



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO OESTE DO PARÁ - UFOPA
INSTITUTO DE ENGENHARIA E GEOCIÊNCIAS - IEG
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA PÓS-GRADUAÇÃO E INOVAÇÃO TECNOLÓGICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM RECURSOS NATURAIS DA AMAZÔNIA- PPGRNA**

THAMILLES SANTA BARBARA SOUSA FRANCO

**INTERAÇÕES ENTRE A DINÂMICA DO FLUXO DE SEIVA EM ESPÉCIES
ARBÓREAS E O ALAGAMENTO EM UMA FLORESTA DE VÁRZEA:
IMPLICAÇÕES PARA OS PROCESSOS DA BIOSFERA-ATMOSFERA EM
SANTARÉM-PARÁ.**

**SANTARÉM-PA
2024**

THAMILLES SANTA BARBARA SOUSA FRANCO

**INTERAÇÕES ENTRE A DINÂMICA DO FLUXO DE SEIVA EM ESPÉCIES
ARBÓREAS E O ALAGAMENTO EM UMA FLORESTA DE VÁRZEA:
IMPLICAÇÕES PARA OS PROCESSOS DA BIOSFERA-ATMOSFERA EM
SANTARÉM-PARÁ.**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Recursos Naturais da Amazônia para obtenção de título de Mestre em Ciências Ambientais da Universidade Federal do Oeste do Pará; Área de concentração: Ciências Ambientais

Orientador: Prof. Dr. José Mauro Sousa de Moura
Coorientadora: Prof. Dra. Adelaine Michela e Silva Figueira

**SANTARÉM-PA
2024**

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
Sistema Integrado de Bibliotecas – SIBI/UFOPA

- F825i Franco, Thamilles Santa Barbara Sousa
Interações entre a dinâmica do fluxo de seiva em espécies arbóreas e o alagamento em floresta de várzea: implicações para os processos da biosfera-atmosfera em Santarém-Pará./ Thamilles Santa Barbara Sousa Franco. - Santarém, 2024.
86 p. : il.
Inclui bibliografias.
Orientador: José Mauro Sousa de Moura.
Coorientadora: Adelaine Michela e Silva Figueira.
Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Oeste do Pará, Instituto de Engenharia e Geociências, Pró-Reitoria de Pesquisa Pós-Graduação e Inovação tecnológica, Programa de Pós-Graduação em Recursos Naturais da Amazônia.
1. Sazonalidade. 2. Resistência hídrica. 3. Área foliar. 4. Tolerância. 5. Pulso de inundação I. Moura, José Mauro Sousa de, *orient.* II. Figueira, Adelaine Michela e Silva, *coorient.* III. Título.

CDD: 23 ed. 581.4098115

THAMILLES SANTA BARBARA SOUSA FRANCO


**DINÂMICA DO FLUXO DE SEIVA EM RESPOSTA AO ALAGAMENTO EM
ESPÉCIES ARBÓREAS DE UMA FLORESTA DE VÁRZEA, SANTARÉM- PARÁ**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Recursos Naturais da Amazônia para obtenção de título de Mestre em Ciências Ambientais da Universidade Federal do Oeste do Pará; Área de concentração: Ciências Ambientais


Orientador: Prof. Dr. José Mauro Sousa de Moura
Coorientadora: Prof. Dra. Adelaine Michela e Silva Figueira

Conceito: 9,2

Data de aprovação: 26/07/2024


Documento assinado digitalmente
 **JOSE MAURO SOUSA DE MOURA**
Data: 06/11/2024 21:43:17-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. José Mauro Sousa de Moura (Orientador) Universidade Federal do Oeste do Pará – UFOPA


Documento assinado digitalmente
 **TOMAS FERREIRA DOMINGUES**
Data: 27/08/2024 09:20:23-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Dr. Tomas Ferreira Domingues

Universidade de São Paulo, Faculdade de Filosofia Ciências e Letras de Ribeirão Preto

Documento assinado digitalmente
 **ERACLITO RODRIGUES DE SOUSA NETO**
Data: 26/08/2024 14:04:41-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Dr. Eráclito Rodrigues de Sousa Neto Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP

Documento assinado digitalmente
 **RICARDO SCOLES CANO**
Data: 21/08/2024 09:55:11-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Dr. Ricardo Scoles Cano

Universidade Federal do Oeste do Pará - UFOPA

DEDICATÓRIA

Ao meu pai, Floriano Franco (*in memoriam*), que partiu antes de me ver voar, mas que me deu asas para que eu pudesse alavancar meus voos. E a minha mãe Lucilene Sousa, por toda força e coragem ao longo da vida, por não ter desistido e por acreditar que a educação mudaria as nossas vidas.

A vocês, dedico.

AGRADECIMENTOS

Muitas pessoas contribuíram na minha caminhada para que fosse possível chegar até aqui e apesar de ser uma tarefa difícil, listar o nome de todas essas pessoas, gostaria de agradecer ao menos algumas delas,

porque o sucesso não se alcança sozinho...

Começo agradecendo aos meus irmãos, Thais, Talita e Kalebe, pelo apoio incessante, incentivo e boas energias; pela escuta acolhedora e por me conhecerem ao ponto de reconhecerem meus momentos de fraqueza e estenderem a mão para me levantar. Eu os amo e a vida é muito mais alegre com a presença de vocês, acreditem. A minha “grande família” (tios, primos, vovó), por apostarem alto nos meus sonhos e por serem lar, sempre que precisei.

Aos meus amigos, por não cansarem de orar por mim e me desejarem o melhor da vida, por tornarem essa caminhada mais leve e alegre, por me aproximarem do meu sonho, amo todos vocês (sem dúvida). Aqui caberia o destaque de muitos nomes, mas citarei quatro pessoas que se tornaram engrenagem nos últimos meses e me fizeram permanecer firme para chegar até aqui, Fabiana Bernardo, Igor Marcelo, Marcelo Lucas e Rafael Muniz, serei eternamente grata pela vida de vocês, por acolherem meu momento de fragilidade emocional e por não deixarem meu barco à deriva. A vida não é sobre o que temos, mas QUEM temos. Obrigada pelo refúgio, abraços, distrações e acolhimento. Assim como o paraplégico foi levado a Jesus através de seus amigos, vocês me trouxeram até a realização desse sonho, logo, os amigos que escolhemos para partilhar a vida importam bem mais do que possamos imaginar.

A Universidade Federal do Oeste do Pará – UFOPA, de forma carinhosa, ao PGRNA, por toda formação acadêmica e experiências proporcionadas através do programa de pós-graduação. Pela credibilidade dada ao trabalho proposto e por investirem em minhas demandas ao longo do curso.

A Rose Gleisy, secretária do PGRNA, por toda disposição e prestatividade, seja com solicitações de auxílio, lembrança de prazos, cumprimento de créditos, ou simplesmente por nos lembrar que no final, tudo dá certo. És peça fundamental para o funcionamento do PGRNA. Aos colegas da turma 2022, Athila, Ellen, Kemuel, Jefferson, Maniusa e Amanda, com os quais partilhei muitas risadas e com quem pude contar na hora de dividir os medos e angústias que surgiram no caminho.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelo fomento da bolsa de pesquisa.

A todos os pesquisadores e colaboradores do grupo de trabalho do projeto: *Cascade “Ecohydromics” in the Amazonian Headwater System*, financiado pela National Science Foundation – NSF grant number 2111028, em especial aos pesquisadores Tyeen Taylor, Valeriy Ivanov, Theo Taeho Kim, pelo financiamento de parte desse trabalho, pela troca científica ao longo desses 24 meses, pela paciência em me ensinar os métodos necessários para executar meu plano de pesquisa, pela compreensão das lacunas existentes em minha formação e pela disposição em me ajudar a preenchê-las.

Ao Departamento de Botânica da Universidade de Brasília, de forma carinhosa a professora Cristiane Ferreira e ao professor Augusto César Franco, que me acolheram durante o estágio externo na UNB. Obrigada por me apresentarem a UNB e Brasília, por abrirem as portas de seus laboratórios para que eu tivesse a oportunidade de fazer ciência com seus alunos e colegas, pela dedicação que tiveram com meu treinamento e estadia em Brasília, pelas discussões científicas e construção de conhecimento.

Aos comunitários Distrito de Arapixuna, por me permitirem “navegar” nesse rio, adentrar a floresta e aprender um pouco daquilo que vocês conhecem muito bem. Com muito amor, a família do Sr Nelson e Sra Iraci e a tia Maria, que me acolheram bem durante as coletas de campo e me entregaram muito amor durante minha estadia na comunidade. De forma muito carinhosa, agradeço ao Irailson, mateiro que me acompanhou durante as coletas de campo e peça fundamental na desenvoltura desse trabalho, obrigada por seu compromisso, dedicação, zelo e responsabilidade.

Aos colegas e amigos de laboratório, que já passaram e que permanecem conosco, Francianny Thais, Juliana Sousa, Matheus Bento, Daniel Marinho, Maria Vicência, Igor Cruz, Keven Lima, Carolina do Valle, Fabiana Bernardo, Marcelo Lucas, Júlia, Natália, Klicia, João, Cezar, Roberta, Aline, com os quais aprendi muito mais do que somente executar bem os protocolos de pesquisa,... partilhei bons momentos, chorei e sorri. Vocês me mostraram que na ciência também tem espaço para a leveza e troca afetiva.

Aos meus pais, mais uma vez e sempre! Serei grata a vocês, papai e mamãe, por investirem muito em minha educação, abraçarem meus sonhos e me ofertarem sempre o melhor da vida. Ao meu pai agradeço o grande exemplo de seriedade e humildade que fostes em minha vida, por se dedicar inteiramente aos seus filhos e mesmo que tenha partido antes de termos a chance de partilharmos juntos as minhas conquistas, sei que de alguma forma, permanece aqui, amo você, infinito. E a minha mãe, agradeço pelo grande exemplo de força e resiliência que me

entregas diariamente, por sua garra e determinação, por suas orações diárias que me abastecem, eu tenho muito orgulho de ser sua filha.

E por último, mas não menos importante, agradeço aos meus orientadores, José Mauro e Michela Figueira, pela oportunidade de orientação e por insistentemente acreditarem em mim. Por todos os “empurrões” e encorajamento. Por quererem me ver longe, por me apresentarem o mundo científico fora da UFOPA, por construírem pontes e conexões, ao invés de muros. Por tornarem o caminho mais acessível, por abrirem as estradas, iluminar os espaços e tornar tudo mais fácil (vocês insistentemente diziam que não precisava ser difícil). Por garantirem que eu tivesse todas as condições necessárias para executar esse trabalho, não somente condições financeiras, mas científicas, emocionais. Obrigada pela companhia nos campos, pelo cuidado e preocupação que tinham quando passei a ir aos campos sem vocês, confesso que a mensagem de: “Ei menina, como está por aí?” fazia muita diferença. Obrigada por serem de perto grandes exemplos de humildade, honestidade, seriedade e compromisso (com a ciência e com quem investe nela também). Obrigada pela paciência, apoio, inspiração e ajuda na superação dos meus medos. Obrigada por muitas vezes serem simplesmente vocês. E claro, por despertarem em mim a vontade de seguir (seja lá quais sejam os caminhos, seguir). Ao professor José Mauro, obrigada pela insistência, desde o primeiro semestre da graduação e pelos sábios conselhos. A professora Michela, obrigada pela sensibilidade e carinho comigo, por todo acolhimento, troca, desabafos. Que muitos outros alunos tenham a chance de ser orientados por vocês e que saibam valorizar e reconhecer toda dedicação de vocês para com eles. Gratidão!

E acima de todas essas coisas, agradeço a Deus, por ter me sustentado, fortalecido e preparado para este dia, por não ter me permitido perder de vista o meu ponto de partida. É justo que muito me custe, aquilo que muito vale.

RESUMO

A água é um fator determinante no estabelecimento e na permanência de árvores em diferentes ambientes, sua disponibilidade está estreitamente ligada a processos fisiológicos nas plantas e ao bom funcionamento dos ecossistemas, sobretudo em florestas de várzea, que são ecossistemas altamente dinâmicos e que estão anualmente sujeitas a um pulso de inundação. As espécies arbóreas presentes nesse ecossistema precisam desenvolver estratégias que as permitam tolerar o alagamento. Essas estratégias são resultado de combinações de diferentes mecanismos ecofisiológicos e morfoanatômicos. Diante disso, este trabalho busca investigar como as condições de alagamento e não alagamento influenciam na dinâmica do fluxo de seiva do xilema e morfoanatomia em espécies arbóreas de uma floresta de várzea no Distrito de Arapixuna, Santarém, Pará. Foram selecionadas três espécies perenes, frequentes e com importância ecológica para os ecossistemas de várzea: *Eugenia* sp., *Gustavia augusta* L., *Laetia corymbulosa* Spruce ex Benth.. Em cada uma instalou-se um sensor de fluxo de seiva, os fluxos foram inferidos de forma contínua, durante 14 meses, através do método de dissipação de calor e analisados juntamente com variáveis ambientais do meio e variáveis morfoanatômicas das plantas. Os resultados demonstram que as taxas de fluxo de seiva/ índice de calor foram menores no período alagado e maiores nos períodos de não-alagamento. As espécies estudadas adotaram diferentes estratégias para tolerar a condição de estresse hídrico proporcionado pela saturação do solo, além do diferente padrão no uso da água e estes estão correlacionados com as características funcionais de cada espécie e com o microclima local. Entre as espécies estudadas, *Eugenia* sp foi a que se apresentou mais bem aclimatada e adaptada às mudanças sazonais proporcionadas pelos ciclos de cheia e seca. Nas três espécies, as variações no índice de calor são controladas por fatores ambientais, principalmente déficit de pressão de vapor, radiação solar e temperatura do ar. Conclui-se que, o microclima regula as diferentes características funcionais nas três espécies arbóreas de várzea estudadas e estas garantem a eficiência do transporte de água pelo xilema mesmo sob condições de estresse hídrico causado pelo alagamento.

Palavras-chave: sazonalidade, resistência hídrica, área foliar, tolerância, pulso de inundação.

ABSTRACT

Water is a determining factor in the establishment and permanence of trees in different environments, its availability is closely linked to physiological processes in plants and the proper functioning of ecosystems, especially in floodplain forests, which are highly dynamic ecosystems annually subjected to flood pulse. Tree species present in this ecosystem need to develop strategies that allow them to tolerate flooding. These strategies are the result of combinations of different ecophysiological and morphoanatomical mechanisms. Therefore, this work seeks to investigate how flooding and non-flooding conditions influence the dynamics of xylem sap flow and morphoanatomy in tree species from a floodplain forest in the District of Arapixuna, Santarém, Pará. Three perennial species, frequent and with ecological importance for floodplain ecosystems: *Eugenia* sp., *Gustavia augusta* L., *Laetia corymbulosa* Spruce ex Benth.. A sap flow sensor was installed in each one, the flows were inferred continuously, for 14 months, through the heat dissipation method and analyzed together with environmental variables of the environment and morphoanatomical variables of the plants. The results demonstrate that the sap flow/heat index rates were lower in the flooded period and higher in the non-flooded periods. The species studied adopted different strategies to tolerate water stress caused by soil saturation, in addition to different patterns of water use, which are correlated with the functional characteristics of each species and the local microclimate. Among the species studied, *Eugenia* sp was the one that was best acclimatized and adapted to the seasonal changes caused by the flood and drought cycles. In all three species, variations in heat index are controlled by environmental factors, mainly vapor pressure deficit, solar radiation and air temperature. It is concluded that the microclimate regulates the different functional characteristics in the three floodplain tree species studied and these guarantee the efficiency of water transport through the xylem even under conditions of water stress caused by flooding.

Keywords: seasonality, water resistance, leaf area, tolerance, flood pulse.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Mapa de localização da área de estudo. Ao lado esquerdo do Igarapé Arapixuna tem a sede do Distrito e ao lado direito a localização da parcela no sítio de pesquisa que fica ao leste da sede da comunidade. Foto referente a janeiro (enchente) de 2024.	30
Figura 2 - Delimitação das estações, de acordo com as fases da hidrógrafa, para a área de estudo. A precipitação média mensal representada em barras e a vazão média mensal representada em linha.....	31
Figura 3 - Exemplar de espécime de <i>Laetia corymbulosa</i> , com presença de folhas expandidas e frutificação (A), flor e inflorescência (B).....	35
Figura 4 - A) Flores de <i>Gustavia augusta</i> abertas sob a água do rio. B) Flores e frutos de <i>Gustavia augusta</i>	36
Figura 5 - À esquerda folhas e frutos de <i>Eugenia</i> sp , ao meio base do tronco reta com ritidoma fissurado e à direita pré-excicata de <i>Eugenia</i> sp.	37
Figura 6 - Esquema do sensor de Garnier.....	44
Figura 7 - Série temporal de índice de calor de três espécies de árvores perenes de uma floresta de várzea	43
Figura 8 - Seção transversal da lâmina foliar de <i>Eugenia</i> sp.....	50
Figura 9 - Seção transversal da lâmina foliar <i>Laetia corymbulosa</i>	51
Figura 10 - Seção transversal da lâmina foliar <i>Gustavia augusta</i>	52
Figura 11 - Área foliar específica em três espécies de várzea amazônica estimada nos períodos não alagado (outubro e novembro de 2023, fevereiro de 2024) e alagado (maio de 2024).....	56
Figura 12 - Ciclo diurno da variação do índice de calor em três espécies de árvores perenes estudadas na floresta de várzea do Distrito de Arapixuna, Santarém -PA, durante o período alagado (agosto de 2022) e não alagado (novembro de 2022).....	61
Figura 13 - Variação sazonal dos ciclos diurnos de índice de calor em função ao período hidrográfico, em duas espécies de várzea, no qual V1: <i>Gustavia augusta</i> e V4: <i>Laetia corymbulosa</i> . O eixo X corresponde aos períodos hidrográficos, sendo dezembro à março -enchente, abril à junho - cheia, julho à setembro - vazante, outubro à novembro - seca, e horário do dia. Eixo y corresponde aos valores médios de índice de calor.....	66
Figura 14 - Correlação da média horária entre índice de calor e cinco fatores meteorológicos (temperatura - Temp (°C), radiação de onda curta descendente- DSR (W/m ²), déficit de pressão	

de vapor- VPD (kPa), velocidade do vento- WS (m/s) e precipitação- Prep (mm/h), de três espécies de várzea amazônica (V1) - *Gustavia augusta*, (V3) - *Eugenia* sp, (V4) - *Laetia corymbulosa*.....68

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Espécies utilizadas na medida de Fluxo de Seiva na Floresta de Várzea no Distrito de Arapixuna, Santarém-PA.....	33
Tabela 2 – Principais caracteres anatômicos da lâmina foliar de 03 espécies de várzea amazônica. (+) = presença, (-) = ausência, AB = abaxial, AD = adaxial, Dorsi = dorsiventral, PP = parênquima paliçádico, PL = parênquima lacunoso, IC = idioblastos cristalíferos, C = cristais, D = drusas, AF = arco fechado, Co = colateral, GO= glândula oleífera.....	49
Tabela 3 – Área foliar (AF) e Área Foliar específica (AFE) das três espécies estudadas, nas fases não alagado e alagado. Os valores são mínimos e máximos (min – max) medidos, média das medições, com desvio-padrão.....	56
Tabela 4 – Características funcionais do xilema do galho e da lâmina foliar. Os valores são referentes a média, máximo e mínimo do diâmetro do vaso, densidade do vaso, área relativa do lumem, tamanho estomático e densidade.....	57
Tabela 5 – Valores médios, mínimo, máximo e desvio padrão para índice de calor nas diferentes condições de encharcamento do solo: não alagado (novembro/2022) e alagado (outubro/2022), para as três espécies do estudo.....	62
Tabela 6 - Valores médios, mínimo, máximo e desvio padrão para índice de calor nas diferentes fases hidrográficas: enchente (dezembro - março), cheia (abril - junho), vazante (julho - setembro) e seca (outubro - novembro), para duas espécies do estudo.....	67

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
2 REFERENCIAL TEÓRICO	17
2.1 Floresta de Várzea	17
2.2 Pulso de inundação em florestas de várzea	18
2.3 Características das plantas de florestas de várzea	19
2.4 Papel das plantas no ciclo da água	23
2.5 Transporte de água nas plantas: papel do xilema e das folhas	24
2.6 Fluxo de seiva em espécies arbóreas	26
3 OBJETIVOS	29
3.1 Objetivo Geral	29
3.2 Objetivo específicos	29
4 MATERIAL E MÉTODOS	29
4.1 Área de estudo.....	29
4.1.1 Clima	30
4.1.2 Vegetação	31
4.1.3 Solo.....	32
4.2 Coleta de dados	33
4.2.1 Seleção das espécies	33
4.2.2 Informações taxonômicas, ecológica e de uso das espécies em estudo.....	33
4.2.3 Variáveis ambientais microclimáticas	37
4.2.4 Variáveis funcionais e morfoanatômicas.....	37
4.2.5 Determinação do Fluxo de Seiva.....	41
4.3 Análise dos dados.....	43
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	44
5.1 Características funcionais morfoanatômicas	44
5.1.1 Anatomia das folhas	44
5.2 Densidade estomática e densidade de vasos de xilema.....	57
5.3 Influência das condições de alagamento e não-alagamento nos padrões de perfil diário do fluxo de seiva/índice de calor.....	60
5.4 Mudanças sazonais nos padrões de fluxo de seiva/índice de calor.....	63
5.5 Influência das variáveis ambientais nas taxas de índice de calor	67
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	70
REFERÊNCIAS	71

1 INTRODUÇÃO

A Amazônia é a maior floresta tropical úmida do mundo, conhecida por ser um grande reservatório socioambiental, conter uma vasta biodiversidade e por desempenhar um importante papel dentro da manutenção de ecossistemas, contribuindo diretamente com a regulação do clima e das chuvas e na absorção de dióxido de carbono (Dallaqua *et al.*, 2020). Sendo abrangida dentro do território brasileiro ao longo de mais de 4 milhões de km² em todo território nacional e por 3.000 km de extensão do rio Amazonas (Filizola, 1999).

O Rio Amazonas e seus tributários é o formador do maior complexo de água doce do mundo, com uma descarga anual média de água para o mar de 200.000 m³s⁻¹ e uma área de captação de aproximadamente 6,15 milhões de km² (Osborne, 2000), e apresenta ainda uma das maiores áreas alagadas do planeta, as matas de planície de inundação (terminologia regional - mata de várzea e mata de igapó).

Junk (1997) define várzea como sendo uma área que sofre alagamento periodicamente pelo transbordamento da água dos rios ou lagos de água branca, por precipitação direta ou pela elevação do nível da água do lençol freático, sendo ambientes complexos e altamente produtivos, fertilizados pelo aporte de águas ricas em nutrientes e material particulado proveniente do Rio Amazonas e outros rios. É considerado um ecossistema que apresenta menor diversidade vegetativa que os ecossistemas de terra firme, uma vez que exige com que os indivíduos possuam maiores estratégias morfofisiológicas para torná-las capazes de tolerar o período de alagamento, somente assim conseguem acompanhar a sazonalidade do ambiente e viver em condições extremamente restritas (Sioli, 1985).

O ecossistema de várzea é anualmente afetado por um pulso de inundação, que se refere à subida e descida da água resultante do somatório das chuvas de toda a bacia de drenagem e do degelo anual do verão andino (Junk *et al.*, 1989). O pulso de inundação é responsável pela complexidade sazonal e pela alta dinâmica e produtividade nesse ecossistema, podendo ultrapassar 10 metros de altura, deixando material vegetal parcialmente ou completamente submersas por até 8 meses ao ano (Junk *et al.*, 2010).

É importante destacar que essas florestas são responsáveis por parte dos ciclos biogeoquímicos, possuindo ligação direta com o ciclo hidrológico e com a regulação do clima local, onde parte do vapor d'água responsáveis pela formação de chuvas na Amazônia são produzidos localmente, através do processo de evapotranspiração, sendo o restante deslocado até a região através do fluxo atmosférico que advém do Atlântico (Salati *et al.*, 1979). Para

Kunert *et al.* (2017), os indivíduos arbóreos emergentes em uma floresta amazônica são os mais influentes nas taxas de transpiração, atuando fortemente na manutenção hidrológica, pois é através da transpiração que a água da chuva que fica armazenada no solo passa a ser devolvida para a atmosfera.

Uma das possibilidades de quantificar a transpiração das plantas, analisar o balanço hídrico e quantificar a quantidade de água que percorre no tronco de uma árvore, dá-se através da medição do fluxo de seiva, sendo o fluxo de seiva a representação do somatório da quantidade de água que flui pelo tronco da árvore por unidade de tempo (Granier; Bréda, 1996). A quantificação do fluxo de seiva torna-se uma ligação direta com os níveis de transpiração das árvores, onde parte do vapor d'água da atmosfera perpassa pelo xilema e pelos estômatos foliares de plantas nas florestas, desempenhando um fator importante na conexão hidráulica entre o solo e a atmosfera (Steep *et al.*, 2015), uma vez que grande parte do vapor d'água que chega até a atmosfera em algum momento perpassa pelo xilema do caule e pelos estômatos das folhas das árvores das florestas antes de serem evapotranspirados.

Ressalta-se que o funcionamento hidráulico em plantas é altamente dinâmico e dependente das condições ambientais do meio em que elas se encontram. Em espécies arbóreas, o fluxo de seiva no tronco é um fator-chave para compreensão da capacidade hidráulica da planta, ao medir as taxas desse processo fisiológico das plantas consegue-se compreender o funcionamento de exploração de água e como essas espécies toleram períodos de seca e alagamento anualmente. E ao avaliá-lo em distintas espécies pode-se ter respostas a respeito de como a regulação do fluxo de seiva apresenta-se de maneira diferente de acordo com as características morfofisiológicas de cada indivíduo (Cermak, 2004; Horna, 2010; Muller, 2002).

Destaca-se também que a vasta biodiversidade presente na várzea e o importante papel que desempenha nos ciclos biogeoquímicos, reforça a importância de se conhecer detalhadamente esse ecossistema e desperta uma atenção especial às ameaças que esses ambientes vem sofrendo (degradação e remoção de suas florestas), sobretudo a conversão das áreas de várzea em áreas de pastagem, o que mudaria por completo o funcionamento desse espaço visto que as gramíneas ciclaram nutrientes e água de maneira diferente a florestas de porte maior, evidenciando que essas ameaças impactam de forma direta todos os recursos oferecidos pela várzea, bem como a perda de sua biodiversidade.

Nesse viés, salienta-se que modificação no ambiente de várzea acaba alterando os processos dos ciclos biogeoquímicos relacionados à água e ao carbono, o que acarreta desequilíbrio climático, como, mudanças na temperatura e no ciclo hidrológico, uma vez que

as florestas possuem estreita relação com a atmosfera. Dentro desse contexto, as florestas de várzea, quando alteradas antropicamente, correm o risco de não conseguir restaurar-se, podendo levar esse ecossistema à fragilidade e simplificação.

Estudos que relacionam fatores ambientais, sazonalidade e suas interferências no fluxo de seiva do xilema em florestas de várzea são escassos na literatura, sendo necessário quantificar, qualificar e gerar informações a respeito de características intraespecíficas de espécies vegetais em florestas de várzea e como estas desenvolvem funções ecológicas, proporcionando entendimento e gerando base para melhor gerenciamento desses ecossistemas. Sendo estes dados valiosos para modelar o comportamento das árvores neste período de inundação, contribuindo no entendimento dos efeitos provocados pelas mudanças climáticas e impactos antrópicos e como afeta em uma escala global, visto a grande importância para os recursos humanos e biodiversidade.

A maioria dos estudos referentes à análise do fluxo de seiva trazem discussões acerca do fluxo em florestas de terra firme ou ainda em situações de secas prolongadas, apresentando dados sobre como esses eventos extremos influenciam a dinâmica do fluxo de seiva e redistribuição hidráulica nos solos, ou ainda na aplicação em técnicas de cultivo e irrigação na agricultura (Naves-Barbiero, 2000; Santos, 2015; Soares, 2020;)

O presente estudo diferencia-se por apresentar uma proposta de discussão que discorra sobre a possibilidade do pulso de inundação e a sazonalidade das florestas de várzea tornarem-se fatores limitadores do percurso hidráulico solo-atmosfera. Além de trazer informações acerca das respostas fisiológicas das florestas de várzea às alterações no pulso de inundação. Estes dados são necessários para desenvolver ações de mitigação e conservação ambiental das espécies arbóreas das várzeas locais e regionais.

Esse estudo visa responder se o fluxo de seiva nas árvores da várzea de Arapixuna/STM é impulsionado por fatores hidrológicos e climáticos, e como as características morfoanatômicas das folhas e do xilema podem influenciar as taxas de fluxo de seiva.

A hipótese proposta é que as variações hidrográficas do nível do rio interferem nas taxas de fluxo de seiva das espécies arbóreas da várzea, de tal forma que, em períodos de alagamento as taxas de fluxo de seiva são menores do que quando comparadas ao período de não alagamento, sendo assim, a flutuabilidade do rio seria um fator limitante nesse ecossistema.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Floresta de Várzea

As áreas úmidas correspondem a ecossistemas que possuem características terrestres e aquáticas, podendo ser considerados ambientes intermediários ou zonas de transição entre esses dois sistemas (Cowardin *et al.*, 1979; Junk *et al.*, 2020). Essas áreas correspondem a uma complexa rede de lagos e planícies de inundação que compartilham água, sedimentos, nutrientes e chegam a cobrir cerca de 6% da área territorial da bacia amazônica, o equivalente a 300.000 km² (Junk, 1989).

Dependendo do tipo de água que banha essas áreas e suas propriedades físico-químicas, as áreas úmidas podem ser classificadas em áreas de igapó (inundado por rios de água pretas e claras, pH ácido) que perfazem cerca de 2% das áreas úmidas, ou seja, 300 000 Km², e áreas de várzea (inundadas por rios de água branca, pH próximo ao neutro), correspondem a 4% das áreas úmidas - 450 000 Km² (Ferreira *et al.*, 2010; Junk *et al.*, 2011; Prance, 1980).

As florestas de várzea são classificadas como áreas periodicamente alagáveis por rios de água branca, possuem um pulso de inundação anual que causam mudanças no lençol freático em uma altura de até 10 metros, os transbordamentos desses rios trazem grandes quantidades de sedimentos em suspensão (Parolin *et al.*, 2004; Prance, 1978; Sioli, 1984). O pulso de inundação gera grande influência em toda a ecologia da área de várzea, o que exige adaptações morfofisiológicas constantes para sobrevivência de espécies vegetais (Junk, 1989), fatores que justificam o baixo grau de resiliência encontrado nesse ecossistema. Na Amazônia, existem dois tipos de várzeas: as áreas úmidas ao longo dos grandes rios de água branca (continental) e as áreas úmidas costeiras com marés (Junk *et al.*, 2020).

O regime hidrológico das várzeas continentais (dos grandes rios amazônicos de águas brancas) está classificado como do tipo pulso monomodal previsível de alta amplitude e longa duração, apresentam inundações periódicas bem definidas durante 4 a 5 meses do ano e nos possibilita caracterizar “estações climáticas” no ecossistema de várzea (Junk *et al.*, 2011; 2020). Conforme descrito por Lima, Teixeira e Souza (2007), essas estações climáticas possuem estreita relação com as fases da hidrógrafa e podem ser definidas como: enchente (subida das águas), cheia (nível máximo das águas), vazante (descida das águas) e seca (nível mais baixo das águas). São esses ciclos de vazante e cheia que proporcionam à várzea diversas feições ao longo de suas paisagens e topografia, sendo os responsáveis pela deposição de sedimentos e

nutrientes nas margens dos rios, promovendo anualmente uma renovação cíclica nos solos da floresta de várzea (Sioli, 1985) e fazendo desse ecossistema o mais rico nutricionalmente.

As várzeas amazônicas (continentais) ainda podem ser classificadas de acordo a sua topografia e em relação ao regime de inundação, onde a altura topográfica influencia no tempo e na intensidade de alagamento nessas áreas, e o regime de inundação na periodicidade da enchente. As várzeas baixas correspondem a aquelas onde a coluna d'água formada é superior a 3 m de altura e o período de alagamento chegar a ser maior do que 50 dias no ano, enquanto que as várzeas altas são aquelas onde o gradiente de inundação não chega a atingir 3 m de altura e o período de alagamento é inferior a 50 dias no ano (Junk *et al.*, 2020; Schongart *et al.*, 2004). Conforme dito acima, ainda há aquelas várzeas que sofrem influência com pulso de inundação diário, como é o caso das várzeas de maré. Nestas o pulso de inundação é polimodal e amplitude é variável (Junk *et al.*, 2020).

Por ser um ecossistema totalmente dinâmico, a várzea proporciona benefícios que não se resumem somente a sua biodiversidade, fertilidade de solos e numerosas espécies endêmicas. Estas são também um aporte de recursos para a população que habita essa região, pois suas espécies arbóreas possuem grande valor econômico e são fontes de recursos extrativistas (madeireiros ou não), o solo é propício para a prática da agricultura, além de possuir uma ictiofauna diversa, possibilitando alternativas de subsistência e diversificação de renda para os moradores (Junk *et al.*, 2020).

2.2 Pulso de inundação em florestas de várzea

O pulso de inundação em florestas de várzea é um fenômeno natural que ocorre em áreas alagáveis. Esse pulso de inundação é caracterizado por um ciclo sazonal de variação no nível das águas dos rios, com períodos de cheias e secas regulares ao longo do ano. Durante as cheias, as áreas alagáveis são inundadas, enquanto nas secas, as águas recuam, expondo o solo.

Ressalta-se que a bacia amazônica, que se estende por aproximadamente 6,1 milhões de km², é reconhecida como a maior bacia hidrográfica do mundo, com a maior parte de sua extensão localizada no Brasil e abrangendo também territórios de países como Bolívia, Peru, Colômbia, Equador, Venezuela Guiana, Suriname e Guiana Francesa (Ana, 2014). Essa região destaca-se pela sua significativa diversidade étnica, cultural, florística e faunística, onde se destacam dois distintos ecossistemas: as terras firmes e as áreas inundáveis (Barbosa; Piedade; Kirchner, 2008).

Se tratando especificamente da planície inundável na Amazônia, esta abarca cerca de 1.350.000 km², sendo que aproximadamente dois terços desse território correspondem florestas alagáveis (Junk, 1993). Essas florestas são afetadas por inundações periódicas, resultando em fases terrestres e aquáticas transitórias ao longo de um ciclo anual (Junk; Bayley; Sparks, 1989). Como resultado, as florestas inundadas refletem um sistema pulsante lateralmente que exerce fortes influências sobre a composição e dinâmica da vegetação da planície de inundação, oferecendo uma perspectiva única para entender como a heterogeneidade ambiental estrutura comunidades tropicais diversas (Junk; Bayley; Sparks, 1989). Em resposta às condições frequentemente extremas de inundação e seca comuns em florestas inundadas, as plantas provavelmente evoluíram uma variedade de adaptações morfofisiológicas (Parolin; Wittmann; Schöngart, 2010).

Durante o pulso de inundação, há um pico de cheias entre junho e julho, quando as áreas alagáveis são inundadas pelas águas dos rios, criando um ambiente propício para a vida aquática e terrestre adaptada a essas condições. Por outro lado, nos meses de novembro e dezembro, ocorre um pico de seca, com a retração das águas e a exposição do solo, influenciando a disponibilidade de nutrientes e a dinâmica das espécies que habitam essas áreas (Cavalcante *et al.*, 2015).

Para as árvores das florestas alagáveis, o pulso de inundação representa um desafio e uma oportunidade. As plantas precisam ser adaptadas para lidar com os períodos de alagamento, desenvolvendo estratégias como a formação de raízes adventícias para garantir a sobrevivência durante as cheias. Por outro lado, o pulso de inundação também traz benefícios, como a renovação de nutrientes no solo e a dispersão de sementes.

Sendo assim, a capacidade das espécies vegetais de colonizar ecossistemas inundáveis está diretamente relacionada à eficiência com que essas plantas ajustam sua fisiologia e desenvolvimento para lidar com as mudanças periódicas nas condições ambientais, alternando entre fases terrestres e aquáticas ao longo do ano. Dessa forma, estudos que visam compreender os mecanismos adaptativos envolvidos nesse processo é crucial para prever como as plantas responderão a possíveis alterações nesses ambientes, sejam elas naturais ou causadas pela ação humana (Cavalcante *et al.*, 2015). A compreensão desses mecanismos adaptativos não apenas contribui para a preservação da biodiversidade, mas também para o desenvolvimento de estratégias eficazes de manejo e restauração ambiental (Cavalcante *et al.*, 2015).

2.3 Características das plantas de florestas de várzea

Para suportar eventos de inundação e a regularidade de alagamento em florestas de várzea, as espécies arbóreas que compõem a comunidade vegetal nesses ambientes, necessitam adotar diferentes mecanismos que as permita viver em condições restritas, sendo assim, as espécies que abrigam esse ecossistema são dotadas de adaptações e estratégias que respondem de acordo com a condição hídrica e o regime hidrográfico, somente assim conseguem lidar com as inundações sazonais (Ferreira, Piedade e *et al.*, 2017; Parolin, 2001; Ferreira, 2002; Parolin *et al.*, 2004).

A periodicidade e previsibilidade do pulso de inundação o torna uma força motriz no processo de estabelecimento de espécies vegetais no ecossistema, tornando-se um fator de grande importância no comportamento fenológico da vegetação que abriga essas áreas (Ferreira, 2006).

Trabalhos indicam que as plantas de várzea tendem a ajustar seus eventos fenológicos e fisiológicos ao regime do pulso de inundação (Junk, 1989; Mori *et al.*, 2021; Parolin *et al.*, 2004; Waldhoff *et al.*, 2002; Ferreira *et al.*, 2017). Entre tantos mecanismos fisiológicos desenvolvidos pelas espécies arbóreas da várzea, destacam-se o controle estomático, a deciduidade (perda parcial ou total das folhas), formação de raízes tubulares e adventícias, diminuição da atividade metabólica, sincronia da fenologia com o regime hídrico, sementes com reservas energéticas, regulação de trocas gasosas, sementes e esporos resistentes a água (Almeida *et al.*, 2004; De Simone; Cols 2002; Ferreira *et al.*, 2017; Lambers *et al.*, 2008; Lobo; Joly, 1998; Mori *et al.*, 2019; Mori *et al.*, 2021; Parolin *et al.*, 2004; Parolin *et al.*, 2004; Parolin, 2002b; Wittmann *et al.*, 2010).

Para suportar os eventos de inundação e condições de anoxia ou hipoxia, onde há a redução da quantidade e nenhuma disponibilidade de oxigênio no solo, algumas plantas desenvolvem o crescimento radicular em direção ao gradiente de maior disponibilidade de oxigênio, como o observado por Ferreira *et al.* (2017), tal estratégia é designada como oxitropismo no qual a direção e extensão das raízes é guiada por um gradiente de oxigênio, que tende ser maior na superfície da água do que em profundidades maiores, aí o sentido da raiz crescer em direção oposta ao esperado.

Trabalhos desenvolvidos por De Simone *et al.* (2003), Parolin (2001), Parolin (2009), Waldhoff *et al.* (1998), notaram que o desenvolvimento de raízes adventícias pelas árvores sob condições de alagamento é uma estratégia importantíssima para mantê-las em funcionamento mesmo na fase aquática. A presença das raízes adventícias potencializa a manutenção do metabolismo das espécies de várzea, garantido a elas condições de entrada de oxigênio e

nutrientes mesmo sob alagamento e principalmente a distribuição destes para a raiz primária e folhas durante o período de estresse.

A saturação hídrica do solo também pode ocasionar mudanças na fisiologia foliar nesses ambientes, decorrente da baixa disponibilidade de oxigênio em períodos alagados, nos quais se faz necessário que a planta tenha maior controle de suas trocas gasosas (Nogueira *et al.*, 2004). Pesquisas apontam que o fechamento estomático e/ou controle estomático são a primeira resposta sinalizada pela falta de oxigênio em plantas sob alagamento, uma vez que essas estruturas estão diretamente ligadas às trocas gasosas da planta-atmosfera (Jadosk *et al.*, 2009; Maurenza *et al.*, 2009). Em períodos secos, o fechamento estomático é associado ao déficit hídrico (Parolin *et al.*, 2001) enquanto que, em períodos de alagamento o controle estomático é uma forma das plantas não tolerantes ao alagamento garantirem sua sobrevivência (Pezeshki, 1994), uma vez que nesses períodos há a redução da atividade cambial em algumas espécies, o que pode afetar o transporte de água no tronco dessas árvores. O fechamento de estômatos também ocasiona uma redução na taxa fotossintética (Medina *et al.*, 2009).

Algumas espécies têm suas folhas perdidas nas primeiras semanas de alagamento ou dentro de alguns meses e rebrotam essas folhas mesmo em período de saturação hídrica, para a maioria das espécies essa estratégia associa-se à folhas novas possuírem maior capacidade fotossintética, gerando como consequência o ganho no processo de frutificação (Parolin; Wittmann, 2010; Peleja; Moura, 2012), essas folhas voltam a ser produzidas algumas semanas antes do final do período de alagamento (Schongart *et al.*, 2002). O aumento na queda das folhas acontece tanto em espécies decíduas quanto em espécies perenes, a condição de alagamento causa encharcamento dos solos e diminuição de oxigênio, o que leva a redução de até 50% da absorção de CO₂ pelas folhas, causando déficit energético e consequentemente maior deposição desse material (Albuquerque, 2023; Parolin *et al.*, 2002; Parolin *et al.*, 2004).

A condição de alagamento também é capaz de interferir no processo de crescimento das plantas alagadas, mesmo em espécies adaptadas e tolerantes a essa condição (Huang *et al.*, 2013). Schöngart *et al.* (2002), Piedade *et al.* (2013) e Machado (2019) descrevem que condições anaeróbicas causam diminuição na atividade radicular e induzem dormência cambial, a falta de energia e o baixo metabolismo causam redução nas taxas de crescimento durante o período de alagamento, sendo assim para compensar a influência negativa do alagamento sobre o crescimento vegetal, as espécies de várzea podem reduzir o fluxo de transpiração geralmente relacionado a perda das folhas e maior controle de trocas gasosas, o que permite com que as espécies respondam rapidamente ao estresse (Parolin, 2001).

No caso de plântulas, que geralmente ficam totalmente submersas durante o período de alagamento, estas entram em estado de repouso ou dormência, retornando suas atividades metabólicas e cambial logo quando a água começa a recuar (Horna, 2002); Parolin, 2001; Piedade *et al.*, 2013). Durante a vazante e seca são registradas altas atividades de crescimento, o que se torna essencial nas várzeas, pois a fase de emersão pode ser muito curta e em níveis baixos no gradiente de inundação, assim as plantas devem aproveitar ao máximo esse curto período sem encharcamento do solo para crescerem, a fim de evitar que fiquem totalmente submersas na próxima enchente (Parolin *et al.*, 2002; Schöngart *et al.*, 2002).

Essas evidências mostram que as espécies arbóreas de várzea têm uma alta capacidade de compensar o período de repouso que é induzido pela submersão e retornar às suas proporções alométricas dentro do período terrestre (Schöngart *et al.*, 2002; Horna *et al.*, 2010). A redução do crescimento, no entanto, é precedida de alterações hormonais, diminuição da superfície transpirante e das taxas de fotossíntese, degradação da clorofila foliar e controle estomático (Parolin *et al.*, 2010).

Investir em sementes mais atrativas também está entre as estratégias de sobrevivência e sucesso reprodutivo das espécies de várzea, uma vez que o transbordamento da água dos rios permite a ligação direta de diferentes ecossistemas e assim o intercâmbio dos componentes que formam essas áreas (deslocamento de espécies animais e vegetais). A presença de frutos e sementes de sabor atrativo, tamanhos menores e peso mais leve permite com que estes possam ser facilmente consumidos por peixes ou transportados pelo vento e deslocados pelas águas, garantido a dispersão da semente de diferentes formas e possibilitando maiores chances de sobrevivência das espécies (Ferreira *et al.*, 2010; Ferreira *et al.*, 2017; Junk *et al.*, 1989).

Trabalhos de estimativas de serapilheira podem comprovar a sincronia fenológica das espécies de várzea com o ciclo hidrológico ao qual estão sujeitas anualmente. Albuquerque (2023), descreve que as maiores frações de partes reprodutivas (flores, sementes e frutos) encontradas no material orgânico depositado pelas espécies arbóreas, correspondem ao período de cheia e vazante no ecossistema de várzea. O que permite inferir que estas espécies aproveitam o período de maior disponibilidade hídrica (cheia) para florir e frutificar, de tal forma que estes frutos amadureçam ainda no período de cheia ou quando a água começar a descer (vazante), o que favorece a dispersão e formação de bancos de sementes.

De acordo com diversos estudos, a capacidade das espécies arbóreas em tolerar o período de alagamento é resultado não só do uso ou desenvolvimento de um único mecanismo, mas sim da combinação de vários ajustes fisiológicos, fenológicos e morfológicos que

permitem com que estas árvores resistam a grandes períodos de alagamento e condições restritas de oxigênio (Ferreira, 1991; Junk, 1997; Scarano, 1998; Parolin *et al.*, 2004).

2.4 Papel das plantas no ciclo da água

As florestas possuem estreita ligação com a atmosfera e ocupam um papel de destaque nas interações envolvendo os ciclos biogeoquímicos, uma vez que a vegetação controla uma série de processos físico-químicos, principalmente os que envolve a ciclagem de água (Artaxo *et al.*, 2004).

Gimaraes (2017) define o ciclo hidrológico como sendo o processo pelo qual a água passa da atmosfera à superfície terrestre, em sua fase líquida ou sólida, e retorna novamente a atmosfera, na fase de vapor. Este ciclo ocorre em uma sequência fechada e contínua de fenômenos naturais entre a superfície terrestre, oceanos e a atmosfera (Lima, 2000; Miranda; Oliveira; Silva, 2010) e pode ter influência de diversos fatores. Dessa forma, o ciclo hidrológico se constitui de uma sucessão sequencial no qual ocorrem vários processos na natureza, que perpassam o solo-planta-atmosfera, e por meio dos quais a água inicia o seu caminho, interage com a superfície terrestre (solos, rochas, animais, vegetais, corpos hídricos) e retorna ao seu “estágio inicial”. Este ciclo é movido necessariamente pela energia radiante do sol e associado à gravidade e à rotação terrestre.

O ciclo hidrológico pode ser descrito por sete processos sequenciais, sendo estes: precipitação, intercepção, infiltração, recarga/armazenamento de água no solo, escoamento superficial, evapotranspiração e condensação. Em geral, as florestas afetam e influenciam diretamente os processos de evapotranspiração, intercepção, infiltração, recarga de água no solo e escoamento superficial (Barreiros, 2018; Bonan, 2008).

De forma resumida, o vapor de água presente na atmosfera na sua ascensão vertical se condensa por esfriamento (passa do estado de vapor para o estado líquido) e acaba formando nuvens, essas quando carregadas acabam precipitando na superfície terrestre, através de chuva, neve e/ou granizo dependendo do gradiente térmico. Parte da água que chega até a superfície terrestre através da precipitação, é retida pela vegetação e outra parte atinge os solos e chega até os corpos hídricos (Tucci; Clarke, 1997), garantindo a manutenção dos corpos d'água e consequentemente o bom funcionamento dos ecossistemas, uma vez que muitos processos funcionais têm a água como engrenagem. Em algum momento, assim que houver capacidade, esse volume de água retido é evaporado para a atmosfera.

A água precipitada quando atinge superfície terrestre, pode seguir vários caminhos (Guimarães, 2017). Uma parte é evaporada logo durante a queda; outra parte é interceptada (plantas, casas, etc.) sendo também, logo em seguida, evaporada. A água que chega na superfície, uma parte escoia superficialmente sobre o solo e se desloca para os rios, lagos e oceanos, com um tempo também será naturalmente evaporada, devido a interação com a radiação solar; outra parte infiltra-se, umedece o solo o que pode acabar por abastecer os reservatórios subterrâneos (que em algum momento irão alimentar os cursos d'água) e abastecer as plantas (além de interferir sobre seus processos fisiológicos). Por último, a água pode retornar à atmosfera através do processo de evapotranspiração das plantas, fechando-se assim o ciclo (Miranda; Oliveira; Silva, 2010; Guimarães, 2017; Tucci; Clarke, 1997).

A evapotranspiração é a forma pela qual a água da superfície terrestre passa para a atmosfera no estado de vapor por intermediação das plantas. Esse processo possui caráter biofísico-químico, onde a evaporação da água ocorre através da superfície das plantas, especialmente das folhas, a água que foi transportada pelos vasos condutores/xilema da planta, fazendo parte do seu metabolismo, é transferida para a atmosfera (Miranda; Oliveira; Silva, 2010; Tucci; Clarke, 1997).

Trabalhos como o de Santos, Alexandre e Coelho (2017), indicam que o processo de evapotranspiração realizado pelas plantas é um fator importante no contínuo sistema solo-planta-atmosfera (SSPA). As estimativas de evapotranspiração são capazes de definir o nível de contribuição e importância das plantas na ciclagem de água.

A transpiração através das plantas é considerada um componente chave para determinar o balanço hídrico de ecossistemas florestais tropicais (Kunerte *et al.*, 2017). Estima-se que as taxas de “chuvas recicladas” na Amazônia provenientes da transpiração de árvores, varia entre 25 a 56% (Fisher *et al.*, 2009). As árvores de grande porte são comparadas como grandes bombas d'água existentes no planeta, sendo encarregadas de lançar de volta para a atmosfera parte da água que chega nos ecossistemas em forma de chuva. Assim, a perda contínua de áreas de florestas na Amazônia está estreitamente associada a mudanças nos regimes hidrológicos.

2.5 Transporte de água nas plantas: papel do xilema e das folhas

As plantas exercem múltiplos serviços no ecossistema e sua distribuição sobre a superfície terrestre está mais estreitamente ligada à quantidade de água disponível no ambiente do que com qualquer outro fator (Carlesso, 1995; Dias, 2008). É a água a responsável por fazer com que minerais e solutos penetrem nas células vegetais, ou ainda, é a partir dela que processos

de estruturação, crescimento e desenvolvimento fisiológicos como a fotossíntese e frutificação, acontecem (Costa, 2001; Dias, 2008; Silva; Freitas, 1998).

O movimento da água dentro da planta deve ser capaz de garantir que todas as células sejam hidratadas, de tal forma que o transporte e a distribuição desta no corpo vegetal aconteça de forma contínua, assim permitindo que esse recurso desempenhe o seu papel no organismo (Brodersen *et al.*, 2019; Mcdowell; Brodribb; Nardini, 2019; Vieira *et al.*, 2010). Para que todas as partes do corpo da planta recebam quantidade suficiente para manter o seu metabolismo, é necessário que a planta adote diferentes estratégias hidráulicas (Gonçalves, 2021). Estas podem variar de acordo com as condições microclimáticas de onde estão inseridas ou de acordo com as condições hidráulicas do solo (se é mais ou menos úmido, por exemplo) (Neves, 2009; Oren *et al.*, 1999; Schreiber *et al.*, 2015; Steppe *et al.*, 2015; Tie *et al.*, 2017).

O deslocamento de água inicia nas raízes e segue um fluxo até alcançar as folhas. Boa parte da água que chega na superfície terrestre e infiltra no solo em algum momento retorna para a atmosfera em forma de vapor e para que isso aconteça, é necessário que a água perpassa pelo caule e pelas folhas da planta, fazendo com que os traços funcionais hidráulicos sejam de grande importância nesse deslocamento. O transporte de água no sistema contínuo SSPA é explicado e sustentado pela teoria de tensão e coesão (Dixon; Joly, 1894). A comunicação entre solo e atmosfera só se torna possível devido aos vasos condutores que existem na planta- o xilema.

Resumidamente, a água é transportada pelo tecido xilemático ao longo do contínuo SSPA devido à pressão hídrica que é estabelecida quando os estômatos presentes nas folhas (células responsáveis pelas trocas gasosas) estão abertos, assim há transpiração foliar e consequentemente acontece as trocas gasosas (água e gás). A água presente no solo chega até as raízes das plantas. Na raiz o transporte da água absorvida é feito passando por dentro das células (processo conhecido como simplasto) e/ou passando somente pela parede vegetal (processo conhecido como apoplasto). Em seguida a água entra na epiderme e penetra no xilema. Uma vez nos elementos condutores do xilema, ascende através da raiz e do caule e penetra nas folhas. Por último, durante abertura estomática e atividade fotossintética, a água ascendente será evapotranspirada (Pimentel, 2004; Santos, Alexandre, Coelho, 2017; Vieira *et al.*, 2010).

Logo, o fluxo de água nas plantas é realizado no sentido ascendente, contrariando a gravidade, e só é possível devido à diferença de pressão criada no momento que se abrem os estômatos. Depois de entrar na raiz e chegar nos vasos de xilema, a água se mantém aderida e coesa, devido às suas propriedades. Essa adesão e coesão facilita a organização dessas moléculas nos vasos condutores, ficando semelhantes a “cordões”, podendo ser facilmente

“puxadas” para cima no momento do transporte. A tensão criada na diferença de pressão é que permite que esses “cordões” sejam deslocados. A água é deslocada ao longo de um gradiente de pressão, sendo ascendida do ambiente de menor tensão (raiz), para o ambiente de maior tensão (folhas) (Pimentel, 2004; Vieira *et al.*, 2010).

De tal maneira, os estômatos presentes nas folhas e o xilema do caule e do galho são estruturas fundamentais para garantir o transporte hídrico e esses podem se moldar conforme a disponibilidade hídrica de cada ambiente (Korner, 2019; Neves, 2009). No final, a quantidade de água que passa no caule da árvore estará muito relacionada com a estrutura dos vasos de xilema e com a quantidade de água no solo. Vasos de maior diâmetro possuem maior condutividade hidráulica, o que resulta em maior condutividade específica da folha. Em contrapartida, são menos resistentes e possuem menor segurança hidráulica tornando-os mais vulneráveis a eventos de cavitação (rompimento da coluna d’água e impedimento de transporte hídrico) e embolia (formação de bolhas de ar), Mas o contraposto também é notado, vasos de menor diâmetro são mais seguros, porém menos eficientes no quesito condutividade hidráulica, logo possuem menor condutividade específica da folha (o fechamento estomático garante menor condição de formação de bolhas de ar e maior segurança no transporte de água). Para sanar isso, árvores com vasos de menor diâmetro investem em maior número de vasos por área, tornando-as mais densas (Dos Reis, 2015; Gonçalves, 2021; Hacke; Sperry, 2001; Li *et al.*, 2018; Mendéz-Alonzo *et al.*, 2013). Assim, estudos que visem abordar a compreensão do transporte de água nas plantas imprescindivelmente terão que fazer análises relacionadas a anatomia e morfologia das espécies arbóreas, disponibilidade hídrica do solo e condições microclimáticas do ambiente.

2.6 Fluxo de seiva em espécies arbóreas

A água é um elemento importante para as plantas, porém cerca de 97% da água absorvida pelas raízes é transportada pela planta e evaporada pelas folhas, em um processo conhecido como transpiração. A transpiração é responsável pela perda de água das plantas para a atmosfera. Em contrapartida, apenas uma pequena quantidade da água absorvida pelas raízes é retida pela planta para sustentar seu crescimento e ser utilizada em processos metabólicos, como a fotossíntese e outras reações bioquímicas (Taiz *et al.*, 2017).

Não obstante isso, plantas demonstram eficiência na gestão descentralizada de recursos essenciais, como nutrientes, luz e água, mesmo em organismos de grande porte, graças a um sistema vascular eficiente e robusto que suporta o crescimento e a comunicação em todo o organismo, permitindo o transporte de seiva da raiz até as folhas mais altas de uma árvore

(Jensen *et al.*, 2016). Os sistemas vasculares possibilitam a distribuição interna de recursos por meio do fluxo de seiva, permitindo que os organismos superem as limitações de tamanho impostas pelo processo de difusão (Knoblauch *et al.*, 2016). O fluxo de seiva é frequentemente utilizado como uma estimativa indireta da transpiração, uma vez que o tamanho e a complexidade das espécies vegetais dificultam a medição direta desse processo (Steppe *et al.*, 2015; Leo *et al.*, 2014; Zhang *et al.*, 2014; Sun; Aubrey; Teskey, 2012).

Em escalas de tempo pequenas, como minutos a horas, o fluxo de seiva nas plantas pode ser direcionado para processos fisiológicos específicos, como o armazenamento de água no tronco ou a fotossíntese nas folhas. No entanto, em uma escala diária, cerca de 99% desse fluxo de seiva é perdido da planta para a atmosfera circundante através da transpiração (Forster, 2017). A atividade vegetal exerce uma forte influência no movimento da água nos ecossistemas terrestres, sendo que a transpiração é responsável por uma grande parte da perda evaporativa, representando de 80 a 90% da evaporação terrestre (Juice *et al.*, 2016).

No contexto das várzeas da Amazônia, vale lembrar que estas passam por estágios sucessionais devido a processos geomorfológicos dinâmicos, nos quais as espécies arbóreas adaptadas a tolerar a inundação habitam esses locais enfrentando desafios específicos. Porém, algumas espécies de várzea têm estratégias de adaptação eficazes para lidar com o pulso de inundação. Por exemplo, ao trocarem as folhas na fase aquática, essas plantas aumentam o fluxo de seiva com as folhas novas, reidratando a copa mesmo sob inundação. Essa capacidade de reidratação demonstra uma adaptação eficaz ao ambiente alagado. Além disso, muitas dessas plantas conseguem produzir flores e frutos durante o período de inundação, mostrando sua adaptação excepcional a esse ambiente desafiador (Parolin *et al.*, 2004).

A medição do fluxo de seiva é uma ferramenta importante não apenas no campo da agrometeorologia, mas também em estudos fisiológicos para identificar doenças vasculares e quantificar o movimento de água no sistema solo-planta-atmosfera (Boehringer *et al.*, 2013). É um método amplamente utilizado para avaliar o uso da água pelas plantas de maneira confiável, sendo rotineiramente aplicado em estudos ecofisiológicos de plantas com caules de madeira, possibilitando a obtenção de dados com alta resolução temporal sobre a captação de água através do caule até as folhas. Essa medição é realizada por meio de métodos termométricos, nos quais sensores são instalados no tronco e o calor é utilizado como um indicador do movimento da seiva no xilema (Forster, 2014; Kume *et al.*, 2011; Rodriguez-Dominguez *et al.*, 2012; Fuchs *et al.*, 2017; Shahidian *et al.*, 2016). Essas técnicas de medição podem ser empregadas para uma melhor compreensão dos processos envolvidos no sistema solo-planta-

atmosfera em condições variáveis de desenvolvimento (Cammalleri *et al.*, 2013; Sánchez-Costa *et al.*, 2015).

3 OBJETIVOS

3.1 Objetivo Geral

Investigar como as condições de alagamento e não alagamento influenciam na dinâmica do fluxo de seiva do xilema em espécies arbóreas de uma floresta de várzea no Distrito de Arapixuna, Santarém, Pará.

3.2 Objetivo específicos

- Comparar o fluxo de seiva do xilema em três espécies, buscando determinar se estas possuem diferentes estratégias de regulação hídrica.
- Relacionar o fluxo de seiva do xilema com as características funcionais do xilema e da folha.
- Descrever a anatomia da lâmina foliar e xilema de galhos finos de três espécies arbóreas de ecossistema de várzea.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Área de estudo

O estudo foi conduzido no Distrito de Arapixuna, município de Santarém-PA (Lat. 02° 13 '49"S; Long. 054° 50 '55"O). A comunidade está situada a 30 km da área urbana da cidade de Santarém e tem acesso somente por via fluvial, sendo este o Igarapé Arapixuna, um canal de água branca com grande carga de material em suspensão, que liga o rio Amazonas ao rio Tapajós (Figura 1).

O sítio de pesquisa localiza-se na parte baixa da sub-bacia do Tapajós. Caracteriza-se como uma floresta de várzea baixa (Wittmann *et al.*, 2002) e está situada ao leste da sede da comunidade, entre as margens do Rio Amazonas e igarapé do Arapixuna (Machado, 2019) (Figura 1). A área trata-se de uma floresta com regime hidrológico do tipo pulso monomodal previsível, de alta amplitude e com longa duração, além de apresentar inundações periódicas bem definidas (Machado, 2019). É uma área delimitada por corpos d'água em ambos os lados e com diferentes níveis de topografia, o que pode resultar em níveis de alagamento distintos ao longo da área. O alagamento é decorrente do transbordamento do canal que liga o Igarapé

Arapixuna ao Rio Amazonas (a leste e sul) e do próprio Igarapé Arapixuna (a oeste). Vale destacar que essa área fica aproximadamente 2,5 km distante do Rio Amazonas.

Figura 1- Mapa de localização da área de estudo. Ao lado esquerdo do Igarapé Arapixuna tem a sede do Distrito e ao lado direito a localização da parcela no sítio de pesquisa que fica ao leste da sede da comunidade. Foto referente a janeiro (enchente) de 2024.



Fonte: Lima (2024)

4.1.1 Clima

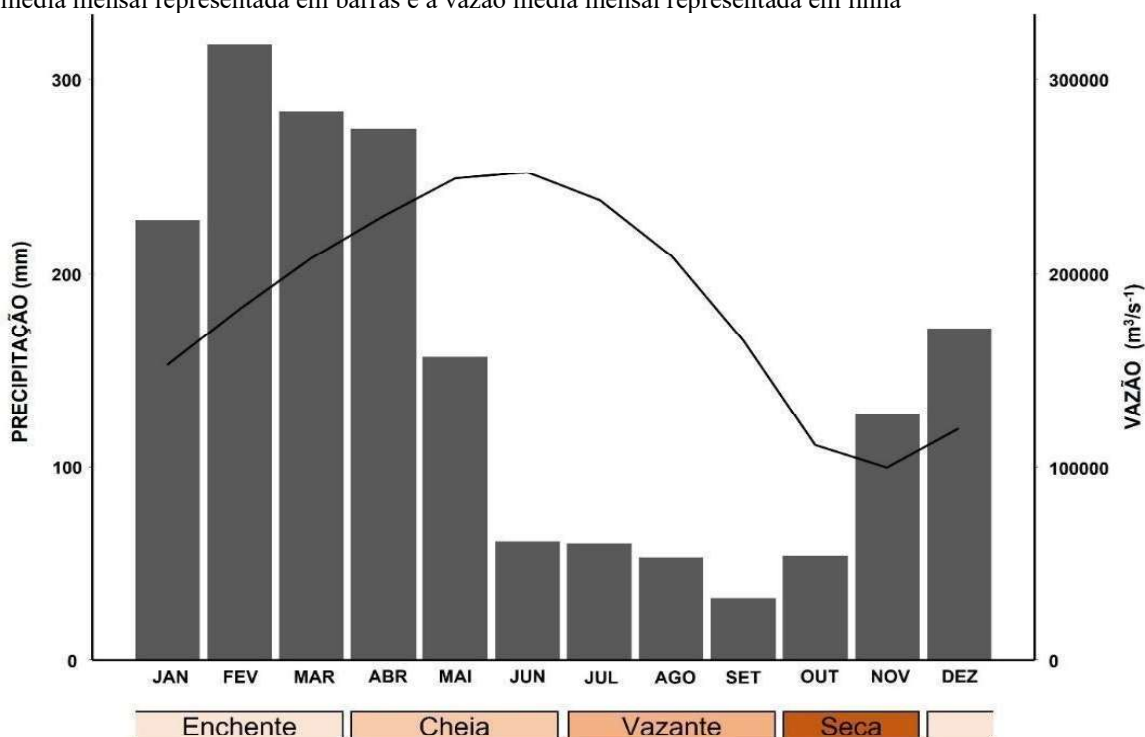
De acordo com a classificação de Köppen (1948), o tipo climático da região é o Am (clima tropical chuvoso) com umidade relativa média de 86%, temperatura média anual de 26°C e variando entre 25°C e 28°C, com precipitação de até 100 mm nos meses de seca e acima de 200 mm por mês nos meses chuvosos, iniciando no mês de dezembro (Alvares *et al.*, 2013).

As áreas úmidas da região possuem inundações periódicas bem definidas, mas destaca-se que o regime hidrológico do rio não é sincronizado com o regime pluviométrico, ainda que este dependa da pluviosidade. Leva-se um tempo para que as águas da cabeceira cheguem até a Amazônia Central, então mesmo que o período chuvoso inicie, leva um tempo para a área ficar submersa e/ou alagada, como já descrito por Piedade *et al.* (2013). Dessa forma, a determinação das fases da hidrógrafa foi feita a partir dos dados de precipitação e vazão, retirados da Agência Nacional das Águas e Saneamento Básico (ANA) e Instituto Nacional de

Meteorologia (INMET), sendo as condições correspondentes ao município de Óbidos, pois este representa bem as mesmas condições observadas na área de estudo.

As fases da hidrografia compreendem quatro períodos, sendo estes: período de enchente (janeiro a março), cheia (abril a junho), vazante (julho a setembro) e o período de seca (outubro a dezembro). O período de alagamento pode durar até seis meses, enquanto o período de não alagamento tem duração mais curta, cerca de três meses, os demais meses correspondem ao período de transição entre essas duas grandes estações que marcam a fase terrestre e a fase aquática nesse ecossistema (Figura 2). Como leva um tempo entre o início do período chuvoso e a cota máxima da cheia do rio, a fase de cheia não necessariamente será a fase com maior índice de precipitação, e quando se inicia a vazante e chega a fase de seca na região, já se tem registro de precipitação o suficiente para manter o solo úmido, logo o estresse hídrico por falta de água e solo muito seco pode não ser tão expressivo na área.

Figura 2 - Delimitação das estações, de acordo com as fases da hidrógrafa, para a área de estudo. A precipitação média mensal representada em barras e a vazão média mensal representada em linha



Fonte: Albuquerque (2023)

4.1.2 Vegetação

O estudo florístico realizado por Machado (2019), aponta que a floresta de várzea dessa mesma área é formada por um número restrito de espécies altamente dominantes, no qual as famílias Euphorbiaceae, Malvaceae, Salicaceae e Fabaceae, são as famílias de maior riqueza

encontrada e as espécies *Eugenia* sp., *Gustavia augusta* L. e *Laetia corymbulosa* Spruce ex Beth., foram as que se destacaram entre as espécies mais frequentes e de maior importância para a área. No total, a autora encontrou 334 indivíduos, distribuídos em 22 espécies e 17 famílias botânicas por ha⁻¹.

4.1.3 Solo

Os solos de várzea são bastante ricos em nutrientes e possuem alta fertilidade, características que resultam da grande quantidade de sedimento provenientes do Andes, esses são transportados durante o período de cheia pelos rios de água branca e depositados nos solos as margens dos rios (Junk *et al.*, 2011). Além disso, às inundações anuais permitem a fertilização e renovação natural desses ambientes, de forma constante. Um mapa de solos do Pará confeccionado com as informações da Embrapa (2000), indica que os solos de 86% das áreas de várzea de Santarém-PA, são classificados como Neossolos Flúvicos e cerca de 6% são Gleissolo Háplicos.

Gaspar (2024) descreve o solo de Arapixuna como, Neossolos Flúvico Eutrófico, que exibem características de solos jovens, observados em locais de sedimentação recente, como margens de rios, várzeas e planícies aluviais. Geralmente apresentam alta fertilidade, com teores elevados de nutrientes essenciais para o desenvolvimento das plantas. Em relação às características químicas, o solo dessa região apresenta pH em água no valor de 4,71, formado principalmente por matéria orgânica (15,73 g.kg), fósforo (12,03 mg.dm³), enxofre (13,59 mg.dm³) e manganês. Apresenta textura média e composto por areia (560,33 g/Kg), slite (165,40 g/Kg) e argila (274,27 g/Kg).

Essas características os tornam adequados para práticas agrícolas e desempenham um papel fundamental na manutenção da biodiversidade em ecossistemas ribeirinhos. A parcela de estudo foi instalada em uma área onde, segundo informações dos moradores locais, não há intervenção de corte ou desmatamento, sendo o uso da terra utilizada por esses moradores somente para pesca artesanal nos meses de cheia e para o passeio do gado nos meses de seca ou fase terrestre.

4.2 Coleta de dados

4.2.1 Seleção das espécies

Para coleta de dados, foi delimitada uma parcela com dimensão de 50mx50m. A partir do inventário florístico existente (Machado, 2019), foi selecionado um *Cluster* de 03 espécies arbóreas. Os critérios de seleção incluíram parâmetros fitossociológicos, como: o índice de valor de importância (IVI), que retrata a importância ecológica da espécie na comunidade vegetal; o diâmetro altura do peito (DAP) ≥ 15 cm a 1,30m acima do solo e a altura dos indivíduos superior à altura máxima da coluna de água durante a cheia, aspectos similares de período e intensidade de alagamento, incidência luminosa, volume da copa e cobertura vegetal, além da posição fitossociológica.

As espécies escolhidas foram *Eugenia* sp. (Socoró), *Gustavia augusta* L. (Jenipaporana) e *Laetia corymbulosa* Spruce ex Beth. (Meracurueira) (Tabela 1). Todas são nativas de várzea amazônica e não apresentam deciduidade, produzem frutos que são apreciados por espécies de peixes (Albuquerque, 2015; Cavalcante, 2014; Wittmann *et al.*, 2010), tornando estes frequentemente utilizados como iscas por moradores da região.

Tabela 1 - Espécies utilizadas na medida de Fluxo de Seiva na Floresta de Várzea no Distrito de Arapixuna, Santarém-PA

FAMÍLIA	ESPÉCIE	NOME POPULAR	ÍNDICE DE VALOR DE IMPORTÂNCIA (MACHADO,2019)	USO ECONÔMICO
LECYTHIDACEAE	<i>Gustavia augusta</i> L.	Jenipaporana	27,61	Isca para pescado
MYRTACEAE	<i>Eugenia</i> sp.	Socoró	21,73	Madeira utilizada na construção (cercas, marombas)
SALICACEAE	<i>Laetia corymbulosa</i> Spruce ex Benth.	Meracurueira	14,78	Fruto apreciado por animais

Fonte: Elaborado pelo autor (2023), com base nos dados de Cavalcante (2014) e Machado (2019)

4.2.2 Informações taxonômicas, ecológica e de uso das espécies em estudo

4.2.2.1 Meracarueira: *Laetia corymbulosa* Spruce ex Benth

Espécie arbórea pertencente à família Salicaceae, conhecida popularmente pelo nome de meracarueira, meracoroeira, sardinheira, turimã. *Laetia corymbulosa* é uma árvore do estrato superior de estágios secundários tardio de várzea baixa, frequente no baixo Rio Solimões e restrita a cotas de inundação entre 4-6m, com uma ampla distribuição em florestas de várzea. É endêmica de florestas de várzea (Schöngart *et al.*, 2002; Wittmann *et al.*, 2012). Pode ser encontrada em países como a Colômbia, Venezuela, Guianas, Brasil e Peru.

De acordo com a descrição realizada Wittmann *et al.* (2010) e Conserva (2017), a meracarueira possui altura máxima que varia entre 20- 25 metros, densidade da madeira 0,56 – 0,66 g cm⁻³, médio incremento em diâmetro anual de madeira 4,6 +/- 1.2 mm ano⁻¹. Com base em seu comportamento fenótipo, é classificada como sendo uma árvore de comportamento sempre – viva, ou perene, que possui a base do tronco reta a levemente digitada. O ritidoma possui coloração marrom a cinza claro, com placas irregulares, densamente lenticelado, áspero. O floema é de cor vermelho-escuro e o albúrnio creme. As folhas são do tipo simples, alternas, dísticas, elípticas e lâmina foliar com bordas levemente serreada. O pecíolo é engrossado na base, levemente acanalado. As flores são de cor branca e inflorescências axilares. Seus frutos são do tipo baga carnosa, que quando maduros, possuem cor amarelada, contendo várias sementes envoltas por polpa amarela e chegam a flutuar quando caem na água, com média de 10 sementes por fruto.

Em relação a sua fenologia, *L. corymbulosa* não apresenta uma periodicidade regular na sua floração e frutificação, mas geralmente começa a florescer na fase terrestre e ocasionalmente seus frutos amadurecem durante a fase aquática, com dispersão hidrocórica; suas sementes são capazes de sobreviver a uma fase aquática (cheia do rio) inteira, germinando logo na próxima fase terrestre, com a descida da água, quando encontra um ambiente favorável. A troca de folhas para essa espécie ocorre ao longo do ano inteiro (Schöngart *et al.*, 2002; Wittmann *et al.*, 2010; Horna *et al.*, 2010; Parolin *et al.* 2010; Worbes; Fichtler, 2010). O extrato de suas folhas e de sua casca possuem propriedade citotóxicas e anti-cancerígenas, além do seu fruto ser apreciado por animais, sobretudo peixes(Cavalcante, 2014).

Figura 3 - Exemplar de espécime de *Laetia corymbulosa*, com presença de folhas expandidas e frutificação (A), flor e inflorescência (B)



Fonte: A) Machado e Medeiros (2018); B) <https://plantasdecolombia.com/2017/09/23/laetia-corymbulosa-spruce-ex-benth-salicaceae/2017-04-13-09-27-57/>

4.2.2.2 Jenipaporana: *Gustavia augusta* L.

Conhecida popularmente como “Jenipaporana, pau-fedorento, castanha-fedorenta, cachimbo, chope amarillo”, *Gustavia augusta* é uma espécie originária da Amazônia e pertencente à família Lecytidaceae, distribuída em países como o Brasil, Colômbia, Equador, Suriname, Venezuela, Suriname, Guiana e Peru. Considerada uma árvore frequente no estrato médio de florestas secundárias tardias de várzea baixa (Witmann *et al.*, 2010).

Schongart *et al.* (2002), Sotero (2002) e Witmann *et al.* (2010), descrevem que esta espécie pode ser encontrada frequentemente nas margens dos rios e paranás, mas raramente em florestas com dossel fechado, crescendo principalmente no gradiente de inundação baixo (18 – 25 m acima do nível do mar), podendo chegar a atingir entre 10 - 20 m de altura, com densidade da madeira em torno de 0,45 – 0,55 gm^{-3} e médio incremento em diâmetro anual de madeira 7.5 +/- 2.7 mm ano⁻¹. Possui a base do tronco reta, ritidoma verticalmente fissurado e liso. O floema e alburno da cor creme. As folhas são simples, grandes, elípticas, alternas, espiraladas. As flores são de cor branca-roseadas, perfumadas, em racemos terminais, cauliflora.

Conta com a presença de frutos grandes, lenhosos e pesados (às vezes acima de 5 kg), diretamente no tronco ou nos ramos principais, deiscentes (“panela de macaco”), com muitas sementes pequenas em polpa branca. O fruto é inicialmente verde e à medida que vai amadurecendo, torna-se marrom. A polpa do fruto tem textura macia, sabor amanteigado e é consumido principalmente por espécies de peixes (Sotero, 2002; Witmann *et al.*, 2010).

Em relação a sua fenologia, *G. augusta* possui comportamento perene, capaz de manter seu aparato fotossintético intacto nos períodos alagados, não chegando a perder as folhas debaixo d'água. O período de floração e frutificação ocorre dentro de uma fase aquática, principalmente nos picos de cheia dos rios (Parolin, 2002; Schöngart *et al.*, 2002; Waldhoff *et al.*, 1998, 2002). A maturação de seus frutos ocorre predominantemente nos meses de março a maio (Flores Paytan, 1997; Lorenzi, 1992).

A descrição para uso da espécie é relatada principalmente com finalidade farmacêutica, devido os extratos do caule e cascas de *G. augusta* apresentarem atividade anti-inflamatória, sendo atividade atribuída pelos povos tradicionais no tratamento da leishmaniose. Mas também é utilizada em arborização, a polpa do fruto é comestível e a madeira dessa espécie pode ser utilizada na construção civil (Grenand *et al.*, 1987; Rocha *et al.*, 1986).

Figura 4 -A) Flores de *Gustavia augusta* abertas sob a água do rio. B) Flores e frutos de *Gustavia augusta*.



Fonte: Machado e Medeiros (2018)

4.2.2.3 Socoró: *Eugenia* sp

O socoró é uma espécie pertencente à família Myrtaceae, com forma de vida em arbusto ou arvoreta que podem chegar a atingir até 10m, compõem os estágios pioneiros ao longo da margem de rios, onde a inundação média é maior que 4 m. Possui a base do tronco reta ou intensamente ramificada. O ritidoma é liso, com fissuras verticais. O floema é de cor vermelho escuro e o alburno creme. Suas folhas são simples e opostas, brilhantes na face superior. As flores axilares são brancas, fragrantas, com frutos vermelhos e ovóides (Witmann *et al.*, 2010). Seu fruto é muito consumido pela fauna e é bastante utilizado como isca em pescarias (Morais *et al.*, 2014).

Figura 5 -À esquerda folhas e frutos de *Eugenia* sp , ao meio base do tronco reta com ritidoma fissurado e à direita pré-excicata de *Eugenia* sp.



Fonte: Arquivo pessoal (2024)

4.2.3 Variáveis ambientais microclimáticas

Foram mensuradas as seguintes variáveis ambientais na área: temperatura (T °C), precipitação (mm/h), vazão (m^3/s), cota (cm), déficit de pressão de vapor (DPV em kPa), velocidade do vento (m/s) e radiação solar de onda curta (W/m^2).

Os dados referentes ao nível de precipitação foram obtidos no site do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), estação 82178 no município de Óbidos-PA distante aproximadamente 80km da área estudada. Já os dados da vazão foram retirados do site da Agência Nacional de Águas (ANA), estação fluviométrica 17050001 também localizada na cidade de Óbidos. Os demais dados meteorológicos foram obtidos no conjunto de dados ERA5-LAND¹, que corresponde a um conjunto de dados de reanálise meteorológica da superfície terrestre, com dados horários e mensais.

4.2.4 Variáveis funcionais e morfoanatômicas

Foram determinadas as seguintes características funcionais e morfoanatômicas: Área foliar específica, densidade estomática, densidade do xilema do galho (corte transversal; número de vaso por milímetro quadrado de xilema), diâmetro médio de vaso (relativo à área do vaso individual), área relativa do lúmen. Levando em consideração que essas características

¹ Disponíveis em: <https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/dataset/reanalysis-era5-land?tab=overview>

funcionais não sofrem grandes variações intra-anual e sazonais, foi realizada apenas uma coleta pontual (no período de transição entre fase de alagamento e fase de não alagamento).

4.2.4.1 Análise de características anatômicas foliares

Para as análises anatômicas, a área de amostragem foi ampliada para além da parcela delimitada e folhas foram coletadas de três indivíduos ($n = 3$) de cada uma das três espécies estudadas, sendo um destes, o indivíduo com a presença do sensor de fluxo de seiva. Foram coletadas folhas do terceiro internó a partir do ápice do ramo, completamente expandidas, expostas a luminosidade na maior parte do dia, apresentando bom estado de saúde, sem sinais aparentes de patógenos ou herbivoria.

De cada indivíduo, foram obtidas quinze folhas, sendo cinco delas utilizadas para determinação da área foliar específica e outras dez folhas para realizar a análise da epiderme foliar. Após a coleta, as folhas foram armazenadas em sacos plásticos preto, contendo papel toalha umedecido em água, a fim de garantir que mantivessem a umidade durante o transporte do campo até o Laboratório de Ecologia e Biogeoquímica de Ecossistemas Amazônicos da Universidade Federal do Oeste do Pará- UFOPA, onde foram realizadas as primeiras análises e devido armazenamento.

4.2.4.2 Área foliar específica e área foliar

Para determinação da área foliar específica, as cinco folhas frescas foram escaneadas digitalmente em scanner do modelo HP Photosmart C4780, com resolução de 300 dpi e a área calculada no software ImageJ ®. As folhas escaneadas foram colocadas em um envelope contendo todas as informações sobre cada árvore (número da árvore e o número de folha escaneada), em seguida colocadas na estufa de circulação forçada a 50°C por 24h (ou até obter peso constante), depois da completa secagem elas foram pesadas em uma balança de precisão ($\pm 0,0001g$) e seus valores digitados e tabulados em planilhas no Excel. Após esse procedimento, quantificou-se a Área Foliar Específica (AF_e) através da equação: $AF_e = (AF/MSF)$, em que:

$AF = \text{Área foliar (cm}^2\text{)}, e MSF = \text{Massa seca foliar (g)}.$

Para essa análise, a coleta aconteceu uma vez a cada fase hidrográfica, sendo estas: setembro/23 (vazante), novembro/23 (seca), fevereiro/24 (enchente), maio/24 (cheia).

4.2.4.3 Análise da epiderme foliar

No laboratório, das dez folhas coletas, foram retirados fragmentos da porção mediana contendo a nervura central e parte do limbo foliar. Os fragmentos foram armazenados em álcool 70% até a análise, no Laboratório de Anatomia Vegetal do Instituto de Ciências Biológicas da Universidade de Brasília, no Distrito Federal. As amostras foram fixadas em FAA 50% (formaldeído 37%, 50 mL, etanol a 50%, 900 mL, ácido acético glacial, 50 mL) por 48h (Johansen, 1940), em seguida foram lavadas e armazenadas em álcool 50%.

A descrição da epiderme foi realizada a partir da sua dissociação, por meio da maceração dos tecidos em solução de Franklin (1945), composta de peróxido de hidrogênio (30%) e ácido acético glacial, na proporção 1:1 (a qual digere o mesofilo das folhas, permitindo a dissociação e obtenção da epiderme abaxial e adaxial). Para o procedimento, as amostras foram retiradas do álcool 50% e reidratadas em água destilada, cortados fragmentos de aproximadamente 1cm², que foram então colocados em frascos de vidros contendo a solução de Franklin, tampados com papel alumínio e levados a estufa em 60°C por 24h ou até adquirirem cor esbranquiçada. Em seguida o material foi lavado em água destilada, e as epidermes (abaxial e adaxial) cuidadosamente separadas utilizando pincéis e com auxílio de uma lupa eletrônica.

As epidermes foram coradas com Safranina alcoólica 1% por cinco minutos, submetendo-as a uma bateria crescente de desidratação com concentrações de álcool etílico (30%, 50%, 70%, 90%, 100%), permanecendo entre um e cinco minutos em cada etapa da série, sendo que na última (100%), realiza-se a etapa duas vezes, garantindo assim uma boa infiltração para a montagem de lâminas semipermanentes, considerando que o meio de montagem foi água, lâmina e lamínula. A partir dessas lâminas foi feita a análise e determinação de densidade estomática e tamanho dos estômatos.

Cada lâmina foi fotografada em cinco campos aleatórios de cada amostra da região mediana das folhas, para cada um dos três aumentos, 10x, 25x e 40x. As fotomicrografias foram obtidas por meio de um microscópio óptico *Leica* DM750 acoplado a uma câmera digital *Leica* ICC50 HD, sendo o equipamento disponibilizado pelo Laboratório de Fisiologia do Estresse em Plantas, vinculado ao Departamento de Botânica da Universidade de Brasília (UnB). As medidas estomáticas foram realizadas no aumento de 40X.

O *software* utilizado para o registro fotográfico foi o *Leica Application Suite* (LAS EZ) versão 3.2.1, enquanto a determinação do comprimento e largura das células-guarda e densidade estomática foi o *imageJ*. A densidade estomática (nº de estômatos por mm²) foi

calculada como a média do número de estômatos contados por cada campo de visão/área da fotomicrografia, conforme a metodologia de Franks *et al.* 2009 e Franks *et al.* 2012.

Para o estudo das estruturas anatômicas, foram realizados cortes paradérmicos à mão livre na região mediana das folhas. Em seguida, os tecidos foram clarificados com hipoclorito de sódio 20% (10 minutos) e 50% (5 minutos) (Kraus; Arduin, 1997), corados com dupla coloração -utilizando azul de alcian 1% e Safranina 1% (Luque *et al.*, 1996).

As observações e fotomicrografias foram feitas com auxílio de um microscópio óptico do modelo Leica DM 500 com câmera digital acoplada (Leica ICC50 HD). As descrições anatômicas dos tecidos e demais estruturas anatômicas da folha seguiram de acordo com Fahn (1985), Ferreira *et al.* (2015) e Metcalfe e Chalk (1950), enquanto os estômatos classificados segundo Apezzato-da-Glória (2003).

4.2.4.4 Análises de características funcionais do ramo

Para a coleta de características do xilema foram amostrados galhos finos próximos a extremidade da copa, sem a presença de bifurcação ou nós, sendo utilizado um ramo por indivíduo. Os galhos mediam aproximadamente diâmetro de 1 cm. Os ramos coletados foram armazenados em sacos plásticos pretos, contendo papel toalha umedecido, em seguida transportados até o laboratório.

Em laboratório, os ramos foram fixados em FAA 70% por 24h e após, mantidos em álcool etílico 70% para preservação do material. O preparo de lâminas transversais foi realizado no Laboratório de Anatomia Vegetal da Universidade de Brasília.

Realizou-se cortes em seção transversal em cada ramo utilizando um micrótomo de deslize com espessura de 20 μm cortados transversalmente, em seguida os cortes foram clareados em hipoclorito de sódio 50% por cinco minutos, depois lavados com água destilada e então corados com dupla coloração Safranina (1%) e azul de alcian (1%) (de 3 a 5 minutos), desidratados em série alcóolica (30%, 50%, 70%, 100%) e então montados entre lâmina e lamínula e analisados microscopicamente.

Em seguida, as lâminas de xilema foram fotografadas em cinco campos aleatórios, cada uma delas, utilizando-se um fotomicroscópio. Posteriormente, as imagens obtidas foram analisadas em software livre ImageJ [®], por meio do qual determinou-se o diâmetro e a densidade do xilema/vasos. Sendo o diâmetro hidráulico dos vasos e a densidade de vasos por espécie calculada a partir da delimitação de uma seção com área de 1 mm² das fotomicrografias de cada indivíduo, onde todos os vasos dessa área foram mensurados e contados.

4.2.5 Determinação do Fluxo de Seiva

Os fluxos de seiva foram inferidos entre agosto de 2022 e setembro de 2023, de forma contínua através de sensores automáticos (Granier, 1985), ao longo do ciclo hidrológico. Os sensores (Figura 6) são formados por duas agulhas, as agulhas possuem comprimento de 33mm e 1,5 mm de diâmetro. As agulhas foram inseridas verticalmente no tronco da árvore, com distância de 10 cm entre a agulha de referência e a agulha aquecida e em posição norte-sul, evitando que sofra influências da radiação solar direta. A inserção das agulhas foi realizada utilizando-se uma furadeira com brocas de diâmetro superior ao diâmetro da agulha termopar. Os dados foram armazenados em “datalogger” (registrador de dados), acoplado uma placa eletrônica e um cartão SD de 2 Gb. A leitura de dados foi realizada em um intervalo de 60 segundos ao longo das 24h do dia e o download realizado mensalmente no campo.

A altura de instalação dos sensores variou entre os indivíduos, levando em consideração a altura da coluna d’água formada na última enchente, todos estando acima de 3,0m, assim evita-se que os sensores sejam danificados pela água nos meses de cheia e que sofram influência da temperatura do solo. Após a perfuração das árvores e com as agulhas já inseridas, revestiu-se as agulhas com massa de modelar a fim de evitar o contato direto com a água que possa escorrer no tronco da árvore e evitar que estas sejam expelidas para fora do tronco. Como trata-se de aparelhos eletrônicos e estes podem ser facilmente danificados se em contato com a água, cobriu-se todo o sistema com um isolante térmico, a fim de evitar o contato direto com água das chuvas e o aumento de temperatura decorrente da radiação solar.

Os sensores são alimentados com a energia proveniente de um sistema de placa solar, controladores de energia e baterias, o que permite a continuidade da leitura de dados ao longo de todo o dia. O método utilizado para inferir a velocidade do fluxo de seiva de cada indivíduo será o de sonda de dissipação do calor com diferença de temperatura. Trata-se de uma metodologia bem documentada na literatura (Burguess *et al.*, 2001) e os protocolos de medida neste estudo obedeceram a procedimentos padrões adotados em estudos prévios (Cermak *et al.*, 2004; James *et al.*, 2002; Meinzer *et al.*, 2013).

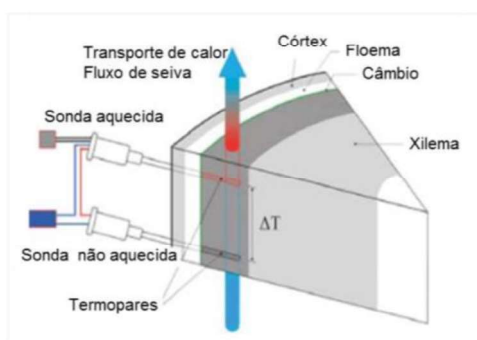
Em resumo, a medida do fluxo ocorre a partir da inserção de duas agulhas (uma inferior e outra superior) de forma vertical no tronco das árvores (Figura 6). Aquece-se a agulha superior e a inferior permanece neutra, assim tornando-se a referência. O aquecimento das agulhas termopares gera um pulso de calor, a diferença de temperatura entre a agulha que foi aquecida e a agulha neutra, é determinada pelo transporte convectivo de calor pela seiva na planta. A

maior diferença de temperatura registrada entre as sondas significa que o fluxo é mínimo ou quase nulo; sendo assim, a mínima diferença significa uma maior taxa de fluxo de seiva na área amostrada (Granier, 1985; 1987). Granier (1985) relacionou a velocidade de dissipação de calor e diferença de temperatura entre as sondas, aplicado num ponto do tronco, com a densidade de fluxo de seiva. Destaca-se que para este estudo, por limitações no desenvolvimento da metodologia, adotou-se a representação de índice de calor para trata-se de fluxo de seiva. O índice de calor expressa a diferença de temperatura entre as sondas, podendo ser utilizado para descrever o comportamento de transporte de água no caule da planta, todavia, torna-se um retrato daquilo que se espera para as taxas de fluxo de seiva ainda que não expresse totalmente esse fluxo.

A figura 7 representa a série de variação temporal de índice de calor ao longo do ano nas três espécies estudadas e concomitantemente corresponde a série de dados analisados nesse estudo. Avaliou-se o efeito do alagamento sobre duas perspectivas: fase alagada *versus* fase não alagada, e, variação sazonal (enchente - cheia - vazante - seca).

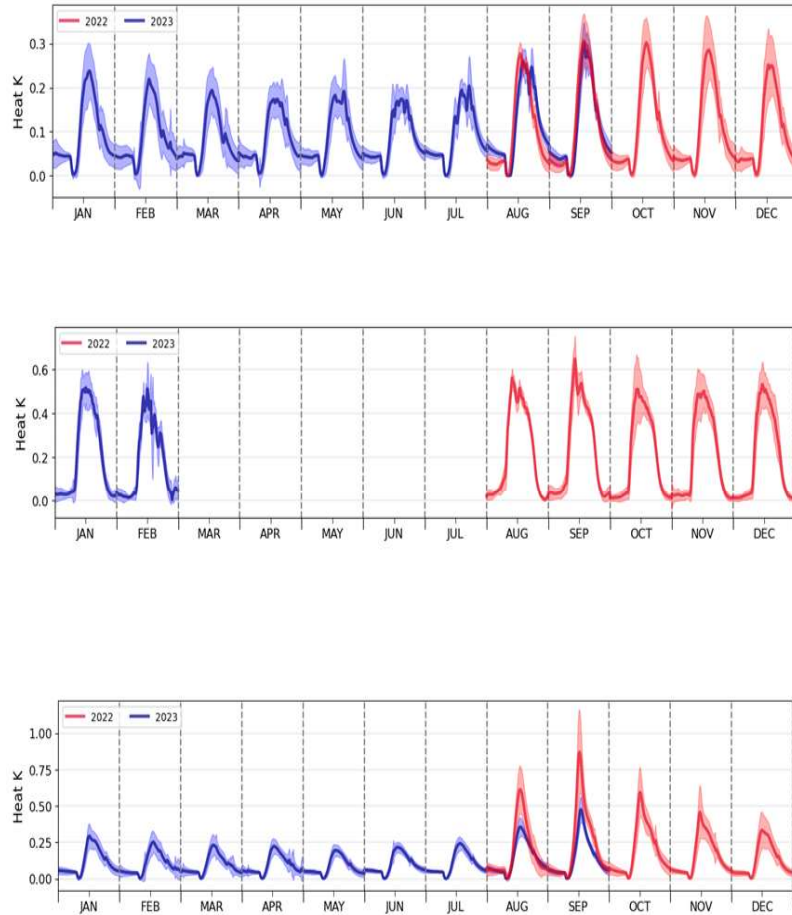
Para análise do efeito do alagamento nas taxas de índice de calor para as três espécies envolvidas, adotou-se o mês de Agosto/2022 como período alagado (mesmo que a coluna d'água já estivesse diminuindo naquele mês), ainda havia a presença de água na parcela de estudo e as raízes das árvores encontravam-se submersas) e mês de Novembro/2022 como período não-alagado (sem presença de água na parcela de estudo e com poucos registros de chuva), pois esses foram os meses com melhor série de dados para tal análise. A análise do comportamento sazonal de índice de calor só foi possível ser realizada nas espécies *G. augusta* e *L. corymbulosa*, que apresentaram dados suficientes que permitissem tal descrição.

Figura 6 - Esquema do sensor de Garnier



Fonte: Soares (2020).

Figura 7 - Série temporal de índice de calor de três espécies de árvores perenes de uma floresta de várzea



4.3 Análise dos dados

Foram analisados os dados obtidos a partir de 14 coletas mensais. Cada sensor teve amostras mensais realizadas continuamente, obteve-se a média dessas amostras para representar a variação de índice de calor ao longo do ano. Todos os dados foram tabulados em uma planilha no Microsoft Excel (versão 2022). Realizou-se a análise estatística utilizando o Jamovi (versão 3.1), no qual para testar a normalidade dos dados foi utilizado o teste Shapiro-Wilk e observou-se que as amostras não apresentavam uma distribuição normal. Diante da ausência de normalidade, aplicou-se um teste não paramétrico do tipo Mann-Whitney, para verificar a dinâmica de índice de calor ao longo das estações alagada e não alagada. Os parâmetros ambientais e variáveis funcionais das plantas foram correlacionados com os dados de fluxo de seiva, através do teste de correlação de Pearson.

A análise de correlação de Pearson foi utilizada para obtenção de coeficientes de correlação entre as variáveis. As relações que foram significativas foram submetidas a análises

de regressão e dispersão, tendo a velocidade de seiva como variável resposta e as variáveis microclimáticas como variáveis preditoras. As análises estatísticas foram realizadas no programa R (R Core Development Team 2019).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Características funcionais morfoanatômicas

5.1.1 Anatomia das folhas

5.1.1.1 Epiderme

Em vista frontal, a forma das células comuns da epiderme das folhas das espécies estudadas difere-se entre si (Tabela 2). Na face adaxial de *Gustavia augusta* as células possuem contorno de formato quadrado a irregular, quando observada a face abaxial nota-se que essas células passam a ter o formato retangular arredondado. Células de formato quadrado arredondado constituem ambas as faces da espécie *Eugenia* sp, além de serem predominantes na face adaxial de *Laetia Corymbulosa*. A face abaxial de *L. corymbulosa* é formada de células do tipo retangular a irregular. Nas células epidérmicas da face abaxial de *L. corymbulosa* e *G. augusta*, pode ser notada a presença abundante de oxolato de cálcio na forma de drusas e cristais.

Com exceção da espécie *G. augusta*, que é anfiestomática, as demais espécies são classificadas como hipoestomáticas (presença de estômatos somente na face abaxial), ambas possuem os seus estômatos no mesmo nível das células epidérmicas. Quanto a classificação desses estômatos, *L. corymbulosa* possui estômatos do tipo paracíticos, *Eugenia* sp estômato anomocítico e *G. augusta* anisocítico em ambas as faces.

A secção transversal da lâmina foliar, mostrou que a epiderme é do tipo unisseriada nas três espécies e em ambas as faces, o que as diferencia é a presença e/ou ausência de hipoderme abaixo da cutícula, além do espessamento ou não da mesma. *Eugenia* sp possui a cutícula espessa em ambas as faces, enquanto as espécies *G. augusta* e *L. corymbulosa* possuem a cutícula delgada cobrindo as faces adaxial e abaxial. Nota-se a presença de hipoderme em pelo menos alguma das faces das espécies estudadas.

Somente a espécie *Eugenia* sp apresentou a presença de estruturas glandulares, sendo estas, glândulas oleíferas com células teto, localizadas na face abaxial da lâmina foliar, os

estômatos presentes nessa espécie encontram-se submergidos dentro dessas estruturas (pode melhor ser notado nas imagens de vista frontal do que corte transversal), como se fossem/estivessem encapsulados (Figura 8).

5.1.1.2 Mesofilo

A organização do mesofilo é do tipo dorsiventral em todas as espécies. Sendo que, em *G. augusta* e *L. corymbulosa* o parênquima paliçádico é formado por três camadas de células alongadas e compactadas, enquanto em *Eugenia sp* é formado de duas camadas.

Em *G. augusta* e *L. corymbulosa*, o parênquima paliçádico é formado por três camadas de células compactas, sem espaço intercelular, chegando a preencher cerca de 40% do mesofilo. O parênquima lacunoso em *Eugenia sp* é constituído por células de formato arredondado, com paredes delgadas, que chegam a preencher até 8 camadas de células (50% do mesofilo) com a presença de alguns poucos espaços intercelulares evidentes entre elas. Já na espécie *G. augusta*, esse mesmo parênquima passa a ser formado por até 6 camadas de células com formato arredondado e aspecto homogêneo, o que difere de *L. corymbulosa*, que tem seu parênquima lacunoso formado por 5 camadas de células com formato irregular e paredes delgadas.

Foi possível notar a presença de cavidades secretoras com formato oval/arredondadas no mesofilo de todas as espécies, exceto em *G. augusta*. Dispersos no mesofilo de todas as espécies, foram observados idioblastos cristalíferos e drusas, além de estarem presentes também na proximidade da nervura central (Figura 8 A; Figura 9 A,D; Figura 10 A, F).

5.1.1.3 Nervura principal

Na nervura principal as espécies apresentam o sistema vascular do tipo colateral, dispostos em forma de arco aberto ou fechado. O formato da nervura principal nas folhas é do tipo convexo/côncavo na face adaxial de todas as espécies, com pequenas variações entre elas quando se observa a face abaxial.

De forma geral, a anatomia das folhas das espécies estudadas mostra que estas possuem um aparato bem definido de atributos anatômicos e semelhantes a plantas de ambientes xerófilos, corroborando o observado por Waldhoff & Parolin (2010), Waldhoff *et al.* (2002) e Waldhoff (2003), ao descreverem a anatomia da lâmina foliar de plantas de florestas de várzea.

Mesmo que estes ambientes sejam sazonalmente inundados, características de ambientes secos podem ser notados durante as fases alagada e não alagada. Características xeromórficas podem ser um indicativo que as espécies deste trabalho sofrem estresse de seca nos ambientes de várzea. De acordo com Worbes (1997) árvores de dossel de florestas inundáveis na Amazônia Central sofrem com déficit hídrico durante a fase inundada, semelhante ao observado em árvores de terra firme durante a estação mais seca, dessa forma, características xeromórficas auxiliam as árvores a lidar com o suprimento insuficiente de água para a copa causado pela diminuição do funcionamento das raízes durante a fase de alagamento.

Plantas de ambientes xerófilos, apresentam cutícula espessas, parênquima lacunoso compacto e com pouco espaço intercelular e estômatos afundados, conforme descrito para as espécies deste estudo. O maior investimento em espessamento da cutícula, como em *Eugenia* sp, gera aumento da resistência à perda de água pela superfície foliar, funcionando como um impermeabilizante, evitando assim a perda excessiva de água, uma vez que a cutícula é formada de substâncias lipídicas que possuem a função de reduzir a difusão de vapor de água dos tecidos internos das folhas para a atmosfera, além de auxiliar na proteção contra alta luminosidade (Krauss *et al.* 1997; Larcher 2006), cutículas espessas também podem contribuir para a melhor eficiência no uso de água pelas plantas, tornando-se uma característica importante para que a espécie regule de forma eficiente a aquisição e uso de água sob diferentes condições de disponibilidade hídrica, contribuindo para que esta consiga tolerar as diferentes condições de estresse.

Em contraste, a cutícula delgada notada em *G. augusta* e *L. corymbulosa*, pode ter relação com o favorecimento de troca gasosa sob condições de alagamento (Pires, 2020), uma vez que a cutícula é um dos fatores determinantes na absorção de CO₂ em plantas alagadas, logo, cutículas com menor espessura causam diminuição a resistência de difusão de água pela superfície foliar, possibilitando assim uma maior eficiência nas trocas gasosas sob condições de alagamento (Frost-Christensen *et al.* 2003). Cutículas delgadas/finas também foram relatadas por Waldhoff e Furch (2002). Para além, *L. corymbulosa* ainda conta com a presença de hipoderme, estrutura que pode auxiliar no armazenamento e na maior retenção de água nos tecidos devido a capacidade que possui em absorver água, e assim proteger o aparelho fotossintético (Feller, 1996; Al-Tardeh *et al.*, 2008).

A presença de cavidades secretoras, como o caso das glândulas oleíferas observadas na face abaxial da *Eugenia* sp, é uma característica anatômica que ocorre de forma frequente em espécies da família Myrtaceae (Metcalf & Chalk 1979; Barroso *et al.*, 1984). A localização e distribuição dos estômatos influenciam tanto nas relações hídricas, como nas trocas gasosas que

ocorrem nas folhas (Ferreira *et al.*, 2015). No caso de espécies hipoestomáticas, *L. corymbulosa* e *Eugenia* sp. nas quais os estômatos estão localizados somente na face abaxial, descreve-se que esta característica está ligada a estratégia de redução da transpiração (Rasmunssen, 1987; Ferreira *et al.*, 2015), bem como economia hídrica (Esposito-Polesi; Rodrigues; Almeida, 2011).

Para a espécie *Eugenia* sp, além da predominância de estômatos somente na face abaxial, estes são encobertos por uma câmara, o que pode resultar em maior resistência a perda d'água e evitando a incidência direta do sol (Neto & Martins, 2012). No caso da espécie *G. augusta*, que apresenta folhas anfiestomáticas, tem-se que a distribuição dos estômatos em ambas as faces foliar pode representar um meio vantajoso para aumentar as taxas fotossintéticas e permitir trocas gasosas mais eficientes, garantindo a esta espécie a melhor capacidade de regulação hídrica (Parkhust, 1978; Morretes, 1969).

A organização do mesofilo de forma dorsiventral, bem como o número expressivo de camadas de parênquima paliçádico e parênquima lacunoso, também foram observados por Waldhoff & Parolin (2010) e Medri *et al.* (2011), tal característica demonstra o investimento destas espécies em tecidos fotossintéticos, uma vez que o parênquima paliçádico possui influência direta em questões relacionadas à utilização de luz disponível, o que é característico de plantas expostas a altas intensidades luminosas (Fahn, 1982; Souza *et al.*, 2010) e parênquima lacunoso possibilita as espécies melhor garantia na captação e circulação de CO₂ (Castro *et al.* 2009), além de que a grande quantidade de lacunas facilita a rápida troca de gases com o exterior (Cosmo & Galeriani, 2016). A quantidade de camadas de parênquima paliçádico observado nas espécies variou de 2 - 3, corroborando o observado por Wandoolf & Parolin (2010) que ao observarem a anatomia foliar de espécies de árvores de planície inundável notaram que as árvores cuja fenologia está associada com a não perda/troca de folhas sob condições de submersão, também apresentaram mais de uma camada de parênquima paliçádico no lado inferior da folha. Além disso, a presença de mesofilo compacto e com pouco espaço intracelular para todas as espécies estudadas pode conferir proteção mecânica às folhas.

A expressiva presença de cristais e drusas dispersas pelo mesofilo das espécies estudadas e próximo à nervura central foi a característica compartilhada por todas as espécies. Essas estruturas podem desempenhar um papel de defesa contra herbivoria, uma vez que conferem um baixo grau de digestibilidade às folhas (Konno *et al.* 2014), ou ainda, a ocorrência de cristais e drusas permite a neutralização do excesso de cálcio transportado pelo fluxo hídrico, melhor aproveitamento da luz ou reflexão da luminosidade, rigidez e suporte mecânico para os

tecidos (Metcalfé & Chalk, 1988; Nakata, 2003; Lersten & Horner, 2008; Franceschi & Nakata, 2005).

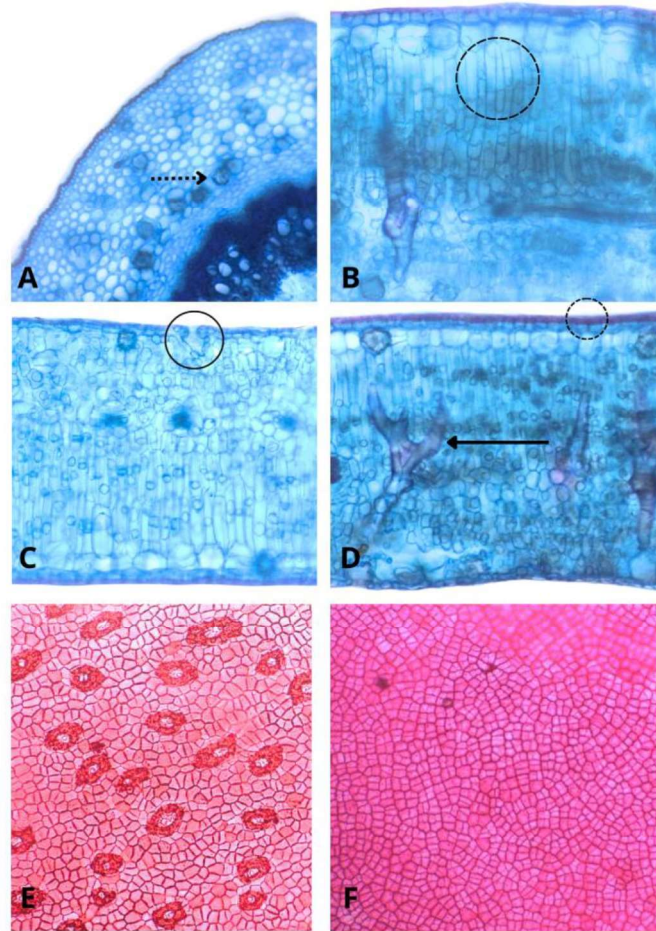
No caso de ambientes de várzea, a luminosidade é reduzida durante o período de alagamento devido a maior formação de nuvens e frequentes episódios de chuva, logo, a presença de cristais e drusas ao longo do mesofilo das folhas pode estar relacionada a atuação destes na reflexão de luz para o interior do aparato fotossintético, aumentando a eficiência do uso de luz incidente sob condições de menor luminosidade.

Tabela 2 - Principais caracteres anatômicos da lâmina foliar de 03 espécies de várzea amazônica. (+) = presença, (-) = ausência, AB = abaxial, AD = adaxial, Dorsi = dorsiventral, PP = parênquima paliádico, PL = parênquima lacunoso, IC = idioplastos cristalíferos, C = cristais, D = drusas, AF = arco fechado, Co = colateral, GO = glândula oleífera

Família/esécie	FORMAS DAS CÉLULAS EPIDÉRMICAS COMUNS		ESTÔMATOS		NERVURA PRINCIPAL		EPIDERME		MESOFILO						
	Face abaxial	Face adaxial	Face abaxial	Face adaxial	IC	AF	CO	Cuticul		Tricomas	Organiz ação PP (nº de camadas) (%)	Esclereídes	IC		
								Sistema vascular	Feixo vascular	Sistema vascular espessa					
Lecythidaceae															
<i>Gustavia augusta</i> L.	Quadrada a irregular	Quadrada a irregular	Anisocítico	Anisocítico	CD	AF	CO				Dorsi	3	41,7/58,3	-	CD
Myrtaceae															
<i>Eugenia</i> sp.	Quadrada arredondada	Quadrada arredondada	Anomocítico		D	AF	CO	AD/AB	GO		Dorsi	2	50/50	+	CD
Salicaceae															
<i>Laetia corymbulosa</i> Spruce ex Benth.	Retangular a irregular	Quadrada arredondada	Paracítico		D	AF	CO	AD/AB			Dorsi	3	40/60	-	D

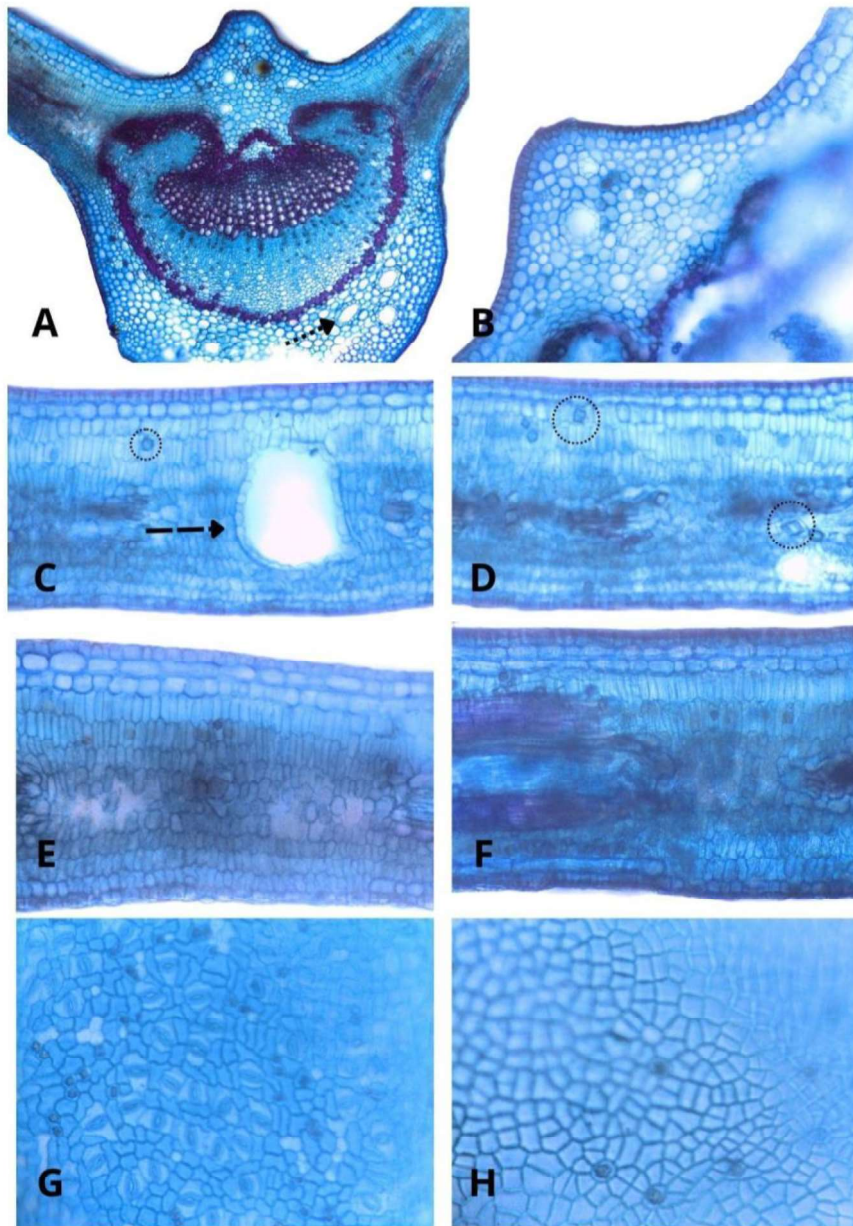
Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

Figura 8 - Seção transversal da lâmina foliar de *Eugenia* sp



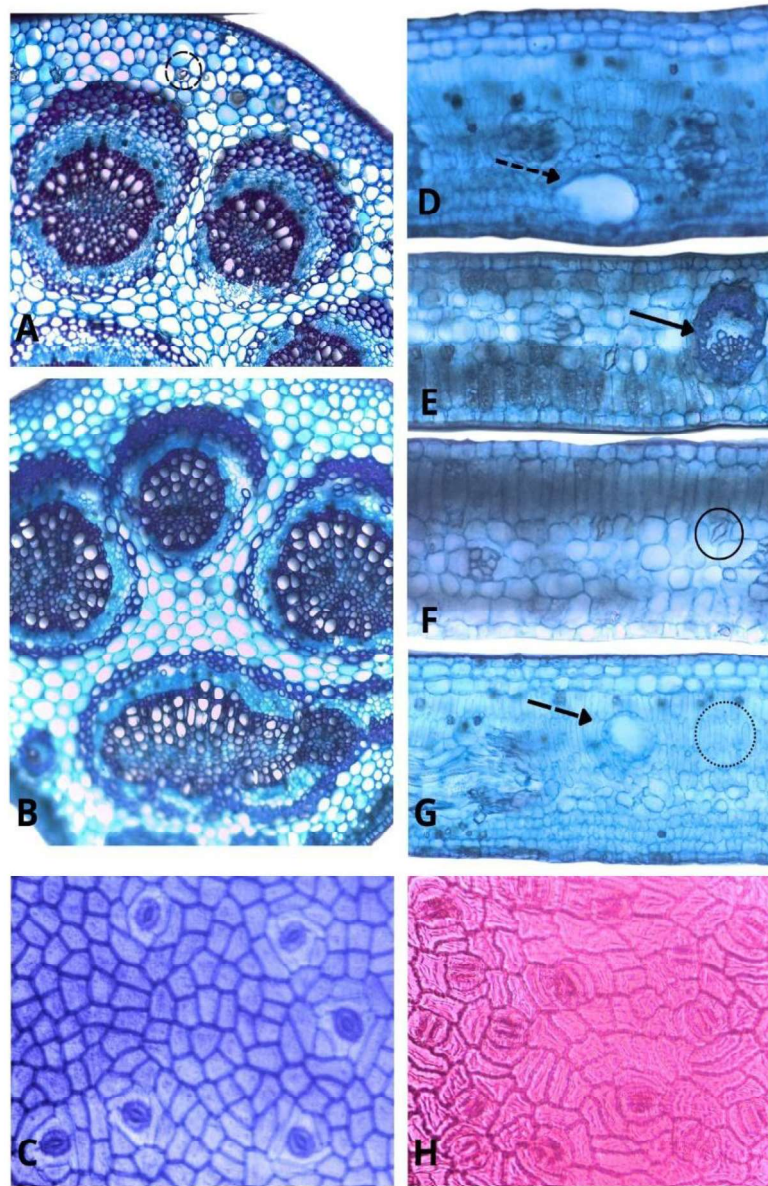
Legenda: (A - D) epiderme foliar da face adaxial (F) e abaxial (E) da espécie *Eugenia* sp, mostrando: (A) drusas (seta pontilhada) próximo ao feixe vascular da nervura central; (B) parênquima paliçádico do tipo dorsiventral, com duas camadas de células alongadas (círculo tracejado) ; (C) estômato em cripta na face abaxial (círculo); (D) epiderme adaxial com cutícula espessa (círculo tracejado) e presença de esclereídes no mesófilo (seta contínua) ; (E) estômatos em cripta; (F) face adaxial com células epidérmicas de formato quadrado arredondado.

Figura 9 - Seção transversal da lâmina foliar *Laetia corymbulosa*



Legenda: (A - F) epiderme foliar da face adaxial (H) e abaxial (G) da espécie *Laetia corymbulosa*, mostrando: (A) nervura central com sistema vascular do tipo colateral em forma de arco fechado; (B) cavidades secretoras com formato arredondadas próximo ao feixe vascular da nervura central; (C) cavidades secretoras com formato oval no mesofilo (seta tracejada) e idioblasto do tipo drusa (círculo); (D) idioblastos cristalíferos e drusas dispersos no mesofilo; (E) organização do parênquima paliçádico e parênquima lacunoso; (F) mesofilo do tipo dorsiventral com a presença de feixe vascular e hipoderme abaixo da face adaxial; (G) estômatos paracíticos na face abaxial; (H) face adaxial com células epidérmicas no formato quadrado com bordas arredondadas e presença de drusas.

Figura 10 - Seção transversal da lâmina foliar *Gustavia augusta*



Legenda: Epiderme foliar da face adaxial (C) e abaxial (H) da espécie *Gustavia augusta*, mostrando: (A) idioblasto em forma de cristal (círculo); (B) feixe vascular na nervura central; (C) estômatos anisocítico na face adaxial e face abaxial (H); (D) cavidade secretora (círculo) próximo a epiderme abaxial ; (E) feixe vascular no mesofilo ; (F) idioblasto em forma de cristal disperso no mesofilo (círculo) ; (G) cavidade secretora (seta tracejada) e parênquima paliçádico formado por três camadas de células compactas, sem espaço intercelular.

5.1.1.4 Área foliar específica e Área foliar

Com base na análise das características morfoanatômicas, observou-se diferentes traços funcionais entre as espécies. A área foliar específica (AFE) variou de 15,3 a 245,5 cm² g⁻¹, sendo o menor valor para a espécie *Eugenia* sp e o maior valor para a espécie *Gustavia augusta* (Tabela 3). Com exceção de *Eugenia* sp, as demais espécies apresentaram diferença estatística (*G. augusta* p = 0,005, *L. corymbulosa* p = 0,001) entre os períodos não alagado e alagado (Figura 11). Para *G. augusta* a média foi de 111.1 cm² g⁻¹ no período não alagado, diminuindo para 69.3 cm² g⁻¹ no período alagado. *L. corymbulosa* apresentou valores médios de 78.7 cm² g⁻¹ no período não alagado e 26.1 cm² g⁻¹ no período alagado. Inversamente, *Eugenia* sp apresentou média de 67,6 cm² g⁻¹ sob condições de não alagamento, aumentando para 73.0 cm² g⁻¹ em período alagado.

A variação sazonal observada nas florestas de várzea, influencia diretamente as plantas, provocando algumas mudanças que podem ser percebidas nas folhas, uma vez que estas correspondem ao órgão de maior plasticidade e tendem a se ajustar às condições vigentes do meio onde estão inseridas (Tunner; Jones, 1980; Valladares; Niinemets, 2008). Nesse estudo, o alagamento afetou as características plásticas das folhas de *G. augusta* e *L. corymbulosa*, que apresentaram menor área foliar específica neste período em comparação ao período não alagado. De modo contrário, *Eugenia* sp apresentou leve aumento da AFE durante o período de alagamento, ainda que as diferenças não foram significativas. Este último comportamento fora observado em outros trabalhos realizados em florestas de várzea e em experimentos com mudas em condição de saturação hídrica, (Calvacante; Oliveira, 2014; Parolin, 2002), que evidenciaram o aumento da área foliar específica com a condição de submersão e alagamento. Em geral, os resultados demonstraram que a média da AFE do período de não alagamento foi superior à média observada no período alagado, visto que *G. augusta* e *L. corymbulosa*, demonstram redução da AFE à medida que a várzea fica alagada.

A diminuição da AFE observada durante o alagamento para as espécies *G. augusta* e *L. corymbulosa*, pode estar relacionada ao fato de que as espécies em estudo, são espécies sempre verdes/ perenes, cujo a fenofase de troca de folhas acontece continuamente ao longo do ano, ou ainda, acontece no final do período alagado ao início do período de transição entre alagado e não-alagado, conforme descrito por Parolin; Wittmann (2010) e Schöngart *et al.* (2002). No momento de coleta do material no período alagado (final do mês de maio/2023) observou-se a recente expansão de novas folhas nos indivíduos, podendo indicar que as folhas totalmente

expandidas presentes nos ramos eram as de maior longevidade/mais velhas, e consequentemente, foram essas as folhas coletadas.

Diversos estudos como o de apontam que existe uma relação positiva entre AFE e a vida útil das folhas, indicando que quanto maior a idade da folha, menor a AFE (Araújo, 2010); Medina, 1984; Reich *et al.*, 1991; Reich *et al.* 1999). Nas espécies estudadas, como observado, a expansão das folhas novas ocorreu no final do período alagado e a senescência foliar ocorre quase que exclusivamente nesse mesmo período, fato que pode justificar o menor valor de AFE ser encontrado no período alagado em comparação ao não alagado.

Ao observar a média da área foliar (AF) entre as espécies estudadas (Tabela 3), percebe-se que em *G. augusta*, a média da AF permanece praticamente inalterada entre os períodos, porém com maior variação (amplitude e desvio padrão), o que pode ter resultado em valores médios de AFE menores no período alagado, quando a amplitude dos dados foi maior. Tal resultado demonstra que *G. augusta* mantém o tamanho foliar de forma consistente, podendo indicar uma estratégia de tolerância e a capacidade de manter as taxas fotossintéticas mesmo em condições de alagamento. Ainda assim, quando comparados os períodos, os valores de AF diferiram ($p = 0.007$), sendo maiores no período não alagado, o que pode estar relacionado ao fato de que, em florestas de várzea, o crescimento das espécies vegetais e acúmulo de biomassa no caule é maior em períodos não inundados (Machado, 2019; Schongart *et al.*, 2002). Isso reflete no comportamento aquisitivo das folhas dessas espécies durante o período de menor saturação hídrica, investindo em maior AF e folhas mais leves, que resultam em um menor peso seco, logo, maior AFE. De tal maneira que maior AFE em períodos não alagados pode estar associado a uma estratégia de maximizar as trocas gasosas e fotossíntese, enquanto a menor AFE em períodos alagados pode indicar uma estratégia/aclimatação de conservação de recursos.

Em contraste, *L. corymbulosa* apresenta diminuição significativa tanto nos valores de AF como nos valores de AFE durante o período de alagamento, não apresentando tanta amplitude nos dados, tal expressão pode refletir uma estratégia que favorece a redução de perda excessiva de água por transpiração. Holmgren *et al.* (2012), estudando estratégias de espécies vegetais em floresta secas com diferentes condições de luminosidade, observaram que a redução da AFE estava associada ao fato da espécie em estudo adotar estratégias que a permitisse reservar água em maior quantidade sob condições de plena luminosidade. No caso de espécies de área alagadas, como a várzea, onde as espécies vegetais estão submersas por um período do ano, a diminuição da AFE para garantir maior reserva de água e menores taxas de perda de água por transpiração, pode ser uma resposta ao déficit energético que surge durante

o período de alagamento (Parolin *et al.*, 2004), sendo uma estratégia de minimizar gasto de energia. Ou ainda, o lançamento de novas folhas nessa espécie acontece ao longo do ano inteiro, como observado por Schöngart *et al.* (2002), logo, pode-se considerar que a cada expansão de folhas, estas já se tornam aclimatadas às condições do hidroperíodo exposto. No caso de *Eugenia sp*, não se observou diferenças estatísticas nem nos valores de AF e nem nos valores de AFE nos períodos alagado e não alagado, mostrando que esta espécie possui um maior grau de plasticidade e tolerância às condições de seca e alagamento.

Soares (2020) evidenciou em seu trabalho, a existência de relação entre AFE e velocidade de fluxo de seiva, principalmente no período chuvoso em uma floresta de terra firme, na qual os indivíduos com maior AFE tiveram maior velocidade de fluxo de seiva e justificou tal relação como sendo uma própria implicação ecológica desse traço, que representa a proporção de alocação de carbono por área de superfície foliar para captação de luz e biomassa de tecido foliar, tornando-se fortemente influenciada pela disponibilidade de irradiância solar. Logo, no período chuvoso, onde ocorre redução da irradiância solar, os indivíduos do estudo adotaram estratégias para otimizar a captação de luz a partir do incremento em AFE.

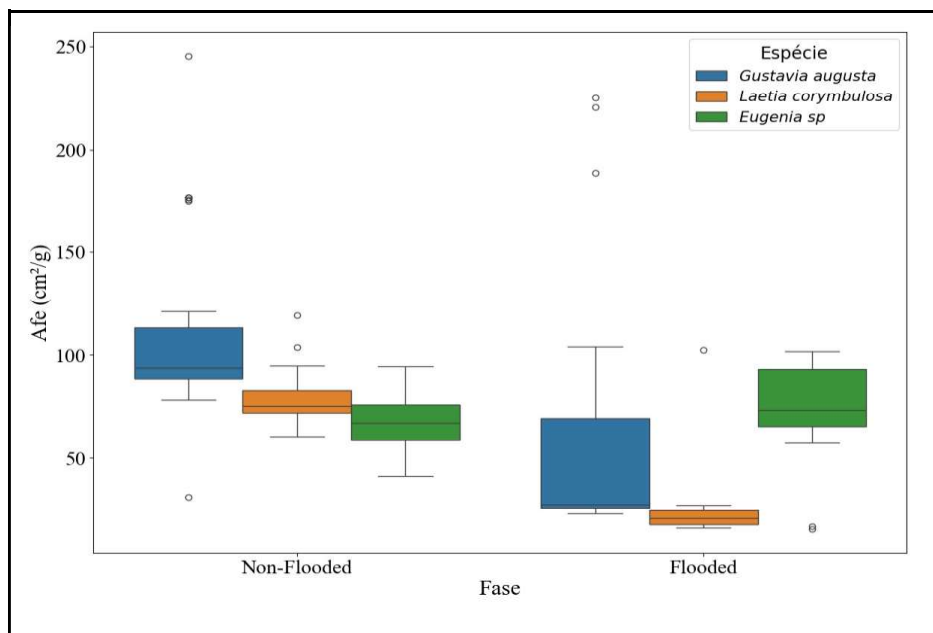
Comportamento semelhante foi observado por Santos (2021), entretanto, a relação observada no trabalho envolvia valores de área foliar e fluxo de seiva, demonstrando existir relação entre essas variáveis e consequentemente com as taxas de transpiração da planta. Maiores valores de área foliar indicam maiores taxas de fluxo de seiva, porém, deve-se destacar que tal comportamento foi observado até um determinado limite de área, no qual, folhas com área foliar superior ao limite observado, deixaram de apresentar correlação com o fluxo de seiva, tal condição sendo relacionada ao fato de que, apesar de maior área foliar, que consequentemente contribuiria para maiores taxas de transpiração, também podem contribuir com o auto sombreamento e sobreposição das folhas, o que provoca mudanças na absorção de energia pelas mesmas, redução de condutância estomática e culmina com redução das taxas de transpiração e fluxo de seiva.

Tabela 3 – Área Foliar específica (AFE) e Área foliar (AF) das três espécies estudadas, nas fases não alagado e alagado. Os valores são mínimos e máximos (min – max) medidos, média das medições, com desvio-padrão

Espécie	AFE (cm ² /g) Fase Não Alagado		AFE (cm ² /g) Fase Alagado	
	Média ± Desvio padrão	Min - Max	Média ± Desvio padrão	Min - Max
<i>Eugenia sp</i>	67,6 ± 12,5	41,4 - 94,5	73,0 ± 27,1	15,3 - 101,7
<i>Gustavia augusta</i>	111,1 ± 43,3	31,0 - 245,5	69,3 ± 76,6	22,7 - 225,0
<i>Laetia corymbulosa</i>	78,7 ± 13,3	60,5 - 119,0	26,1 ± 21,4	16,0 - 102,0

Espécie	AF (cm ²) Fase Não Alagado		AF (cm ²) Fase Alagado	
	Média ± Desvio padrão	Min - Max	Média ± Desvio padrão	Min - Max
<i>Eugenia sp</i>	19,12 ± 4,7	11,3 - 30,3	20,3 ± 7,4	6,35 - 31,9
<i>Gustavia augusta</i>	122,9 ± 49,4	55,7 - 262,8	122,9 ± 175,2	9,4 - 534,4
<i>Laetia corymbulosa</i>	19,4 ± 9,9	3,7 - 40,0	8,4 ± 8,9	3,0 - 33,2

Figura 11 - Área foliar específica em três espécies de várzea amazônica estimada nos períodos não alagado (outubro e novembro de 2023, fevereiro de 2024) e alagado (maio de 2024)



5.2 Densidade estomática e densidade de vasos de xilema

O diâmetro médio do vaso de xilema variou 45,59 μm a 70,91 μm , sendo o menor valor correspondente à espécie *L. corymbulosa* e o maior valor para a espécie *Eugenia* sp. Ao observarmos densidade de vasos, nota-se que a espécie *L. corymbulosa* foi a que apresentou o maior número de vasos por mm^2 , 25.84 $\text{n}^\circ/\text{mm}^2$, e a espécie *Eugenia* sp foi a que apresentou o menor número de vasos por mm^2 , 11.12 $\text{n}^\circ/\text{mm}^2$. Em relação a densidade estomática, a espécie *L. corymbulosa* foi a que apresentou o maior número de estômatos por área analisada e *Eugenia* sp é a espécie com menor densidade estomática (Tabela 4).

Tabela 4 – Características funcionais do xilema do galho e da lâmina foliar. Os valores são referentes a média, máximo e mínimo do diâmetro do vaso, densidade do vaso, área relativa do lumem, tamanho estomático e densidade.

Espécie	Características do xilema do galho		Características da folha	
	Diâmetro médio do vaso (μm) \pm Desvio padrão	Densidade do vaso ($\text{n}^\circ/\text{mm}^2$)	Área relativa do lumem (mm^2)	Densidade média estomática ($\text{n}^\circ/\text{mm}^2$) \pm Desvio padrão
<i>Eugenia</i> sp	70,91 \pm 8,0	11,12	0,0190	129,91 \pm 28,1
<i>Gustavia augusta</i>	55,03 \pm 5,0	19,27	0,0239	186,37 \pm 37,6
<i>Laetia corymbulosa</i>	45,59 \pm 3,0	25,84	0,0241	557,92 \pm 123,2

A densidade estomática pode variar de acordo com muitos fatores, entre eles condições como alta luminosidade e disponibilidade hídrica (Oliveira *et al.*, 2016; Lemos *et al.*, 2018; Lemos *et al.*, 2020). Os resultados encontrados neste trabalho indicam que as espécies estudadas apresentaram diferença de densidade estomática mesmo sob as mesmas condições de luminosidade e disponibilidade de água, o que pode estar relacionado com o fato de estas pertencerem a diferentes famílias, ou ainda, apresentarem diferentes estratégias de uso de água.

Altas densidades estomáticas, como a encontrada para a espécie *L. corymbulosa*, podem auxiliar no melhor controle de absorção de CO_2 e nas taxas de perda d'água, além de poder estar relacionada a uma maior condutância estomática, evitando que a fotossíntese seja limitada sob condições adversas (Justo *et al.*, 2005; Oliveira *et al.*, 2016; Lemos *et al.*, 2020).

Oliveira e Miglioranza (2013) descrevem que a maior densidade estomática permite que a abertura dos estômatos ocorra em um espaço de tempo menor, garantindo a captação adequada

de CO₂. Com a redução do tempo em que os estômatos ficam abertos, ocorre uma diminuição nas taxas de transpiração, o que permite uma melhor adaptação das plantas em condições de pouca disponibilidade de água, como em períodos de alagamento em florestas de várzea, no qual a absorção de água pelas raízes torna-se limitada devido a diminuição de oxigênio na rizosfera. Além de que essas características podem assegurar à planta uma maior eficiência de troca gasosa em horários caracterizados por maior umidade relativa do ar (Vasconcelos., 2019).

Em contrapartida, Larcher (2003; 2020) descreve que a maior densidade de estômatos é capaz de proporcionar um aumento na resistência da camada de ar na superfície das folhas, o que torna o microclima na superfície foliar mais úmido e conseqüentemente implica na diminuição das taxas respiratórias.

Em contraste, baixa densidade estomática, como a observada em *Eugenia sp.*, pode contribuir para redução da transpiração excessiva em condições adversas (Oliveira *et al.*, 2016; Lemos *et al.*, 2020). Os valores de densidade estomática encontrados neste trabalho para a espécie *Eugenia sp.*, corroboram aqueles encontrados por Alves *et al* (2008) ao avaliarem a densidade estomática em espécies do mesmo gênero, nas quais os valores de densidade variaram entre 98 ± 14 .

Franco (2008) afirma que os estômatos possuem capacidade de regular rapidamente a perda de água pelas plantas, mas, as plantas também possuem características próprias do sistema vascular que desempenham papel importante na determinação do fluxo transpiratório, uma vez que as características funcionais (estruturais e anatômicas) do xilema impõem limites aos valores máximos de transpiração.

Em relação a anatomia dos vasos de xilema, Carlquist (1977), Tyree & Zimmerman (2002), Cop (2010) e Venturas (2017) salientam que vasos de diâmetro grande e baixa densidade são características de eficiência da condutividade de água, uma vez que vasos de maior diâmetro podem transportar maior quantidade de água, no entanto, estes são mais vulneráveis e propensos à embolia, logo, espécies que apresentam estruturas anatômicas semelhantes a estas, são espécies submetidas à ambientes com boa disponibilidade hídrica. Ao contrário disto, vasos de menor diâmetro apesar de conduzirem menor quantidade de água, são mais seguros e menos suscetíveis a ruptura, condição que é suprida pelo investimento em maior quantidade de vasos por área (densidade) como forma de compensar a eficiência na condução hídrica. Portanto, as características do xilema influenciam diretamente no uso e transporte de água pela planta e refletem o balanço entre eficiência no transporte de água e segurança hidráulica (Martínez-Vilalta *et al.*, 2002; Fonte & Jansen, 2012).

De acordo com Schreiber et al. (2015) e Carlquist (1977), as condições ambientais (precipitação, temperatura, altitude, etc) são capazes de causar modificações nas características funcionais do xilema, de tal forma que a plasticidade das características funcionais relacionadas com o transporte de água nas plantas permite com que os indivíduos se ajustem a diferentes ambientes e a diversas condições de disponibilidade hídrica. Por outro lado, Liu e Noshiro (2003) e Pfautsch et al., (2016) não encontraram plasticidade nas características do xilema, indicando que algumas espécies apresentam variação na estrutura do xilema de acordo com as condições microclimáticas, enquanto outras não. Apesar de não ter sido realizada a caracterização da anatomia do xilema ao longo de todos os meses e nas diversas estações hidroclimáticas, os resultados encontrados neste trabalho auxiliam na compreensão da eficiência no transporte de água e no investimento em segurança hidráulica nas espécies estudadas.

A forma como a planta interage com o meio, é o que vai determinar a sua eficiência no transporte de água, de forma geral, espécies presentes em locais onde há maior restrição hídrica, tendem a apresentar características que as permitam ter mais segurança no transporte e resistência ao embolismo, em outro viés, espécies presentes em locais de maior disponibilidade hídrica, apresentam menor resistência ao embolismo e falhas de condução de água (Cochard, 2014; Olson *et al.*, 2018).

Como as espécies estudadas estão estabelecidas em um ambiente de alta disponibilidade hídrica, esperava-se que os indivíduos apresentassem anatomia do xilema ligada a maior eficiência e condutividade hidráulica, uma vez que não sofrem com déficit hídrico no solo. Porém, os resultados mostram que a anatomia do xilema encontrada para os indivíduos está mais relacionada à estratégias conservadoras e a espécies que investem em transporte de água mais seguro do que com eficiência, uma vez que estes apresentaram diâmetro de vasos reduzido (transportam água em menor quantidade) e maior frequência de vasos por área, o contrário ao que se esperava, indicado a possibilidade de que a saturação de água no solo deve dificultar o transporte de água pelo xilema o que pode condicionar o tamanho do xilema e a densidade dos vasos. Entretanto, Sperry et al. (2008) e Nascimento (2017) afirmam que o fato de vasos com maior diâmetro serem considerados menos seguros devido a maior probabilidade de quebra da coluna d'água e embolismo, torna-os não “adaptativos” a ambientes sazonais.

Os resultados encontrados para anatomia do xilema na espécie *Eugenia* sp são semelhantes aos resultados descritos por Oliveira (2019) ao descrever a anatomia do xilema na espécie *Eugenia inundata* em uma área de planície de inundação, o autor também encontrou baixa frequência/densidade de vasos ($18,2 \pm 9,1$ n^o/mm²) e vasos de xilema moderadamente

pequenos ($50,89 \pm 14,27\mu\text{m}$), além de que a análise estatística não revelou diferença significativa para o tamanho dos vasos de xilema entre as estações hidrográficas, evidenciando que a condição de alagamento e tempo de submersão não afetaram ou não implicaram em modificações anatômicas nos vasos entre os indivíduos da espécie.

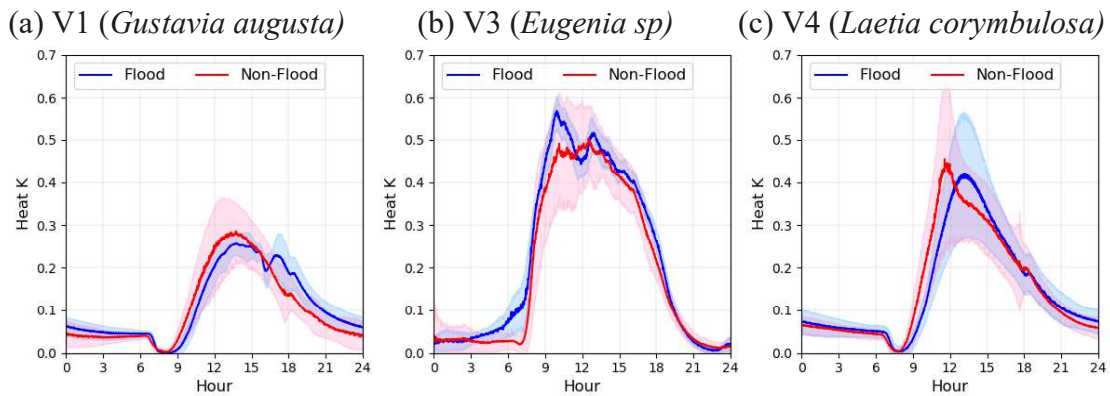
De forma geral, as espécies analisadas neste estudo apresentaram vasos de diâmetro pequeno quando comparados às espécies de outros ambientes florestais. O número de vasos de xilema por área analisada aumentou conforme a diminuição do tamanho do vaso de xilema. Estas características também foram por De Micco e Aronne (2012), que mostraram que investir em um maior número de vasos por área para suprir a baixa capacidade condutora de vasos de menor tamanho. Logo, o observado neste trabalho é que as espécies de várzea investem em estratégias mais seguras para a condução de água e tal comportamento pode estar relacionado ao fato da maior dificuldade em absorver água pelas raízes durante os períodos de saturação hídrica.

5.3 Influência das condições de alagamento e não-alagamento nos padrões de perfil diário do fluxo de seiva/índice de calor

A figura 12 indica que existe uma variação cíclica do índice de calor ao longo do dia e uma variação sazonal (período alagado e não alagado) para as espécies estudadas. É possível ainda observar que as espécies respondem de maneira diferente à condição de alagamento. Para as espécies *G. augusta* e *L. corymbulosa* situações de alagamento e não alagamento promoveram mudanças no fluxo de seiva. De modo contrário, a espécie *Eugenia* sp não apresentou mudança no comportamento de índice de calor em função da variação no nível da água no ecossistema de várzea.

Os valores máximos de índice de calor são observados no horário de 12h e os valores mínimos ao amanhecer, entre 06h - 07h. Ao comparar hora do dia e condições de alagamento, observa-se que o padrão diário de índice de calor em *G. augusta* e *L. corymbulosa* foi semelhante, sendo que nas primeiras horas do dia e durante o período noturno, o valor de índice de calor é maior no período alagado em comparação com a fase seca. No decorrer do dia, sob influência da luz, o índice de calor observado é maior durante o período não alagado.

Figura 12 - Ciclo diurno da variação do índice de calor em três espécies de árvores perenes estudadas na floresta de várzea do Distrito de Arapixuna, Santarém -PA, durante o período alagado (agosto de 2022) e não alagado (novembro de 2022)



De modo geral, as plantas apresentam respostas similares no período de transição entre noite e dia, ocorrendo uma redução nos valores de índice de calor por volta das 07h da manhã. Após isso, às 09h o fluxo aumenta acentuadamente, atingindo o seu máximo às 12h, provavelmente devido à maior condição de luminosidade nesse intervalo de tempo. Essa redução nos valores ocorre de maneira gradual durante o resto do período luminoso. O fluxo estabiliza por volta das 18h e permanece sem muita variação no restante do dia.

Em geral, para as espécies *G. augusta* e *L. corymbulosa*, o índice de calor sob condições de alagamento e não alagamento é maior entre 12h -18h e menor ao amanhecer e ao anoitecer. Em *Eugenia* sp, o comportamento diário assemelha-se ao comportamento das demais espécies, porém, não é possível observar tanta variação das taxas de fluxo sob diferentes condições hídricas. Para esta espécie, os valores mínimos são observados ao amanhecer (6h) e valores máximos às 11h, antes do horário observado nas outras duas espécies. É possível notar que as taxas de fluxo permanecem altas, ou próximas ao máximo, por um período mais longo quando comparado com o comportamento das outras duas espécies, começando a reduzir por volta das 18h e ao contrário das outras espécies. Em contraste estas reduzem essas taxas de forma menos abrupta que em *Eugenia* sp (figura 12), cuja diminuição do índice de calor acontece de forma mais rápida, atingindo valores mínimos próximo a zero durante a noite e a madrugada. Ao comparar os valores de índice de calor no amanhecer e ao anoitecer, é possível observar que às 06h *Eugenia* sp apresenta valor menor do que em *G. augusta* e *L. corymbulosa*, porém às 12h, os valores de índice de calor em *Eugenia* sp é duas vezes maior do que em *G. augusta* e maior

que em *L. corymbulosa*. Por último, *G. augusta* foi a espécie que apresentou os menores valores de índice de calor, em ambas as condições hídricas (Tabela 5).

Tabela 5 - Valores médios, mínimo, máximo e desvio padrão para índice de calor nas diferentes condições de encharcamento do solo: não alagado (novembro/2022) e alagado (outubro/2022), para as três espécies do estudo

Espécie	Índice de calor - Não Alagado		Índice de calor – Alagado	
	Média ± Desvio padrão	Min - Max	Média ± Desvio padrão	Min – Max
<i>Eugenia sp</i>	0,197 ± 0,198	0,00 - 0,681	0,220 ± 0,200	0,00 - 0,606
<i>Gustavia augusta</i>	0,107 ± 0,099	0,00 - 0,437	0,111 ± 0,085	0,00 - 0,332
<i>Laetia corymbulosa</i>	0,154 ± 0,143	0,00 - 0,712	0,151 ± 0,136	0,00 - 0,751

Fonte: Elaborada pelos autores (2024)

Esteves (2019), realizou um trabalho avaliando o perfil de trocas gasosas com essas mesmas espécies e na mesma área de estudo, os resultados corroboram com o observado no presente estudo para a espécie *Eugenia sp*, a qual tanto no período de alagamento quanto no não alagamento apresentou os mesmos padrões de perfil diário de condutância máxima e mínima, ou seja, as diferentes condições hídricas não causaram efeito ou afetaram as taxas de troca gasosa para essa espécie. Além de observar que a condutância máxima para *Eugenia sp* ocorreu em dois horários do dia, às 10 da manhã e às 14 horas da tarde, horário bem próximo à janela de maiores índice de calor neste trabalho (09h e 15h) e a condutância mínima que ocorreu às 12h e as 16 horas. Outrossim, o autor também mostrou que houve diferença significativa nos valores de condutância estomática ao longo do dia entre o período de não alagamento e alagamento para as espécies *G. augusta* e *L. corymbulosa* ($p < 0,05$), no entanto, em *Eugenia sp*. não houve diferença significativa entre os dois períodos, similar ao observado para índice de calor neste trabalho.

O perfil diário de índice de calor indica que as espécies estudadas neste trabalho apresentam os valores máximos de índice de calor nas horas mais favoráveis do dia, logo pela manhã, e que o comportamento diurno acompanhou a variação de radiação solar e DPV, visto que esses apresentaram alto valor de correlação (Figura 14). O aumento do índice de calor durante a manhã, pode ser associado a maior abertura estomática ocasionada pelo aumento da radiação solar e da temperatura, como descrito por Machado et al. (2006). À tarde, as taxas de índice de calor parecem acompanhar o aumento de DPV que, apesar de causar fechamento parcial dos estômatos, mantém as taxas de índice de calor elevadas (Bourne et al., 2015). O aumento do DPV resulta em uma demanda atmosférica maior, desta forma, às 15h quando

provavelmente é a hora de maior demanda, houve uma queda nas taxas de índice de calor, indicando que, depois desse horário, o DPV passa a exercer uma forte influência no mecanismo de abertura dos estômatos e por conseguinte controle estomático, observado nas reduções de índice de calor na segunda metade do dia, exceto em *Eugenia* sp, cujos valores de índice de calor mantiveram-se máximos por maior parte do tempo mesmo sob maiores condições de demanda evaporativa da atmosfera, o que pode ser observado na correlação entre índice de calor e DPV, que ainda que positiva, não foi tão expressiva.

Nas primeiras horas do dia, os valores de radiação solar são maiores, assim, o fluxo de água é maior logo no início do dia, como descrito por dia Zeppel et al. (2004). Comportamento diurno similar ao ciclo diário de índice de calor observado neste trabalho também foi descrito em outros estudos que avaliaram o comportamento diurno de fluxo de seiva em diferentes tipos de floresta, demonstrando influência dos fatores ambientais sob as taxas de fluxo de seiva e uso de água pelas espécies vegetais (Zeppelin et al., 2004; Antezana Vera, 2017, Lu et al., 2003).

O comportamento de índice de calor nas diferentes condições hídricas, pode também estar relacionado com as características morfoanatômicas de cada espécie. No caso de *Eugenia* sp, o fato dos valores de índice de calor não apresentarem tanta diferença nas condições de alagamento e não alagamento pode ser resultado do tamanho da AF e AFE que também não apresentam diferença estatística ou se alteram nessas condições. Portanto, se o tamanho da área foliar for mantido, espera-se que as taxas de transpiração também se mantenham e por conseguinte o índice de calor que é um representativo do transporte de água no caule dessas plantas. Além disso, a espécie em questão foi a que apresentou maior AFE sob condições de alagamento, bem como maior tamanho dos vasos de xilema e menor densidade estomática (que pode ter relação com o investimento de estômatos em maior tamanho), de tal maneira que a demanda hídrica da espécie em questão sob condições de alagamento seja compensada pelo investimento em aparato fotossintético produtivo, vasos de xilema que conduzam mais água e estômatos mais eficientes em trocas gasosas e assimilação de CO₂ assim como a cutícula espessa que garante maior eficiência no uso de água, garantindo o bom funcionamento hidráulico mesmo sob condições adversas.

5.4 Mudanças sazonais nos padrões de fluxo de seiva/índice de calor

As medidas de índice de calor realizadas em duas espécies de várzea ao longo de um ano caracterizam, de forma bem definida, os ciclos diurnos e sazonais destas espécies em

resposta à flutuabilidade do nível do rio. Em relação ao comportamento sazonal dos ciclos diurnos de índice de calor, é notável que os valores máximos de índice de calor são observados no período de seca (outubro e novembro) e os valores mínimos no período de cheia (abril a junho), (Figura 13). O período de enchente e vazante são transições entre essas duas condições de encharcamento do solo e isso colabora para que o comportamento do padrão diário no período de enchente seja mais próximo ao que observado no período de cheia, pois ainda que na enchente a coluna d'água não tenha atingido seu limite máximo, há a condição de maiores acontecimentos de precipitação. Enquanto que na vazante, o comportamento assemelha-se mais ao padrão observado na seca, pois ainda que tenhamos solo encharcado a precipitação é menor. Em ambas as espécies e independente da fase da hidrógrafa, o comportamento de variação de índice de calor apresentou curva monomodal, com um único pico de ascensão.

Observa-se também que com o início da precipitação e conseqüentemente o início da formação da coluna d'água, os valores de índice de calor decaem, sendo recuperados somente na segunda fase da época de cheia, que corresponde ao que conhecemos por vazante. Comportamento semelhante foi observado em trabalhos como o de Schöngart *et al.*, 2002, Horna *et al.*, 2010, que demonstram o retorno do fluxo de seiva ainda sob fase aquática, fazendo um indicativo de que as espécies envolvidas no trabalho estão regulando suas atividades fisiológicas e características morfoanatômicas, tanto sob fase aquática, quanto na fase terrestre.

A redução do índice de calor sob condições de alagamento pode representar uma estratégia conservadora de água, já que este corresponde ao período em que a planta passa por um processo de anoxia e/ou hipoxia em suas raízes (Parolin *et al.*, 2004) o que acaba dificultando a absorção de água pelas plantas e submetendo-as a um estresse hídrico devido à baixa absorção de água e não necessariamente pela falta dela no ambiente, corroborando com a redução da AF e AFE observada neste trabalho. Maseda e Fernandez (2006) destacam que a redução da área foliar diminui a capacidade de condutância no dossel, permitindo que as árvores mantenham o funcionamento hidráulico, evitando cavitação, quando submetidas a condições ambientais estressantes. Tal condição pode ser reflexo não somente da diminuição da AF e AFE, como também no investimento de vasos de xilema mais seguros e conservadores (menor diâmetro e maior adensamento dos vasos de xilema, que é o caso dos vasos das espécies estudadas neste trabalho) e maior controle estomático a nível foliar.

Um trabalho realizado por Sá *et al.* (2024) avaliou a estrutura hidráulica dos vasos de xilema em uma floresta de várzea na Amazônia e observou-se que os altos níveis de inundação proporcionados pelo pulso de inundação induziram padrões conservadores na estrutura anatômica do xilema, no qual o nível de inundação apresentou uma correlação negativa com o

diâmetro do vaso de xilema na espécie estudada, evidenciando que as árvores da floresta de várzea envolvida no estudo, durante o período de alagamento, estão respondendo de forma semelhante às respostas das árvores de terra firme a seca. Deste modo, a observação de vasos de xilema de menor diâmetro observado no atual estudo pode ser uma representação do comportamento conservador observado por Sá *et al.* (2024) durante a fase de alagamento.

Observando-se os quatros períodos da hidrógrafa, percebe-se que durante a cheia (o que para muitos autores é considerado a primeira metade fase da inundada), as espécies *G. augusta* e *L. corymbulosa* permanecem com os menores valores de índice de calor, similarmente ao descrito por Schongart *et al.* (2002), Herrera *et al.* (2008) e Parolin *et al.* (2010), que indicam que a primeira metade da fase inundada induz uma dormência cambial em algumas espécies perenes de florestas de várzea. No caso deste estudo, não se observou a dormência cambial por completo, porém é perceptível que sob condições de submersão das raízes e caules, há uma redução no transporte de água no caule das espécies estudadas. Para Schongart *et al.* 2002; Herrera *et al.* 2008; Parolin *et al.* 2010, essa dormência cambial só é amortecida durante a segunda metade da fase inundada, na vazante, onde observa-se os maiores valores de índice de calor em ambas as espécies. Tal recuperação é possível devido a troca de folhas que acontece nessas espécies durante esse período, com o surgimento de novas folhas ocorrendo ainda enquanto as árvores estão em situação de inundação. Parolin *et al.* (2008) e Horna *et al.* (2010), descrevem que o período com novas folhas durante a fase de vazante estimula as taxas fotossintética e conseqüentemente observa-se um alto fluxo de seiva no caule, podendo ser possível observar atividades metabólicas durante a fase de inundação, levando-nos a compreender que o período de inundação pode causar estresses mais significativos ao início da fase alagada (cheia) e após um curto período de tempo, esse estresse é aliviado pela aclimatação das árvores ao regime de inundação e então recuperação metabólica, de tal forma que as espécies conseguem sobreviver e tolerar os períodos de inundação e mostram rapidez de recuperação ao sair da condição de estresse.

Comparando-se o comportamento sazonal de fluxo de seiva desta floresta sazonalmente alagada com espécies de florestas de terra firme; como aquelas estudadas por Medeiros (2020), observa-se que a sazonalidade interfere de maneira inversa nas taxas de fluxo de seiva. Em florestas sazonalmente secas, durante a época chuvosa há um aumento do fluxo de seiva nas espécies arbóreas devido à maior disponibilidade de água no solo e ao baixo déficit de pressão de vapor, enquanto em época seca, há uma redução da taxa de fluxo de seiva em resposta a redução hídrica no solo e em alguns casos, perda das folhas.

Apesar da diferença nos valores de índice de calor apresentados nas diferentes fases (alagada e não-alagada), percebe-se que o padrão de comportamento diurno não é alterado, indicando a tolerância das espécies às diferentes condições hídricas.

Figura 13 - Variação sazonal dos ciclos diurnos de índice de calor em função ao período hidrográfico, em duas espécies de várzea, no qual V1: *Gustavia augusta* e V4: *Laetia corymbulosa*. O eixo X corresponde aos períodos hidrográficos, sendo dezembro à março - enchente, abril à junho - cheia, julho à setembro - vazante, outubro à novembro - seca, e horário do dia. Eixo y corresponde aos valores médios de índice de calor.

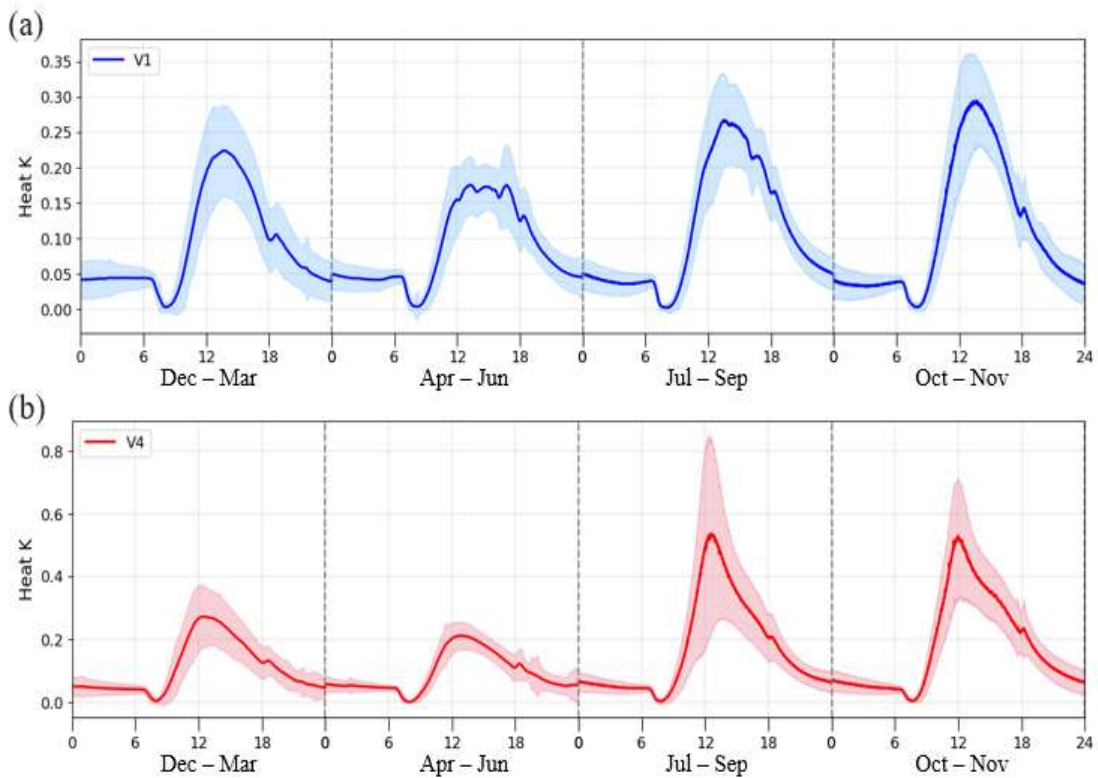


Tabela 6 - Valores médios, mínimo, máximo e desvio padrão para índice de calor nas diferentes fases hidrográficas: enchente (dezembro - março), cheia (abril - junho), vazante (julho - setembro) e seca (outubro - novembro), para duas espécies do estudo.

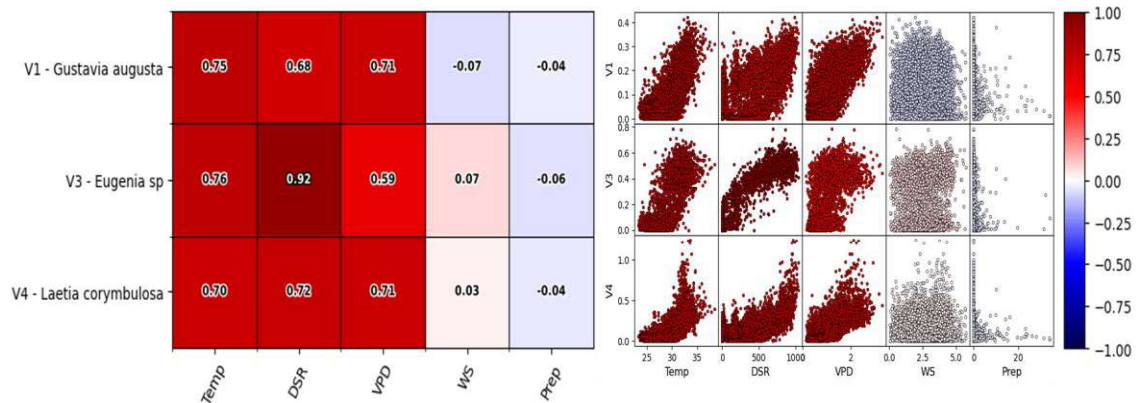
Fase hidrográfica	Índice de calor - <i>Gustavia augusta</i>		Índice de calor - <i>Laetia corymbulosa</i>	
	Média ± Desvio padrão	Min - Max	Média ± Desvio padrão	Min - Max
Enchente	0,197 ± 0,201	0,00 - 0,688	0,220 ± 0,200	0,00 - 0,606
Cheia	0,085 ± 0,633	0,00 - 0,364	±	-
Vazante	0,108 ± 0,093	0,00 - 0,431	0,227 ± 0,213	0,00 - 0,888
Seca	0,107 ± 0,100	0,00 - 0,437	0,197 ± 0,200	0,00 - 0,823

5.5 Influência das variáveis ambientais nas taxas de índice de calor

A figura 14 mostra que existe uma correlação forte e positiva entre os valores de índice de calor e as variáveis temperatura, radiação solar direta e déficit de pressão de vapor. A variável velocidade do vento não apresentou correlação muito fraca nas espécies *Eugenia* sp ($r = 0,07$) e *L. corymbulosa* ($r = 0,03$), e *G. augusta* ($r = -0,07$). Para a variável precipitação, todas as espécies apresentaram valores de correlação negativos e muito fracos

O índice de calor na espécie *G. augusta* apresentou maior correlação com a temperatura média ($r = 0,75$) e nenhuma relação com a precipitação ($r = -0,04$), enquanto em *Eugenia* sp e *L. corymbulosa* a maior correlação deu-se com radiação solar direta ($r = 0,92$ e $r = 0,72$, respectivamente) e nenhuma com precipitação ($r = -0,06$ e $r = -0,04$), respectivamente.

Figura 14 - Correlação da média horária entre índice de calor e cinco fatores ambientais (temperatura - Temp (°C), radiação de onda curta descendente- DSR (W/m²), déficit de pressão de vapor- VPD (kPa), velocidade de vento- WS (m/s) e precipitação- Prep (mm/h), de três espécies de várzea amazônica (V1) - *Gustavia augusta*, (V3) - *Eugenia* sp, (V4) - *Laetia corymbulosa*. A coloração vermelha indica maior correlação entre as espécies e o fator ambiental analisado, e coloração azulada indica menor correlação.



A correlação existente entre algumas variáveis ambientais (temperatura, radiação solar e déficit de pressão de vapor), e o índice de calor ajuda a explicar o comportamento diário e sazonal das espécies em questão, no qual, não apenas a condição de saturação do solo e consequente redução da disponibilidade de oxigênio na rizosfera podem causar a diminuição nas taxas de índice de calor, mas como também as mudanças nas variáveis ambientais microclimáticas. Trabalhos como o de Soares (2020), Brum *et al.* (2018), Tie *et al.* (2017), Graham *et al.* (2003), Reis *et al.* (2009), evidenciaram a existência de correlação positiva entre fluxo de seiva e variáveis ambientais, com destaque para a radiação solar como um dos fatores direcionadores das taxas de fluxo de seiva e que atuam nos processos biofísicos de padrões do uso da água em ecossistemas florestais.

O destaque para a radiação solar como fator significativo na dinâmica diurna e sazonal do índice de calor pode estar associada ao fato de que a radiação solar é a principal fonte de energia para o processo fotossintético, que por sua vez influenciam e controlam as taxas de transpiração nas plantas. Qualquer pequena variação em sua disponibilidade pode resultar em estímulos às respostas fisiológicas nas plantas, afetando a fotossíntese, condutância estomática, potencial hídrico da folha e o transporte de água no caule (Lambers *et al.*, 2008; Wagner *et al.*, 2017).

Os estômatos são a principal via de troca gasosa com a atmosfera, segundo Angelocci *et al.* (2004) a abertura estomática depende do estado hídrico da folha, assim como da demanda evaporativa da atmosfera. O aumento da temperatura do ar e decréscimo da umidade, podem

levar ao aumento do déficit de pressão de vapor, que por conseguinte acarreta na maior demanda evaporativa da atmosfera e assim maiores valores de transpiração das plantas (Araújo *et al.*, 2002). O aumento nos valores de VPD acabam por afetar diretamente as taxas de fluxo de seiva, pois essa variável estimula o aumento da diferença de gradiente existente no potencial hídrico entre a folha e a atmosfera (Lambers *et al.*, 2008). Correlações positivas entre fluxo de seiva e VPD também foram descritas em outros trabalhos que utilizaram o método de Granier para quantificação das taxas de fluxo de seiva, como o de Parolin *et al.* (2005) realizado em uma floresta de várzea.

Segundo Tyree e Zimmermann (2002), o VPD causa um efeito nas taxas de fluxo de seiva devido a diferença na pressão de vapor entre a folha e o seu entorno, que leva a uma pressão negativa (tensão) dentro dos vasos de xilema, o principal impulsionador da transpiração. A correlação positiva encontrada entre temperatura do ar e índice de calor deve-se provavelmente aos efeitos que a temperatura e umidade do ar têm sobre o VPD.

Um elevado valor de VPD significa baixa umidade do ar, o que torna-se um estímulo a transpiração nas árvores quando tem-se água disponível, no solo ou no tecido das plantas, no caso de pouca disponibilidade de água, as plantas tendem a fechar os estômatos para evitar a perda excessiva de água e conseqüentemente atingir o seu ponto de murcha, porém, ao fechar os estômatos, ocorre também uma limitação na absorção de CO₂ e conseqüentemente redução das taxas fotossintéticas (Medeiros, 2020; Yu *et al.*, 2019).

Sendo assim, sob condições de não alagamento, quando a temperatura do ambiente é mais elevada, as taxas de luminosidade e radiação solar são maiores, as plantas não estão com as raízes submersas e sob condições de hipoxia, a umidade do ar diminui e têm-se o aumento de VPD e da demanda evaporativa da atmosfera, as taxas de índice de calor foram maiores. Inversamente, sob condições de alagamento, quando há redução da radiação solar dado ao aumento da formação de nuvens, redução da temperatura, aumento na umidade do ar e diminuição do déficit de pressão de vapor, além das condições de hipoxia, as taxas de índice de calor foram menores. Portanto, os maiores valores de índice de calor foram observados em dias claros e mais ensolarados, com VPD e temperaturas mais altas, e os menores valores de índice de calor foram observados em dias chuvosos, nublados, onde a radiação solar, a temperatura do ar e VPD são menores, evidenciando que a sazonalidade ecossistêmica também resulta em uma sazonalidade nas taxas de índice de calor e fluxo de seiva.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho demonstra que as espécies do estudo, mesmo sob condições ambientais semelhantes, mesma posição no gradiente de inundação e fisionomia parecidas, apresentaram diferentes estratégias para sobreviverem e/ou tolerarem o período de alagamento do solo, o que se torna um indicativo da diversidade e especificidade de reações das espécies de várzea à inundações periódicas.

A espécie *Eugenia* sp, de forma geral, apresentou-se como a mais bem aclimatada para as condições de estresse hídrico, seja pelo excesso de água no solo, ou seja, pela pouca disposição desse recurso no ambiente, em ambas as condições, a referida espécie continuou apresentando o mesmo comportamento de índice de calor e com as mesmas características morfoanatômicas.

Os indivíduos apresentaram diferentes padrões no uso da água e estes estão correlacionados com as características funcionais de cada espécie. As variações no índice de calor são controladas por fatores ambientais, principalmente déficit de pressão de vapor, radiação solar e temperatura do ar.

O microclima regula as diferentes características funcionais nas espécies arbóreas de várzea e estas garantem a eficiência do transporte de água nas plantas com diferentes estratégias fisiológicas e morfoanatômicas mesmo sob condições de estresse hídrico causado pelo alagamento.

Os resultados encontrados neste estudo despertam a atenção que deve-se ter em relação às mudanças climáticas e eventos mais frequentes de secas severas e inundações extremas, uma vez que o pulso de inundação possui ligação com o ciclo hidrológico e com as taxas de precipitação, e estes são a força motriz que modela os ecossistemas de florestas de várzea, logo, o aumento da temperatura do ar e conseqüentemente do déficit de pressão de vapor em decorrência dos eventos extremos de seca, podem acabar afetando o comportamento hidráulico das árvores estudadas no trabalho, pois estas foram positivamente correlacionadas e influenciadas pelas taxas de temperatura, VPD e radiação solar. Logo, a mudança hidroclimática, por menor que seja, é capaz de moldar e reger o comportamento hidráulico nesses ambientes.

REFERÊNCIAS

- ALBUQUERQUE, Bianca Weiss. **Frugivoria e ictiocoria em uma área de várzea na Amazônia Central brasileira**. 82 f. 2015. Dissertação (Mestrado). Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia - INPA. Manaus, 2015.
- ALBUQUERQUE, Franciany Thays Alves. **Dinâmica sazonal de produção de serapilheira em uma floresta de várzea do Rio Amazonas em Santarém-PA**. XXf. 2023. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Oeste do Para. Santarém, 2023. Acesso: em 01 ago. 2023.
- ALMEIDA, Samuel Soares de. Estrutura e florística em áreas de manguezais paraenses: evidências da influência do estuário amazônico. **Boletim do Museu Paraense Emilio Goeldi. sér. Ciências da Terra**, v. 8, p. 93-100, 1996.
- ALMEIDA, Samuel Soares de; AMARAL, Dário Dantas do; SILVA, Antônio Sérgio Lima da. Análise florística e estrutura de florestas de várzea no estuário amazônico. **Acta Amazônica**, v. 34, n. 4, p. 513-524, 2004.
- AL-TARDEH, Sharaf et al. Water content and reserve allocation patterns within the bulb of the perennial geophyte red squill (Liliaceae) in relation to the Mediterranean climate. **Botany**, v. 86, p. 291–299, 2008.
- ALVARES, Clayton Alcarde et al. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift, Stuttgart**, v. 22, n. 6, p. 711–728, 2013.
- ALVES, Edenise Segala; TRESMONDI, Fernanda; LONGUI, Eduardo Luiz. Análise estrutural de folhas de *Eugenia uniflora* L. (Myrtaceae) coletadas em ambientes rural e urbano, SP, Brasil. **Acta Botanica Brasilica**, v. 22, n. 1, p. 241–248, 2008.
- ANA. Agência Nacional De Águas (Brasil). **Região Hidrográfica Amazônica**. Brasília, 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/ana/pt-br/assuntos/gestao-das-aguas/panorama-das-aguas/regioes-hidrograficas/regiao-hidrografica-amazonica>. Acesso em: 28 jun. 2024.
- ANGELOCCI, Luiz Roberto et al. Transpiration, leaf diffusive conductance, and atmospheric water demand relationship in an irrigated acid lime orchard. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, v. 16, p. 53-64, 2004.
- ANTEZANA VERA, Saul Alfredo. **Fluxo de seiva e crescimento de árvores em função das variáveis climáticas em espécies arbóreas na Amazônia central**. 2017. 113 f. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-graduação em Botânica, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia - INPA, Manaus, 2017.
- APPEZZATO-DA-GLÓRIA, Beatriz; CARMELLO-GUERREIRO, S.M. **Anatomia Vegetal**. Viçosa: Editora Folha de Viçosa Ltda., 2003. 438p.
- ARAÚJO, A. C. et al. Comparative measurements of carbon dioxide fluxes from two nearby towers in a central Amazonian rainforest: The Manaus LBA site. **Journal of Geophysical Research: Atmospheres**, v. 107, n. D20, p. LBA 58-1-LBA 58-20, 2002.
- ARAÚJO, Janaina Fernandes de. **Padrões nutricionais de espécies lenhosas do cerrado**. 2006. 76 f. Dissertação (Mestrado em Ecologia) - Universidade de Brasília, Brasília, 2006.

ARTAXO, Paulo et al. Perspectivas de pesquisas na relação entre clima e funcionamento da floresta Amazônica. **Ciênc. Culto**, v.66, n. 3, p. 41-46, 2014.

BARBOSA, Keillah Mara do Nascimento; PIEDADE, Maria Tereza Fernandez; KIRCHNER, Flávio Felipe. Estudo temporal da vegetação herbácea da várzea da Amazônia Central. **Floresta**, v. 38, n. 1, p. 89-95, 2008.

BARREIROS, Marta Maria Castelo Santos de Almeida Domingues do Souto. **Florestas e água: uma revisão crítica da componente "água verde" no conceito Water Footprint Network (WFN) para o papel**. Lisboa: ISA, 2018, 86 p.

BARROSO, Graziela Maciel et al. **Sistemática de Angiospermas do Brasil**. Viçosa: Imprensa Universitária da Universidade Federal de Viçosa, 1984.

BOEHRINGER, Davi et al. Determinação do fluxo de seiva na cana-de-açúcar pelo método do balanço de energia caulinar Sugarcane sap flow determination by the energy balance method. **Engenharia Agrícola**, v. 33, n. 2, p. 237-248, 2013.

BONAN, Gordon. Forests and climate change: forcings, feedbacks, and the climate benefit of forests. **Science**. 5882 ed. v. 320, p. 1444-1449, 2008.

BOURNE, Aimee E.; HAIGH, Anthony M.; ELLSWORTH, David S. Stomatal sensitivity to vapour pressure deficit relates to climate of origin in Eucalyptus species. **Tree Physiology**, v. 35, n. 3, p. 266-278, 2015.

BRODERSEN, Craig et al. Functional Status of Xylem Through Time. **Annual Review of Plant Biology**, v. 70, n. 1, p. 407–433, 2019.

BRODRIBB, T. J. Xylem hydraulic physiology: the functional backbone of terrestrial plant productivity. **Plant Science**, v. 177, p. 245-251, 2009.

BRUM, Mauro et al. ENSO effects on the transpiration of eastern Amazon trees. **Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 373, n. 1760, p. 20180085, 2018.

BURGESS, Stephen. An improved heat pulse method to measure low and reverse rates of sap flow in woody plants. **Tree Physiology**. v. 21, n. 3, p. 589-598, 2001.

CAMMALLERI, C. et al. Combined use of eddy covariance and sap flow techniques for partition of ET fluxes and water stress assessment in an irrigated olive orchard. **Agricultural Water Management**, v. 120, p. 89–97, 2013.

CARLESSO, Reimar. Absorção de água pelas plantas: água disponível versus extraível e a produtividade das culturas. **Ciência Rural**, v. 25, n. 1, p. 183 – 188, 1995.

CARLQUIST, Sherwin. Ecological factors in wood evolution: a floristic approach. **American journal of botany**, v. 64, n. 7, p. 887-896, 1977.

CASTRO, E. M.; PEREIRA, F. J.; PAIVA, R. **Histologia Vegetal: estrutura e função dos órgãos vegetativos**. Lavras: UFLA, 2009.

CAVALCANTE, Heloide de Lima et al. Como funcionam as árvores das florestas inundáveis da Amazônia? *In*: LOPES, Aline; PIEDADE, Maria Teresa Fernandez. **Conhecendo as áreas**

úmidas amazônicas: uma viagem pelas várzeas e igapós. Manaus: Editora INPA, cap. 11, p. 116-128, 2015.

CAVALCANTE, Suellen Castro. **Ecosistema de várzea: etnobotânica e ecofisiologia.** 2014. 96f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-graduação em Recursos Naturais da Amazônia, Universidade Federal do Oeste do Pará, Santarém, 2014.

CAVALCANTE, Suellen Castro; OLIVEIRA, Patrícia Chaves de. Área foliar específica e condutância estomática de vegetação de várzea amazônica em função da sazonalidade e distribuição topográfica. *In: Anais da III jornada acadêmica da Ufopa*, 2014. Disponível em: <https://www.ufopa.edu.br/jornadaacademica/2014/anais.php>. Acesso em: 01 jul. 2024.

CERMAK, Jan; KUCERA, Jiri; NADEZHDINA, N. Sap flow measurements with some thermodynamic methods, flow integration within trees and scaling up from sample trees to entire forest stands. **Trees**. 5. ed. v. 18, p. 529-546, 2004.

COCHARD, Hervé H. The basics of plant hydraulics. **Journal of Plant Hydraulics**, v. 1, p. e0001, 2014.

CONSERVA, Auristela dos Santos. **Germinação de sementes, emergência e recrutamento de plântulas de dez espécies arbóreas das várzeas das Reservas de Desenvolvimento Sustentável Amanã e Mamirauá, Amazônia Central.** 2007. 153 f. Tese (Biologia Tropical e Recursos Naturais do Convênio INPA/UFAM), Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia – INPA, Universidade Federal do Amazonas, Manaus-AM, 2007.

COP, Julie Grünheidt. **Anatomia comparada do lenho de espécies da caatinga e da restinga paraibana.** 2010. 55p. Monografia (Graduação em Ciências-Biológicas) -Universidade Federal da Paraíba, 2010.

COSMO, Bruno Marcos Nunes; GALERIANI, Tatiani Mayara. Características anatômicas e morfológicas da estrutura foliar. **Revista Científica Semana Acadêmica**, 2016. Disponível em: <https://semanaacademica.org.br/artigo/caracteristicas-anatomicas-e-morfologicas-da-estrutura-foliar>. Acessado em: 16 jul. 2024.

COSTA, Alexndra Rosa da. **Texto acadêmico: As relações hídricas das plantas vasculares.** Portugal. Editora da Universidade de Évora, 2001. 75 p.

COWARDIN, Lewis et al. **Classification of wetlands and deepwater habitats of the United States.** US Department of the Interior, US Fish and Wildlife Service, 1979, 142p.

DALLAQUA, Fernanda; FAZENDA, Álvaro; FARIA, Fábio. **Aprendizado Ativo com dados de Ciência Cidadã para o monitoramento de florestas tropicais.** In: Anais da I Escola Regional de Aprendizado de Máquina e Inteligência Artificial de São Paulo, SBC, p. 30-33, 2020.

DE SIMONE, Oliviero; JUNK, Wolfgang; SCHMIDT, Wolfgang. Central Amazon Floodplain Forest: Root Adaptations to Prolonged Flooding. **Russian Journal of Plant Physiology**, v. 50, n. 6, p. 943-951, 2003.

DE SIMONE, Oliviero; MULLER, E; JUNK, Wolfgang; SCHMIDT, Wolfgang. Adaptations of Central Amazon tree species to prolonged flooding: root morphology and leaf longevity. **Plant Biology**, v. 4, n. 4, p. 515–522, 2002.

DIAS, Lúcia Borges. **Água nas plantas**. 50f. 2008. Monografia (Graduação). Universidade Federal de Lavras, Lavras-MG, 2008.

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

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro, Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 1997. 212p

ESPOSITO-POLESI, Natalia Pimentel; RODRIGUES, Ricardo Ribeiro; ALMEIDA, Marcílio de. Anatomia ecológica da folha de *Eugenia glazioviana* Kiaersk (Myrtaceae). **Revista Árvore**, v. 35, p. 255-263, 2011.

ESTEVES, Lucas Vinicius Cavalcante. Perfil de trocas gasosas em espécies arbóreas abundantes em áreas de várzea na Amazônia Central . Trabalho de Conclusão de curso. Universidade Federal do Oeste do Pará. 2019.

FAHN, A. **Anatomia Vegetal**. Madrid: Pirámide, 1985, 559p.

FAHN, A. **Plant anatomy**. São Paulo: Pergamon Press, 1982.

FELLER, Ilka. Effects of nutrient enrichment on leaf anatomy of dwarf *Rhizophora mangle* L. (Red Mangrove). **Biotropica**, v. 28, p. 13–22, 1996.

FERREIRA, Cristane da Silva et al. Genetic variability, divergence and speciation in trees of periodically flooded forests of the Amazon: a case study of *Himatanthus sucuuba* (SPRUCE) Woodson. In: JUNK, Wolfgang et al (eds). **Amazonian Floodplain Forests**. Estudos Ecológicos, vol 210. Springer, Dordrecht, v. 210, Parte 2, p. 301-312, 2010.

FERREIRA, Cristiane da Silva et al. Plant reproduction in the Central Amazonian floodplains: challenges and adaptations, **AoB PLANTS**, v. 2010, plq009, p. 1-14, 2010. <https://doi.org/10.1093/aobpla/plq009>

FERREIRA, Cristiane da Silva. **Aspectos morfoanatômicos, bioquímicos e genéticos de *Himatanthus sucuuba* (Spruce) Wood., em ambiente de várzea e de terra firme da bacia Amazônica**. 2006. 90f. Tese (Doutorado), Programa de Pós- Graduação em Biologia Tropical e Recursos Naturais, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia/ Fundação Universidade do Amazonas, Manaus-AM, 2006.

FERREIRA, Cristiane da Silva. **Germinação e adaptações metabólicas e morfo-anatômicas em plântulas de *Himatanthus sucuuba* (Spruce) Wood., de ambientes de várzea e terra firme na Amazônia Central**. 2002. 68f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Amazonas. Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Manaus – AM, 2002.

FERREIRA, Cristiane da Silva; PIEDADE, Maria Teresa Fernandez; FRANCO, Augusto Cesar. Submergence, seed germination, and seedling development of the Amazonian floodplain tree *Pseudobombax munguba*: evidence for root oxytropism. **Trees**, n. 31, p. 705–716, 2017.

FERREIRA, Cristiane Silva. Anatomia da lâmina foliar de onze espécies lenhosas dominantes nas savanas de Roraima. **Acta Amazonica**, v. 45, n. 4, p. 337–346, 2015.

FERREIRA, Leandro Valle. **O efeito do período de inundação na zonação de comunidades, fenologia e regeneração em uma floresta de igapó na Amazonia Central.** 1991. 158f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Amazonas. Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia. Manaus - AM, 1991.

FILIZOLA, Naziano. **O fluxo de sedimentos em suspensão nos rios da Amazônia brasileira.** Brasília, DF: Aneel, 1999, 63p.

FISHER, Joshua et al. **The land-atmosphere water flux in the tropics.** *Global Change Biology*, v. 15. p. 2694-2714, 2009.

FLORES PAYTAN, Salvador. **Cultivo de frutales nativos amazónicos: manual para el extensionista.** Tratado de Cooperación Amazónica, Secretaría Pro Tempore, 1997. 307p.

FONTE, Patrick; JANSEN, Steven. Xylem plasticity in response to climate. *New Phytologist*, v. 195, n. 4, p. 734-736, 2012.

FORSTER, Michael. How Reliable Are Heat Pulse Velocity Methods for Estimating Tree Transpiration? *Forests*, v. 8, n. 9, p. 350, 2017

FORSTER, Michael. How significant is nocturnal sap flow? *Tree Physiology*, v. 34, n. 7, p. 757–765, 2014.

FRANCHESCHI, Vicente; NAKATA, Paul. Calcium oxalate in plants: formation and function. *Annu. Rev. Plant Biol.*, v. 56, p. 41-71, 2005.

FRANCO, Augusto Cesar. Relações hídricas em plantas do Cerrado: as plantas lenhosas do Cerradotranspiram livremente? *In: PRADO, Carlos Henrique; CASALI, Carlos Aparecido (Eds.). Fisiologia Vegetal: práticas em relações hídricas, fotossíntese e nutrição mineral.* Barueri: Editora Manole, 2008. p.1-11.

FROST-CHRISTENSEN, H.; BOLT JORGENSEN, L.; FLOTO, F. Species specificity of resistance to oxygen diffusion in thin cuticular membranes from amphibious plants. *Plant Cell and Environment*, v. 26, p. 561- 569, 2003.

FUCHS, Sebastian et al. Calibration and comparison of thermal dissipation, heat ratio and heat field deformation sap flow probes for diffuse-porous trees. *Agricultural and Forest Meteorology*, v. 244–245, n. April, p. 151–161, 2017.

GONÇALVES, Ricardo de Almeida. **Relações entre atributos anatômicos e vulnerabilidade ao embolismo do xilema em espécies nativas sob diferentes regimes de água e luz.** 85p. 2021. Tese (Doutorado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 2021.

GRAHAM, Eric et al. Cloud cover limits net CO₂ uptake and growth of a rainforest tree during tropical rainy seasons. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, v. 100, n. 2, p. 572-576, 2003.

GRANIER, Agnès. Evaluation of transpiration in a Douglas-fir stand by means of sap flow measurements. *Tree Physiology*, v.3, n. 4, p.309–319, 1987.

GRANIER, Agnès. Une nouvelle methode pour la mesure du flux de seve brute dans le tronc des arbres. *Annales Sciences Forestieres*. **Versailles**, v. 42, n. 2, p. 193-200, 1985.

GRANIER, Agnès; BRÉDA, Nadia. Modeling canopy conductance and stand transpiration of an oak forest from sap flow measurements. *Annales des Sciences Forestières*, v.53, n. 2, p.537-546, 1996.

GRENAND, Pierre et al. **Pharmacopées traditionnelles en Guyane**. (Créoles, Palikur, Wayãpi); Éditions de l'ORSTOM; Institut François de Recherche Scientifique Pour Le Développement en Coopération; Paris, 1987.

GUIMARÃES, Rita Cabral. Ciclo Hidrológico. *In*: SHAHIDIAM, Shakib; GUIMARÃES, Rita Cabral; RODRIGUES, Carlos Miranda. **Hidrologia Agrícola**. 2º Ed. Évora: Escola de Ciência e Tecnologia da Universidade de Évora e ICAAM - Instituto de Ciências Agrárias e Ambientais Mediterrânicas, 2017. 4p.

HACKE, Uwe; SPERRY, John. Functional and ecological xylem anatomy. **Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics**, v. 4, n. 2, p. 97– 115, 2001.

HERRERA, Ana *et al.* Mudanças com inundações sazonais no fluxo de seiva da espécie de árvore tropical tolerante a inundações, *Campsiandra laurifolia*, **Árvores**, n. 22, p. 551–558, 2008.

HOLMGREN, Milena et al. Non-linear effects of drought under shade: reconciling physiological and ecological models in plant communities. **Oecologia**, v. 169, p. 293-305, 2012.

HOLSBACK, Zildamara dos Reis. **Relações entre a fenologia e atributos anatômicos e funcionais do xilema secundário de espécies lenhosas do Chaco brasileiro**. 70f. 2015. Tese (Doutorado). Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Biologia, Campinas-SP, 2015.

HORNA, Júlia Viviana et al. Sap Flow and Stem Respiration. **Amazonian Floodplain Forests**. Estudos Ecológicos, Springer, v. 210, Parte 2, p. 301-312, 2010.

HORNA, Júlia Viviana. Carbon Release from Woody Parts of Trees from a Seasonally Floode Amazon Forest near Manaus. **Bayreuther Forum Okologie**, v. 94, p. 1-137, 2002.

HORNA, Júlia Viviana. Sap Flow and Stem Respiration. *In*: JUNK, Wolfgang Johannes et al (Eds.). **Amazonian Floodplain Forests: Ecophysiology, Biodiversity and Sustainable Management**. Ecological Studies, Vol. 210, Springer, Cap. 11, p. 223-242, 2010.

HUANG, Lin et al. Effects of soil moisture regimes on growth and photosynthesis of the riparian plant *Bolboschoenus planiculmis*. **For. Sci. Pract**, n. 15, p. 105–113, 2013.

JADOSKI, Sidnei Osmar; KLAR, Antônio Evaldo; SALVADOR, Elisabete Domingues. Relações hídricas e fisiológicas em plantas de pimentão ao longo de um dia. **Ambiência**, v. 1, n. 1, p. 11-19, 2005.

JAMES, Shelley et al. Heat dissipation sensors of variable length for the measurement of sap flow in trees with deep sapwood. **Tree Physiology**, n. 22, 4 ed. p. 277-283, 2002.

JENSEN, Kaare Hartvig et al. Sap flow and sugar transport in plants. **American Physical Society**, v. 88, n. September, p. 1–63, 2016.

JOHANSEN, D. A. **Plant Microtechnique**. 2 ed. New York: McGraw-Hill, 1940, 523p.

JUICE, Stephenie et al. Ecosystem warming increases sap flow rates of northern red oak trees. **Ecosphere**, v. 7, n. 3, p. 1–17, 2016.

JUNK, Wolfgang Johannes et al. A classification of major naturally-occurring Amazonian lowland wetlands. **Wetlands**, v. 31, n. 4, p. 623-640, 2011.

JUNK, Wolfgang Johannes et al. **Central Amazonian floodplain forests: ecophysiology, biodiversity and sustainable management**. Dordrecht-Heidelberg-London - New York: Spinger Verlag, p. 485-509, 2010.

JUNK, Wolfgang Johannes et al. The role of floodplain forests in an integrated sustainable management concept of the natural resources of the central Amazonian várzea. **Amazonian Floodplain Forests**. Estudos Ecológicos, Springer, 2010.

JUNK, Wolfgang Johannes et al. **Várzeas Amazônicas: Desafios para um manejo sustentável**. Manaus: Editora do INPA, 2020, 310p.

JUNK, Wolfgang Johannes. Flood tolerance and tree distribution in central Amazonian floodplains. Holmnielsen. *In: Tropical forests; botanical dynamics, speciation, and diversity*. Academic Press, London, p. 47-64, 1989.

JUNK, Wolfgang Johannes. General aspects of floodplain ecology with special reference to Amazonian floodplains. **The Central Amazon Floodplain**. Springer, Berlin, Heidelberg, p.3-17, 1997.

JUNK, Wolfgang Johannes. Wetlands of tropical South America. In: HIGHAM, D.; HEJNY, S.; SYKYJOVA, D. (eds). Wetlands in the Amazon floodplanin. **Hidrobiologia**, v. 263, p.155-162, 1993.

JUNK, Wolfgang Johannes; BAYLEY, Peter; SPARKS, Richard. The flood pulse concept in river-floodplain systems. **Canadian Special Publication of Fisheries and Aquatic Sciences**, v. 106, p. 110-127, 1989.

JUSTO, Cristina Filomena et al. Plasticidade anatômica das folhas de *Xylopia brasiliensis* Sprengel (Annonaceae). **Acta Botanica Brasilica**, v. 19, p. 112-123, 2005.

KNOBLAUCH, Michael et al. Testing the Münch hypothesis of long distance phloem transport in plants. **eLIFE**, v. 5, p. 1–16, 2016.

KÖPPEN, W. **Climatologia**. Cidade do México. Buenos Aires: Fundo de Cultura Econômica. 1948. 479p.

KÖRNER Christian. No need for pipes when the well is dry—a comment on hydraulic failure in trees. **Tree Physiology**, v. 39, n. 5, p. 695–700, 2019.

KRAUS, Jane Elizabeth; ARDUIN, Marcos. **Manual básico de métodos em morfologia vegetal**. Rio de Janeiro: Edur, 1997, 198p.

KUME, Tomonori et al. Spatial variation in sap flow velocity in semiarid region trees: its impact on stand-scale transpiration estimates. **Hydrol. Process**, v. 6, n. 8, p. 1161–1168, 2011.

KUNERT, Nobert et al. A revised hydrological model for the Central Amazon: the importance of emergent canopy trees in the forest water budget. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 239, p. 47-57, 2017.

KUNERT, Nobert et al. A revised hydrological model for the Central Amazon: the importance of emergent canopy trees in the forest water budget. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 239, p. 47-57, 2017.

LAMBERS, Hans; CHAPIN III, Stuart; PONS, Thijs. **Plant physiological ecology**. 2 ed. New York: Springer Science, p. 321-367. 2008.

LAMBERS, Hans; CHAPIN, Stuart; PONS, Thijs Leendert. Plant Water Relations. *In: Plant Physiological Ecology*. New York: Springer New York, p. 163-223, 2008.

LARCHER, Walter. **Physiological plant ecology**. 4.ed. Berlin: Springer-Verlag, 2003.

LEMOS, Viviane de Oliveira Thomaz et al. Ecological anatomy of *Eugenia luschnathiana* (O. Berg) *Klotzsch ex BD* Jacks.(Myrtaceae) leaves in the Restinga region, state of Ceara. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 40, n. 4, p. e-696, 2018.

LEO, Marco et al. Evaluating the effect of plant water availability on inner alpine coniferous trees based on sap flow measurements. **European Journal of Forest Research**, v. 133, n. 4, p. 691–698, 2014.

LI, Ximeng et al. Tree hydraulic traits are coordinated and strongly linked to climate-of-origin across a rainfall gradient. **Plant Cell and Environment**, v. 41, n. 3, p. 646–660, 2018.

LIMA, Hedinaldo; TEIXEIRA, Wenceslau Geraldes; SOUZA, Kleberon Worsley de. Os solos da paisagem da várzea com ênfase no trecho entre Coari e Manaus. *In: FRAXE, Therezinha de Jesus Pinto; PEREIRA, Henrique dos Santos; WITKOSKI, Antônio Carlos Witkoski (ed). Comunidades ribeirinhas amazônicas: modos de vida e uso dos recursos naturais*, 1 ed. Editora: EDUA, Cap. II, p. 35 -54, 2007.

LIMA, Paulo Roberto de Andrade; LEOPOLDO, Paulo Rodolfo. Quantificação de componentes hidrológica de uma mata ciliar, através do modelo de balanço de massas. **Revista Árvore**, v. 24, n. 3, p. 241-252, 2000.

LIMA, Rubens Rodrigues; TOURINHO, Manoel Malheiros. Várzeas do Rio Pará, principais características e possibilidades agropecuárias. 1 ed. Manaus: EDUFRA, 1996, 124p.

LIMA, Rubens Rodrigues; TOURINHO, Manoel Malheiros; COSTA, José Paulo Chaves da. Várzeas flúvio-marinhas da Amazônia brasileira; Características e possibilidades agropecuárias. **Serviço de Documentação e Informação**. Belém: FCAP, 2001, 342 p.

LIU, Jianquan; NOSHIRO, Shuichi. Lack of latitudinal trends in wood anatomy of *Dodonaea viscosa* (Sapindaceae), a species with a worldwide distribution. **American Journal of Botany**, v. 90, n. 4, p. 532-539, 2003.

LOBO, Patrícia Carneiro; JOLY, Carlos Alfredo. Tolerance to hypoxia and anoxia in neotropical tree species. **Oecol Bras**, v. 4, p. 137–156, 1998.

LORENZI, Harri et al. **Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil**, v. 3, 2 ed., 1992.

LU, Ping et al. Regulation of canopy conductance and transpiration and their modelling in irrigated grapevines. **Functional Plant Biology**, v. 30, n. 6, p. 689-698, 2003.

LUQUE, Rebeca; SOUSA, Hildeberto C. de; KRAUS, Jane Elizabeth. Métodos de coloração de Roeser (1972): modificado-e Kropp (1972) visando a substituição do azul de astra por azul de alcião 8GS ou 8GX. **Acta Botanica Brasilica**, v. 10, p. 199-212, 1996.

MACHADO, Eduardo Caruso. Fluxo de seiva e fotossíntese em laranjeira 'Natal' com clorose variegada dos citros. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, n.6, p. 911–918, 2006.

MACHADO, Gleice Elen Lima. **Comparação entre estrutura, biomassa e dinâmica de crescimento de uma floresta de várzea no Distrito de Arapixuna, Santarém, Pará**. 2019. 65 f. Dissertação (Recursos Naturais da Amazônia) - Programa de Pós-graduação em Recursos Naturais da Amazônia, Universidade Federal do Oeste do Pará, Santarém, 2019.

MASEDA, Pablo H.; FERNÁNDEZ, Roberto J. Stay wet or else: three ways in which plants can adjust hydraulically to their environment. **Journal of experimental botany**, v. 57, n. 15, p. 3963-3977, 2006.

MAURENZA, Daniel; MARENCO, Ricardo Antônio; PIEDADE, Maria Teresa Fernandez. Efeito da inundação de longa duração sob o crescimento de *Pouteria glomerata* (Sapotaceae), uma arbórea da várzea da Amazônia Central. **Acta Amazonia**, v. 39, n. 3, p. 519-526, 2009.

MCDOWELL, Nate; BRODRIBB, Timothy; NARDINI, Andrea. Hydraulics in the 21st century. **New Phytologist**, v. 224, n. 2, p. 537–542, 2019.

MEDINA Ernesto. Nutrient balance and physiological processes at the leaf level. - *In*: MEDINA Ernesto; MOONEY H. A.; VAZQUES-YANES C. (Eds.). **Physiological ecology of plants of the wet tropics**, Springer: Edição de 1984, p. 134-154, 1984.

MEDRI, Cristiano et al. Morfoanatomia de órgãos vegetativos de plantas juvenis de *Aegiphila sellowiana* Cham. (Lamiaceae) submetidas ao alagamento do substrato. **Acta Botanica Brasilica**, v. 25, p. 445-454, 2011.

MEINZER, Frederick. Above- and belowground controls on water use by trees of different wood types in an eastern US deciduous forest. **Tree Physiology**, v. 33, n. 4, p. 345-356, 2013.

MELACK, John; Hess, L. L. Remote Sensing of the Distribution and Extent of Wetlands in the Amazon Basin. In: JUNK, Wolfgang Johannes et (eds). **Amazonian Floodplain Forests: Ecophysiology, Biodiversity and Sustainable Management**. Dordrecht: Springer, Ecological Studies, v. 210, p. 43-59, 2010.

MENDÉZ-ALONZO, Rodrigo et al. Leaf phenology is associated with soil water availability and xylem traits in a tropical dry forest. **Trees**, v. 27, n. 3, p. 745–754, 2013.

METCALFE, C. R.; CHALK, L. **Anatomy of Dicotyledons**. 2° ed., v. 1, Oxford: Clarendon Press, 1979.

METCALFE, C. R.; CHALK, L. **Anatomy of the dicotyledons: leaves, stem, and wood in relation to taxonomy with notes on economic uses**. Oxford: Clarendon Press, 1950, 724p.

MIRANDA, Ricardo; OLIVEIRA, Marcus; SILVA, Danielle. **Ciclo hidrográfico planetário: abordagens e conceitos**. Geo UERJ, 2010.

MOMMER, Liesje et al. Submergence-induced leaf acclimation in terrestrial species varying in flooding tolerance. **New Phytologist**, v. 176, n. 2, p. 337–45, 2007.

MORAIS, Larissa; CONCEIÇÃO, Gonçalo; NASCIMENTO, Janilde. Família Myrtaceae: Análise morfológica e distribuição geográfica de uma coleção botânica. **Agrarian academy**, v. 1, n. 01, p. 317-346, 2014.

MORI, Gisele Biem et al. Edaphic characteristics drive functional traits distribution in Amazonian floodplain forests. **Plant Ecol**, v. 222, p. 349–360, 2021.

MORI, Gisele Biem et al. Trait divergence and habitat specialization in tropical floodplain forests trees. **PLoS ONE**, v. 14, n. 2, p. 1–14, 2019.

MORRETES, Berta Lange. Contribuição ao estudo da anatomia das folhas de plantas de cerrado. **Boletim da Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras**. Universidade de São Paulo. Botânica, p. 7-32, 1969.

MULLER, E. Water Relations and Stem Water Usage of Trees from the Central Amazonian Whitewater Floodplain (Várzea). In: R. LIEBEREI, H.; BIANCHI; C. REISDORFF (Eds.), **Neotropical Ecosystems: Proceedings of the German-Brazilian Workshop**, p. 623-627, 2002.

NAKATA, Paul. Advances in our understanding of calcium oxalate crystal formation and function in plants. **Plant Sci.**, v. 164, n. 6, p. 901-909, 2003.

NASCIMENTO, Marcela Blagitz Ferraz do. **Anatomia caulinar de *Zanthoxylum rhoifolium* Lam. (Rutaceae) e *Moquiniastrum polymorphum* (Less.) G. Sancho (Asteraceae) que ocorre em Cerrado e Mata Atlântica**. 2017. Tese (Pós-Graduação em Ciências Biológicas (Botânica)), Universidade Estadual Paulista (Unesp), Botucatu, 2017.

NAVES-BARBIERO, CHEILA CRISTINA et al. Fluxo de seiva e condutância estomática de duas espécies lenhosas sempre-verdes no campo sujo e cerrado. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, v. 12, n. 2, p. 119-134, 2000.

NETO, Israel Lopes da Cunha; MARTINS, Fabiano Machado. Anatomia dos órgãos vegetativos de *Agave sisalana* Perrine ex En-Gelm (Agavaceae). **Revista Caatinga**, v. 25, n. 2, p. 72-78, 2012.

NEVES, Monique Figueiredo. **Anatomia do caule de *Serjania clematidifolia* Cambess. (Sapindaceae) de Floresta Ombrófila Densa e Floresta de Restinga**. 2009. 96f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-graduação em Ciências Biológicas (Botânica), Universidade Federal do Rio de Janeiro. URJR: Rio de Janeiro, 2009.

OLIVEIRA, Daiane Monteiro. **Descrição e anatomia ecológica do xilena secundário de *Eugenia inundata* DC.(Myrtaceae) sob influência da inundação do lago Tefé, Amazonas, Brasil.** 2019. 29 f. Monografia (Trabalho de conclusão de curso) - Universidade do Estado do Amazonas, Tefé, AM, 2019.

OLIVEIRA, Eli Carlos; MIGLIORANZA, Édison. Dimensões e densidade estomática em diferentes variedades de mandioca. **Cultivando o saber**, v. 6, n. 4, p. 201-213, 2013.

OLIVEIRA, Greice Ximena Santos et al. Relações entre transpiração máxima, evapotranspiração de referência e área foliar em quatro variedades de mangueira. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 31, p. 20-27, 2009.

OLIVEIRA, J. D. et al. Rendimento, composição química e atividades antimicrobiana e antioxidante do óleo essencial de folhas de *Campomanesia adamantium* submetidas a diferentes métodos de secagem. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, v. 18, p. 502-510, 2016.

OLSON, Mark et al. Plant height and hydraulic vulnerability to drought and cold. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 115, n. 29, p. 7551-7556, 2018.

OREN, Romi et al. Sap-flux-scaled transpiration responses to light, vapor pressure deficit, and leaf area reduction in a flooded *Taxodium distichum* forest. **Tree Physiology**, v. 19, n. 6, p. 337-347, 1999.

OSBORNE, Patrick. Rivers, floodplains and estuaries: the flood-pulse and river continuum concepts. In: OSBORNE, Patrick (Ed.). **Tropical ecosystems and ecological concepts**. Cambridge: Cambridge University Press, 2000. 464p.

PARKHURST, David. The adaptive significance of stomatal occurrence on one or both surfaces of leaves. **The Journal of Ecology**, p. 367-383, 1978.

PAROLIN, Pia et al. Central Amazonian floodplain forests: tree adaptations in a pulsing system. **The Botanical Review**. v. 70, p. 357-380, 2004.

PAROLIN, Pia. Morphological and physiological adjustments to waterlogging and drought in seedlings of Amazonian floodplain trees. **Oecologia**, v.128, p. 326-335, 2001.

PAROLIN, Pia. Seasonal changes of specific leaf mass and leaf size in trees of Amazonian floodplains. **Phyton-Annales Rei Botanicae**, v. 42, n.1, p. 169-185, 2002.

PAROLIN, Pia. Submerged in darkness: adaptations to prolonged submergence by woody species of the Amazonian floodplain. **Annals of Botany**, v. 103, p. 359-376, 2009.

PAROLIN, Pia; JUNK, Wolfgang Johannes; PIEDADE, Maria Teresa Fernandez. Gas exchange of six tree species from Central Amazonian floodplains. **Tropical Ecology**, v. 42, p.15-24, 2001a.

PAROLIN, Pia; WALDHOFF, Danielle; PIEDADE, Maria. Gas Exchange and Photosynthesis. In: JUNK, W. et al (eds). **Amazonian Floodplain Forests**. Springer, v. 210, 2010.

PAROLIN, Pia; WALDHOFF, Danielle; PIEDADE, Maria. Fruit and Seed Chemistry, Biomass and Dispersal. In: JUNK, Wolfgang Johannes et al (Eds.). **Amazonian Floodplain**

Forests: Ecophysiology, Biodiversity and Sustainable Management. Ecological Studies, Vol. 210, Springer, Cap. 12, p. 243-258, 2010.

PAROLIN, Pia; WITTMANN, Florian; SCHÖNGART, Jochen. Tree Phenology in Amazonian Floodplain Forests. In: Junk, Wolfgang Johannes et al (eds). **Amazonian Floodplain Forests: Ecophysiology, Biodiversity and Sustainable Management.** Dordrecht: Springer Ecological Studies, v. 210, 2010a.

PELEJA, José Reinaldo Pacheco; MOURA, José Mauro Sousa. **Estudos Integrativos da Amazônia – EIA.** Coleção Diálogos Interdisciplinares, São Paulo: Acquerello, 2012, 320p.

PEZESHKI, Reza. Plant response to flooding. *In:* WILKINSON, Robert (Ed). **Plantenvironment interactions.** Marcel Dekker, 2 ed., p. 289-321, 1994.

PFAUTSCH, Sebastian et al. Climate determines vascular traits in the ecologically diverse genus *Eucalyptus*. **Ecology letters**, v. 19, n. 3, p. 240-248, 2016.

PIEIDADE, Maria Teresa Fernandez et al. Impactos ecológicos da inundação e seca na vegetação de áreas alagáveis amazônicas. Eventos climáticos extremos na Amazônia: causas e consequências. **Oficinas de textos**, p. 268-304, 2013.

PIMENTEL, Carlos. **A relação da planta com a água.** Seropédica: Edur, v. 191, 2004.

PIRES, Hérica Ribeiro de Almeida. **Anatomia dos órgãos vegetativos de *Genipa americana* L. e *Guazuma ulmifolia* Lam. ocorrentes em áreas alagáveis da Amazônia e em solos bem drenados do Cerrado.** 2020. 113 f. Tese (Doutorado em Botânica) - Universidade de Brasília, Brasília, 2020.

PRANCE, Ghilleen. A terminologia dos tipos de florestas amazônicas sujeitas a inundação. **Acta Amazonica**, v. 10, n. 3, p. 499–504, 1980.

PROGRAMA R. R Core Team. R: A language and environment for statistical computing. **R Foundation for Statistical Computing**, Vienna, Austria, 2018.

RASMUNSEN, H. Orchid stomata - structure, differentiation, function, and phylogeny. *In:* ARDITTI, Joseph (Ed.). **Orchid Biology: Reviews and Perspectives, IV.** Cornell University Press, New York, p.105-138, 1987.

REICH Petter et al. Generality of leaf trait relationships: a test across six biomes. **Ecology**, v. 86, n. 1, p. 16-24, 1999.

REICH, Petter et al. Leaf lifespan as a determinant of leaf structure and function among 23 Amazonian tree species. **Oecologia**, v. 86, n. 1, p. 16-24, 1991.

REIS, Fabrício de Oliveira; CAMPOSTRINI, Eliemar; SOUSA, Elias Fernandes de. Fluxo de seiva xilemática em mamoeiro 'Golden' cultivado por microaspersão sobre copa: relações com as variáveis ambientais. **Bragantia**, v. 68, n. 2, p. 285–294, 2009.

ROCHA, A. F. I.; SILVA, E. A. **Resumos da 38a Reunião Anual da Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência**, 1986, 963p.

RODRIGUEZ-DOMINGUEZ, C. M. et al. Concomitant measurements of stem sap flow and leaf turgor pressure in olive trees using the leaf patch clamp pressure probe. **Agricultural Water Management**, v. 114, p. 50–58, 2012.

SALATI, Eneas et al. Recycling of water in the Amazon basin: an isotopic study. **Water Resource Research**, v.15, n.5, p.1250 – 1258, 1979.

SÁNCHEZ-COSTA, Elisenda; POYATOS, Rafael; SABATÉ, Santi. Contrasting growth and water use strategies in four co-occurring Mediterranean tree species revealed by concurrent measurements of sap flow and stem diameter variations. **Agricultural and Forest**, v. 207, p. 24-37, 2015.

SANTOS, Bruna Duarte. **Construção e Avaliação de Sistema de Medição de Fluxo de Seiva pelos Métodos de Pulso de Calor e o da Dissipação Térmica no Tronco do Cacauzeiro**. 2019. 45f. Monografia (Graduação em Ciências Exatas e da Terra) – Universidade Federal do Recôncavo Baiano (UFRB), Cruz das Almas, 2019.

SANTOS, Francisco Lúcio; ALEXANDRE, Carlos; COELHO, Renata. Relações solo-água-planta. In: SHAHIDIAM, Shakib; GUIMARÃES, Rita Cabral; RODRIGUES, Carlos Miranda. **Hidrologia Agrícola**. 2º Ed. Évora: Escola de Ciência e Tecnologia da Universidade de Évora e ICAAM - Instituto de Ciências Agrárias e Ambientais Mediterrânicas, Cap. 7, p. 153-203, 2017.

SANTOS, Irai Manuela Santana et al. Estimativa do fluxo de seiva da atemoeira em função da área foliar e evapotranspiração de referência. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 43, n. 6, pág. 1-9, 2021.

SANTOS, Joanne Kelly da Silva (2015). Velocidade e fluxo de seiva em Ceiba pentandra (malvaceae). In: **IV congresso de iniciação científica do inpa-conic**, 2015. Disponível em: <https://repositorio.inpa.gov.br/handle/1/37067>. Acesso em: 01 jul. 2023.

SCARANO, Fabio Rubino. Tree species richness, diversity and flooding regime: Case studies of recuperation after anthropic impact in Brazilian flood-prone forests. **International Journal of Ecology and Environmental Sciences**, v. 24, p. 223–235, 1998.

SCHÖNGART, Jochen et al. Phenology and stem growth periodicity of tree species in Amazonian floodplain forests. **Journal of Tropical Ecology**, v. 18, n. 4, p. 581-597, 2002.

SCHONGART, Jochen et al. Teleconnection between tree growth in the Amazonian floodplains and the El Nino-Southern Oscillation effect. **Global Change Biology**, v. 10, p. 683-692, 2004.

SCHREIBER, Stefan et al. Variation of xylem vessel diameters across a climate gradient: insight from a reciprocal transplant experiment with a widespread boreal tree. **British Ecological Society**, v. 29, n. 11, p. 1392-1401, 2015.

SCHREIBER, Stefan G.; HACKE, Uwe G.; HAMANN, Andreas. Variation of xylem vessel diameters across a climate gradient: insight from a reciprocal transplant experiment with a widespread boreal tree. **Functional Ecology**, v. 29, n. 11, p. 1392-1401, 2015.

SHAHIDIAN, Shakib et al. Leaf water potential and sap flow as indicators of water stress in Crimson ‘seedless’ grapevines under different irrigation strategies. **Theoretical and Experimental Plant Physiology**, v. 28, n. 2, p. 221–239, 2016.

SILVA, Lazaro Benedito; FREITAS, Hermínia Maria Bastos. Texto Academico - Os Vegetais e a Água. UFBA / **Projeto Qualibio**, 1998. Disponível em: <http://qualibio.ufba.br/012.html>. Acesso em: 04 ago. 2023.

SIOLI, Harald. **Amazônia fundamentos da ecologia da maior região de florestas tropicais**. Rio de Janeiro: Vozes, 1985.

SIOLI, Harald. **The Amazon: Limnology and landscape ecology of a mighty tropical river and its basin**. Springer, Softcover reprint of the original 1st ed., 1984.

SOARES, José Carlos Rodrigues. **Dinâmica temporal da velocidade do fluxo de seiva de indivíduos arbóreos em resposta a fatores ambientais e morfoanatômicos na Amazônia Central**. 2020. 55 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais e Ambientais) – Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2020.

SOTERO, Dora Enith Garcia de. **Caracterização química e avaliação da atividade antioxidante de frutos da Amazônia: chopé (*Gustavia augusta* L.), sacha manguá (*Grias neuberthii* Macbr.) e macambo (*Theobroma bicolor*)**. 2002. 162f. Tese (Doutorado em Ciência dos Alimentos) - Faculdade de Ciências Farmacêuticas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.

SOUZA, Thiago Corrêa de et al. Leaf plasticity in successive selection cycles of ‘Saracura’ maize in response to soil flooding. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 45, n.1, p. 16-24, 2010.

SPERRY, John; MEINZER, Frederick; MCCULLOH, Katherine. Safety and efficiency conflicts in hydraulic 1120 architecture: scaling from tissues to trees. **Plant, Cell and Environment**, n. 31, p. 632–645, 2008.

STEPPE, Kathy et al. Sap flow as a key trait in the understanding of plant hydraulic functioning. **Tree Physiology**, v. 35, n. 4, p. 341–345, 2015.

SUN, Huizhen; AUBREY, Doug; TESKEY, Robert. A simple calibration improved the accuracy of the thermal dissipation technique for sap flow measurements in juvenile trees of six species. **Trees - Structure and Function**, v. 26, n. 2, p. 631–640, 2012.

TAIZ, Lincoln et al. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017. 888 p.

TIE, Qiang et al. Environmental and physiological controls on sap flow in a subhumid mountainous catchment in North China. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 240-241, p. 46-57, 2017.

TUCCI, Carlos; CLARKE, Robin. (1997). Impacto das mudanças da cobertura vegetal no escoamento: Revisão. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 2, n. 1, p. 135-152, 1997.

TURNER, Ian Mark. **The Ecology of trees in the tropical rain forest**. Cambridge University Press, 2004.

TURNER, Neil; JONES, Madeleine. Turgor maintenance by osmotic adjustment: a review and evaluation. *In*: TURNER, Niel; KRAMER, Paulo Jackson (Eds). **Adaptation of plants to water and high temperature stress**. Wiley, New York. p. 87-103, 1980.

TYREE, Melvin T.; ZIMMERMANN, Martin H. **Estrutura do xilema e a ascensão da seiva**. 2 ed. Springer, 2002.

TYREE, Melvin T.; ZIMMERMANN, Martin H. Xylem structure and the ascent of sap. **Springer Science & Business Media**, 2013.

VALLADARES, Fernando; NIINEMETS, Ülo. Shade Tolerance, a Key Plant Feature of Complex Nature and Consequences. **Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics**, v. 39, n. 9, p. 237–257, 2008.

VASCONCELOS, Otávio Reis. **Densidade estomática de duas espécies florestais: *Ademantthera Pavonina* L. e *Hevea Brasiliensis* Muel Arg.** 2019. 33 f. Monografia (Bacharelado em Engenharia Florestal) - Centro de Estudos Superiores de Itacoatiara, Universidade do Estado do Amazonas, Itacoatiara, AM, 2019.

VENTURAS, Martin D.; SPERRY, John S.; HACKE, Uwe G. Plant xylem hydraulics: what we understand, current research, and future challenges. **Journal of integrative plant biology**, v. 59, n. 6, p. 356-389, 2017.

VIEIRA, Elvis Lima et al. **Manual de Fisiologia Vegetal**. São Luís: EDUFMA, 2010, 230p.

WAGNER, Fabien Hubert et al. Climate drivers of the Amazon forest greening. **PloS one**, v. 12, n. 7, 2017.

WALDHOFF, Danielle. Leaf structure in trees of Central Amazonian floodplain forests (Brazil). **Amazoniana**, n. 17, p. 451–469, 2003.

WALDHOFF, Danielle; FURCH, Bodo. Leaf morphology and anatomy in eleven tree species from Central Amazonian floodplains (Brazil). **Amazoniana**, n. 17, p. 79–94, 2002.

WALDHOFF, Danielle; FURCH, Bodo; JUNK, Wolfgang. Fluorescence parameters, chlorophyll concentration, and anatomical features as indicators for flood adaptation of an abundant tree species in Central Amazonia: *Symmeria paniculata*. **Envir. Exper. Bot.** v. 48, n. 3, p. 225-235, 2002.

WALDHOFF, Danielle; JUNK, Wolfgang; FURCH, Bodo. Responses of three central Amazonian tree species to drought and flooding under controlled conditions. **International Journal of Ecology and Environment Science**, v. 24, n. 2, p. 37-252, 1998.

WALDHOFF, Danielle; PAROLIN, Pia. Morphology and anatomy of leaves. *In*: JUNK, Wolfgang Johannes (eds). **Central Amazonian floodplain forests: ecophysiology, biodiversity and sustainable management**. Springer, Berlin/Heidelberg/New York Larcher, 2010.

WALDHOFF, Danielle; PAROLIN, Pia. Morphology and Anatomy of Leaves. *In*: JUNK, Wolfgang Johannes et al. (eds.). **Florestas de Várzea da Amazônia: Ecofisiologia, Biodiversidade e Gestão Sustentável**. Estudos Ecológicos 210, Springer Science+Business Media BV, Cap. 9, 2010.

WITTMANN, Florian et al. **Manual de árvores de várzea da Amazônia Central: taxonomia, ecologia e uso**. Editora INPA, 2010.

WITTMANN, Florian; ANHUF, D; JUNK, Wolfgang Johannes. Detection of different forest types in Central Amazonian Várzea by remote sensing techniques – preliminary results. **Workshop Brasil-Alemanha sobre Ecossistemas Neotropicais – Conquistas e Perspectivas da Pesquisa Cooperativa Hamburgo**, 2000.

WITTMANN, Florian; PAROLIN, Pia. Phenology of six tree species from central Amazonian várzea. *Ecotropica*, v. 5, p. 51-57, 1999.

WITTMANN, Florian; SCHÖNGART, Jochen; JUNK, Wolfgang. Phytogeography, species diversity, community structure and dynamics of central Amazonian floodplain forests. *In: JUNK, Wolfgang et al. Central Amazonian floodplain forests*, Heidelberg: Springer Verlag, p. 61-102, 2010.

WITTMANN, Florian; WITTMANN, Astrid de Oliveira. Use of Amazonian Floodplain Trees. *In: JUNK, Wolfgang Johannes et al (Eds.). Amazonian Floodplain Forests: Ecophysiology, Biodiversity and Sustainable Management*. Ecological Studies, Vol. 210, Springer, Cap. 19, p. 389-428, 2010.

WORBES, Martin et al. On the dynamics, floristic subdivision and geographical distribution of várzea forests in Central Amazonia. *Journal of Vegetation Science*, v. 3, n. 4, p. 553–564, 1992.

WORBES, Martin; FICHTLER, Esther. Wood Anatomy and Tree-Ring Structure and Their Importance for Tropical Dendrochronology. *In: JUNK, Wolfgang Johannes et al (Eds.). Amazonian Floodplain Forests: Ecophysiology, Biodiversity and Sustainable Management*. Ecological Studies, Vol. 210, Springer, Cap. 17, p. 329-346, 2010.

WORBES, Martin. The forest ecosystem of the floodplains. *In: JUNK, Wolfgang Johannes (ed.). The central Amazon floodplain: ecology of a pulsating system*. *Ecolog Stud*, v. 126, p. 223–265, 1997.

YU, Tengfei et al. Coordination of stomatal control and stem water storage on plant water use in desert riparian trees. *Trees*, v. 33, n. 3, p. 1-15, 2019.

ZEPPEL, Melanie et al. Seasonal responses of xylem sap velocity to VPD and solar radiation during drought in a stand of native trees in temperate Australia. *Functional Plant Biology*, v. 31, n. 5, p. 461-470, 2004.

ZHANG, Z. et al. A comparison of methods for determining field evapotranspiration: photosynthesis system, sap flow, and eddy covariance. *Hydrology and Earth System Sciences*, v. 18, p. 1053–1072, 2014.