Ciência Elem., V2(1):003., 2014.

COSTA, A. R. Texto academico: As Relações Hídricas Das Plantas Vasculares. Portugal. Editora da Universidade de Évora, 2001. 75 p.

CURI PN, PIO R, MOURA PHA, TADEU MH, NOGUEIRA PV & PASQUAL M (2015a) Produção de amora-preta e amora-vermelha em Lavras – MG. *Ciência Rural*, 45:1368-1374.

CURI, P.N.; PIO, R.; MOURA, P.H.A.; TADEU, M.H.; NOGUEIRA, P.V. & PASQUAL, M.–. Production of blackberry and redberry in Lavras - MG, Brazil **Ciência Rural**, vol. 45, n. 8, p. 1368-1374,2015.

DA SILVA, CLÁUDIO RICARDO et al. Déficit hídrico em citros: informações para o manejo da irrigação. **Citrus Research & Technology**, v. 27, n. 1, p. 0-0, 2020.

DE AGUIAR JÚNIOR, L. V., CANUL, K. G. R., SCHIAVON, A. V., DA FONSECA, F. L., FERNANDO, J. A., FARIAS, P. C. M., ... & BIANCHI, V. J. Características dos vasos do xilema e perda de condutividade hidráulica de quatro porta-enxertos de pessegueiros. **OBSERVATÓRIO DE LA ECONOMÍA LATINOAMERICANA**, 21(7), 7087-7102. (2023).

DE SOUSA LEITE, Tiago et al. The interplay between leaf water potential and osmotic adjustment on photosynthetic and growth parameters of tropical dry forest trees. **Journal of Forestry Research**, v. 34, n. 1, p. 177-186, 2023.

DE SOUZA, André Luiz Kulkamp et al. Produção de amoreira-preta cultivares Tupy, Guarani e Xavante durante três safras na Região Meio Oeste de Santa Catarina. **Revista da Jornada de Pós-Graduação e Pesquisa-Congrega Urcamp**, p. 2341-2352, 2017.

DE SOUZA, André Luiz Kulkamp et al. Produção de amoreira-preta cultivares Tupy, Guarani e Xavante durante três safras na Região Meio Oeste de Santa Catarina. **Revista da Jornada de Pós-Graduação e Pesquisa-Congrega Urcamp**, p. 2341-2352, 2017.

DING, Y; ZHANG, Y; ZHENG, Q., TYREE, M. T. Pressure–volume curves: revisiting the impact of negative turgor during cell collapse by literature review and simulations of cell micromechanics. **New Phytologist**, v.203, n.2, p.378, 2014.

DIXON HH, JOLY J. On the ascent of sap. Proceedings of negative pressures and their measurement by the pressure the **Royal Society of London** 57, 3–5, 1894.

DÓRIA, L.C. Do woody plants of the Caatinga show a higher degree of xeromorphism than in the Cerrado Flora?, v. 224, p. 244-251, 2016.

ENNAJEH, M.; SIMÕES, F.; KHEMIRA, H.; COCHARD, H. How reliable is the double-ended pressure sleeve technique for assessing xylem vulnerability to cavitation in woody Angiosperms. **Physiologia Plantarum**, in press. 2011.

EPAMIG. Conheça os benefícios das berries, frutas em alta no Sul de Minas. Disponível em: . Acesso em 04 de fevereiro de 2020.

ESQUIVEL-MUELBERT, E. et al. Seasonal drought limits tree species across the Neotropics. **Ecography**, v. 40, n. 5, 618-629, 2016.

FACHINELLO, J. C. PASA M. S.; SCHMTIZ, J. D.; BETEMPS, D. L. Situação e perspectivas da fruticultura de clima temperado no Brasil. Revista Brasileira de Fruticultura, **Jaboticabal**, v. 33, n. 1, p.109-120, out. 2011.

FAO (2020) FAOSTAT: Agricultura data. Disponível em: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>. Acesso em: 28 Outubro 2020.

FASSIO, C., HEATH, R., ARPAIA, M. L., & CASTRO, M. Sap flow in 'Hass' avocado trees on two clonal rootstocks in relation to xylem anatomy. **Scientia Horticulturae**, 120, 8–13, 2009.

FELL KR, ROWSON JM. Anatomical studies in the genus *Rubus*. IV. Anatomical variations in the leaves of cultivated varieties of *R. idaeus* L. and *R. loganobaccus* L. H. Bailey, and of certain species of bramble. **J Pharm Pharmacol**, 196.

FERREIRA, Letícia Vanni et al. Produção de amoreira-preta sob diferentes sistemas de condução. **Ciência Rural**, v. 46, p. 421-427, 2016.

FERREIRA, Letícia Vanni et al. Produção de amoreira-preta sob diferentes sistemas de condução. **Ciência Rural**, v. 46, p. 421-427, 2016.

FOSTER TM, BRASIL NV,,DOSSETT M, WORTHINGTON ML, GRAHAM. Genetic and genomic resources for *Rubus* breeding: a roadmap for the future. *Horticulture Research* 6:116, 2019.

FRANCO, Augusto C. Padrões sazonais de trocas gasosas, relações hídricas e crescimento de *Roupala montana*, uma espécie perene do cerrado. **Ecologia vegetal**, v. 136, p. 69-76, 1998.

FREITAS, J.L.; SILVA, R.B.L.; BARBOSA FILHO, M.N.; CANTUARIA, P.C. & CRUZ JUNIOR, F.O.– Fenologia reprodutiva de cinco espécies arbóreas em ecossistema de terra firme na Amazônia Brasileira. **Biota Amazônia**, vol. 5, p. 38-44. 2015.

GAUTHEY, Alice et al. Visual and hydraulic techniques produce similar estimates of cavitation resistance in woody species. **New Phytologist**, v. 228, n. 3, p. 884-897, 2020.

GIOVANELLI, G.; LIMBO, S.; BURATTI, S. Effects of new packaging solutions on physico-chemical, nutritional and aromatic characteristics of red raspberries (*Rubus idaeus* L.) in postharvest storage. *Postharvest Biology and Technology*, v. 98, p. 72–81, 2014.

GLEASON, S. M., WESTOBY, M., JANSEN, S., CHOAT, B., HACKE, U. G., PRATT, R. B., ZANNE, A. E. Weak tradeoff between xylem safety and xylem-specific hydraulic efficiency across the world's woody plant species. **New Phytologist**, 209, 123-136. (2016).

GONÇALVES, E. D. et al. Implantação, cultivo e pós-colheita de framboesa no Sul de Minas Gerais. EPAMIG, Belo Horizonte, circular técnica n.145, p. 5, 2011.

GRAHAM J, BRENNAN R. Introduction to the *Rubus* Genus. In: Graham J, Brennan R Raspberry: breeding challenges and advances. Springer 1-16.2018.

GRAHAM, J. et al. Towards an understanding of the control of 'crumbly'fruit in red raspberry. **SpringerPlus**, v. 4, n. 1, p. 1-9, 2015.

GUEDES, Mayara Neves Santos et al. Antioxidant activity and total phenol content of blackberries cultivated in a highland tropical climate. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 39, p. 43-48, 2017.

GUEDES, Mayara Neves Santos et al. Antioxidant activity and total phenol content of blackberries cultivated in a highland tropical climate. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 39, p. 43-48, 2017.

Hochberg, U., Degu, A., Cramer, G. R., Rachmilevitch, S. & Fait, A. Cultivar specific metabolic changes in grapevines berry skins in relation to deficit irrigation and hydraulic behavior. *Plant Physiol. Biochem.* 88, 42–52 (2015).

HUGALDE, Inés P. et al. Modeling vegetative vigour in grapevine: unraveling underlying mechanisms. **Heliyon**, v. 6, n. 12, p. e05708, 2020.

JALEEL, Cheruth Abdul et al. Drought stress in plants: a review on morphological characteristics and pigments composition. **Int. J. Agric. Biol**, v. 11, n. 1, p. 100-105, 2009.

JENNINGS DL (1988) Raspberries and blackberries: their breeding, diseases and growth. Academic, London.

JONES, RA SUTHERLAND. Stomatal control of xylem embolism, pp . 607-612,1991.

JONES, RG Wyn; GORHAM, J. Aspects of salt and drought tolerance in higher plants. **Genetic engineering of plants: an agricultural perspective**, p. 355-370, 1983.

KIBRIA, Mohammad Golam et al. Antioxidant defense mechanisms of salinity tolerance in rice genotypes. **Rice Science**, v. 24, n. 3, p. 155-162, 2017.

KIBRIA, Mohammad Golam et al. Antioxidant defense mechanisms of salinity tolerance in rice genotypes. **Rice Science**, v. 24, n. 3, p. 155-162, 2017.

KIM, Y., CHUNG, Y. S., LEE, E., TRIPATHI, P., HEO, S., & KIM, K. H. Root response to drought stress in rice (*Oryza sativa* L.). **International Journal of Molecular Sciences**, v. 21, n. 4, p. 1513, 2020.

LANGE, O.L., LOSCHE, R., SHULTZ, E. D. AND KAPPEN, L. Response of stomatal changes to humidity. **Planta**,100, 76-86,1971.

LARCHER, W. Physiological Plant Ecology. Berlin. Ed. Springer, 1995. 506p

LEAL-COSTA, M. V.; ARAGÃO, F. J. L.; REINERT, F.; TAVARES, E. S. Anatomia foliar de plantas transgênicas e não transgênicas de *Glycine max* (L.) Merrill (Fabaceae). *Revista Biociências, UNITAU*, n. 1, v. 14, p. 23-31, 2008.

LEWIS A.M., HARNDEN V.D. & TYREE M.T. Collapse of water stress emboli in the tracheids of *Thuja occidentalis* L. ***Plant Physiology***. 106, 1639-1646, 1999.

LISBINSKI, Fernanda Cigainski et al. EXPORTAÇÕES DE MELÃO, MANGA E UVA PRODUZIDOS NO NORDESTE BRASILEIRO (2000-2018): UMA ANÁLISE DE DADOS EM PAINEL. *Revista Econômica do Nordeste*, v. 1, n. 1, p. 178-201, 2023.

LIU, HUI ET AL. Hydraulic traits are coordinated with maximum plant height at the global scale. ***Science Advances***, v. 5, n. 2, p. eaav1332, 2019.

LOEPFE L, MARTINEZ- VILALTA J, PIÑOL J & MENCUCCINI M. The relevance of xylem network structure for plant hydraulic efficiency and safety. *J. Theor. Biol.* 247: 788-803, 2007.

LOOMIS R.S. Y CONNOR D.J. *Crop Ecology*. Ed. Cambridge University Press 1992.

LUDLOW, M. M. Adaptive significance of stomatal responses to water stress. 1980.

MARSAL, J., AND J. GIRONA. Relationship between leaf water potential and gas exchange activity at different phenological stages and fruit loads in peach trees. ***J. Am. Soc. Hortic. Sci.*** 122: 415-421, 1997.

MARTÍNEZ-ALCÁNTARA, Belén et al. Relationship between hydraulic conductance and citrus dwarfing by the Flying Dragon rootstock (*Poncirus trifoliata* L. Raft var. *monstruosa*). ***Trees***, v. 27, p. 629-638, 2013.

MARTÍNEZ-VILALTA, Jordi et al. A new look at water transport regulation in plants. ***New phytologist***, v. 204, n. 1, p. 105-115, 2014.

May L C, A Pérez G, E Ruiz S, A E Ic C, A García R. Efecto de niveles de humedad en el crecimiento y potencial hídrico de *Capsicum chinense* Jacq. y su relación con el desarrollo de *Bemisia tabaci* Genn. *Trop. Subtrop. Agroecosyst.* 14:1039-1045, (2011)

MCDOWELL, Susan C.; TURNER, David P. Reproductive effort in invasive and non-invasive *Rubus*. ***Oecologia***, v. 133, p. 102-111, 2002.

MEDINA, Ernesto; FRANCISCO, Marta. Photosynthesis and water relations of savanna tree species differing in leaf phenology. ***Tree Physiology***, v. 14, n. 12, p. 1367-1381, 1994.

MEINZER, F. C. et al. Atmospheric and hydraulic limitations on transpiration in Brazilian cerrado woody species. **Functional Ecology**, p. 273-282, 1999.

MENG R, FINN CE (2002) Determining ploidy level and nuclear DNA content in *Rubus* by flow cytometry. *Journal of the American Society For Horticultural Science* 127:223-227.

MILLER, S. A. et al. Effects of water stress on fruit quality attributes of kiwifruit. **Annals of botany**, v. 81, n. 1, p. 73-81, 1998.

MILLONES, Carlos; VÁSQUEZ, Ernestina. Tolerancia in vitro de cultivares de *Rubus* spp. a estrés hídrico simulado con manitol. **Agronomía Mesoamericana**, p. 46442-46442, 2022.

MOORE PP (2008) *Rubus* spp.- red and black raspberry. In: Janick J, Paull RE (eds) *The encyclopedia of fruit and nuts*. CABI, Cambridge 751-757.

MOORE, J.N. Blackberry breeding. **HortScience**, Alexandria, v.19, n. 2, p.183-185, 1984.

NARDINI, Andrea; SALLEO, Sebastiano; JANSEN, Steven. More than just a vulnerable pipeline: xylem physiology in the light of ion-mediated regulation of plant water transport. **Journal of experimental botany**, v. 62, n. 14, p. 4701-4718, 2011.

OLIVEIRA, F. & AKISUE, G.. *Fundamentos de Farmacobotânica*. Rio de Janeiro. Ed. Atheneu. 1989. 216 p.

ORSHAM, GIDEON, ed. *Plant pheno-morphological studies in Mediterranean type ecosystems*. Vol. 12. Springer Science & Business Media, 2012.

PAIVA, R & OLIVEIRA, L.M. *Fisiologia e Produção Vegetal*. Lavras. Ed. UFLA, 2006. 104 p.

PAIVA, R. *Textos Acadêmicos – Fisiologia de Plantas Ornamentais*. Lavras. Ed. UFLA, 2000. 88 p.

PRIVE, J. P.; JANES, D. Evaluation of plant and soil moisture sensors for the detection of drought stress in raspberry. **Acta Horticulturae**, 2003.

QUEZADA, Rafael A. Parra; ONTIVEROS, José L. Rodríguez; HERNÁNDEZ, Víctor A. González. Transpiración, potencial hídrico y prolina en zarzamora bajo déficit hídrico. **Terra Latinoamericana**, v. 17, n. 2, p. 125-130, 1999.

QUILOT, B. et al. Ecophysiological analysis of genotypic variation in peach fruit growth. **Journal of Experimental Botany**, v. 53, n. 374, p. 1613-1625, 2002.

RADÜNZ, A.L.; SCHÖFFEL, E.R.; BORGES, C.T.; MALGARIM, M.B. & PÖTTER, G.H. – Thermal requirement of vines in the Rio Grande do Sul region Campaign-Brazil. **Ciência Rural**, vol. 45, n. 4, p. 626-632, 2015.

RASEIRA, M. C. B. et al. Aspectos técnicos da cultura da framboeseira. Pelotas, Embrapa Clima Temperado, n. 120, 22 p, 2004.

RASEIRA, M. do C.B.; FRANZON, R.C. Melhoramento genético e cultivares de amora-preta e mirtilo. Informe Agropecuário, v.33, n.268, p.11-20, 2012.

RAVEN, P. et al., Biology of Plants, 8ª Ed., W.H. Freeman and Company / Worth Publishers, 2013.

RUDALL, P. Anatomy of the flowering plants: an introduction to structure and development. 2ª ed. **Cambridge University Press**, Cambridge, 1992.

SALLEO S., LO GULLO M., DEPAOLI D. & ZIPPO M. Xylem recovery from cavitation- induced embolisms in Young planto f Laurel novelis a possible mechanism. **New Phytologist** 132, 357-366, 1996.

SASS, Ute; ECKSTEIN, Dieter. The variability of vessel size in beech (*Fagus sylvatica* L.) and its ecophysiological interpretation. **Trees**, v. 9, p. 247-252, 1995.

SILVA, L.B & FREITAS, H.M.B. Texto Academico - Os Vegetais e a Água. UFBA / Projeto Qualibio, Salvador, 1998. Disponível em: . Acesso em: 04/08/2008.

SPERRY, John S. et al. Xylem embolism in ring-porous, diffuse-porous, and coniferous trees of northern Utah and interior Alaska. **Ecology**, v. 75, n. 6, p. 1736-1752, 1994.

TAIZ, L. & ZEIGER, E., Plant Physiology, 5ª Ed., Sinauer Associates, Inc, 2010.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I. M.; MURPHY, A. Fisiologia e desenvolvimento vegetal. 6ª ed. – Porto Alegre: Artmed, 2017.

TANEDA, Haruhiko; IKEDA, Takefumi. Hydraulic architecture with high root-resistance fraction contributes to efficient carbon gain of plants in temperate habitats. **American Journal of Botany**, vol. 108, no 10, p. 1932-1945. 2021

THOMPSON MM (1997) Survey of chromosome numbers in *Rubus* Rosaceae: Rosoideae. *Annals of the Missouri Botanical Garden* 84: 128-164.

TOMBESI S, JOHNSON R.S.; DAY K.R.; DE JONG, T.M. Relationships between xylem vessel 541 characteristics, calculated axial hydraulic conductance and size controlling capacity of 542 peach rootstocks. **Annals of Botany**, 105,p. 327-331, 2009.

TOMBESI, S., JOHNSON, R. S., DAY, K. R., DEJONG, T. M. Relationships between xylem vessel characteristics, calculated axial hydraulic conductance and size-controlling capacity of peach rootstocks. **Annals of Botany**, v. 105, n. 2, p. 327-331, 2010.

TOMBESI, S.; ALMEHDI, A.; DEJONG, T. M. Phenotyping vigour control capacity of new peach rootstocks by xylem vessel analysis. **Scientia Horticulturae**, v. 127, n. 3, p. 353-357, 10 jan. 2011.

TYREE M.T.& SPERRY J.S. Vulnerability of xylem to cavitation and embolism. **Annual Review of plant physiology and plant Molecular Biology** 40,19-38, 1989.

TYREE MT, EWERS FW. The hydraulic architecture of trees and other woody plants. **New Phytologist**, 119: 345-360, 1991.

TYREE, Melvin T.; DAVIS, Stephen D.; COCHARD, Herve. Biophysical perspectives of xylem evolution: is there a tradeoff of hydraulic efficiency for vulnerability to dysfunction?. **IAWA journal**, v. 15, n. 4, p. 335-360, 1994.

VALLADARES, F., VILAGROSA, A., PEÑUELAS J., OGAYA, R., CAMARERO, J.J., CORCUERA, L., SISÓ, S., GIL-PELEGRÍN, E. Estrés hídrico: ecofisiología y escalas de la sequía. Páginas: 163-190 En: Valladares, F. Ecología del bosque mediterráneo en un mundo cambiante. **Ministerio de medio ambiente**, Egraf, S.A., Madrid. 2004.

WANG, Z. Y G.W. STUTTE. The role of carbohydrates in active osmotic adjustment in apple under water stress. **J. Amer. Soc. Hort. Sci.** 117: 816-823,1992.

WOODCOCK, D. W.; IGNAS, C. M. Prevalence of wood characters in eastern North America: what characters are most promising for interpreting climates from fossil wood?. **American Journal of Botany**, v. 81, n. 10, p. 1243-1251, 1994.

YANG D.A & TYREE M.T. A theoretical model of hydraulic conductivity recovery from embolismo with comparison to experimental date on *Acer saccharum*. **Plant, Cell and Environment** 15, 313-330, 1992.

ZHANG & YUWEN. Xylem anatomical and hydraulic traits vary within crown but not respond to water and nitrogen addition in *Populus tomentosa*. **Agricultural Water Management**,vol. 278, p. 108169, 2023.

ZHANG, Shu-Yin; BAAS, Pieter; ZANDEE, Marinus. Wood structure of the Rosaceae in relation to ecology, habit and phenology. **IAWA Journal**, v. 13, n. 3, p. 307-349, 1992.

ZHAO, Xiping. Spatial variation of vessel grouping in the xylem of *Betula platyphylla* Roth. **Journal of Plant Research**, v. 129, p. 29-37, 2016.

ZORIĆ, Lana et al. Anatomical characteristics of *Prunus domestica* vascular tissue and their implications for selection programmes. **Zemdirbyste-Agriculture**, v. 109, n. 1, 2022.

ZWIENIECKI M.A. & HOLBROOK N.M. Short term changes in xylem water conductivity in white as, red maple and Sitka spruce. **Plant, Cell and Environment** 21, 1173-1180, 1998.

7. ANEXOS

Artigo Publicado

Revista: Observatorio de la Economía Latinoamericana (ISSN 1696-8352)

Qualis CAPES: A4

Hydraulic Conductance and Xylem Vessel Anatomy in Blackberry

Resumo

Objetivou-se com o presente estudo avaliar a condutância hidráulica e anatomia dos vasos do xilema na cultura da amoreira-preta, cultivar Tupy, durante os períodos do verão e outono de 2022. O material vegetal para a realização dos experimentos foi obtido a partir de plantas em um pomar comercial no município de Morro Redondo/RS. As avaliações referentes à condutância hidráulica e estudos anatômicos foram realizadas nos laboratórios de Fruticultura e Botânica da UFPel, Capão do Leão-RS. Também foram avaliados os seguintes parâmetros: percentual de perda da condutividade hidráulica (PLC), largura do xilema secundário (μm), número médio de vasos (mm^{-2}), diâmetro médio dos vasos (μm^2), área média dos vasos (μm^2) e condutância hidráulica teórica (K_h), baseados no diâmetro médio e densidade dos vasos do xilema. A partir dos resultados obtidos, durante as estações de verão e outono, conclui-se que, existe uma variação temporal da perda de condutância hidráulica medida pelo PLC e condutância hidráulica teórica. As características anatômicas dos cortes transversais apresentam diferenças entre a largura média do xilema secundário, assim como a densidade de vasos. Resultados obtidos, em relação às características dos vasos condutores do xilema, podem indicar uma relação importante com a eficiência do uso da água pela planta de amoreira-preta.

Palavras chave: PLC, *Rubus* spp., vasos xilemáticos.

Abstract

The objective of the present study was to evaluate the water potential, hydraulic conductance, and xylem vessel anatomy in the blackberry crop, cultivar Tupy, during the summer and autumn periods of 2022. The plant material for the experiments was obtained from plants in a commercial orchard in the municipality of Morro Redondo-RS. The evaluations regarding hydraulic conductance and anatomical studies were conducted at the Fruticulture and Botany laboratories of UFPel, Capão do Leão/RS. The following parameters were also evaluated: percentage of hydraulic conductivity loss (PLC), secondary xylem width (μm), number of vessel (mm^{-2}), mean vessel diameter (μm^2), mean vessel area (μm^2), and theoretical hydraulic conductance (K_h), based on the mean diameter of the xylem vessels. From the results obtained during the summer and autumn seasons, it can be concluded that there is a temporal

variation in hydraulic conductance loss measured by PLC and theoretical hydraulic conductance. The anatomical characteristics of the cross-sectional cuts show differences in the mean width of the secondary xylem, as well as vessel density. Results obtained regarding the characteristics of xylem conducting vessels may indicate an important relationship with the water use efficiency by the blackberry plant.

Keywords: PLC, *Rubus* spp., Xylem vessels.

Introdução

A amoreira-preta, como uma das espécies produtoras de frutas vermelhas, é uma importante cultura na cadeia de frutas do Brasil. A Região Sul é responsável pela maior parte dos plantios, representando 50% da produção nacional, com uma área cultivada de 239 hectares e uma produtividade média de 9,24 toneladas por hectare (ANTUNES et al., 2014; BARBOSA et al., 2019). Os principais estados produtores são Rio Grande do Sul, São Paulo, Minas Gerais, Paraná, Santa Catarina e Espírito Santo. A cultivar de amoreira-preta Tupy é a mais plantada no Brasil, devido às suas características e propriedades adaptativas no setor agrícola (CURI et al., 2015).

A pesquisa sobre déficit hídrico no gênero *Rubus* é ainda reduzida, mas estudos realizados com framboeseira (*Rubus ideaus* L.) indicam que a planta pode tolerar períodos curtos de déficit hídrico. Durante períodos prolongados, a planta sofre impactos negativos no crescimento e na produção de frutas, afetando a frutificação e, por consequência o rendimento para o próximo ciclo de cultivo (DA SILVA et al., 2020).

A água desempenha um papel crucial para as plantas, representando a maior parte de sua massa fresca, de aproximadamente 50 a 90%, sendo um elemento essencial para diversas atividades vitais, incluindo a fotossíntese e a transpiração (FREITA et al., 2015,). O transporte da água começa nas raízes por meio dos pelos radiculares, seguindo três rotas possíveis: apoplasto, simplasto e transmembrana. Em seguida, a água é conduzida através dos vasos do xilema, impulsionada pela teoria de coesão-adesão e pressão hidrostática negativa. Por fim, ocorre a transpiração, que é a liberação de água no estado gasoso, induzida pela tensão. Em condições de déficit hídrico, ocorre uma forte tensão na seiva do xilema,

aumentando o risco de embolia nos vasos condutores da planta (DIXON; JOLY, 1894).

A cavitação hidráulica nos vasos do xilema pode levar à morte parcial ou total da planta (GAUTHEY et al., 2020). Em resposta ao déficit hídrico, as plantas possuem mecanismos de defesa, como o ajuste osmótico e o fechamento estomático, que reduzem a perda de água por transpiração e minimizam o potencial hídrico do xilema (energia livre associada às moléculas de água), a fim de retardar os níveis que induzem à cavitação (LEITE et al., 2023).

Um fator a considerar no estudo sob o uso eficiente de água, são as características dos vasos condutores do xilema, que podem estar relacionadas com a condutância hidráulica da planta. A menor condutância hidráulica induz à redução da condutância estomática (G_s), ao fechamento dos estômatos e à diminuição da taxa fotossintética (JONES; SUTHERLAND, 1991; BRODRIBB, 2017). O potencial da água do caule também é influenciado pela condutância hidráulica que está relacionada com as características anatômicas dos vasos do xilema (TYREE; SPERRY, 1989).

Dessa forma, é de suma importância desenvolver novas estratégias de implantação para os produtores agrícolas que visam melhorar o rendimento e a gestão da cultura da amoreira-preta. Portanto, é necessário um maior entendimento de tais processos para otimizar o manejo da água e obter melhores resultados na produção de amoreiras-pretas.

Diante dessa problemática, objetivou-se com o presente estudo determinar a influência das relações hídricas e estruturais dos vasos condutores da amoreira-preta, durante as fases de verão e outono, através da avaliação de variáveis fisiológicas e anatômicas do xilema, e das condições climáticas ambientais na região do município de Morro Redondo/RS.

Material e métodos

O experimento foi realizado em pomar comercial de amora-preta da variedade Tupy, que foi implantado em 2003, portanto plantas com nove anos, com espaçamento de 3m X 1,20m, situado no município de Morro Redondo/RS, coordenadas geográficas: latitude 31°31'S e longitude 52°35'W., Classificação climática Cfa segundo Köppen, durante as estações de verão e outono de 2022. O solo do local é classificado como Cambissolo húmico eutrófico típico (MOURA, 2013). Usando ramos produtivos da cultivar Tupy. Para as avaliações de perda percentual de condutância (PLC), juntamente com as avaliações de caracterização do diâmetro dos vasos do xilema, foram coletados 2 ramos por cada planta e levados para o Laboratório de Fisiologia de Plantas Frutíferas de Clima Temperado, situado no prédio Prof. Fachinello, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel (FAEM), Campus Capão do Leão.

Para as avaliações foram selecionados ramos de amoreira-preta sadios com 130 cm comprimento e aproximadamente 6 mm de diâmetro. Durante a coleta, a região onde os ramos foram podados foi submergida em um recipiente com água destilada, para minimizar o efeito da atmosfera nos vasos condutores. Após a poda, os ramos foram postos em baldes, deixando a parte basal completamente submersa para transporte até o laboratório.

No laboratório, os ramos foram aclimatados em baldes contendo 1/3 de água destilada a uma temperatura de 23 °C. Em seguida, os ramos foram completamente submersos em água destilada em bandejas. Utilizou-se o aparelho Xyl'em® (Bronkhorst, versão 2, 2012) para cortar os segmentos a serem utilizados. Todos os cortes foram realizados sob a água, descartando-se os primeiros 15 centímetros das extremidades dos ramos para evitar a influência da atmosfera nos vasos do xilema. Os segmentos foram cortados em comprimentos de 5 cm, totalizando quatro segmentos por ramo. Foi utilizada uma lâmina de corte precisa para minimizar resíduos de material vegetal e evitar rachaduras na epiderme que possam obstruir a condutividade dos vasos xilemáticos.

No Xyl'em®, cada segmento foi conectado a uma mangueira de silicone transparente, com um diâmetro de 7 mm, que foi fixada em uma torneira do tipo

Luer de três pontos para dar início aos testes. A embolia nativa foi medida utilizando uma solução desgaseificada e filtrada (0,22 µm) de 10 mM KCl, aplicando um gradiente de pressão hidrostática de 3 kPa. Em seguida, esses segmentos passaram por um processo de saturação do vaso do xilema, utilizando a mesma solução a uma pressão de 1 MPa até que não houvesse mais a emissão de bolhas de ar pelas extremidades das amostras. Foram feitas quatro novas medições de condutância hidráulica (K), até atingir o máximo de medições de K. Os valores de PLC (%) foram calculados expressando a condutância hidráulica nativa como uma porcentagem do máximo de condutância hidráulica (ABREU et al., 2021), utilizando-se a equação [1]:

$$PLC = 100 \cdot \left(\frac{1 - \text{native } K}{\text{Maximum } K} \right) \quad \text{Equação. [1]}$$

Para a análise de condutância teórica (K_h , kg m MPa⁻¹ s⁻¹) utilizou-se a fórmula Hagen-Poiseuille, modificada, utilizando os diâmetros médios do xilema de cada foto, estimando a condutividade hidráulica teórica por dia (POORTER et al., 2010; ZHANG et al., 2023) Eq. [2]:

$$k_h = \left(\frac{\pi \rho}{128 \eta} \right) \sum_{i=1}^n (d_i^4) * DV * 3600 \quad \text{Equação. [2]}$$

Onde: d é raio do vaso na unidade em metros, ρ é a densidade do fluido (assim como 1000 kg × m⁻³ ou igual à da água a 20 °C), η é a viscosidade (assim como 1 × 10 Mpa⁻⁹ s⁻¹, ou igual à da água a 20 °C), NMV é a densidade de vasos (número de vasos mm⁻²) e 3600 é quantidade de segundos em 1 hora (TOMBESI et al. 2010).

Para as análises histológicas foram utilizados os mesmos segmentos, sendo conservados em frascos com formol ácido acético (FAA) nas proporções de 50 mL de ácido acético glacial, 50 mL de formaldeído (a 37%) e 900 mL de álcool etílico. No processo de preparação do material vegetal nas lâminas, foram realizadas várias etapas. Isso incluiu o corte transversal dos segmentos e o repouso das amostras em diferentes concentrações de álcool (70%, 50% e 30%) por diferentes períodos de tempo (10, 5, 2 e 2 minutos, respectivamente). Em seguida, as amostras foram coradas com Safranina a 2% para melhor contraste. Para fixação das amostras nas

lâminas foi utilizada Gelatina de Glicerina de Kaiser para prolongar a viabilidade das amostras.

As lâminas obtidas no processo foram analisadas utilizando uma Câmera digital (AxioCam ERc 5s) acoplada ao microscópio óptico (10x), através do software Axion Vision[®] (versão 4.8.2 SP2 (06-2012)). A partir das fotografias obtidas foram mensurados os seguintes parâmetros anatômicos: Largura do xilema secundário (LXS), número médio de vasos (NMV), diâmetro médio dos vasos (DMV) e área média de vasos (AMV).

Para a análise dos ramos, foram selecionadas quatro áreas aleatórias de cada amostra, com uma área aproximada de 1 mm². Essas áreas foram utilizadas para determinar a distribuição de frequências dos diâmetros médios dos vasos. Esses foram categorizados em classes: 0 – 25 µm, 25 – 50 µm, 50 – 75 µm, 75 – 100 µm e > 100 µm. Seguiu-se uma adaptação da metodologia descrita por Tombesi (2011) e realizou-se a distribuição de frequências dos diâmetros de vasos conforme Barigah e Gyenge (2021).

Os dados climáticos foram obtidos da estação meteorológica da Embrapa Clima Temperado (Estação Experimental Cascata), base física mais próxima do local dos experimentos, no município do Morro Redondo/RS (Figura 1).

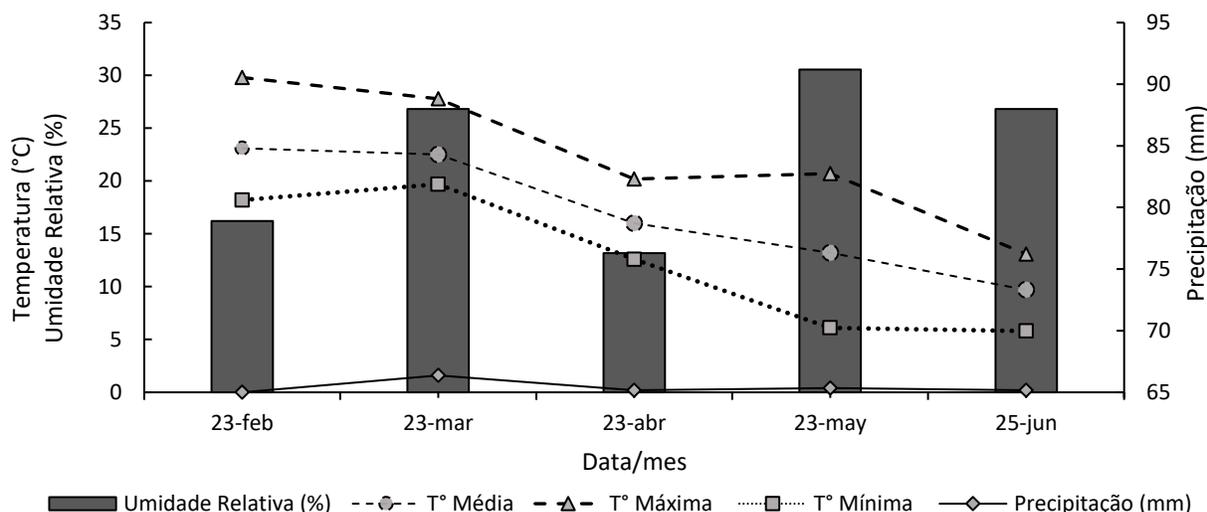


Figura 1 – Temperatura dos meses avaliados (°C), Temperatura média (T° Média), máxima (T° Máxima) e mínima (T° Mínima), Precipitação (mm) e Umidade Relativa (%), dados obtidos da estação da Embrapa Clima Temperado, RS, no ano de 2022.

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado em esquema unifatorial, avaliando-se a cultivar (Tupy) por cinco meses, desde fevereiro até junho, para todos os parâmetros descritos anteriormente (PLC, Kh, LXS, NMV, DMV, AMV). Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) a 5% de probabilidade, sendo testados quanto à normalidade pelo teste de Shapiro-Wilk e de homocedasticidade dos erros por Bartlett e Hartley. Quando pertinente, aplicou-se o Teste de Tukey ($p < 0,05$) para comparação entre as médias dos tratamentos, utilizando-se o software SISVAR (FERREIRA, 2016).

Resultados e discussão

Os estudos sobre a anatomia do xilema são necessários para mensuração do fluxo de seiva, permitindo estabelecer possíveis repostas para os processos de crescimento e desenvolvimento das plantas.

Foram observadas diferenças significativas nas variáveis analisadas entre os meses (Tabela 1). No caso do Percentual de perda da condutividade hidráulica (PLC), o mês de março apresentou valores superiores comparados aos meses de abril, maio e junho, enquanto não houve diferenças significativas entre fevereiro e

os demais meses. O transporte da água por meio da condutância hidráulica a longa distância, pode ser afetado pela presença de embolia no conduto do xilema. Assim, as bolhas de ar formadas nestes condutos deveriam diminuir a condutividade hidráulica dependendo dos elementos ativos do xilema, o processo de recomposição dos condutos, pode ocorrer quando existe uma pressão positiva no xilema, mas também o resultado pode variar dependendo à idade da planta, sendo que as características anatômicas da raiz se desenvolvem e aprofundam no solo, para a absorção de água que encontrar-se mais profunda, sendo que a estrutura radicular mais desenvolvidas tem a capacidade de captação de água mais eficiente (TANEDA et al., 2021).

Em relação ao fluxo de seiva, a condutância hidráulica teórica foi menor no mês de março, possivelmente influenciada pelo diâmetro e densidade dos vasos.

Segundo Zwieniecki e Holbrook (1998), o aumento da condutância hidráulica deve-se à reparação da embolia nos intervalos de tempo curto (durante a noite) e de algumas horas após a transpiração (SALLEO et al., 1996; TYREE et al., 1999). Outra possível razão é da ocorrência de mecanismo de compensação do PLC, chamado efeito iônico, que consiste na indução pela embolia reduzida com o aumento da condutância nos condutos do xilema em funcionamento pelo incremento síncrono na concentração iônica do xilema (NARDINI et al., 2011).

Em relação à largura do xilema secundário (LXS), tratamentos correspondentes aos meses de março, abril e maio não diferiram de fevereiro. Quanto ao número de vasos de xilema (μm^{-2}), foi observada diferença significativa entre os meses, sendo que as amostras coletadas em março e junho apresentaram densidades superiores em relação a maio e fevereiro, que por sua vez tiveram maior densidade de vasos. Não foram encontradas diferenças significativas nos diâmetros médios e áreas médias dos vasos do xilema entre os meses avaliados (Tabela 1).

Os grupos de vasos maiores podem viabilizar rotas alternativas quando alguns se encontrarem embolizados em ambiente seco. Outra teoria sob a condutância teórica afirma que quando existe uma alta conectividade dos vasos, a resistência à embolia é reduzida, acrescentando o risco de embolia por propagação do ar (HACKE et al., 2017; TOMBESI; ALMEHDI; DEJONG, 2011). Na presente

pesquisa os resultados obtidos coincidem com a teoria de Calquist, com número médio de vasos ($94 \mu\text{m}^{-2}$), mas com diâmetro médio dos vasos ($44,56 \mu\text{m}^{-2}$).

O número e o diâmetro de vasos do xilema são elementos importantes para o transporte de água da raiz até as folhas, influenciando na sua eficiência (ZHANG et al., 2023) Pesquisas realizadas com pessegueiro e macieira, descrevem que pode haver diferença entre o diâmetro dos vasos, de acordo com o diâmetro das hastes. Maior diâmetro de vasos na base auxilia no aumento da resistência ao fluxo de água, influenciado pela altura da planta (TOMBESI et al., 2010; TOMBESI et al., 2011; HACKE et al., 2017).

Observa-se que a variação do diâmetro do vaso condutor está associada ao hábito da planta, sendo que as plantas arbustivas apresentam vasos estreitos e plantas lenhosas mais largos (APGAUA et al., 2017).

O déficit hídrico é um fator limitante a ser considerado para ocorrência da embolia nas plantas (ENNAJEH et al. 2010). Por tais razões, as condições climáticas, a nível de precipitações e umidade relativa do ar, podem impactar nas características de diâmetro e densidade dos vasos do xilema (AYUP et al., 2015). Resultados de pesquisas realizadas por Liu et al. (2019) relatam correlação positiva entre o diâmetro de vasos do xilema e vulnerabilidade à cavitação em condições de déficit hídrico, no entanto, plantas com vasos condutores menores apresentam maior resistência a efeitos de embolia (DAVIS et al., 1999; SHTEIN et al., 2011).

O ambiente e fatores genéticos, podem influenciar na formação e tamanho dos vasos do xilema e minimizar o embolismo na planta, de acordo com Ayup (2015), a propriedade de transporte e vulnerabilidade ao embolismo estabelece a distribuição geral nas plantas, para isso é essencial entender como a condutância hidráulica e embolia ocorrem nas plantas. Estudos de Fell e Rowson (1961) mostram que o diâmetro de vasos do gênero *Rubus* é em média de $60 \mu\text{m}$, resultados estes coincidentes com os obtidos na presente pesquisa, porém na amoreira-preta 'Tupy'.

O número e o diâmetro de vasos do xilema são importantes para o transporte de água da raiz até as folhas, já que os condutos do xilema fazem parte da estrutura.

Tabela 1– Perda percentual de condutividade hidráulica (PLC), condutância hidráulica teórica (kh), largura do xilema secundário (LXS), número médio de vasos (NMV), diâmetro médio dos vasos (DMV) e área média de vasos (AMV), durante cinco meses na cultivar Tupy, no município de Morro Redondo-RS, 2022.

Mês	PLC (%)	Kh (kg mMpa ⁻¹ hora ⁻¹)	LXS (µm)	NMV (µm ⁻²)	DMV (µm ²)	AMV (µm ²)
Fevereiro	4,26 ab	2,07e-07 a	768,80 ab	81 b	50,51 ^{ns}	2701,69 ^{ns}
Março	6,526 a	7,37e-08 b	932,776 a	94 ab	44,56	1956,28
Abril	3,690 b	1,77e-07 a	890,832 a	123 a	49,14	2617,210
Mai	2,736 b	1,62e-07 a	895,848 a	99a b	52,62	2784,88
Junho	3,015 b	1,68e-07 a	591,414 b	131 a	48,54	2374,02
CV(%)	34,72	19,01	11,26	16,82	14,85	25,32
(p>0,05)	0.0011	0.00593	0.0309	0.0103	0.4902	0.2766

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro; ns: não significativo.

A distribuição de frequência dos vasos do xilema (Figura 1) indica que a classe de diâmetro de 25-50 µm é significativamente superior comparada às demais, com uma variação entre 35 e 45%. No mês de fevereiro, foi observada diferença nas classes de diâmetro dos vasos do xilema. A classe predominante em termos de porcentagem de vasos foi a de 25 - 50 µm, seguida pelas classes de 0-25 µm e 50 - 75 µm, sem diferenças significativas. Não foram encontradas diferenças significativas na classe de 75 - 100 µm e acima de 100 µm. No mês de março, as classes de 25 - 50 µm e 50 - 75 µm apresentaram a maior frequência de vasos do xilema não apresentando diferenças entre si, enquanto a classe de 75-100 µm e acima de 100 µm mostraram a menor densidade de vasos por área.

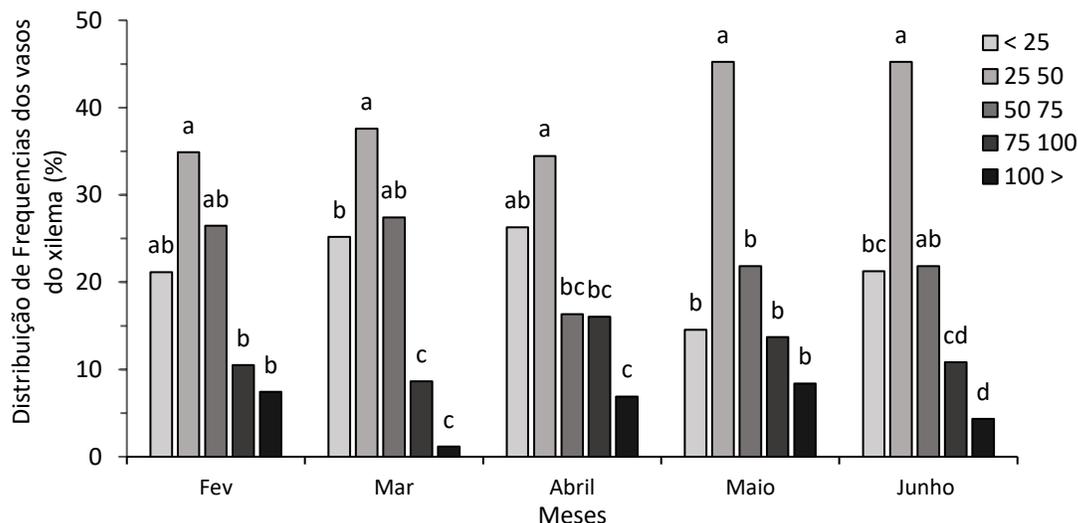


Figura 1 – Distribuição de frequência estimada de vasos, em área de 1 mm², do número médio dos vasos do xilema em ramos de *Rubus* spp. da cultivar Tupy. Médias seguidas de mesma letra não apresentam diferenças significativa entre si pelo teste Tukey a 5 % de probabilidade de erro. Cada valor representa cinco fotos aleatórias de cada um dos meses (N=5).

Carlquist (1977) descreve que elementos de vasos mais estreitos possuem maior resistência à pressão na coluna de água, porém quanto maior densidade de vasos, menor é o seu diâmetro, tornando menos susceptíveis a sofrer estresse hídricos. Ennajeh et al. (2010) relatam que como mecanismo de defesa as plantas têm estratégias adaptativas diferentes para resistir ao estresse hídrico, bem como algumas desenvolvem uma estrutura mais firme (cutícula adaxial, mesofilo, epidermes e lâmina foliar) e outras, maior quantidade de vasos do xilema. A frequência de vasos no xilema e as características estão associadas e, influenciam os índices de PLC, como um indicador da cavitação, quando a planta se encontra em estresse hídrico. A embolia está associada com as características dos vasos xilemáticos, ou seja, os vasos condutores com maior diâmetro são mais susceptíveis à embolia do que vasos do menor diâmetro (APGAUA et al., 2017; AYUP et al., 2015).

Os estudos realizados ajudam a compreender melhor a situação da cultura da amoreira preta com a relação ao déficit hídrico, já que algumas espécies apresentam

a capacidade para mudar algumas características anatômicas dependendo do nível do estresse hídrico, bem como, alterar a densidade de vasos do xilema para mitigar efeitos relacionados à embolia causadas por períodos de restrição hídrica na região.

Conclusões

Nas condições que o experimento foi conduzido e com o material vegetal utilizado, concluiu-se que:

A precipitação que antecederam as avaliações possibilitou menores índices de PLC.

As maiores concentrações de diâmetros dos vasos do xilema estão entre 25 a 50 μm , não ocorrendo variações durante o período de análises.

Com relação ao diâmetro médio dos vasos, observou-se maior diâmetro no mês de abril.

Referências

ABREU, E.S.; CARRA, B.; DINI, M.; SILVA, T.A.; SIMÕES, F.; PASA, M.S.; BRIGHENTI, A.F.; CHAVES, A.L.S.; MELLO-FARIAS, P.C.; HERTER, F.G. Native embolism in “Rocha” pear under different rootstocks and their relationship with plant vigor. **Acta Horticulturae**, v. 1303, p. 221–226, 2021.

ANTUNES, L.E.C.; PEREIRA, I. DOS S.; PICOLOTTO, L.; VIGNOLO, G.K., GONÇALVES, M.A. Blackberry production in Brazil. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 36, n. 1, p. 100-111, 2014.

APGAUA, D. M. G. et al. Plant functional groups within a tropical forest exhibit different wood functional anatomy. **Functional Ecology**, v. 31, n. 3, p. 582–591, 2017.

AYUP, M. et al. XYLEM ANATOMY AND HYDRAULIC TRAITS OF TWO CO-OCCURRING RIPARIAN DESERT PLANTS. **IAWA Journal**, v. 36, n. 1, p. 69–83, 18 mar. 2015.

BARBOSA, C. M. de A., MARTINS, M. M. V., SPÓSITO, M. B. Panorama das Exportações e Importações Brasileiras de Framboesas e Amoras-Pretas in

natura. In: **Seminário Brasileiro Sobre Pequenas Frutas** (pp. 1-5). Vacaria: Emater/UCS, BAUERLE, T. L., 2019.

BARIGAH, T.S.; GYENGE, J.E.; BARRETO, F.; ROZENBERG, P.; FERNÁNDEZ, M.E. Narrow vessels cavitate first during a simulated drought in *Eucalyptus camaldulensis*. **Physiologia Plantarum**, v. 173, n. 4, p. 2081–2090, 2021.

BRODRIBB, T. J.; MCADAM, S. A.M.; MURPHY, M. R. C. Xylem and stomata, coordinated through time and space. **Plant, Cell & Environment**, v. 40, n. 6, p. 872-880, 2017.

CARLQUIST, S. Ecological factors in wood evolution: a holistic approach. **American Journal of Botany**, v. 64, p. 887- 896, 1977.

CURI, P.N.; PIO, R.; MOURA, P.H.A.; TADEU, M.H.; NOGUEIRA, P.V.; PASQUAL, M.–. Production of blackberry and redberry in Lavras, Brazil. **Ciência Rural**, v. 45, n. 8, p. 1368-1374, 2015.

DA SILVA, C.R.; ALVES JÚNIOR, J.; SILVA, T.J.A.; FOLEGATTI, M.V.; SANTOS, R.A.; SOUZA, L.B. Water deficit in citrus: information for irrigation management. *Citrus Research & Technology*, v. 27, n. 1, p. 0, 2006.

DAVIS, S. D.; SPERRY, J. S.; HACKE, U. G. The relationship between xylem conduit diameter and cavitation caused by freezing. *American Journal of Botany*, v. 86, n. 10, p. 1367–1372, 1999.

DIXON, H.H.; JOLY, J. On the ascent of sap. **Proceedings of the Royal Society of London**, v. 57, p. 3–5, 1894.

ENNAJEH, M.; SIMÕES, F.; KHEMIRA, H.; COCHARD, H. How reliable is the double-ended pressure sleeve technique for assessing xylem vulnerability to cavitation in woody Angiosperms. **Physiologia Plantarum**, v. 142, n. 3, 2011.

FELL, K.R.; ROWSON, J.M. Anatomical studies in the genus *Rubus*. IV. Anatomical variations in the leaves of cultivated varieties of *R. idaeus* L. and *R. loganobaccus* L. H. Bailey, and of certain species of bramble. **Pharm Pharmacology**, v. 13, p. 83-92, 1961.

FERREIRA, R. L.; FERREIRA, E. A.; AGUIAR, L. M.; SANTOS, J. B.; CECON, P. R. Atividade fotossintética de plantas cultivadas em solo contaminado com sulfentrazone. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v. 15, n. 2, p. 165-174, 2016.

FREITAS, J.L.; SILVA, R.B.L.; BARBOSA FILHO, M.N.; CANTUARIA, P.C.; CRUZ JUNIOR, F.O. Reproductive phenology of five tree species in a terra firme ecosystem in the Brazilian Amazon. **Biota Amazônia**, v. 5, p. 38-44, 2015.

GAUTHEY, A.; PETERS, J.M.R.; CARINS-MURPHY, M.R.; RODRIGUEZ-DOMINGUEZ, C.M.; LI, X.; DELZON, S.; KING, A.; LÓPEZ, R.; MEDLYN, B.E.; TISSUE, D.T.; BRODRIBB, T.J.; CHOAT, B. Visual and hydraulic techniques produce similar estimates of cavitation resistance in woody species. **New Phytologist**, v. 228, n. 3, p. 884-897, 2020.

HACKE, U. G. et al. An ecophysiological and developmental perspective on variation in vessel diameter. **Plant Cell and Environment**, v. 40, n. 6, p. 831–845, 2017.

JONES, H.G.; SUTHERLAND, R.A. Stomatal control of xylem embolism. **Plant, Cell & Environment**, v.14, n. 6 p. 607-612,1991.

LEITE, T.S.L.; FREITAS, R.M.O.; DIAS, N.S.; DROMBOSKI, J.L.D.; NOGUEIRA, N.W. The interplay between leaf water potential and osmotic adjustment on photosynthetic and growth parameters of tropical dry forest trees. **Journal of Forestry Research**, v. 34, n. 1, p. 177-186, 2023.

LEWIS, A.M.; HARNDEN V.D.; TYREE, M.T. Collapse of water stress emboli in the tracheids of *Thuja occidentalis* L. **Plant Physiology**, v. 106, p. 1639-1646, 1999.

LIU, H.; GLEASON, S.M.; HAO, G.; HUA, L.; HE, P.; GOLDSTEIN, G.; YE, Q. Hydraulic traits are coordinated with maximum plant height at the global scale. **Science Advances**, v. 5, n. 2, p. eaav1332, 2019.

NARDINI, A.; SALLES, S.; JANSEN, S. More than just a vulnerable pipeline: xylem physiology in the light of ion-mediated regulation of plant water transport. **Journal of Experimental Botany**, v. 62, n. 14, p. 4701-4718, 2011.

POORTER, L. et al. The importance of wood traits and hydraulic conductance for the performance and life history strategies of 42 rainforest tree species. **New**

Phytologist, v. 185, n. 2, p. 481–492, 2010.

SALLEO, S.; LO GULLO, M.; DEPAOLI, D.; ZIPPO, M. Xylem recovery from cavitation-induced embolisms in young plants of *Laurel noveltis*: a possible mechanism. **New Phytologist**, v. 132, p. 357-366, 1996.

SHTEIN, I., MEIR, S., RIOV, J., Philosoph-Hadas, S. Interconnection of seasonal temperature, vascular traits, leaf anatomy and hydraulic performance in cut Dodonaea 'Dana' branches. *Postharvest Biology and Technology*, 61(2-3), 184-192. 2011.

TANEDA, H.; IKEDA, T. Hydraulic architecture with high root-resistance fraction contributes to efficient carbon gain of plants in temperate habitats. **American Journal of Botany**, v. 108, n. 10, p. 1932-1945. 2021

TOMBESI, S. et al. Relationships between xylem vessel characteristics, calculated axial hydraulic conductance and size-controlling capacity of peach rootstocks. **Annals of Botany**, v. 105, n. 2, p. 327–331, 1 fev. 2010.

TOMBESI, S.; ALMEHDI, A.; DEJONG, T. M. Phenotyping vigour control capacity of new peach rootstocks by xylem vessel analysis. **Scientia Horticulturae**, v. 127, n. 3, p. 353–357, 10 jan. 2011.

TOMBESI, S.; ALMEHDI, A.; DEJONG, T.M. Phenotyping vigour control capacity of new peach rootstocks by xylem vessel analysis. **Scientia Horticulturae**, v. 127, n. 3, p. 353–357, 2011.

TYREE, M.T.; SPERRY, J.S. Vulnerability of xylem to cavitation and embolism. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, v. 40, p. 19–38, 1989.

ZHANG, Y. et al. Xylem anatomical and hydraulic traits vary within crown but not respond to water and nitrogen addition in *Populus tomentosa*. **Agricultural Water Management**, v. 278, n. September 2022, p. 108169, 2023

ZWIENIECKI, M.A.; HOLBROOK, N.M. Short term changes in xylem water conductivity in white as, red maple and Sitka spruce. **Plant, Cell & Environment**, v. 21, p. 1173-1180, 1998.

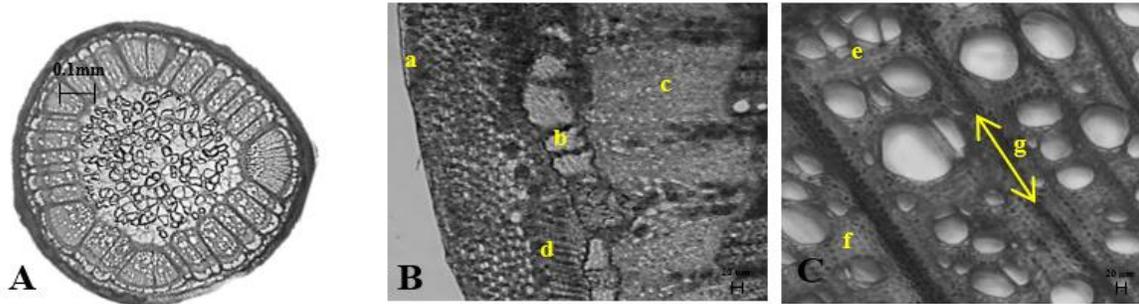


Figura 10 – A) Corte transversal do caule da amoreira-preta da variedade ‘tupy’ (*Rubus* spp); Escala A= 0,1 mm; B = 40 µm; C = 40 µm. A (Zoom optico 4X,), B (Zoom optico 10X) e C (Zoom optico 20X). Aonde representam as seguintes características anatômica: B) Córtex (a), floema (b), zona do câmbio (c), Camada fibrosa do floema (d); C) Vasos do xilema (e), parênquima xilemático (f), Raios do xilema(g); Escala = 20 µm

Fonte: Katia Ruiz (2022).

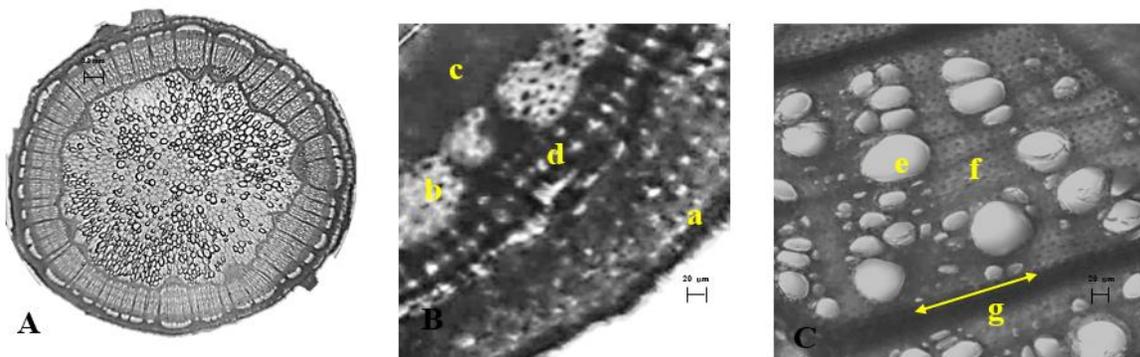


Figura 11 – A) Corte transversal do caule da Framboesa da variedade ‘Heritage’ (*Rubus* spp); Escala A= 0,1 mm; B = 40 µm; C = 40 µm. A (Zoom optico 4X,), B (Zoom optico 10X) e C (Zoom optico 20X). Aonde representam as seguintes características anatômica: B) Córtex (a), floema (b), zona do câmbio (c), Camada fibrosa do floema (d); C) Vasos do xilema (e), parênquima xilemático (f), Raios do xilema(g); Escala = 20 µm

Fonte: Katia Ruiz (2022).