

UNIVERSIDADE DO ESTADO DO AMAZONAS  
ESCOLA NORMAL SUPERIOR  
LICENCIATURA EM CIÊNCIAS BIOLÓGICAS  
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Arleise Cristina dos Santos Serrão

VARIAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS ANATÔMICAS FOLIARES E DO CAULE NO  
CIPÓ *Banisteriopsis caapi* (Spruce ex Griseb.) Morton (MALPIGHIACEAE) E SUA  
CORRELAÇÃO COM DIFERENTES CONDIÇÕES DE DISPONIBILIDADE HÍDRICA  
NO CENTRO-OESTE DA AMAZÔNIA BRASILEIRA

MANAUS-AM

2023

UNIVERSIDADE DO ESTADO DO AMAZONAS  
ESCOLA NORMAL SUPERIOR  
LICENCIATURA EM CIÊNCIAS BIOLÓGICAS  
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Arleise Cristina dos Santos Serrão

VARIAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS ANATÔMICAS FOLIARES E DO CAULE NO  
CIPÓ *Banisteriopsis caapi* (Spruce ex Griseb.) Morton (MALPIGHIACEAE) E SUA  
CORRELAÇÃO COM DIFERENTES CONDIÇÕES DE DISPONIBILIDADE HÍDRICA  
NO CENTRO-OESTE DA AMAZÔNIA BRASILEIRA

Trabalho de conclusão de curso  
apresentado à Universidade do Estado do  
Amazonas (UEA) como parte dos  
requisitos para obtenção do diploma de  
graduação.

Orientador: Prof<sup>ª</sup> Dra. Sônia Maciel da  
Rosa

Coorientadora: Ma. Mirza Lago Bezerra

MANAUS-AM

2023

## Ficha Catalográfica

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).  
**Sistema Integrado de Bibliotecas da Universidade do Estado do Amazonas.**

S487vv Serrão, Arleise Cristina dos Santos

Varição das características anatômicas foliares e do caule no cipó *Banisteriopsis caapi* (Spruce ex Griseb.) Morton (Malpighiaceae) e sua correlação com diferentes condições de disponibilidade hídrica no centro-oeste da Amazônia brasileira. / Arleise Cristina dos Santos Serrão. Manaus : [s.n], 2023.

33 f.: color.; 29 cm.

TCC - Graduação em Ciências Biológicas - Licenciatura  
- Universidade do Estado do Amazonas, Manaus, 2023.

Inclui bibliografia

Orientador: Rosa, Sônia Maciel da

Coorientador: Bezerra, Mirza Lago

1. Variabilidade anatômica. 2. Déficit hídrico máximo climatológico. 3. Variações ambientais. I. Rosa, Sônia Maciel da (Orient.). II. Bezerra, Mirza Lago (Coorient.). III. Universidade do Estado do Amazonas. IV. ~~Varição das características anatômicas foliares e do caule no cipó~~

*Banisteriopsis caapi* (Spruce ex Griseb.) Morton (Malpighiaceae) e sua correlação com diferentes condições de disponibilidade hídrica no centro-oeste da Amazônia brasileira.

Arleise Cristina dos Santos Serrão

VARIAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS ANATÔMICAS FOLIARES E DO CAULE NO  
CIPÓ *Banisteriopsis caapi* (Spruce ex Griseb.) Morton (MALPIGHIACEAE) E SUA  
CORRELAÇÃO COM DIFERENTES CONDIÇÕES DE DISPONIBILIDADE HÍDRICA  
CENTRO-OESTE DA AMAZÔNIA BRASILEIRA


Trabalho de conclusão de curso  
apresentado à Universidade do Estado do  
Amazonas (UEA) como parte dos  
requisitos para obtenção do diploma de  
graduação.

Orientador: Profª Dra. Sônia Maciel da  
Rosa

Coorientadora: Ma. Mirza Lago Bezerra

Aprovado em: 02/03/2023

BANCA EXAMINADORA



---

Dra. Maria Astrid Rocha Liberato



---

Dra. Kattel Uguen



---

Ma. Mirza Lago Bezerra

*Dedico este trabalho a minha avó,  
que sempre acreditou em mim.*

## AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, por todas as vezes que me pegaram no colo e disseram que tudo ficaria bem. Sem o apoio de vocês eu teria desistido na primeira vez em que fui para uma prova final.

Aos meus avós, em especial, “Dona” Arlete, por todo apoio emocional e financeiro durante esses 5 anos de graduação. Grata por sempre se preocupar com meu café da manhã e almoço.

As minhas irmãs, Maria Rita e Ana Cecília, por sempre me lembrarem que sou o exemplo para alguém. Pelo carinhoso apelido “manarleise”, que ecoa nos meus ouvidos diariamente, me fazendo lembrar o quanto sou querida por vocês.

À minha coorientadora, Mirza Lago Bezerra, por sempre me pedir para ter mais calma e respirar. Grata por todo auxílio na caminhada, não só acadêmica, mas também pessoal, em especial, à amizade, carinho e profissionalismo.

Ao Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia pelo espaço cedido para a realização de todos os meus projetos de iniciação científica.

Ao Laboratório de Biodiversidade e Ecologia Funcional do INPA e a todos os amigos da Família Vegetal, em especial à doutora, Juliana Schietti, por toda orientação ao longo do desenvolvimento dos trabalhos laboratoriais e estatísticos.

À Universidade do Estado do Amazonas, pelo espaço cedido para o desenvolvimento de todas as atividades acadêmicas.

Aos meus amigos da faculdade, que tornaram a caminhada acadêmica mais fluida e leve. Por todas as fofocas nas escadas e cochilos em cantos insalubres da universidade. Sou grata especialmente as meninas, Aline, Luana, Fernanda Siza e Lorena, pelas conversas e conselhos que eu nunca seguia. Ao meu companheiro, Iago Lucas, por todo o carinho e apoio nos últimos meses e por todas as vezes que você me serviu uma xícara de café preto sem açúcar.

Aos meus gatos, por todas as vezes que pularam no meu colo e exigiram carinho, me fazendo dar uma pausa nos estudos.

“Olhe para a estrela do norte,  
Sua guia permanente.  
Que a honra, a verdade e tudo que é certo  
Estejam com você eternamente”  
Kiera Cass

## RESUMO

Mudanças nas características morfológicas e anatômicas das plantas podem estar diretamente atreladas a adaptações em função de variações ambientais. Variações nas características anatômicas, como comprimento estomático, densidades de estômato e venação e densidade e diâmetro de vasos do xilema podem ser associadas a variação de disponibilidade hídrica, como uma estratégia para regulação de perda de água. A espécie de cipó *Banisteriopsis caapi* (Spruce ex Griseb.) Morton (Malpighiaceae), apresenta variações em suas estruturas morfológicas e anatômicas associadas a variações nas disponibilidades de recursos ambientais. Entretanto, pouco se sabe se características de estômato, venação e vasos do xilema desta espécie apresentam variações significativas e como fatores ambientais podem se relacionar com essas variações. Diante disso, o presente trabalho, visou analisar se mudanças nas configurações de estômatos, venação e vasos do xilema de *B. caapi* estão associadas a variações de disponibilidade hídrica, e se estas características são coordenadas. Para isto, avaliamos densidade e comprimento estomático, densidade de venação, densidade e diâmetro de vasos do xilema, de 53 indivíduos provenientes de 13 localidades ao longo da Amazônia Ocidental. Em cada localidade estimamos a disponibilidade de água, caracterizada pelo déficit hídrico máximo climatológico acumulado (MCWD) e verificamos seu efeito sobre as características anatômicas através de análise de regressão. Observamos um efeito significativo da disponibilidade de água nas variações da densidade estomática e densidade de venação foliares e uma relação não significativa com as outras características foliares e da madeira. Além disso, observamos uma fraca coordenação entre características de folha e madeira. Deste modo, verificamos que para esta espécie, parece haver um ajuste mais significativo das características foliares em relação ao ambiente, enquanto as características da madeira não demonstraram ajustes em relação ao ambiente. O conhecimento dessas relações contribui para predições de como o cipó *B. caapi* poderá responder às diferentes disponibilidades de água no ambiente, além da condução de estratégias de manejo e conservação desta espécie.

Palavras-chave: Variabilidade anatômica; déficit hídrico máximo climatológico



## LISTA DE TABELAS

**Tabela 1-** Valores médio, desvio padrão (SD), coeficiente de variação (CV), mínimo (min) e máximo (máx) das características anatômicas dos indivíduos de *B. caapi* amostrados em 12 localidades no centro-oeste da Amazônia brasileira. A mesma estatística está apresentada para a variável ambiental indicadora de disponibilidade de água estimada para as mesmas localidades.

**Tabela 2-** Resultados dos modelos das regressões simples para a variabilidade das características anatômicas associadas a variável ambiental (MCWD: Média do déficit hídrico climatológico máximo acumulado). Coeficiente de determinação ( $r^2$ ); contribuição relativa dos preditores é dada pelos coeficientes padronizados dos modelos (ns – não significativo; \*  $p < 0.05$ ; \*\*  $p < 0.01$ ; \*\*\*  $p < 0.001$ ).

## LISTA DE FIGURAS

**Figura 1** - Distribuição dos 14 locais de coleta de *B. caapi* ao longo da região centro-oeste da Amazônia.

**Figura 2**- Média anual do déficit hídrico máximo acumulado de 22 anos (MCWD).

**Figura 3**- Fotos microscópicas de estômatos, no aumento de 20x, em folhas de *B. caapi*.

**Figura 4**- Fotos em lupa do padrão de venação, no aumento de 4x, em folhas de *B. caapi*

**Figura 5**- Fotos microscópicas de vasos do xilema, no aumento de 20x, em ramos de *B. caapi*.

**Figura 6**- Modelo de variação da densidade estomática da folha de *B. caapi* em função da média anual do déficit hídrico máximo acumulado – MCWD.

**Figura 7**- Modelo de variação de comprimento estomático da folha de *B. caapi* em função da média anual do déficit hídrico máximo acumulado – MCWD

**Figura 8**- Modelo de variação de densidade de venação da folha de *B. caapi* em função da média anual do déficit hídrico máximo acumulado – MCWD.

**Figura 9**- Modelo de variação de densidade de vasos do xilema do caule de *B. caapi* em função da média anual do déficit hídrico máximo acumulado – MCWD

**Figura 10**- Modelo de variação da área média de vasos do caule de *B. caapi* em função da média anual do déficit hídrico máximo acumulado – MCWD

**Figura 11**- Correlação da densidade estomática das folhas de *B. caapi* em função da densidade de vasos do xilema do caule de *B. caapi*.

**Figura 12**- Correlação da densidade estomática das folhas de *B. caapi* em função da área média de vasos do xilema do caule de *B. caapi*.

**Figura 13**- Correlação do comprimento estomático das folhas de *B. caapi* em função da densidade de vasos do xilema do caule de *B. caapi*.

**Figura 14**- Correlação do comprimento estomático das folhas de *B. caapi* em função da área média de vasos do xilema do caule de *B. caapi*.

**Figura 15**- Correlação da densidade de venação das folhas de *B. caapi* em função da densidade de vasos do xilema do caule de *B. caapi*.

**Figura 16**- Correlação da densidade de venação das folhas de *B. caapi* em função da área média de vasos do xilema do caule de *B. caapi*.

**Figura A1**- Médias das variáveis ambientais dos 12 locais de coleta no centro-oeste da Amazônia.

**Figura A2**- Correlação entre densidade e comprimento estomático da folha de *B. caapi*.

## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	11
2 OBJETIVOS.....	13
2.1 OBJETIVO GERAL .....	13
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	13
3 JUSTIFICATIVA .....	13
4 REVISÃO DA LITERATURA .....	13
5 METODOLOGIA.....	14
5.1 ÁREA DE ESTUDO.....	14
5.2 DELINEAMENTO AMOSTRAL .....	15
5.3 COLETA DE DADOS.....	16
5.3.1 Caracterização anatômica foliar e da madeira.....	16
5.3.2 Caracterização da disponibilidade de água .....	17
5.4 ANÁLISE ESTATÍSTICA .....	17
6 RESULTADOS .....	17
6.1 VARIAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS ANATÔMICAS E DO MCWD.....	17
6.2 EFEITO DO MCWD NAS CARACTERÍSTICAS ANATÔMICAS.....	19
6.3 RELAÇÃO ENTRE CARACTERÍSTICAS ANATÔMICAS FOLIARES E DO CAULE.....	23
7 DISCUSSÃO.....	26
8 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	28
9 REFERÊNCIAS .....	29
10 APÊNDICES .....	32

## 1 INTRODUÇÃO

A variação das condições ambientais, como solo, clima, água e luz, induz os organismos a expressarem em seu fenótipo, características contidas em seu genoma, provenientes da seleção natural de estratégias melhor adaptadas ao ambiente. Desta forma, indivíduos da mesma espécie, que se encontram distribuídos em um amplo gradiente ambiental, podem ter características anatômicas, morfológicas e fisiológicas diferentes, contribuindo para uma variação dentro da espécie (CAMARGO, 2009; MARQUES *et al.*, 2012). As características anatômicas foliares das plantas podem se ajustar em suas estruturas e propriedades, devido à influência das variações de fatores abióticos, como temperatura, luz e disponibilidade de água no ambiente (MARQUES *et al.*, 2012).

O estômato é uma estrutura anatômica, que atua como regulador nas trocas gasosas da folha com o ambiente, e está intimamente relacionado com as funções fisiológicas das plantas, como a fotossíntese e a transpiração (LIMIN *et al.*, 2007). Variações na densidade e no comprimento estomático podem representar estratégias de adaptação das plantas em regiões com disponibilidades hídrica diferentes. Os estômatos podem apresentar variações no tamanho e densidade (PANDEY; NAGAR, 2003), em função da espécie ou fatores ambientais (SACK; SCOFFONI, 2013), entretanto, como estas características variam dentro de uma espécie ainda é pouco conhecido.

A venação foliar é responsável pelo transporte hídrico e exerce importante função nos processos fotossintéticos e de crescimento. A variação da densidade de venação se relaciona principalmente à disponibilidade de água presente no ambiente em que a planta se desenvolve (ROTH-NEBELSICK *et al.*, 2001). O aumento da densidade de venação em locais com menor disponibilidade de água pode refletir uma estratégia para melhoria da eficiência no transporte hídrico (UHL; MOSBRUGGER, 1999). Estudos dessa natureza indicam que a densidade de venação pode estar mais diretamente relacionada com a disponibilidade de água em algumas espécies.

A estrutura anatômica do caule, está associada tanto à estrutura e resistência caulinar quanto ao transporte hídrico e pode apresentar alterações em função do ambiente em que a planta ocorre (BASS *et al.*, 1983; BARAJOS-MORALES, 1985; CARLQUIST; HOEKMAN, 1985; BAAS; SCHWEINGRUBER, 1987; LINDORF, 1994). Em ambientes com estresse hídrico por falta de água, por exemplo, as plantas podem apresentar maior densidade e menor área média dos vasos. Desse modo há maior segurança no transporte de água dentro da planta,

pois há uma menor chance de cavitação (entrada de ar) em vasos de menor calibre comparado a vasos de maior calibre sob as mesmas condições de disponibilidade de água no solo (BAAS; CARLQUIST, 1985; BARAJAS-MORALES, 1985; CARLQUIST; HOEKMAN, 1985; LINDORF, 1994). Compreender os fatores ambientais que afetam a variabilidade destas características contribui para entender e prever o desempenho e a distribuição de plantas em um gradiente ambiental.

Os cipós, de maneira geral, têm chamado bastante atenção da comunidade científica pois parecem responder positivamente ao déficit hídrico, aumentando em abundância e dominância em florestas da Amazônia e América Central (PHILLIPS *et al.*, 2002; WRIGHT *et al.*, 2004; LAURANCE *et al.*, 2014). Um dos motivos que pode explicar a crescente abundância de cipós é a sua arquitetura hidráulica e o investimento em estômatos menores que podem estar lhes permitindo uma maior eficiência no uso da água (HETHERINGTON; WOODWARD, 2003; SCHNITZER, 2005; EWERS *et al.*, 2015; CAMPANELLO *et al.*, 2016).

O cipó *Banisteriopsis caapi* (Spruce ex Griseb.) Morton, pertencente à família Malpighiaceae, é uma espécie de cipó que possui expressivo valor socioambiental devido ao seu antigo e crescente uso para o preparo do chá, conhecido como Ayahuasca (MCKENNA *et al.*, 1998; WANG *et al.*, 2010). Esta espécie apresenta grande variabilidade em diversas características, além de diferentes investimentos em características ligadas ao crescimento e no tipo de defesa contra a herbivoria, de acordo com a mudança da disponibilidade de recursos no ambiente (BEZERRA, 2020). *B. caapi* ocorre espontaneamente ao longo de toda a floresta Amazônica em diferentes condições de disponibilidade de recursos (RIVIER; LINGREN, 1972; NARANJO, 1979). Apesar de conhecermos um pouco da variabilidade desta espécie, pouco se conhece sobre a variabilidade de suas características anatômicas e ainda existem lacunas no entendimento a respeito de suas estratégias para lidar com a variabilidade de disponibilidade de água frente às mudanças climáticas. Além disso, a ampliação do conhecimento a respeito de suas estratégias de uso da água pode subsidiar planos para manejo e conservação da espécie. Portanto, neste estudo buscamos entender a variação das características anatômicas foliares e do caule no cipó *B. caapi* e sua relação com diferentes condições de disponibilidade hídrica no centro-oeste da Amazônia brasileira.

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 OBJETIVO GERAL

Investigar se variações das características anatômicas foliares e da madeira dentro da espécie *Banisteriopsis caapi* estão relacionadas com diferentes condições de disponibilidade hídrica na Amazônia Central, e se estas são coordenadas.

### 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar os aspectos referentes às variações de densidade e tamanho de estômatos, densidade de venação e densidade e área média dos vasos do xilema;
- Avaliar a relação entre a variação das características anatômicas em função do Déficit hídrico máximo climatológico (MCDW;)
- Investigar se as estratégias foliares e do caule estão coordenadas de acordo com a disponibilidade de água no ambiente.

## 3 JUSTIFICATIVA

A caracterização e correlação das estruturas anatômicas: estômatos, venação e vasos do xilema com variações de disponibilidade hídrica, contribuem para ampliar o conhecimento das características anatômicas foliares e do caule da espécie de cipó *B. caapi*. Além disso, tais conhecimento podem auxiliar no entendimento de como a precipitação pode influenciar na variação destas características e se estas desenvolvem estratégias coordenadas para a regulação de perda de água, contribuindo para o desenvolvimento de estratégias de manejo e conservação da espécie.

## 4 REVISÃO DA LITERATURA

A densidade e o comprimento estomático podem representar estratégias de adaptação das plantas em regiões com déficit hídrico. A densidade de estômatos pode aumentar em condições de baixa disponibilidade hídrica (YANG; WANG, 2001; LIMIN *et al.*, 2007), enquanto o comprimento estomático pode diminuir nestas condições (LIMIN *et al.*, 2007). O aumento da densidade e redução do tamanho estomático está comumente relacionado com uma melhor condutância estomática e maior capacidade de regular as perdas de água por transpiração (ROSATTO *et al.*, 2009).

Wang *et al.* (2016) observaram que a densidade de veias das espécies de árvore *Zelkova schneideriana* (Ulmaceae) e *Machilus pingii* (Lauraceae) aumentou significativamente com o aumento do déficit hídrico, mas não apresentou relação expressiva com a variação de temperatura. Andrade *et al.* (2020) observou diferenças significativas nas variações de densidade e área dos vasos do xilema de *Toona ciliata* M. Roem var. *australis* (Meliaceae), em plantas que se desenvolvem em locais onde há maior precipitação anual em relação às que ocorrem em ambientes de menor precipitação. No primeiro cenário, houve maior valor médio da área do vaso atrelado a menor frequência média dos vasos, quando comparadas a ambientes com menor precipitação, onde as plantas apresentaram vasos condutores mais estreitos, ou seja, com menor área do lúmen associado ao aumento da frequência dos mesmos.

A espécie de cipó *B. caapi*, possui ocorrência ao longo da floresta Amazônica, em diferentes condições de disponibilidade de recursos (RIVIER; LINGREN, 1972; NARANJO, 1979). O *B. caapi* conta com uma disposição foliar oposta cruzada, medindo cerca de 15-20 cm de comprimento por 7-11 cm de largura, com limbo simples e inteiro de formato oval, com pontas que se afinam, sendo lisa na parte superior e piloso na parte inferior, com nervação peninérvea e presença de nectários foliares no pecíolo ou na face abaxial (JOLY, 1991; SOUZA; LORENZI, 2005 ). Possui inflorescência do tipo panícula nas axilas superiores ou terminais com pedicelos pilosos e flores de coloração rosada, diclamídeas, monoclinas, com simetria actinomorfa, cálice pentâmero e dialissépalo, dialipétala com 5 pétalas, como descrito por Joly (1991) e Souza e Lorenzi (2005). Esta espécie apresenta diferentes investimentos em características ligadas ao crescimento e no tipo de defesa contra a herbivoria, de acordo com a mudança da disponibilidade de recursos no ambiente (BEZERRA, 2020).

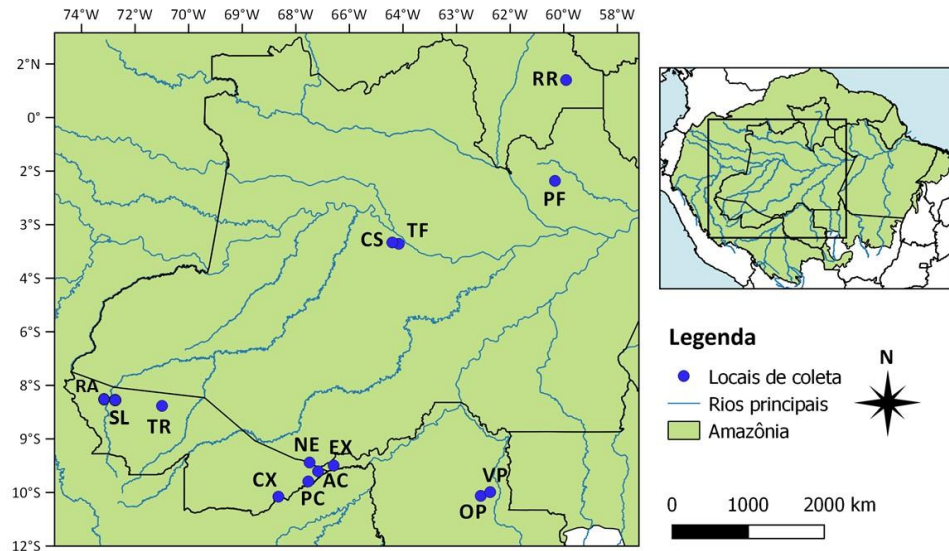
O uso de *B. caapi* data desde o período pré-colombiano colombiano e seu valor socioeconômico e ambiental é crescente, devido às descobertas das propriedades medicinais e terapêuticas do chá preparado com ele, conhecido com Ayahuasca (MCKENNA *et al.*, 1998; WANG *et al.*, 2010).

## **5 METODOLOGIA**

### **5.1 ÁREA DE ESTUDO**

O material utilizado para as análises anatômicas foi amostrado na região centro-oeste da Amazônia brasileira, com locais de coleta distribuídos entre os estados do Acre, Amazonas, Rondônia e Roraima (Figura 1). A área de amostragem apresenta variação de disponibilidade hídrica de noroeste-sudeste, que caracteriza a região sudeste como mais seca e sazonal (SOMBROEK, 2001). A precipitação anual média nas áreas amostradas varia entre 1278,13

(Vale do Paraíso, RO) e 2447,06 mm/ano (Castanha em Tefé, AM) (Figura A1a); e o comprimento da estação seca (número de meses com precipitação < 100mm) varia de 2 a 6 meses (Figura A1b).



**Figura 1**-Distribuição dos 14 locais de coleta de *B. caapi* ao longo da região centro-oeste da Amazônia em que foram avaliadas as características anatômicas das folhas. Siglas referentes às regiões de coleta: RR - São João da Baliza (Roraima); PF - Presidente Figueiredo (Amazonas); TF - Tefé (Amazonas); CS - Castanha (local de coleta próximo à Tefé - Amazonas); NE - Novo Encanto (local de coleta próximo à Lábrea - Amazonas); VP - Vale do Paraíso (Rondônia); OP - Ouro Preto do Oeste (Rondônia); EX - Extrema (Rondônia); AC - Acrelândia (Acre); PC - Plácido de Castro (Acre); CX - Capixaba (Acre); TR - Tarauacá (Acre); RA - Rodrigues Alves (Acre). O sítio SL - Santa Luzia (Acre) foi visitado, mas as plantas não apresentavam folhas maduras e por isso não fizeram parte do presente estudo.

## 5.2 DELINEAMENTO AMOSTRAL

Para realização das coletas de *B. caapi*, foram visitadas 14 localidades da Amazônia nos estados do Acre, Amazonas, Rondônia e Roraima (Figura 1), entre os meses de maio e setembro de 2019, como parte do mestrado de Mirza Bezerra (PPG-CFT/INPA). Ao todo, 53 indivíduos foram amostrados. Em oito locais de coleta foi possível amostrar 5 indivíduos adultos, já em outras três localidades, foram amostrados apenas 4 indivíduos adultos. Em Tarauacá (Acre), foi possível amostrar apenas 1 indivíduo, devido as demais plantas estarem sem folhas ou com folhas muito jovens. Não foi possível analisar as amostras coletadas de Santa Luzia (Acre), pois todos os indivíduos apresentavam folhas jovens ou primórdios foliares, não podendo assim ser comparada com plantas de folhas maduras. Áreas de plantio conhecido não foram escolhidos para este estudo, de modo que todas as localidades amostradas possuem o mínimo de influência antrópica recente possível.



### 5.3 COLETA DE DADOS

Para cada indivíduo, foram coletadas duas folhas maduras, completamente expandidas e expostas ao sol, sendo retiradas duas amostras de aproximadamente 4 cm<sup>2</sup>, entre a margem e a nervura central, na porção mediana de cada folha e dois segmentos de madeira, de aproximadamente 1,5-2 centímetros de diâmetro e 2 centímetros de comprimento. Posterior às coletas de campo, as amostras foliares e os segmentos de madeira foram fixados em FAA (Solução de formaldeído, ácido acético e etanol 50%) e após 72 horas armazenados em álcool 70% até o processamento laboratorial.

#### 5.3.1 Caracterização anatômica foliar e da madeira

Para as análises estomáticas, foi realizada a dissociação da epiderme pela imersão das amostras em frascos contendo uma solução 1:1 de peróxido de hidrogênio e ácido acético glacial (modificado de FRANKLIN 1945, VIVEK; PARTHASARATHY 2014), que ficaram em estufa a 60° C pelo tempo necessário para sua dissociação, sendo em média 24 horas. Posteriormente as amostras foram lavadas com água destilada, coradas com safranina e colocadas em lâmina. Após a finalização das lâminas, foram feitas as fotografias em microscópio óptico (*Zeiss*), no aumento de 20x. O processamento das imagens se deu através do uso do *software Image J*, para obtenção das medidas de densidade (estômatos/mm<sup>2</sup>) e comprimento estomático (µm).

Para diafanização, na análise de venação, as amostras foram colocadas em frascos contendo hidróxido de sódio a 5 %, mantidas em estufa a 60° C por 2 a 4 dias. Posteriormente as amostras passaram por um circuito de lavagem em água destilada, desidratação em solução de etanol e coradas com fucsina. Em seguida as amostras foram fotografadas em lupa (*Leica*), no aumento de 4x, e posteriormente colocadas em lâminas. Com o uso do *software Leaf Gui* foi realizado o processamento das imagens para obtenção da medida de densidade de venação (veias/mm<sup>2</sup>).

Visando caracterizar a densidade e área média dos vasos do xilema, foram realizados cortes transversais do ramo, com o auxílio do micrótomo de deslize. Após os cortes, o material histológico foi corado com Safrablau (solução de Safranina 1% e Azul de Astra 1%, 1:9),

seguido de lavagens em sequência alcoólica de 10% a 100%, finalizando com o fechamento da lâmina com Balsamo do Canadá. As lâminas produzidas foram observadas e fotografadas em fotomicroscópio (*Axiophoto 2* com câmera *axiocam MRC*, Zeiss, Alemanha). Todas as imagens foram processadas através do *software ImageJ*, para obtenção das medidas para cálculo da densidade (vasos/mm<sup>2</sup>) e área média dos vasos do xilema (µm<sup>2</sup>).

### 5.3.2 Caracterização da disponibilidade de água

Para estimar a disponibilidade de água nos locais de amostragem, foi realizado o cálculo da média anual do Déficit Hídrico Máximo Acumulado (MCWD). Conforme Aragão *et al.* (2018):

$$\text{MCWD} = \sum \text{WD m/a}$$

No modelo, WD m/a representa o déficit hídrico mensal, em que se considerou condições de déficit hídrico os meses com precipitação inferior a 100 mm (WD m/a = precipitação mensal – 100 mm) (BRUNIG 1969; MALHI; WHRIGHT 2004). Com isto, o déficit hídrico máximo acumulado (MCWD) de um ano, foi calculado pelo somatório dos déficits dos meses consecutivos que apresentaram nível de precipitação inferior a 100 mm.

Para realizar os cálculos de MCWD, utilizou-se a precipitação mensal do período de 1998-2019 da *Tropical Rainfall Measuring Mission* (TRMM) 3B43 versão 7, disponibilizados na plataforma Giovanni da NASA (ACKER; LEPTOUKH 2007). A partir do MCWD anual do período histórico disponível (22 anos), foi realizada a média do MCWD deste período temporal para cada localidade. Ao utilizar um período temporal maior busca-se reduzir o efeito da variabilidade interanual, evidenciando as diferenças entre os locais. Os valores de MCWD são negativos, com isto, quanto mais negativo o valor de MCWD, maior é o nível de estresse para as plantas daquele ambiente.

## 5.4 ANÁLISE ESTATÍSTICA

A relação entre as variáveis anatômicas da folha e as variáveis do caule e o MCWD foram avaliadas a partir de análises de regressão simples em que cada unidade amostral foi um dos 53 indivíduos de liana. Já a correlação entre as variáveis anatômicas da folha e do caule foi avaliada a partir de uma análise de correlação simples. As análises foram realizadas em *software R 3.5.2.*

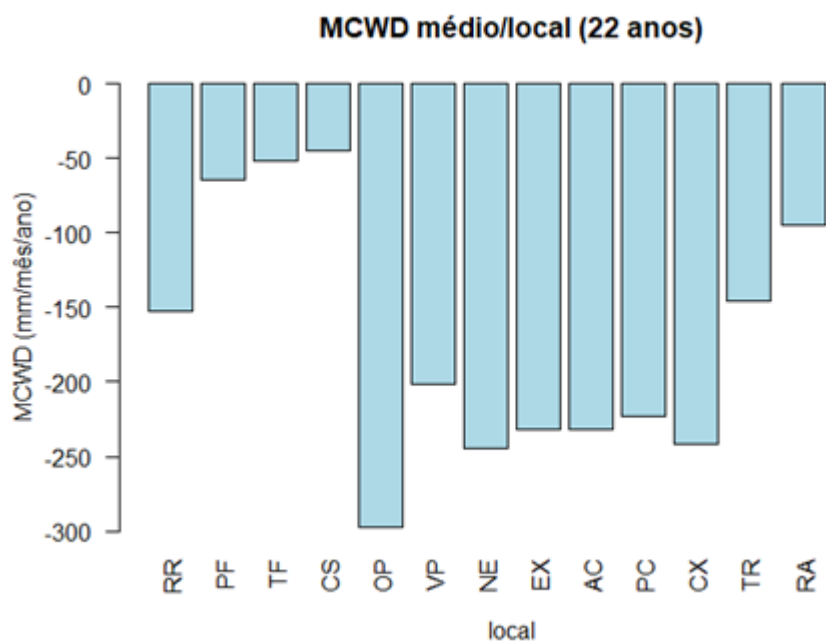
## 6 RESULTADOS

### 6.1 VARIAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS ANATÔMICAS E DO MCWD

A variação das características avaliadas, seus mínimos e máximos podem ser vistos na Tabela 1. O comprimento estomático foi a característica que menos variou (11,87% de variação), enquanto a área média de vasos do xilema foi a que mais variou (44,52% de variação). O MCWD variou entre -297.61mm e -45.15mm com 48.46% de variação (Tabela 1 e Figura 2)

**Tabela 1-** Valores médio, desvio padrão (SD), coeficiente de variação (CV), mínimo (min) e máximo (máx) das características anatômicas dos indivíduos de *B. caapi* amostrados em 13 localidades no centro-oeste da Amazônia brasileira. A mesma estatística está apresentada para a variável ambiental indicadora de disponibilidade de água estimada para as mesmas localidades.

Variáveis	média	SD	CV (%)	min	máx
<b>Características funcionais</b>		-			
Densidade de venação (veias/mm <sup>2</sup> )	14.34	3.08	21.48	7.76	22.09
Densidade estomática (estômatos/mm)	487.18	169.72	34.84	210.51	827.14
Comprimento estomático (µm)	6.34	0.75	11.87	5.25	8.52
Densidade de vasos do xilema (vasos/mm <sup>2</sup> )	128.96	52.59	40.78	67.13	354.07
Area média dos vasos do xilema (µm <sup>2</sup> )	2919.62	1299.88	44.52	788.76	5472.21
<b>Variável ambiental</b>					
MCWD (mm)	-176.56	85.55	48.46	-297.61	-45.15



**Figura 2-** Média anual do déficit hídrico máximo acumulado de 22 anos (MCWD). RR - São João da Baliza (Roraima); PF – Presidente Figueiredo (Amazonas); TF – Tefé (Amazonas); CS – Castanha (local de coleta próximo à Tefé - Amazonas); NE – Novo Encanto (local de coleta próximo à Lábrea - Amazonas); VP – Vale do Paraíso (Rondônia); OP – Ouro Preto do Oeste (Rondônia); EX – Extrema (Rondônia); AC – Acrelândia (Acre); PC – Plácido de Castro (Acre); CX – Capixaba (Acre); TR – Tarauacá (Acre); RA – Rodrigues Alves (Acre).

## 6.2 EFEITO DO MCWD NAS CARACTERÍSTICAS ANATÔMICAS

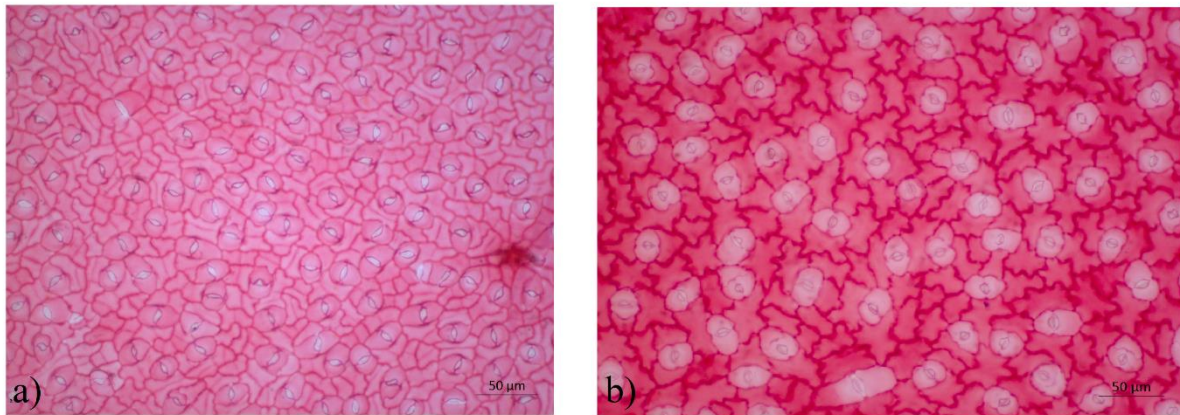
O MCWD, explicou 40,22% da variação de densidade estomática (Tabela 2) de modo que em ambientes com MCWD mais negativo, maior déficit, as plantas apresentaram maior densidade estomática e à média que o déficit reduziu (MCWD menos negativo), as plantas apresentaram menor densidade de estômatos (Figura 3; Figura 6). O MCWD não explicou de maneira significativa a variação do comprimento estomático ( $p > 0.05$ ; Tabela 2; Figura 7). Por outro lado, 10 % da variação da densidade de venação foi explicada pelo MCWD (Tabela 2), de modo que em ambientes com maior déficit hídrico (menor MCWD) as plantas apresentaram maior densidade de veias, enquanto nos ambientes de menor déficit hídrico climatológico a densidade de veias foi menor (Figura 4; Figura 8).

O MCWD não teve relação significativa com a variação da densidade e área média dos vasos do xilema ( $p > 0.05$ ; Tabela 2; Figura 9; Figura 10). De forma geral, a configuração dos vasos ao longo da variação das condições de disponibilidade hídrica não teve variação significativa e ainda apresentou um dimorfismo com vasos largos coocorrendo com vasos estreitos (Figura 5).

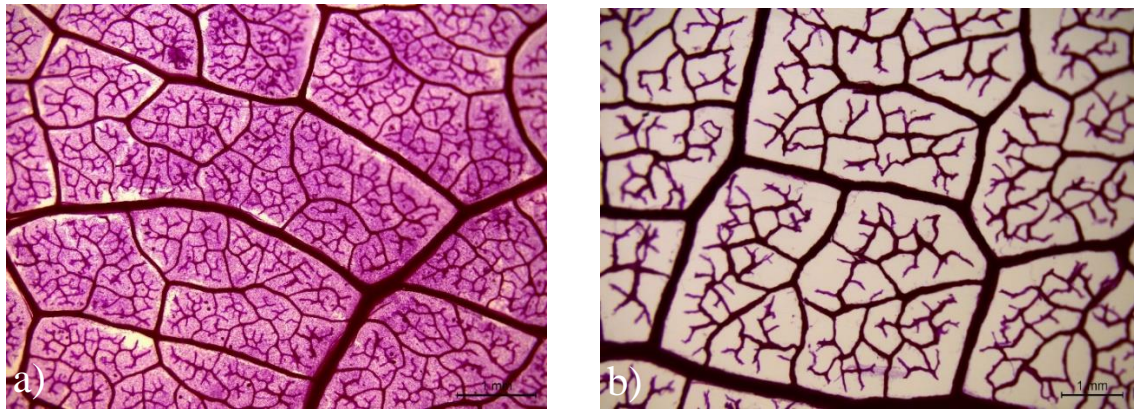
**Tabela 2-** Resultados dos modelos das regressões simples para a variabilidade das características anatômicas associadas a variável ambiental (MCWD: Média do déficit hídrico climatológico máximo acumulado). Coeficiente de determinação ( $r^2$ ); contribuição relativa dos preditores é dada pelos coeficientes padronizados dos modelos (ns – não significativo; \*  $p < 0.05$ ; \*\*  $p < 0.01$ ; \*\*\*  $p < 0.001$ ).

Modelo	$r^2$	Preditoras	Coefficiente padronizado
Densidade estomática = $\alpha + \beta$ (MCWD, mm)	0.4022	constante	265.041***
		MCWD	-1.258***
Comprimento estomático = $\alpha + \beta$ (MCWD, mm)	0.0450	constante	6.673***
		MCWD	0.002 <sup>ns</sup>
Densidade de venação = $\alpha + \beta$ (MCWD, mm)	0.1033	constante	12.298***
		MCWD	-0.012*

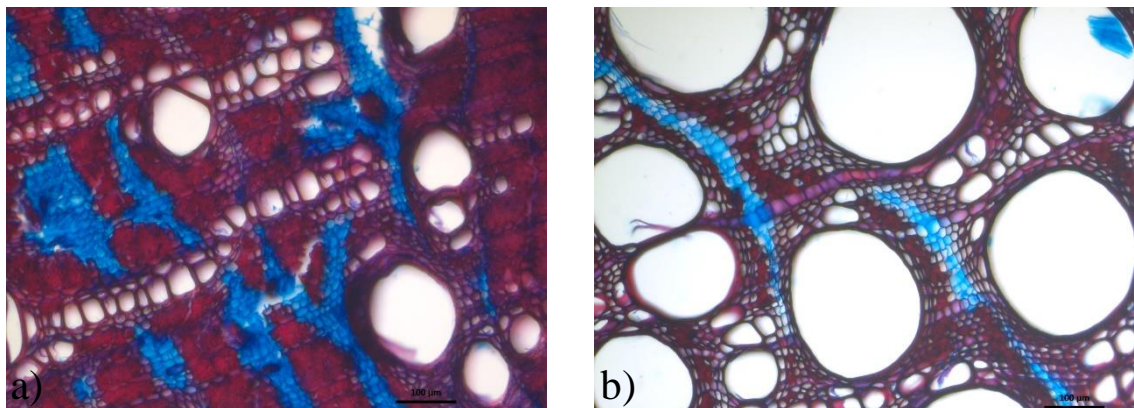
Densidade de vasos do xilema = $\alpha + \beta$ (MCWD, mm)	0,00008	constante	116.331***
		MCWD	-0.0046 <sup>ns</sup>
Área média dos vasos do xilema = $\alpha + \beta$ (MCWD, mm)	0.0388	constante	2419.496 <sup>ns</sup>
		MCWD	-3.516 <sup>ns</sup>



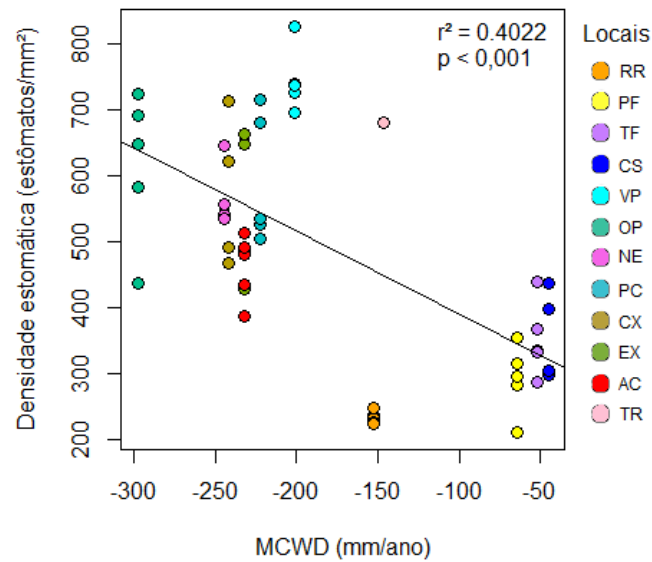
**Figura 3-** Fotos microscópicas de estômatos, no aumento de 20x, em folhas de *B. caapi*. A) Folha em ambiente com maior déficit hídrico (OP na Figura 1) e; B) Folha em ambiente de menor déficit hídrico (PF na Figura 1).



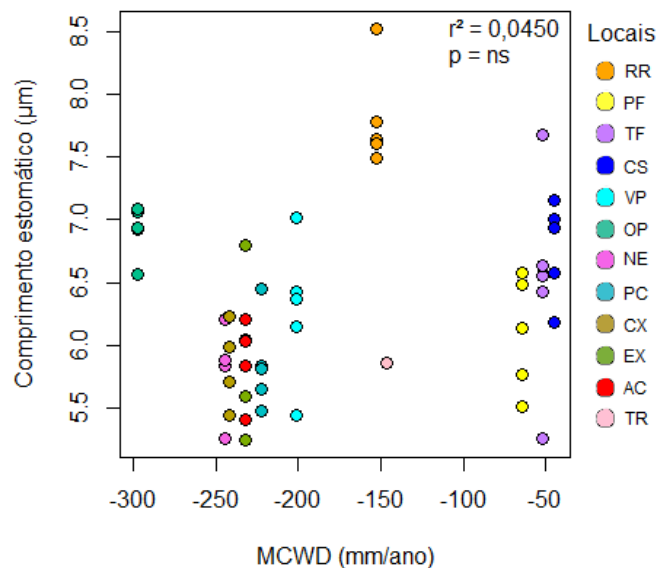
**Figura 4-** Fotos em lupa do padrão de venação, no aumento de 4x, em folhas de *B. caapi*. A) Folha em ambiente com maior déficit hídrico (OP na Figura 1) e; B) Folha em ambiente de menor déficit hídrico (RR na Figura 1).



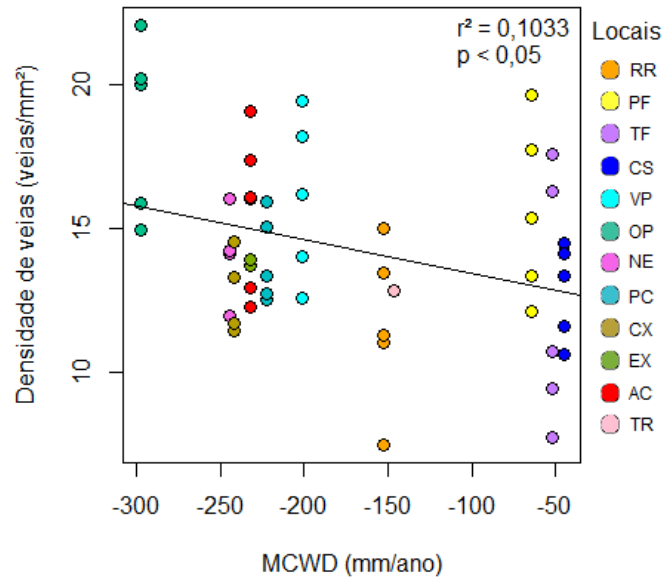
**Figura 5-** Fotos microscópicas de vasos do xilema, no aumento de 20x, em ramos de *B. caapi*. A) Ramo em ambiente com maior déficit hídrico (OP na Figura 1) e; B) Ramo em ambiente de menor déficit hídrico (TF na Figura 1).



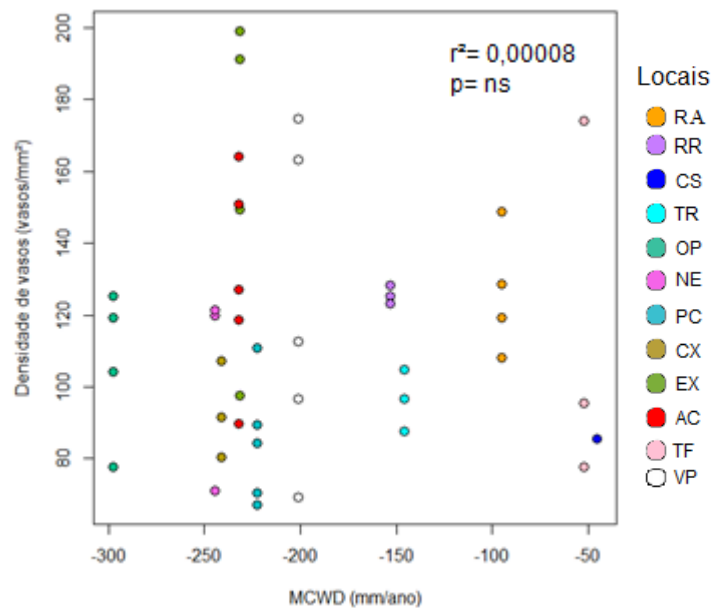
**Figura 6-** Modelo de variação da densidade estomática da folha de *B. caapi* em função da média anual do déficit hídrico máximo acumulado – MCWD. Cada ponto representa uma planta e as cores identificam os locais, para abreviações de locais de coleta, consultar Figura 1.



**Figura 7-** Modelo de variação de comprimento estomático da folha de *B. caapi* em função da média anual do déficit hídrico máximo acumulado – MCWD. Cada ponto representa uma planta e as cores identificam os locais para abreviações de locais de coleta, consultar Figura 1

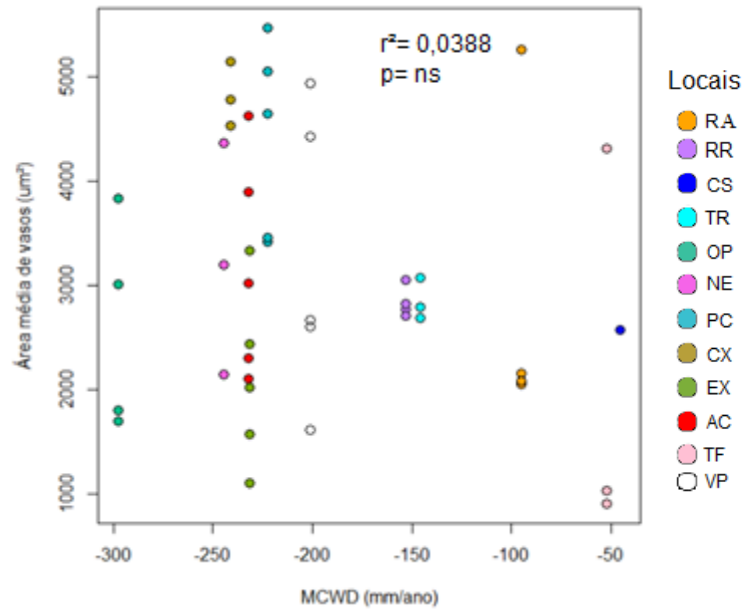


**Figura 8-** Modelo de variação de densidade de venação da folha de *B. caapi* em função da média anual do déficit hídrico máximo acumulado – MCWD. Cada ponto representa uma planta e as cores identificam os locais, para abreviações de locais de coleta, consultar Figura 1.



**Figura 9-** Modelo de variação de densidade de vasos do xilema do caule de *B. caapi* em função da média anual do déficit hídrico máximo acumulado – MCWD. Cada ponto representa uma planta e as cores identificam os locais, para abreviações de locais de coleta, consultar Figura 1.

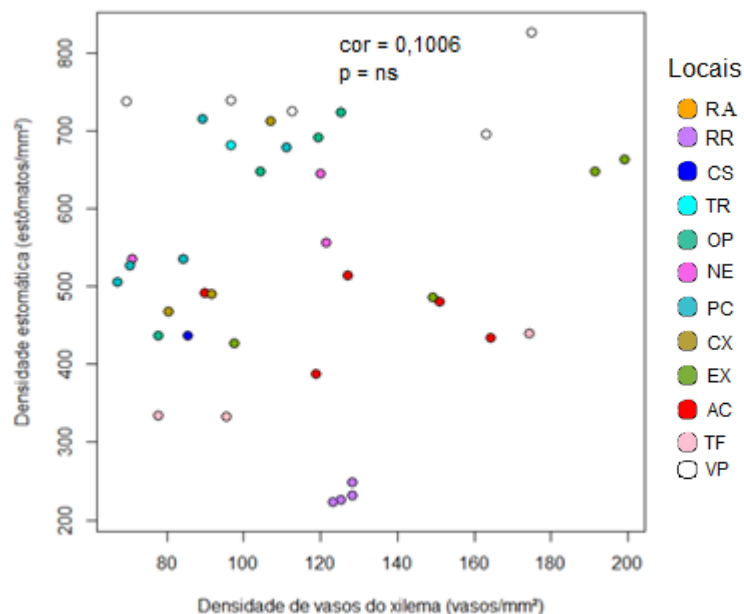




**Figura 10-** Modelo de variação da área média de vasos do caule de *B. caapi* em função da média anual do déficit hídrico máximo acumulado – MCWD. Cada ponto representa uma planta e as cores identificam os locais, para abreviações de locais de coleta, consultar Figura 1.

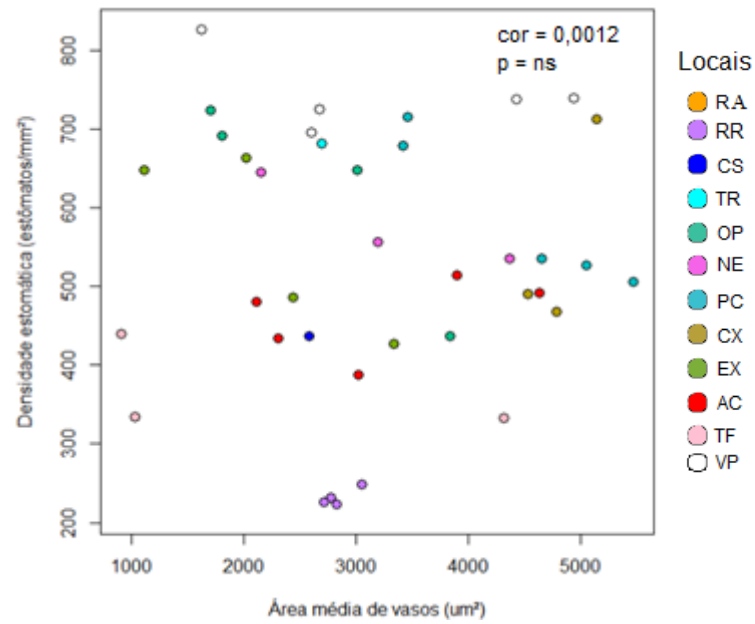
### 6.3 CORRELAÇÃO ENTRE CARACTERÍSTICAS ANATÔMICAS FOLIARES E DO CAULE

Nenhuma das correlações entre as características foliares e da madeira foram significativas ( $p > 0.5$ ; Figuras 11, 12, 13, 14 e 15).

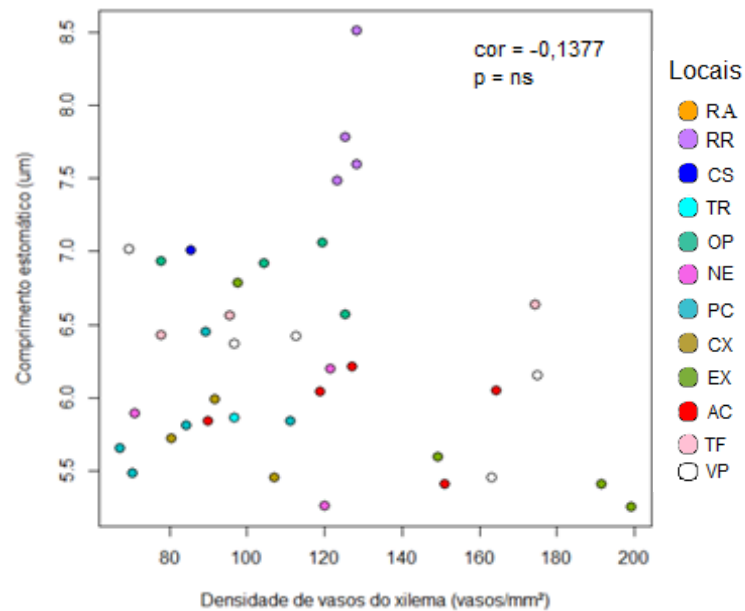


**Figura 11-** Correlação da densidade estomática das folhas de *B. caapi* em função da densidade de vasos do xilema do caule de *B. caapi*. Cada ponto representa uma planta e as cores identificam os locais, para abreviações de locais de coleta, consultar Figura 1.

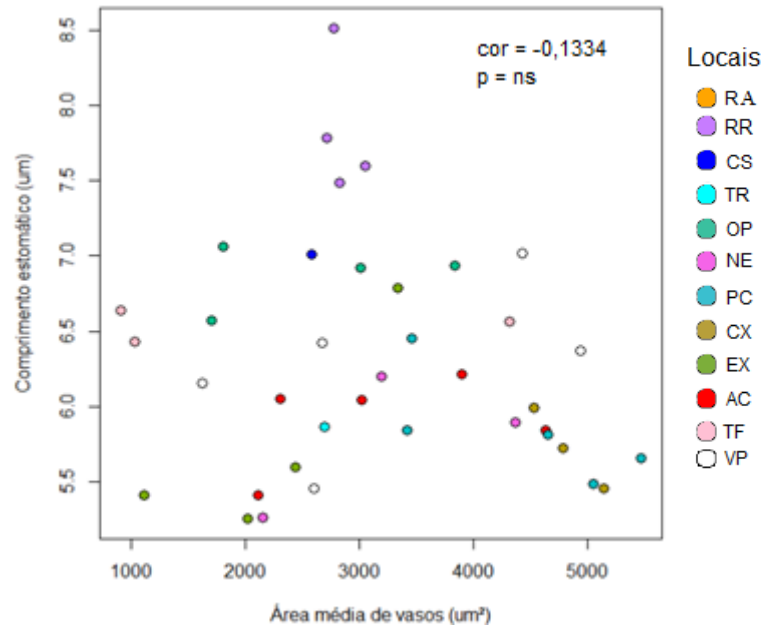




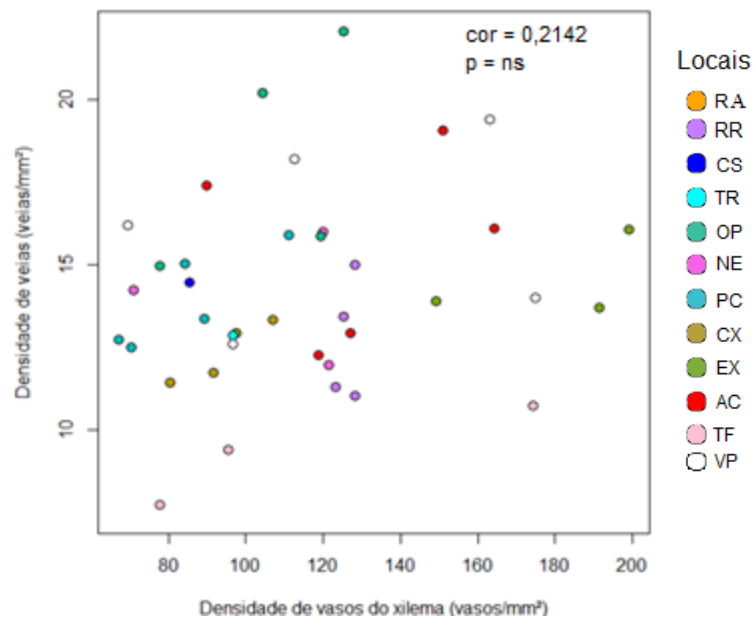
**Figura 12-** Correlação da densidade estomática das folhas de *B. caapi* em função da área média de vasos do xilema do caule de *B. caapi*. Cada ponto representa uma planta e as cores identificam os locais, para abreviações de locais de coleta, consultar Figura 1.



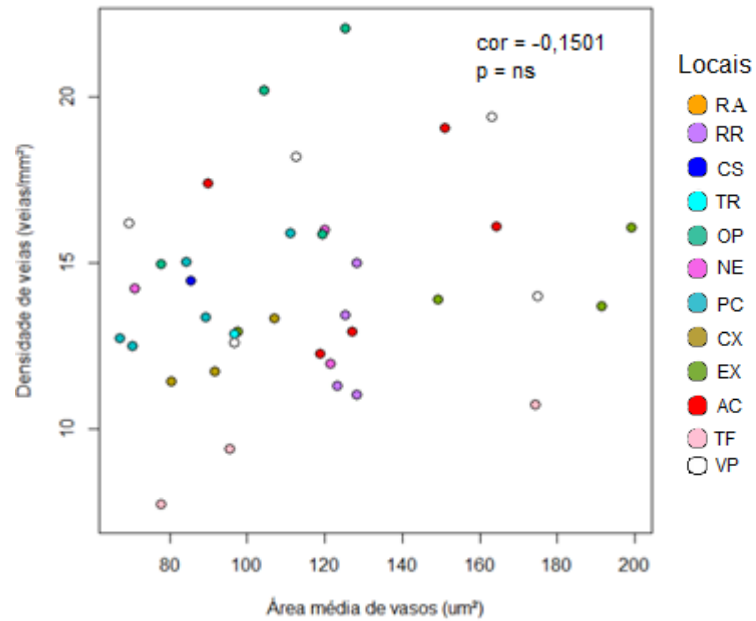
**Figura 13-** Correlação do comprimento estomático das folhas de *B. caapi* em função da densidade de vasos do xilema do caule de *B. caapi*. Cada ponto representa uma planta e as cores identificam os locais, para abreviações de locais de coleta, consultar Figura 1.



**Figura 14-** Correlação do comprimento estomático das folhas de *B. caapi* em função da área média de vasos do xilema do caule de *B. caapi*. Cada ponto representa uma planta e as cores identificam os locais, para abreviações de locais de coleta, consultar Figura 1.



**Figura 15-** Correlação da densidade de venação das folhas de *B. caapi* em função da densidade de vasos do xilema do caule de *B. caapi*. Cada ponto representa uma planta e as cores identificam os locais, para abreviações de locais de coleta, consultar Figura 1.



**Figura 16-** Correlação da densidade de venação das folhas de *B. caapi* em função da área média de vasos do xilema do caule de *B. caapi*. Cada ponto representa uma planta e as cores identificam os locais, para abreviações de locais de coleta, consultar Figura 1.

## 7 DISCUSSÃO

Através da caracterização das variáveis anatômicas foliares e da madeira de *B. caapi* foi possível observar uma grande variação de suas características ao longo das condições de disponibilidade hídrica analisada. Para as características foliares, as densidades estomática e de venação, variaram de forma mais significativa. No entanto, as características de madeira analisadas, apesar de apresentarem variação, não se relacionaram tão fortemente com a variável ambiental de precipitação.

Conforme esperado, à medida que o MCWD foi mais negativo ao longo da variação de disponibilidade hídrica, ou seja, com o aumento do déficit hídrico, as plantas aumentaram a densidade estomática (Figura 6). o mesmo foi observado por Boeger, *et al.* (2008), para *Miconia sellowiana* (DC.) que apresentou variação nas médias de densidade estomática, quando comparada entre ambientes com menor e maior níveis de precipitação, 1383.64 e 556.34 (estômatos/mm<sup>2</sup>), respectivamente. Por outro lado, apesar de o comprimento estomático não responder de maneira significativa as variações de disponibilidade hídrica (Figura 7) as plantas de *B. caapi* apresentaram uma clara compensação entre a densidade e o comprimento estomático (Figura 3; Figura A2). O aumento da densidade estomática aliada à diminuição do comprimento dos estômatos possibilita a melhoria da capacidade do controle de abertura e fechamento estomático, diminuindo a perda de água em relação à taxa de assimilação líquida

de CO<sub>2</sub>, favorecendo assim a eficiência no uso da água (LIMIN *et al.* 2007; XU; ZHOU 2008; BERTOLINO *et al.* 2019). Esta capacidade de ajustar destas estruturas anatômicas em condições de limitação hídrica também foram observadas em *Pseudoroegneria spicata* e *Leymus chinensis* ambas pertencente à família Poaceae, onde a relação de densidade estomática respondeu mais à variação no gradiente hídrico do que o comprimento (FRASER *et al.* 2009; LIMIN *et al.* 2007).

Nos locais que apresentaram MCWD mais negativo, maior déficit, os indivíduos de *B. caapi* apresentaram maior densidade de veias. O aumento da densidade de venação pode favorecer a eficiência no transporte de água dentro da folha, caracterizando uma importante estratégia para reduzir os possíveis riscos de perda da condutividade hídrica consequentes da seca (BOYCE *et al.* 2009; BRODRIBB *et al.* 2010). A variação da densidade de venação encontrada para *B. caapi* corrobora com o observado para o gênero *Helianthus* (Asteraceae) (MASON; DONOVAN, 2015), em que as plantas apresentaram maior densidade de venação em ambientes de aridez.

De forma contrária ao esperado, as características anatômicas da madeira (densidade e área média do xilema) não se relacionaram de maneira significativa com a variação da disponibilidade hídrica (Tabela 2; Figura 9; Figura 10), apresentando uma ampla variação da área média dos vasos do xilema (Tabela 1) Isto pode indicar que possivelmente existam outros fatores, que não foram observados aqui, que influenciam no ajuste da segurança e eficiência hidráulica da madeira desta espécie ao longo da variação de disponibilidade de água.

Foi interessante notar que conforme visto por Dos Santos Miranda (2013) e Miranda, (2020), *B. caapi* possui um dimorfismo de vasos, apresentando vasos grandes coocorrendo com vasos estreitos, conferindo assim uma maior amplitude de variação de diâmetro de vasos dentro do mesmo indivíduo. A eficiência no transporte hídrico pode ser especialmente favorecida nas lianas em qualquer ambiente pela amplitude de variação do diâmetro dos vasos do xilema (ROSELL; OLSON 2014; APGAUA *et al.* 2017), que parecem conferir ao mesmo tempo maior segurança na condutividade hidráulica (vasos finos) e maior fluxo de seiva (vasos grossos) em comparação com as árvores (EWERS 1985; GUTIÉRREZ *et al.* 2009; ICHIHASHI *et al.* 2017). Deste modo sugere-se aqui o desenvolvimento de estudos da amplitude de variação do diâmetro dos vasos do xilema, que pode ser responsável pela segurança hídrica nesta espécie.

A relação não significativa entre as características foliares e as características do caule (Figura 11; Figura 12; Figura 13; Figura 14; Figura 15; Figura 16), nos faz considerar que as estratégias de regulação hídrica das folhas não estão coordenadas com a madeira. Deste modo, conforme observado, para as características foliares esta espécie parece investir em ajustes em função da disponibilidade de água, mas por outro lado, investe em uma amplitude de variação do diâmetro dos vasos do xilema que pode favorecer segurança e eficiência no transporte hídrico em qualquer um dos locais amostrados.

O investimento em características que podem aumentar a eficiência no uso e transporte de água em diferentes condições de disponibilidade hídrica, em plantas de *B. caapi*, pode fazer com que o recurso água, não seja tão limitante para o seu crescimento na Amazônia ocidental. Além disso, a habilidade de regulação da eficiência do uso e transporte de água em lianas tem sido fator chave para explicar sua alta capacidade de estabelecimento em floresta sazonalmente secas (SCHNITZER 2005; LEDO; SCHNITZER 2014).

## 8 CONCLUSÃO

A variação de disponibilidade de água dos locais de coleta explicou de forma significativa a variação de características anatômicas foliares do cipó *Banisteriopsis caapi* na Amazônia ocidental, no entanto, não foi significativa para características anatômicas da madeira. Em ambientes com menor disponibilidade de água as plantas apresentaram características anatômicas foliares que favorecem eficiência no uso e no transporte deste recurso, como maior densidade de estômatos menores e maior densidade de veias. Já para as características anatômicas da madeira, foi possível notar a presença de vasos largos e pequenos em todos os ambientes podendo conferir uma maior amplitude de variação do diâmetro dos vasos do xilema que pode favorecer segurança e eficiência no transporte hídrico em qualquer um dos locais amostrados. Neste caso sugerimos o desenvolvimento de análises desta variação de amplitude de variação do diâmetro dos vasos do xilema para melhor entendimento das estratégias de regulação de transporte hídrico caulinar. A capacidade de *B. caapi* em variar suas características anatômicas foliar e da madeira em resposta as diferentes condições hídricas, pode ajudar a explicar a ampla ocorrência desta espécie ao longo de toda a Amazônia. O presente estudo colaborou para ampliar o conhecimento das características anatômicas foliares e da madeira da espécie de cipó *B. caapi*, além de auxiliar no entendimento de como a precipitação pode influenciar na variação destas características.

## 9 REFERÊNCIAS

ACKER, J.G.; LEPTOUKH, G. Online Analysis Enhances Use of NASA Earth Science Data. **Eos, Transactions American Geophysical Union**, 88(2): 14-17, 2007.

ANDRADE, Ramon Silveira de *et al.* Morphological and physiological variation in *Toona ciliata* under water and salinity stress. **Ciência Rural**, v. 50, 2020.

APGAUA, Deborah MG *et al.* Plant functional groups within a tropical forest exhibit different wood functional anatomy. **Functional Ecology**, v. 31, n. 3, p. 582-591, 2017.

ARAGÃO, L.E.; ANDERSON, L.O.; FONSECA, M.G.; ROSAN, T.M.; VEDOVATO, L.B.; WAGNER, F.H.; *et al.* Os incêndios relacionados à seca do século XXI neutralizam o declínio das emissões de carbono do desmatamento na Amazônia. **Nature communications**, 9(1): 1- 12, 2018.

BAAS, P., & CARLQUIST, S. A comparison of the ecological wood anatomy of the floras of southern California and Israel. In: **IAWA Bull.**, v. 6, n. 4, p. 349-353, 1985.

BAAS, P., & SCHWEINGRUBER, F. H. Ecological trends in the wood anatomy of trees, shrubs and climbers from Europe. In: **IAWA Bull.**, v. 8, n. 3, p. 245-274, 1987.

BAAS, P., WERKER, & E., FAHN, A. Some ecological trends in vessel characters. In: **IAWA Bull.**, v. 4, n. 2-3, p. 141-160, 1983.

BARAJAS-MORALES, J. Wood structural differences between trees of two tropical forests in Mexico. In: **IAWA Bull.**, v. 6, n. 4, p. 355-364, 1985.

BEZERRA, M.L. **Efeito da disponibilidade de recursos do ambiente na variabilidade intraespecífica do cipó *Banisteriopsis caapi***. 2020. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós Graduação em Ciências de Florestas Tropicais, INPA, Manaus, Amazonas.

BRUNIG, E. F. On the seasonality of droughts in the lowlands of Sarawak (Borneo) (Über das jahreszeitliche Auftreten von Dürren im Tiefland von Sarawak (Borneo)). **Erdkunde**, 127-133, 1969.

CAMARGO, M.A.B. **Características estomáticas em espécies arbóreas da Amazônia Central**. 2009. Dissertação de Mestrado, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia/Universidade Federal do Amazonas, Manaus.43 pp.

CAMPANELLO, P.I.; MANZANÉ, E.; VILLAGRA, M.; ZHANG, Y.J.; PANIZZA, A.M.; DI FRANCESCANTONIO, D.; *et al.* Carbon Allocation and Water Relations of Lianas Versus Trees. In: **Tropical Tree Physiology**, Springer, Cham, p. 103-124, 2016.

CARLQUIST, S., & HOEKMAN. Ecological wood anatomy of the woody southern Californian flora. In: **IAWA Bull.**, v. 6, n. 4, p. 319-347, 1985.

DOS SANTOS MIRANDA, Tatiana. **Water Relations of Lianas**. 2013. Tese de Doutorado. Universitätsbibliothek Tübingen.

EWERS, F. W.; ROSELL, J. A.; OLSON, M. E. Lianas as structural parasites. In: **Functional and ecological xylem anatomy**. Springer, Cham, p. 163-188, 2015.

EWERS, Frank W. Xylem structure and water conduction in conifer trees, dicot trees, and lianas. *IAWA journal*, v. 6, n. 4, p. 309-317, 1985.

FRANKLIN, G. L. Preparation of thin sections of synthetic resins and wood-resin composites, and a new macerating method for wood. **Nature**, v. 155, n. 3924, p. 51-51, 1945.

GUTIERREZ, Mario *et al.* Xylem conductivity and anatomical traits in diverse lianas and small tree species from a tropical forest of Southwest Mexico. **International Journal of Botany**, v. 5, n. 4, p. 279-286, 2009.

HETHERINGTON, A.M.; WOODWARD, F.I. The role of stomata in sensing and driving environmental change. In: **Nature**, 424: 901-908, 2003.

ICHIHASHI, Ryuji *et al.* Contribution of lianas to community-level canopy transpiration in a warm-temperate forest. **Functional Ecology**, v. 31, n. 9, p. 1690-1699, 2017.

JOLY, A. B. *Botânica: Uma Introdução a Taxonomia Vegetal*, 10<sup>o</sup>. 1991.

LAURANCE, W. F.; ANDRADE, A. S.; MAGRACH, A.; CAMARGO, J. L. C.; VALSKO, J. J.; CAMPBELL, M. Long-term changes in liana abundance and forest dynamics in undisturbed Amazonian forests. In: **Ecology**, 95:1604–1611, 2014.

LIMIN, Y.; MEI, H.; GUANGSHENG, Z.; JIANDONG, L. The changes in water-use efficiency and stoma density of *Leymus chinensis* along Northeast China Transect. In: **Acta ecologica sinica**, 27(1): 16-23, 2007.

LINDORF, H. Eco-anatomical wood features of species from a very dry tropical forest. In: **IAWA Journal**, v. 15, n. 4, p. 361-376, 1994.

MALHI, Y.; WRIGHT, J. Spatial patterns and recent trends in the climate of tropical rainforest regions. **Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences**, 359(1443): 311-329, 2004.

MARQUES, P. A., CALLADO, C. H., BARROS, C. F., & COSTA, C. G. Variação intraespecífica do lenho de *Eugenia uniflora* L. em duas diferentes fitofisionomias do complexo vegetacional atlântico. In: **Floresta e Ambiente**, 19(4), 483-496, 2012.

MCKENNA, D. J.; CALLAWAY, J. C.; GROBET, C. S. The Scientific Investigation of Ayahuasca: A Review of Past and Current Research. **The Heffter Review of Psychedelic Research**, 1: 65-73, 1998.

MIRANDA, Ordilena Ferreira de; ALMEIDA, Marcilio de; FOGLIO, Mary Ann. Avaliação da variação morfológica, anatômica e fitoquímica de *Banisteriopsis caapi* (Spruce ex Griseb.) Cv Morton e *Psychotria viridis* Ruiz & Pav em diferentes ambientes, teor de alcaloides e citotoxicidade do chá Ayahuasca. 2020.

NARANJO, P. Hallucinogenic plant use and related indigenous belief systems in the Ecuadorian Amazon. In: **Journal of Ethnopharmacology**, 1(2): 121-145, 1979.

PANDEY, S.; NAGAR, P. K. Patterns of leaf surface wetness in some important medicinal and aromatic plants of Western Himalaya. In: **Flora**, 198: 349-357, 2003.

PHILLIPS, O. L.; VÁSQUEZ MARTÍNEZ, R.; ARROYO, L.; BAKER, T. R.; KILLEEN, T.; LEWIS, S. L.; *et al.* Increasing dominance of large lianas in Amazonian forests. In: **Nature**, 418: 770–774, 2002.

RIVIER, L.; LINDGREN, J.E. “Ayahuasca,” the South American hallucinogenic drink: An ethnobotanical and chemical investigation. In: **Economic Botany**, 26(2): 101-129, 1972.

ROSELL, Julieta A.; OLSON, Mark E. Do lianas really have wide vessels? Vessel diameter–stem length scaling in non-self-supporting plants. **Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics**, v. 16, n. 6, p. 288-295, 2014.

ROSSATTO, D. R., HOFFMANN, W. A., & FRANCO, A. C. Características estomáticas de pares congêneros de cerrado e mata de galeria crescendo numa região transicional no Brasil Central. In: **Acta Botanica Brasilica**, 23(2), 499-508, 2009.

SACK, L. & SCOFFONI, C. Venação foliar: estrutura, função, desenvolvimento, evolução, ecologia e aplicações no passado, presente e futuro. In: **New phytologist**, 198 (4), 983-1000, 2013.

SOUZA, Vinicius Castro; LORENZI, Harri. Botânica sistemática: guia ilustrado para identificação das famílias de Angiospermas da flora brasileira, baseado em APG II. 2005.

SCHNITZER, S.A. A mechanistic explanation for global patterns of liana abundance and distribution. In: **The American Naturalist**, 166(2): 262-276, 2005.



UHL, D.; MOSBRUGGER, V. Leaf venation density as a climate and environmental proxy: a critical review and new data. In: **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, 149(1-4): 15-26, 1999.

VIVEK, P.; PARTHASARATHY, N. Liana community and functional trait analysis in tropical dry evergreen forest of India. In: **Journal of Plant Ecology**, 8: 501-512, 2014.

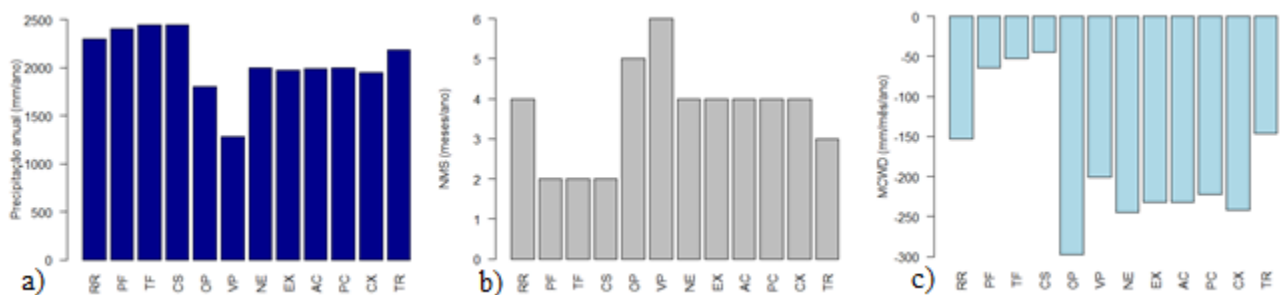
WANG, Xue-Lian *et al.* Vein density of angiosperms as a paleoclimate proxy: a case study using fossil leaves of *Zelkova* and *Machilus*. **Palaeoworld**, v. 25, n. 1, p. 60-66, 2016.

WANG, Y.-H.; SAMOYLENKO, V.; TEKWANIA, B. L.; KHANA, I. A.; MILLER, L. S.; CHAURASIYAA, N. D. Composition, standardization and chemical profiling of *Banisteriopsis caapi*, a plant for the treatment of neurodegenerative disorders relevant to Parkinson's disease. In: **Journal of Ethnopharmacology**, 128: 662-671, 2010.

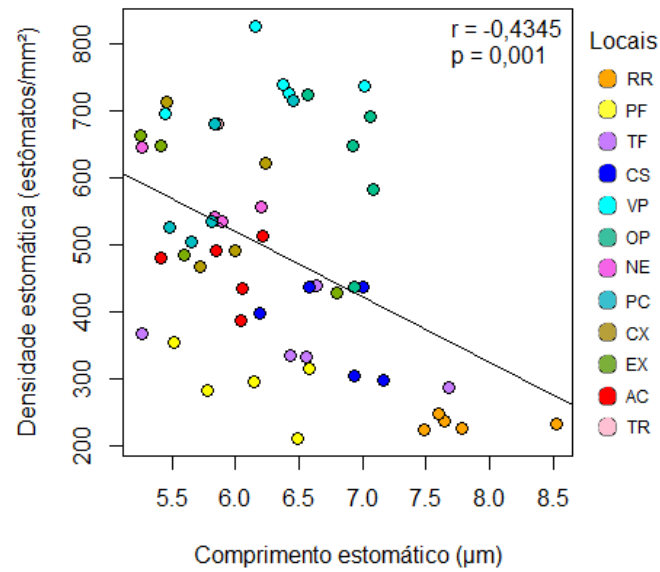
WRIGHT, S. J.; CALDERÓN, O.; HERNÁNDEZ, A.; PATON, S. Are lianas increasing in importance in tropical forests? A 17-year record from Panama. In: **Ecology**, 85(2):484-489, 2004.

YANG, H., & WANG, G. Leaf stomatal densities and distribution in *triticum aestivum* under drought and CO<sub>2</sub> enrichment. In: **Acta Phytocological Sinica**, 25(3), 312-316, 2001.

## 10 APÊNDICES



**Figura A1-** Médias das variáveis ambientais dos 12 locais de coleta no centro-oeste da Amazônia. a) Precipitação anual média de 22 anos; b) Média anual do número de meses secos consecutivos de 22 anos; c) Média anual do déficit hídrico máximo acumulado de 22 anos (MCWD). RR - São João da Baliza (Roraima); PF - Presidente Figueiredo (Amazonas); TF - Tefé (Amazonas); CS - Castanha (local de coleta próximo à Tefé - Amazonas); NE - Novo Encanto (local de coleta próximo à Lábrea - Amazonas); VP - Vale do Paraíso (Rondônia); OP - Ouro Preto do Oeste (Rondônia); EX - Extrema (Rondônia); AC - Acrelândia (Acre); PC - Plácido de Castro (Acre); CX - Capixaba (Acre); TR - Tarauacá (Acre).



**Figura A2-** Correlação entre densidade e comprimento estomático da folha de *B. caapi*. Cada ponto representa uma planta e as cores identificam os locais. RR - São João da Baliza (Roraima); PF – Presidente Figueiredo (Amazonas); TF – Tefé (Amazonas); CS – Castanha (local de coleta próximo à Tefé - Amazonas); NE – Novo Encanto (local de coleta próximo à Lábrea - Amazonas); VP – Vale do Paraíso (Rondônia); OP – Ouro Preto do Oeste (Rondônia); EX – Extrema (Rondônia); AC– Acrelândia (Acre); PC – Plácido de Castro (Acre); CX – Capixaba (Acre); TR – Tarauacá (Acre).