

**INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS DA AMAZÔNIA – INPA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRICULTURA NO  
TRÓPICO ÚMIDO**

**CRESCIMENTO E FENOLOGIA DE ESPÉCIES ARBÓREAS COM USO NÃO  
MADEIREIRO NA AMAZÔNIA CENTRAL**

**Mikael Martins de Souza**

Manaus, Amazonas

Janeiro, 2023

**Mikael Martins de Souza**

**CRESCIMENTO E FENOLOGIA DE ESPÉCIES ARBÓREAS COM USO NÃO  
MADEIREIRO NA AMAZÔNIA CENTRAL**

Orientador: Dr. Ricardo Antonio Marengo

Coorientador: Dr. Saul Alfredo Antezana-Vera

Dissertação apresentada ao Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia – INPA, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Agricultura no Trópico Úmido.

Manaus, Amazonas


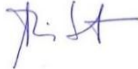

Janeiro, 2023

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRICULTURA NO TRÓPICO ÚMIDO**

**ATA DE DEFESA PÚBLICA DE DISSERTAÇÃO  
MESTRADO**

Ata da Defesa Pública de **MIKAEL MARTINS DE SOUZA**, ocorrido no dia 20/10/2022, via Google Meet.

Aos vinte dias de outubro de 2022, às 9h (horário de Manaus/AM), realizou-se a Defesa Pública de Dissertação de **MIKAEL MARTINS DE SOUZA**, aluno do Programa de Pós-Graduação *Stricto sensu* em Agricultura no Trópico Úmido, intitulada “Crescimento e fenologia de espécies arbóreas com uso não madeireiro na Amazônia Central”, sob a orientação do Dr. Ricardo Antonio Marengo (INPA), em conformidade com o Art. 52 do Regimento Geral da Pós-Graduação do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (MCTI/INPA) e Art. 60 do Regimento Interno do Programa de Pós-Graduação em Agricultura no Trópico Úmido, como parte das atividades para conclusão e obtenção do título de **Mestre em Agricultura no Trópico Úmido**. A **Banca Examinadora** foi constituída pelos seguintes membros: Luiz Antonio Cândido (INPA), Maria Astrid Rocha Liberato (UEA) e Marcelo Crestani Mota (FARON) e tendo como suplente o seguinte membro: Miguel Angelo Branco Camargo (INPA). O Presidente da Banca Examinadora deu início à Seção e informou os procedimentos do exame. O aluno fez uma exposição do seu estudo e ao término foi arguido oralmente pelos membros da Comissão. Após as arguições os membros da banca se reuniram para avaliação e chegaram ao seguinte parecer:

Nome	Parecer	Assinaturas
Luiz Antonio Candido	<input checked="" type="checkbox"/> Aprovou <input type="checkbox"/> Reprovou	
Maria Astrid Rocha Liberato	<input checked="" type="checkbox"/> Aprovou <input type="checkbox"/> Reprovou	
Marcelo Crestani Mota	<input checked="" type="checkbox"/> Aprovou <input type="checkbox"/> Reprovou	
<b>Menção:</b>	<input type="checkbox"/> “Com Distinção”	<input type="checkbox"/> “Com Distinção e Louvor”

Nada mais havendo a tratar, foi lavrada a presente Ata que, após lida e aprovada, foi assinada pela Coordenação:



**Ricardo Antonio Marengo**  
Orientador

**Rogério Eiji Hanada**  
Coordenador do PPG-ATU  
PO. N° 205/2016

## Catalogação na Publicação (CIP-Brasil)

---

S729a Souza, Mikael Martins de ▾  
Crescimento e fenologia de espécies arbóreas com uso não madeireiro na Amazônia Central /Mikael Martins de Souza; orientador Ricardo Antonio Marengo; coorientador Saul Alfredo Antezana-Vera. - Manaus:[s. 1.], 2023.

1.9 MB  
69 p. : il. color.

Dissertação (Mestrado - Programa de Pós-Graduação em Agricultura no Trópico Úmido – PPG-ATU) - Coordenação do Programa de Pós-Graduação, INPA, 2023.

1. Crescimento de espécies arbóreas. 2. fenologia de espécies arbóreas. I. Marengo, Ricardo Antonio . II. Antezana-Vera, Saul Alfredo. III.Título.

CDD 577.5508113|

---

**Sinopse:**

Estudou-se o efeito das variáveis climáticas e da fenologia no incremento em diâmetro do tronco de sete espécies florestais com uso não madeireiro na Amazônia Central (ZF-2). A sazonalidade climática tem efeito direto no incremento do tronco. A fenologia, não foi observada uma mudança foliar abrupta na maioria das espécies arbóreas, isto dificultou encontrar efeito significativo da fenologia no incremento em diâmetro. Dentre as características funcionais, o diâmetro da copa foi que mais favoreceu o crescimento radial do tronco. Os resultados do estudo possibilitam entender como as variáveis climáticas, fenologia e características funcionais influenciam no comportamento das espécies florestais.

**Palavras-chave:** Dinâmica florestal, Mudanças climáticas, Precipitação, Características funcionais

Dedico

as minhas duas mães Glacineia e Clara  
e aos meus irmãos Miguel e Melyssa Martins

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a toda minha família por todo apoio na minha educação;

A minha mãe com seus valores e amor me incentivou a sempre continuar em frente com meus objetivos. Agradeço também a minha vó, minha segunda mãe, por sempre cuidar de mim;

Aos meus irmãos Miguel e Mel por alegrarem a minha vida;

Aos meus melhores amigos e irmãos de coração Alessandra Rodrigues e Tales Alves;

Ao meu amor Melyssa Oliveira por seu companheirismo em cada momento, apoio emocional e por proporcionar tanta felicidade na minha vida;

Ao meu orientador Dr. Ricardo Marengo, por sua paciência, incentivo e excelente orientação na elaboração desta dissertação. Agradeço por compartilhar o seu grande conhecimento;

Ao meu coorientador Saul Antezana-Vera, pela dedicação ao me orientar e amizade;

Aos meus amigos do laboratório de ecofisiologia Valdir Ribeiro, Alan Souza e Luiz Pereira (vulgo Bruce) por incentivarem meu ingresso e contribuírem diversas vezes neste projeto durante estes 2 anos;

Ao Instituto Nacional de Pesquisa da Amazônia por possibilitar o desenvolvimento da minha carreira científica;

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Amazonas (FAPEAM) pelo apoio financeiro deste projeto;

Aos funcionários do INPA, Sr. Valzenir, Sr. Alberto e Sr. Elias;

Ao curso de Pós-graduação Agricultura no trópico úmido por contribuir no desenvolvimento deste projeto, em especial ao coordenador Dr. Rogério Hanada;

Meus sinceros agradecimentos a todos que contribuíram nesta etapa da dissertação.

**Obrigado.**

## RESUMO

Na floresta Amazônica, as relações antrópicas como o desmatamento e as queimadas diminuem a cobertura vegetal e promovem mudanças climáticas, emissões de CO<sub>2</sub> e perdas da biodiversidade. Estas mudanças levam a ocorrência de eventos extremos de seca e altas temperaturas, sendo a sazonalidade climática influenciadora direta no crescimento das espécies arbóreas e também na fenologia. O objetivo deste estudo foi avaliar o crescimento e as características funcionais das espécies arbóreas em resposta as variações microclimáticas, na Amazônia Central. A precipitação acumulada durante os quatro anos de estudo foi de 2.587,7 mm e o teor de água no solo (TAS) estabeleceu-se com 46,6 % com valores mínimos e máximos de 39,9 e 52,5% (v/v). A temperatura apresentou uma média de 25,5 °C, com mínima e máxima de (22,9 e 29,9 °C). A radiação solar (PAR) foi de 25,28 mol m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup> com mínima e máxima de (13,8 e 35,5 mol m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>). A média da evapotranspiração potencial com média de 115,8 mm mês<sup>-1</sup> e do déficit de pressão de vapor (DPV) foi de 6,92 hPa, já a umidade relativa média foi de 79,1% e mínima e máxima de (62,79 e 91,48%). As maiores árvores com maior incremento médio mensal em diâmetro do tronco (IMD) foram as espécies *L. micrantha*, *M. guyanensis* e *P. apiculatum* (0,21; 0,15 e 0,15 mm mês<sup>-1</sup>, respectivamente). Dentre as variáveis meteorológicas, a precipitação e o TAS influenciaram de maneira positiva o IMD de praticamente todas as espécies. O DPV foi a terceira variável mais influente nas espécies analisadas, principalmente em *T. sylvestre* cujos valores da média geral e média mínima e máxima foram significativos no IMD. Em relação à PAR houve influência somente em *L. micrantha* e *M. guyanensis*. A respeito das características funcionais, a densidade da madeira não influenciou significativamente no IMD das espécies. Foi observada uma relação significativa entre diâmetro da copa no crescimento do tronco. A respeito da fenologia, não foi observada mudança foliar severa na copa das árvores nas sete espécies estudadas, sendo assim, não houve efeito significativo da fenologia no IMD, com exceção de *P. guianensis* que foi a única espécie a apresentar copa com poucas folhas por mais tempo e foi encontrado menor incremento do tronco durante a época da seca.

## Growth and phenology of tree species with non-timber use in the Central Amazon

### ABSTRACT

In the Amazon rainforest, human relationships such as deforestation and fires reduce plant covering and promote climate change, CO<sub>2</sub> emissions and biodiversity loss. These changes lead to the occurrence of extreme drought and high temperature events, it is observed that climatic seasonality has a direct influence on tree growth on tree species and also phenology. This study aimed at evaluating the growth and functional features in response to microclimatic variations in Central Amazon. The precipitation accumulated during the four years of study had a mean of 2,587.7 mm and the soil water content (SWC) with a general mean of 46.6% and with minimum and maximum values of 39.9 and 52.5% (v/v). The temperature had a mean of 25.5 °C, with minimum and maximum of (22.9 and 29.9 °C). Solar radiation (PAR) was 25,28 mol m<sup>-2</sup> day<sup>-1</sup>, with minimum and maximum of (13.8 and 35.5 mol m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>). The mean of potential evapotranspiration was 115.8 and vapour pressure deficit (VPD) was 6.92 hPa, while the relative humidity had a mean of 79.1% and minimum and maximum of (62.79 and 91.48%). The largest trees with the highest mean monthly growth in diameter (MGD) were species *L. micrantha*, *M. guyanensis* and *P. apiculatum* (0.21, 0.15 and 0.15 mm month<sup>-1</sup>). Among the meteorological variables, rainfall and SWC positively influenced the MGD of practically all species and the VPD. The VPD was the third most influent variable in the species of this study, mainly in *T. sylvestre* whose values of the general mean and minimum and maximum mean were negatively affected. In relation to PAR, there was influence only on *L. micrantha* and *M. guyanensis*. Regarding the functional characteristics, the wood density did not significantly influence the species MGD. A significant relationship between of the crown radius and MGD. About phenology, no leaf change severe was observed in the canopy of the trees in the seven studied species, therefore, there was no significant effect of phenology on MGD, with the exception of *P. guianensis*, which was the only species to present a canopy with few leaves for a longer time and a smaller increment of the stem was found during the dry season.



## Sumário

<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>1</b>
<b>OBJETIVOS.....</b>	<b>4</b>
Objetivo geral.....	4
Objetivos específicos.....	4
<b>MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>5</b>
Área de estudo.....	5
Espécies de estudo.....	6
Variáveis meteorológicas.....	6
Umidade do solo.....	7
Fertilidade do solo.....	8
Incremento mensal em diâmetro do tronco.....	8
Densidade da madeira.....	8
Diâmetro da copa.....	9
Área foliar específica.....	9
Mudança foliar.....	10
Análise estatística.....	10
<b>RESUTADOS.....</b>	<b>14</b>
Variáveis microclimáticas.....	14
Incremento mensal em diâmetro do tronco.....	15
Incremento do diâmetro do tronco em relação ao microclima.....	17
Incremento do tronco e características funcionais.....	19
Incremento do tronco e fenologia.....	24
<b>DISCUSSÃO.....</b>	<b>26</b>
Incremento do diâmetro do tronco.....	26
Efeito da Precipitação e teor de água no solo sobre o IMD.....	27

Efeito da Radiação solar sobre o IMD .....	28
Efeito da temperatura sobre o IMD .....	29
Efeito do DPV e Evapotranspiração sobre o IMD .....	30
Incremento do tronco mensal e características funcionais .....	31
Fenologia e sua relação com o clima e incremento médio mensal .....	33
<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>35</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>36</b>
<b>APÊNDICE A.....</b>	<b>50</b>
<b>APÊNDICE B.....</b>	<b>52</b>
<b>APÊNDICE C.....</b>	<b>53</b>
<b>APÊNDICE D.....</b>	<b>55</b>
<b>APÊNDICE E.....</b>	<b>57</b>

## LISTA DE TABELAS

- Tabela 1.** Nomes das famílias seguido pelo nome científico, número de árvores (N) e o uso econômico para as sete espécies estudadas.....6
- Tabela 2.** Análise de variância repetida (ANOVA) observando o incremento mensal em diâmetro do tronco de 29 árvores das sete espécies estudadas durante os anos de 2018 a 2021 (48 meses). Cada espécie com no mínimo três. Os números significativos estão em negrito com ( $p \leq 0,05$ ), dados não transformados.....17
- Tabela 3.** Coeficiente beta e influência das variáveis microclimáticas no crescimento em diâmetro de 29 árvores com sete espécies. Análise feita utilizando método de regressão por componentes principais (PCR), nesta análise utilizou-se o crescimento desprovido da tendência temporal (IMD<sub>D</sub>). Mostra-se também os valores de ( $p \leq 0,05$ ) em negrito e o coeficiente de determinação ( $R^2$ ) da regressão (PCR) entre o IMD<sub>D</sub> e as variáveis climáticas.....19
- Tabela 4.** Média e desvio padrão das características das sete espécies estudadas. Espécies (Esp), altura (Alt), diâmetro a altura do peito (DAP), densidade da madeira (DM), diâmetro da copa (DC), área foliar (AF), área foliar específica (AFE), espessura da folha (EP) e incremento médio mensal em diâmetro (IMD).....20
- Tabela 5.** Correlação de Pearson entre características funcionais e incremento mensal em diâmetro (IMD), com a média geral de cada espécie. Os resultados significativos estão em negrito ( $p \leq 0,05$ ). O coeficiente de Pearson (r) e o valor de (p).....24
- Tabela 6.** Correlação de Pearson entre a média do código fenológico e o clima e incremento médio de 33 indivíduos de sete espécies. Os números em negrito apresentam significância ( $p \leq 0,05$ ). Coeficiente de Pearson (r) e valor de (p).....25

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Localização da área de estudo.....	5
<b>Figura 2.</b> Medição da altura e do diâmetro da copa.....	9
<b>Figura 3.</b> a) médias da umidade relativa (%): o- média, □- mínima e Δ- máxima; b) médias da evapotranspiração (EVT), “Δ”. Teor de água no solo (TAS), “o” e Radiação fotossinteticamente ativa- PAR ( $\text{mol m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ ) representada por “□”; c) médias da temperatura (°C) o- média, □- mínima e Δ- máxima; d) Déficit de pressão de vapor (DPV): o- média, □ - mínima e Δ máximas. Todos os gráficos correspondem a um período de 4 anos (2018-2021) .....	14
<b>Figura 4.</b> Boxplot da variação do $\text{IMD}_o$ ( $\text{mm mês}^{-1}$ ) dados não ajustados das sete espécies estudadas durante 48 meses (2018-2021) .....	15,16
<b>Figura 5.</b> Análise por componentes principais (PCA), correlação entre o clima e incremento do diâmetro do tronco médio das sete espécies (Tg.med) está como variável suplementar. O gráfico apresenta a média do clima representado pelas seguintes siglas: Déficit de pressão de vapor média, mínima e máxima (DPV med, DPV min e DPV max), Temperatura média, mínima e máxima (Tmed, Tmin e Tmax) e teor de água no solo (TAS).....	18
<b>Figura 6.</b> Variação da precipitação (em barra) e do $\text{IMD}$ (losango aberto) das sete espécies estudadas durante os 4 anos (48 meses) de coleta de dados.....	18
<b>Figura 7.</b> PCA das características funcionais e $\text{IMD}$ média (linha pontilhada em azul) está como variável suplementar. A média do $\text{IMD}_o$ ( $\text{mm mês}^{-1}$ ) de cada espécie está representada por uma linha pontilhada azul com as seguintes siglas: a) Média das sete espécies ( $\text{IMD}$ ); b) <i>B. parinarioides</i> (Bpar); c) <i>E. pedicellata</i> (Eped); d) <i>L. micrantha</i> (Lmic); e) <i>M. guyanensis</i> (Mguy); f) <i>P. guianensis</i> (Pgui); g) <i>P. apiculatum</i> (Papi) e h) <i>T. sylvestre</i> (Tsyl). As características funcionais estão representadas pelas seguintes siglas: área foliar (AF), área foliar específica (AFE), espessura da folha (EP), diâmetro da copa (DC), densidade da madeira (DM) e diâmetro a altura do peito (DAP).....	21
<b>Figura 8.</b> Relação entre a altura e diâmetro a altura do peito das sete espécies estudadas.....	22
<b>Figura 9.</b> Correlação de Pearson ( $p \leq 0,05$ ) entre: a) altura e densidade da madeira e b) DM entre $\text{IMD}$ das sete espécies do estudo.....	22

<b>Figura 10.</b> Correlação de Pearson ( $p \leq 0,05$ ) entre diâmetro da copa mensurada e IMD ( $\text{mm mês}^{-1}$ ) das sete espécies estudadas.....	23
<b>Figura 11.</b> Correlação de Pearson ( $p \leq 0,05$ ) das sete espécies estudadas entre: a) altura e área foliar específica; b) área foliar e diâmetro da copa.....	23
<b>Figura 12.</b> Média do incremento do diâmetro do tronco e código fenológico das sete espécies durante 24 meses (2020-2022). A mudança foliar é representada pelo código adaptado da metodologia de Alencar <i>et al.</i> (1979) .....	26

## INTRODUÇÃO

Os biomas brasileiros estão perdendo cobertura natural, passando de 5,9 milhões de Km<sup>2</sup>, em 2000, para 5,4 milhões de km<sup>2</sup>, em 2018, e a maior redução foi na floresta Amazônica (IBGE 2018). As espécies arbóreas na Amazônia, apresentam um vasto e dinâmico reservatório de carbono que vem sendo liberado para a atmosfera como consequência do desmatamento combinado com a mudança climática (Nepstad *et al.* 1999; Malhi *et al.* 2006; IPCC 2007; Nogueira *et al.* 2008). Segundo INPE/PRODES no período de agosto de 2017 a julho de 2018 foram desmatados cerca de 7.536 km<sup>2</sup>, este resultado indica um aumento de 8,5% em relação a 2017. A perda da cobertura da floresta, tem causado desequilíbrio na biodiversidade, ciclagem de água, nas emissões de CO<sub>2</sub> e outros gases do efeito estufa (Fearnside 2006; IPCC 2013; Marengo e Souza Júnior 2018). Como consequência das relações antrópicas, modelos ecossistêmicos vêm mostrando aumento na intensidade e frequência de eventos climáticos extremos, com aumento na temperatura pela concentração de CO<sub>2</sub> atmosférico, distribuição sazonal e interanual da precipitação (Malhi e Wright 2004; Malhi *et al.* 2009; Bonal *et al.* 2016).

Em florestas tropicais o regime chuvoso e a duração da estação seca influenciam o crescimento diamétrico das árvores, podendo limitar a capacidade dessas florestas em fixar o carbono (Malhi *et al.* 2009; Phillips *et al.* 2009; Wagner *et al.* 2014). Estudos têm mostrado que o crescimento das árvores em florestas tropicais está significativamente correlacionado com variações no volume de precipitação, radiação solar, nível de umidade do ar e disponibilidade de água no solo (Vieira *et al.* 2004; Higuchi *et al.* 2011; Wagner *et al.* 2014; Camargo e Marengo 2017; Slot e Winter 2017; Vilanova *et al.* 2018). A sazonalidade climática tem papel importante nos eventos fenológicos que tendem a ser sazonais, quer sejam florestas úmidas ou secas (Janzen 1967; Fournier-Origg 1976). A fenologia tem sido associada com a precipitação, a umidade do solo e ao status hídrico da planta (Borchert *et al.* 2005; Valdez-Hernandez *et al.* 2010; Lopezaraiza-Mikel *et al.* 2013).

O entendimento das principais características funcionais, torna-se uma importante ferramenta na elucidação dos padrões de crescimento (Rüger *et al.* 2011; Uriarte *et al.* 2016; Powell *et al.* 2018; Aguirre-Gutiérrez *et al.* 2019). A densidade da madeira tende a correlacionar-se negativamente com o incremento, as áreas com pouca biomassa florestal estão associadas a árvores com baixa densidade (Iida *et al.* 2012, 2014; Phillips *et al.* 2019). Espécies com baixa densidade tem alta capacidade de armazenamento de água nos tecidos, a densidade pode também influenciar

no comportamento fenológico, como por exemplo em espécies arbóreas com baixa densidade a floração é dependente do fotoperíodo e independente da precipitação, porém em espécies de alta densidade da madeira, é observado que a floração é dependente da precipitação (Lima e Rodal 2010; Seghieri *et al.* 2012; Oliveira *et al.* 2015). Da mesma forma, as características foliares, são essenciais para o estabelecimento das plantas, pois além do principal órgão fotossintético é também responsável pelo sequestro de carbono em escala de comunidade (Poorter *et al.* 2009; Wright *et al.* 2010; Van der Sande *et al.* 2016). Assim, a relação entre fenologia e fatores ambientais, e o entendimento das relações entre os diferentes traços funcionais das plantas é igualmente relevante para explicar e prever padrões fenológicos (Holbrook 1995; Borchert 1994; Wright *et al.* 2004).

A interação entre as espécies com os fatores ambientais torna-se importante na dinâmica florestal, uma vez que, dentro de uma mesma população local, as árvores competem por recursos limitantes, e conseqüentemente as taxas interanuais de crescimento são diferentes (Silvertown 2004). A partir desta observação, pode ser notada também a ocorrência de uma competição assimétrica quando árvores com maiores dimensões têm influência negativa no crescimento de plantas com menores alturas (Weiner 1990). A ocorrência de um padrão determinante na distribuição espacial, devida a criação de zonas com alta e baixa aglomeração de indivíduos, tendem a influenciar na taxa de crescimento individual, já que zonas com alta aglomeração apresentam maior competitividade e estabelecem poucos efeitos positivos no crescimento individual das espécies arbóreas (Fortunel *et al.* 2016; Kunstler *et al.* 2016; Wiegand *et al.* 2017; Looney *et al.* 2018).

A diversidade de espécies, tem alta importância econômica e ecológica, desta maneira é fundamental entender a influência das variáveis microclimáticas no crescimento das espécies arbóreas em seu ambiente, em florestas tropicais a temperatura influencia diretamente no crescimento arbóreo, assim, este efeito pode interferir no sequestro do carbono (Silva 2003; Feeley *et al.* 2007; Antezana-Vera e Marengo 2021). A interação entre espécies e as características funcionais das árvores, podem ser utilizadas como ferramenta integral na modelagem do crescimento. Sem o conhecimento dessas informações, é difícil compreender os reais efeitos das características funcionais e climáticas que influenciam o crescimento em uma floresta natural de terra firme. Diante disto, estudos voltados a análise da dinâmica do crescimento das espécies arbóreas são essenciais, pois esclarecem a influência das mudanças climáticas no comportamento das florestas tropicais. Para essa finalidade, foram selecionadas sete espécies arbóreas com 33 indivíduos em uma floresta primária, sendo estas que desempenham um papel no desenvolvimento

econômico e cultural nas regiões de abrangência, em função das suas diversas aplicabilidades. Dessa forma, este trabalho tem como objetivo avaliar o crescimento diamétrico em resposta as variações microclimáticas e das características funcionais.



## **OBJETIVOS**

### **Objetivo geral**

Analisar a influência das variações microclimáticas e da fenologia no crescimento e ecofisiologia de espécies arbóreas, em uma floresta primária de terra firme, na Amazônia Central.

### **Objetivos específicos**

1. Identificar as variáveis microclimáticas mais influentes no incremento mensal em diâmetro.
2. Avaliar se a sazonalidade da precipitação influencia no incremento do diâmetro mensal das árvores.
3. Investigar se o incremento mensal em diâmetro é relacionado com a fenologia.
4. Determinar quais são as características funcionais com maior influência no incremento mensal em diâmetro.

## MATERIAL E MÉTODOS

### Área de estudo

O estudo foi realizado na Estação Experimental da Floresta Tropical/ZF2, (Reserva do Cuieiras), localizada a cerca de 60 km ao norte de Manaus (02°36'21" S, 60°08'11" W) (Figura 1). A área de estudo é uma floresta primária situada na Amazônia central, com elevação entre 100 a 120 m acima do nível do mar (Camargo 2018).

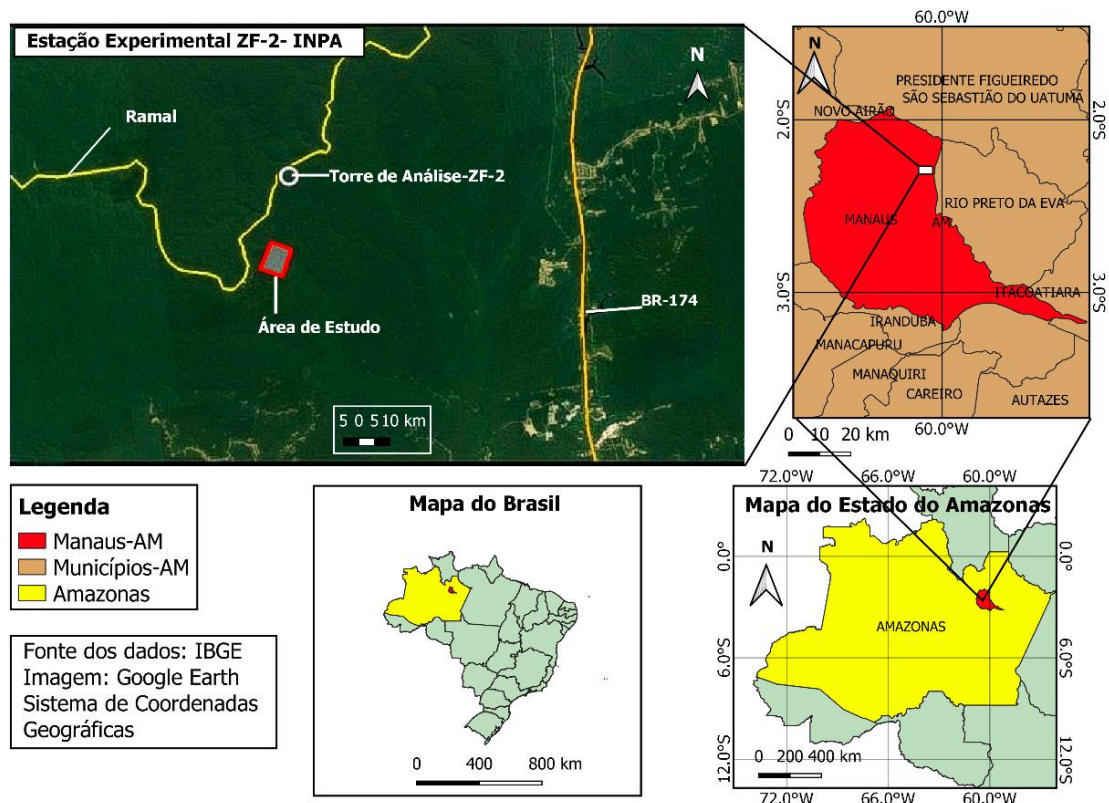


Figura 1. Localização da área de estudo

O relevo da área de estudo é um platô com vegetação densa de terra firme, a precipitação anual é a cerca de 2400 mm, cuja estação se limita a duas épocas (seca e chuvosa). A estação seca moderada ( $\leq 100$  mm por mês) ocorre entre os meses de junho a setembro, já estação chuvosa inicia no mês de novembro e termina em maio, sendo o mês de outubro considerado um intermédio entre estas duas estações. A evapotranspiração potencial é de aproximadamente de  $1300 \text{ mm ano}^{-1}$ . A temperatura média é de  $26^\circ\text{C}$ . A média máxima de irradiância é cerca  $1000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ . Em relação a umidade relativa (UR) a variação é de 70% ao meio-dia a 100% pela noite (Dias e Marengo 2016; Camargo 2018; Antezana-Vera e Marengo 2021). O solo da região é um latossolo amarelo com textura argilosa (areia 11%, silte 15% e argila 74%) e baixa fertilidade (em  $\text{mg kg}^{-1}$ ): Mehlich – P

= 0,84; K = 29; Ca = 13 e Mg = 14, com pH ácido que varia entre 3,9 a 4,0 (Magalhães *et al.* 2014). A floresta possui árvores, cujo dossel pode alcançar mais de 30 m de altura. Na região, o índice de área foliar das espécies arbóreas varia entre 4,5 e 5,7 (McWilliam *et al.* 1993; Malhi *et al.* 1998; Magalhães *et al.* 2014).

## Espécies de estudo

O presente estudo selecionou sete espécies arbóreas totalizando 29 indivíduos para mensuração do incremento do tronco, além de mais quatro indivíduos para observação da fenologia (Tabela 1). A razão da seleção destas espécies deve-se a abundância de indivíduos na área e pela importância econômica na agricultura que cada espécie apresenta em seu uso múltiplo para a região Amazônica. Com o objetivo de obter uma análise estatística representativa, as espécies selecionadas possuem no mínimo quatro indivíduos por espécie.

**Tabela 1.** Nomes das famílias seguido pelo nome científico, número de árvores (N) e o uso econômico para as sete espécies estudadas.

Família	Espécie	N	Uso
Moraceae	<i>Brosimum parinarioides</i> Ducke	4	Medicinal e alimentício <sup>1,2,3</sup>
Lecythidaceae	<i>Eschweilera pedicellata</i> (Rich.) S.A.Mori	5	Madeireiro e bioinseticida <sup>4,5,6</sup>
Sapotaceae	<i>Micropholis guyanensis</i> (A.DC.) Pierre	4	Madeireiro e alimentício <sup>7,8</sup>
Chrysobalanaceae	<i>Licania micrantha</i> Miq.	4	Madeireiro e alimentício <sup>11,12</sup>
Sapotaceae	<i>Pouteria guianensis</i> Aubl.	4	Alimentício <sup>13,14</sup>
Burseraceae	<i>Protium apiculatum</i> Swart	4	Madeireiro, cosmético e medicinal <sup>15,16</sup>
Malvaceae	<i>Theobroma sylvestre</i> Aubl. Ex Mart.	8	Alimentício <sup>14</sup>

<sup>1</sup>Castro 2006; <sup>2</sup>Galuppo 2004; <sup>3</sup>Mattietto *et al.* 2009; <sup>4</sup>Malcher 2014; <sup>5</sup>Oliveira *et al.* 2012; <sup>6</sup>Araújo 2008; <sup>7</sup>Souza e Alves-Araújo 2017; <sup>8</sup>Ross e Rangel 2011; <sup>9</sup>Roumy *et al.* 2007; <sup>10</sup>Corrêa 1984; <sup>11</sup>Rios e Pastore Junior 2011; <sup>12</sup>Monteiro 2007; <sup>13</sup>Kinupp e Lorenzi 2014; <sup>14</sup>Lima e Pirani 2005; <sup>15</sup>Martão 2013.

## Variáveis meteorológicas

Na Torre C14 da Estação Experimental de Silvicultura Tropical (ZF2), a 40 m de altura, foi instalada uma estação meteorológica. A temperatura e umidade do ar foram mensuradas usando um sensor termohigrômetro (Humitter 50y, Ou Vaisala, Finland). Os sensores foram conectados a um data logger (LI-1400, Li-Cor, Lincoln, NE, USA), e as coletas dos dados realizadas durante o dia inteiro a cada 30 min diariamente. A Radiação Fotossinteticamente Ativa (PAR) foi mensurada com

um sensor quântico (Li-190SA, Li-Cor, NE, USA), configurado para registrar diariamente dados a cada 15 min (coleta dos dados entre as 05:30 h e 18:30 h). Os dados da PAR foram integrados ao longo do tempo para se obterem valores diários ( $\text{mol m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ ). Um segundo sensor térmico adicional foi instalado (Thermo Recorder TR-52, T&D Corporation, Japan) na altura do dossel da floresta (35 metros), para medir e registrar as temperaturas diárias da copa das árvores. Os dados de precipitação acumulada foram coletados diariamente, utilizando um pluviômetro (Em5b, Decagon, WA, USA). Foi instalado um pluviômetro convencional com uma área de ( $162,86 \text{ cm}^2$ ) para a coleta da precipitação acumulada mensal.

A estimativa da evapotranspiração de referência ( $E_{to}$ ,  $\text{mm dia}^{-1}$ ) utilizou dados da irradiância e temperatura coletados do conforme a metodologia de (Hargreaves e Samani 1982,1985) (Equação 1):

$$E_{T_o} = 0,0023 \times R_a (T_{\text{med}} + 17,8) (T_{\text{max}} - T_{\text{min}})^{0,5} \quad (\text{Eq.1})$$

Sendo, (0,0023)  $a$  um parâmetro constante,  $T$  corresponde a temperatura em ( $^{\circ}\text{C}$ ),  $R_a$  a radiação extraterrestre expressa em unidades de evaporação ( $\text{mm d}^{-1}$ ).

O Déficit de Pressão de Vapor (DPV hPa) da área de estudo foi calculado também a partir das variáveis climáticas coletadas pelos sensores. O DPV foi obtido pela Equação de Buck (1981), sendo a pressão de saturação do vapor ( $e_s$ ) determinada a partir da Equação 2:

$$e_s \text{ (hPa)} = 10 \times 0,613 \exp\left(\frac{17,502 * T}{T+240,97}\right) \quad (\text{Eq.2})$$

Em que,  $T$  é a temperatura em graus Celsius ( $^{\circ}\text{C}$ );

Assim, o DPV foi obtido pela diferença entre:  $e_s - e_a$ . A pressão parcial de vapor ( $e_a$ ) foi obtida pela Equação 3:

$$e_a = RH * e_s / 100 \quad (\text{Eq.3})$$

## Umidade do solo

O teor de água do solo foi monitorado quinzenalmente, a partir das amostragens coletadas na camada superficial do solo, entre 0 a 10 cm de profundidade, durante os quatro anos do experimento. O método de coleta é por cilindros volumétricos, com volume de  $113,10 \text{ cm}^3$  (20 amostras por quinzena). As amostras não perturbadas de solo foram pesadas e secas em estufa

(105°C) até atingir massa constante de acordo com a metodologia da (Embrapa 2011). O teor de água no solo em porcentagem é calculado pela Equação 4:

$$\text{teor de água no solo } v/v = \left( \frac{\text{volume solo úmido} - \text{volume solo seco}}{\text{volume do cilindro (cm}^3\text{)}} \right) \times 10 \quad (\text{Eq.4})$$

### **Fertilidade do solo**

As amostras do solo foram coletadas com auxílio de um trado holandês das camadas 0-10 e 10-20 cm de profundidade (20 amostras) de maneira aleatória na área de estudo. Em seguida, as amostras foram secadas a temperatura ambiente até atingir massa constante. Logo após, o solo foi desagregado e a matéria orgânica foi separada por uma peneira de 2 mm de diâmetro. O pH do solo foi obtido por medição eletroquímica da concentração de H<sup>+</sup> na solução do solo a partir de um eletrodo utilizando tanto água quanto KCl. A granulometria foi realizada pelo método da dispersão mecânica e separação das frações por peneiramento e sedimentação. O nitrogênio foi determinado pelo método de Kjeldahl, enquanto K, Ca e Mg e micronutrientes foram determinados por espectrofotometria de absorção atômica (Jenway 6105 UV/VIS). A concentração de fósforo foi extraído pela solução de Mehlich 1 (HCl 0,05 mol L<sup>-1</sup> + H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,0125 mol L<sup>-1</sup>).

### **Incremento mensal em diâmetro do tronco**

O incremento mensal em diâmetro (IMD) foi mensurado em 29 árvores de sete espécies distintas. As medidas foram realizadas durante quatro anos (entre janeiro de 2018 a dezembro de 2021) utilizando uma fita de aço inoxidável (fita dendrométrica) no tronco das árvores. As fitas dendrométricas foram instaladas 10 anos antes do experimento em diâmetro a altura do peito de 1,3 m do solo. O IMD foi mensurado com um paquímetro digital com precisão de 0,01 mm (Mitutoyo Sul Americana, São Paulo, Brasil). As árvores utilizadas contemplaram indivíduos com diâmetro altura do peito DAP ≥ 10 cm. O IMD foi calculado com a diferença entre duas medições sucessivas.

### **Densidade da madeira**

As amostras da densidade da madeira (g cm<sup>-3</sup>) foram determinadas pela relação entre a massa seca e o volume fresco. As amostras de densidade da madeira (g cm<sup>-3</sup>) de cada árvore, foram obtidas do tronco com auxílio de um trado de incremento medindo 5,15 mm de diâmetro (Haglöf, Suécia). Após a coleta, as amostras foram inseridas em tubos hermeticamente fechados e colocados em sacos plásticos selados. Cada amostra foi pesada em uma balança eletrônica (Shinko, Japão) com precisão de 0,0001 g. A secagem da amostra foi a 80°C, até atingir massa constante.

## Diâmetro da copa

O diâmetro da copa foi obtido a partir da direção (leste, oeste, norte, sul), com auxílio de uma fita métrica (trena), o raio da copa foi adquirido pela distância pela projeção do fuste e a projeção da copa da árvore. As alturas de todas as árvores foram medidas com o auxílio de uma fita métrica (um escalador foi necessário para esta medição) conforme a (Figura 2).

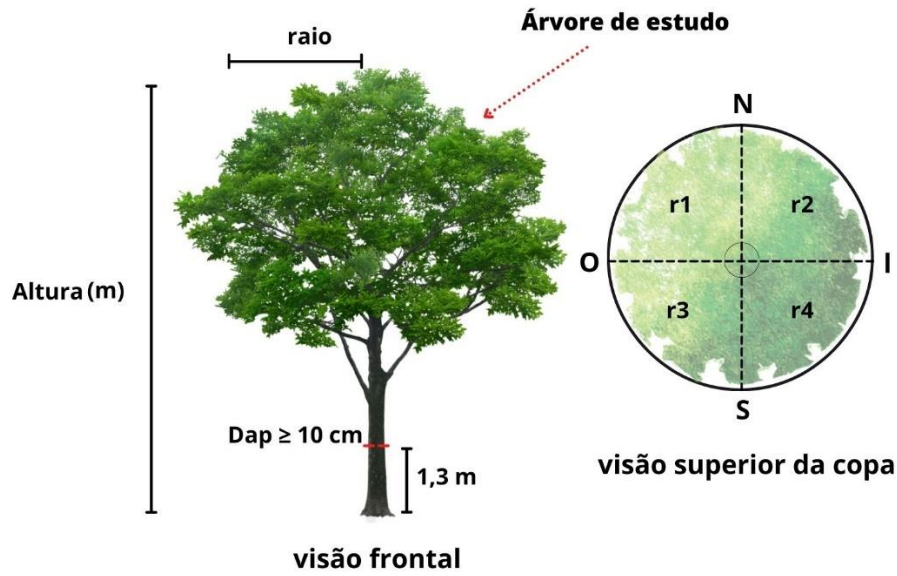


Figura 2. Medição da altura e do diâmetro da copa

## Área foliar específica

As folhas foram coletadas de cada árvore, com auxílio de um escalador e um podão. Para obtenção e mensuração da área foliar AF (cm<sup>2</sup>) (tamanho da folha) e a área foliar específica AFE (cm<sup>2</sup> g<sup>-1</sup>), foi utilizado um medidor de área foliar (LI-COR LI-3000; Licor Inc., Lincon, Nebraska, US). A coleta do material vegetal foi realizada em todos os indivíduos de cada espécie, considerando-se 15 a 20 folhas totalmente expandidas com bom aspecto fitossanitário, as quais, foram armazenadas em sacos de papel e levadas para estufa de ventilação forçada (72°C) por três dias. Posteriormente, foram pesadas em balança analítica após a secagem. A AFE foi obtida pela razão entre área foliar e a massa seca (Equação 5).

$$AFE \text{ (cm}^2\text{g}^{-1}\text{)} = \frac{\text{Área foliar (cm}^2\text{)}}{\text{Massa seca (g)}} \quad (\text{Eq.5})$$

## Fenologia (Mudança foliar)

A fenofase (folhas) das espécies arbóreas é mensurada a partir da observação mensal com binóculos. A metodologia da análise fenológica é uma adaptação do estudo de Alencar *et al.* (1979), sendo assim, a classificação da copa das árvores durante o experimento consiste em seis tipos (Quadro 1).

**Quadro 1.** Código fenológico da mudança foliar da copa das árvores adaptação da metodologia de Alencar *et al.* (1979).

Classificação fenológica	Código
Sem folhas	0
Copa com poucas folhas e somente velhas	1
Copa cheia e com folhas novas aparecendo	2
Copa cheia e somente folhas novas	3
Copa cheia e somente com folhas velhas	4
Copa com poucas folhas e somente novas	5

## Análise estatística

Para avaliar a variação entre espécies, bem como a variação entre as características funcionais das espécies foi aplicada a análise da ANOVA repetida. O delineamento é inteiramente casualizado com sete tratamentos (espécies) e no mínimo quatro repetições. Em relação às características funcionais, também foi realizada ao nível de espécie, dado as diferenças comportamentais. Antes de serem realizadas, os valores das variáveis foram padronizados, pela fórmula ( $z = (x - \mu) / \sigma$ ), onde  $x$  é o valor de medição,  $\mu$  é a média aritmética e  $\sigma$  é o desvio padrão, isto é particularmente recomendado quando as variáveis são medidas em diferentes escalas. As análises estatísticas e a elaboração dos gráficos foram realizadas utilizando o software R (R Development Core Team 2020 versão 3.6.3).

O efeito das mudanças das variáveis microclimáticas no crescimento das árvores foi analisado utilizando regressão por componentes principais (Montgomery *et al.* 2012). Nestas análises, o efeito do tempo no incremento em diâmetro foi removido (Antezana-Vera e Marengo 2021). Dessa forma, o crescimento da árvore associado à variabilidade climática ( $IMD_D$ ,

crescimento sem tendência foi obtido pela diferença entre e o crescimento observado ( $IMD_o$ ) e o crescimento ajustado por equação de regressão ( $IMD_r$ , análise de regressão) (Equação 6).

$$IMD_D = IMD_o - IMD_r \quad (\text{Eq.6})$$

Para a regressão dos componentes principais (PCR) foi utilizado o valor do IMD, no qual remove a tendência temporal de cada indivíduo. Como critério de seleção de escolha dos componentes principais (PC's) para a regressão, foi utilizado o método de Jolliffe (2002) que tem como base eliminar os PC's sequencialmente, a eliminação dos componentes para a regressão inicia pelo décimo até encontrar o primeiro PC significativo. Um modelo de regressão linear múltipla (MLR) pode ser representado por Montgomery *et al.* (2012) (Equação 7).

$$y_i = \beta_o + \beta_1 x_{i1} + \beta_2 x_{i2} + \dots + \beta_k x_{ik} + \epsilon_i \quad (\text{Eq.7})$$

Na equação sete,  $y_i$  denota a variável dependente,  $x_i$  o regressor,  $\beta_o$  o intercepto,  $\beta_j$  a inclinação da linha de regressão,  $0$  e  $\epsilon$  o termo de erro, sendo  $\beta_o$  dado pela (Equação 8).

$$\beta_o = \bar{y} - \beta_1 \bar{x}_1 - \beta_2 \bar{x}_2 - \dots - \beta_k \bar{x}_k \quad (\text{Eq.8})$$

Para regressores padronizados, com média  $\bar{x}_j$  e desvio padrão  $s_j$ ,  $y_i$  e  $\beta_o$  tornam-se:

$$y_i = \beta_o + \beta_1 [(x_{i1} - \bar{x}_1)/s_1] + \beta_2 [(x_{i2} - \bar{x}_2)/s_2] + \dots + \beta_k [(x_{ik} - \bar{x}_k)/s_k] + \epsilon_i \quad (\text{Eq.9})$$

$$\beta_o = \beta_{so} - \beta_{s1}(\bar{x}_1/s_1) - \beta_{s2}(\bar{x}_2/s_2) - \dots - \beta_{sk}(\bar{x}_k/s_k) \quad (\text{Eq.10})$$

Os coeficientes obtidos a partir dos regressores padronizados (doravante denotados pelos sobrescritos) podem ser transformados de volta para as unidades originais do regressor, como segue nas (Equações 11 e 12).

$$b_o = b_o^s - \frac{\bar{x}_j(b_j^s)}{s_j} \quad (\text{Eq.11})$$

$$b_j = \frac{b_j^s}{s_j} \quad (\text{Eq.12})$$

Da mesma forma, a variância de  $b_{sj}$  e o erro padrão (SE) de  $b_{sj}$  podem ser transformados de volta aos coeficientes originais (Equações 13 e 14).

$$\text{var}(b_j) = \text{var} \left[ \frac{b_j^s}{s_j} \right] = \frac{\text{var}(b_j^s)}{s_j^2} \quad (\text{Eq.13}) \quad \text{SE}(b_j) = \sqrt{\left[ \frac{\text{var}(b_j^s)}{s_j^2} \right]} = \frac{\text{SE}(b_j^s)}{s_j} \quad (\text{Eq.14})$$

Na notação de matriz, tem-se a representação dada pela (Equação 15).

$$\mathbf{Y} = \mathbf{X} \boldsymbol{\beta} + \boldsymbol{\epsilon} \quad (\text{Eq.15})$$



Na equação 15,  $Y$  representa as observações do vetor (variável dependente),  $X$  a matriz dos regressores correspondentes,  $\beta$  o vetor dos coeficientes e  $\epsilon$  o vetor de termos de erro aleatório. As equações normais da regressão linear são fornecidas na (Equação 16), enquanto as estimativas de  $\beta$  (frequentemente denominado  $\hat{\beta}$ , e doravante denotado por  $b$ ) são fornecidas pela (Equação 17).

$$\mathbf{X}'\mathbf{X}\mathbf{b} = \mathbf{X}'\mathbf{Y} \quad (\text{Eq.16})$$

$$\mathbf{b} = (\mathbf{X}'\mathbf{X})^{-1} \mathbf{X}'\mathbf{Y} \quad (\text{Eq.17})$$

A soma do quadrado (SS) do modelo (Equação 18), SS da regressão (Equação 19), SS do residual (Equação 20) e a matriz de covariância de  $b$  (Equação 21) são dados por:

$$\text{SS do modelo} = \mathbf{b}'\mathbf{X}'\mathbf{Y} \quad (\text{Eq.18})$$

$$\text{SS da regressão} = \mathbf{b}'\mathbf{X}'\mathbf{Y} - (\sum y^2)/n \quad (\text{Eq.19})$$

$$\text{SS do resíduo} = (\mathbf{Y}'\mathbf{Y}) - (\mathbf{b}'\mathbf{X}'\mathbf{Y}) - (\sum y^2)/n \quad (\text{Eq.20})$$

$$\text{A variância-covariância de } \mathbf{b} = \text{var}(\mathbf{b}) = (\mathbf{X}'\mathbf{X})^{-1} \sigma^2 \quad (\text{Eq.21})$$

Sendo o erro do quadrado médio ( $\text{MSE} = s^2$ ) um estimador de  $\sigma^2$ ,  $\text{SE} = \sqrt{(\text{MSE})}$ . Quando os regressores são altamente correlacionados, os componentes principais podem ser usados para transformar esses regressores em um novo conjunto de variáveis não correlacionadas (variáveis ortogonais entre si). Em termos de regressores padronizados, o (regresso de componentes principais) PCR pode ser calculado da seguinte forma (Montgomery *et al.* 2012):

$$\mathbf{Y} = \mathbf{Z}\mathbf{a} + \epsilon \quad (\text{Eq.22})$$

$$\mathbf{a} = \mathbf{T}'\mathbf{b} \quad (\text{Eq.25})$$

$$\mathbf{Z} = \mathbf{X}\mathbf{T} \quad (\text{Eq.23})$$

$$\mathbf{T}'\mathbf{X}'\mathbf{X}\mathbf{T} = \mathbf{Z}'\mathbf{Z} = \mathbf{\Lambda} \quad (\text{Eq.26})$$

$$\mathbf{Z} = [z_1, z_2 \dots z_u] \quad (\text{Eq.24})$$

Na (Equação 23),  $T$  é uma matriz cujas colunas representam eigenvetores (derivados de dados  $X$ ), enquanto na (Equação 24), as colunas de  $Z$  representam um novo conjunto de vetores ortogonais (ou seja, os vetores  $z$ ), que são denominadas componentes principais (Montgomery *et al.* 2012). Os coeficientes  $\hat{\alpha}$  (Equação 27) e a covariância de  $\hat{\alpha}$  (Equação 28) são dados por:

$$\hat{\alpha} = (\mathbf{Z}'\mathbf{Z})^{-1} \mathbf{Z}'\mathbf{Y} = \mathbf{\Lambda}^{-1} \mathbf{Z}'\mathbf{Y} \quad (\text{Eq.27})$$

$$\text{var}(\hat{\alpha}) = \sigma^2 (\mathbf{Z}'\mathbf{Z})^{-1} = \sigma^2 \mathbf{\Lambda}^{-1} \quad (\text{Eq.28})$$

$$\text{Para regressores padronizados: } \mathbf{b} = \mathbf{T}\hat{\alpha} \quad (\text{Eq.29})$$

$$\text{Depois, } \text{var}(\mathbf{b}) = \text{var}(\mathbf{T}\hat{\alpha}) = \mathbf{T}\mathbf{\Lambda}^{-1}\mathbf{T}'\sigma^2 \quad (\text{Eq.30})$$

Os regressores padronizados,  $\mathbf{b}_{pc}$  são dados pela equação 31, enquanto a variância e o erro padrão (SE) de  $\mathbf{b}_{pc}$  são dados pela (Eq. 32) e (Eq. 33), respectivamente. Na equação 31, o “pc” indica que os componentes principais correspondentes aos autovalores próximos de zero foram removidos da análise.

$$\mathbf{b}_{pc} = \mathbf{T}\hat{\boldsymbol{\alpha}}_{pc} = \sum_{j=1}^u \frac{t_j' \mathbf{X}' \mathbf{y} t_j}{\lambda_j} \quad (\text{Eq. 31})$$

$$\text{var}(\mathbf{b}_{j,pc}) = \sigma^2 \times \sum_{j=1}^u \frac{t_{im}^2}{\lambda_m} \quad (\text{Eq.32})$$

Para regressores padronizados (média menos desvio dividido pelo desvio), o SE ( $b_{j,pc}$ ) pode ser obtido conforme mostrado na equação 33.

$$\text{SE}(\mathbf{b}_{j,pc}) = \sqrt{\text{var}(\mathbf{b}_{j,pc})} \quad (\text{Eq.33})$$

A etapa descrita na equação 31 é importante obter um novo conjunto de coeficientes, após remover o menor  $\lambda_i$ . Esta é uma etapa crucial na regressão do componente principal. A segunda parte da equação 31 mostra o cálculo. Observe que  $\mathbf{Z} = \mathbf{X}\mathbf{T}$ , então  $\mathbf{Z}' = \mathbf{T}'\mathbf{X}'$  e  $\mathbf{I} - \mathbf{1}\mathbf{Z}'\mathbf{Y} = \hat{\boldsymbol{\alpha}}$  (equação 27). Pode-se notar que na equação 33, a erro padrão [ $\text{SE}(b_{pc})$ ] dos regressores padronizados corresponde a raiz quadrada da variância de  $\mathbf{b}_{j,pc}$ . A significância do estimador de componentes principais ( $\mathbf{b}_{pc}$ ) pode ser testada em coeficientes individuais usando a estatística  $t_{n-k-1}$ , onde k representa o número de componentes principais no modelo reduzido, conforme descrito na equação 34.

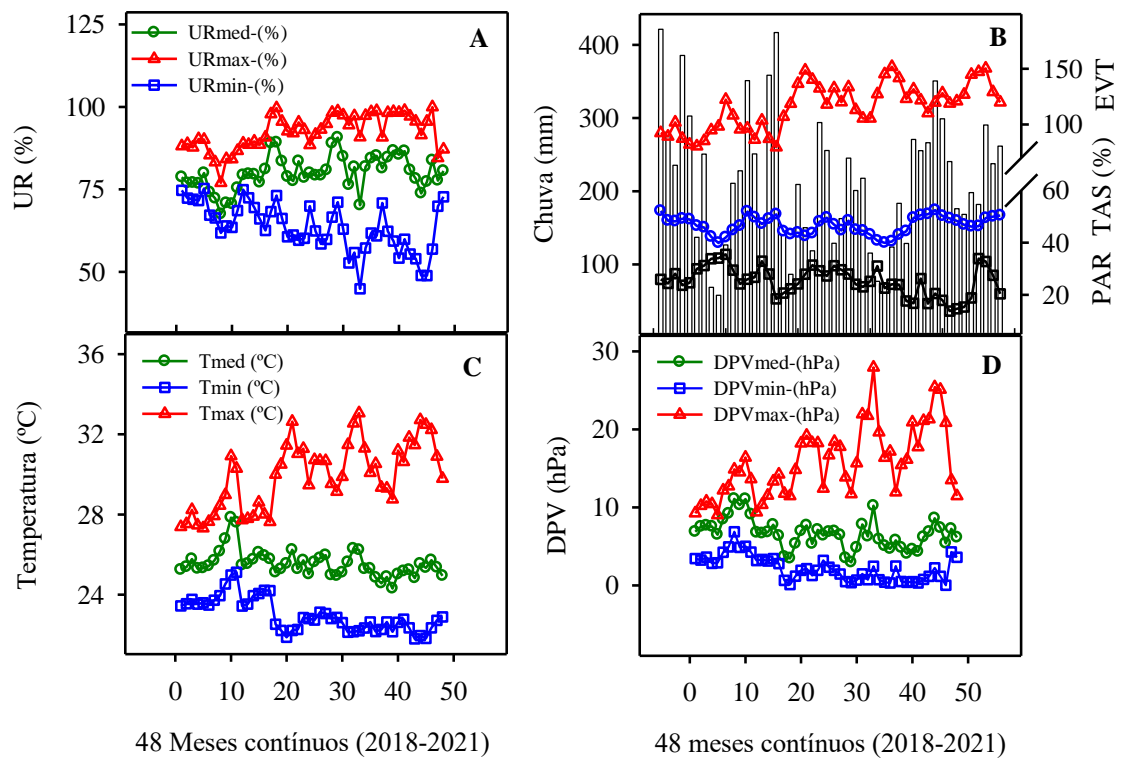
$$t = \frac{b_{j,pc}}{\text{SE}(b_{j,pc})} \quad (34)$$

A análise por componentes principais (PCA) foi realizada com a finalidade de entender a relação entre o efeito do microclima e das características funcionais com o incremento do tronco. No PCA, o  $\text{IMD}_D$  foi incluído como variável suplementar. Foi utilizada a correlação de Pearson entre as características funcionais e o IMD das árvores.

## RESULTADOS

### Variáveis microclimáticas

A coleta de dados do microclima da área de estudo corresponde ao período entre janeiro de 2018 a dezembro de 2021 (quatro anos) (mais detalhes no apêndice A). A média da precipitação para o período de estudo foi de 2.587,7 mm, sendo o ano de 2020 o menos chuvoso com 1930,5 mm e 2021 o mais chuvoso com 2926,5 mm (Figura 3). O teor de água no solo (TAS) teve uma média geral de 46,60% (v/v). A temperatura teve uma média mensal geral de 25,5 °C, a temperatura média mínima (Tmin) foi de 22,9 °C, já temperatura média máxima (Tmax) é de 29,9 °C. A radiação fotossinteticamente ativa (PAR) teve uma média geral mensal de 25,28 mol m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>, com mínima de 13,8 mol m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup> e máxima de 35,5 mol m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>. A média do déficit de pressão de vapor (DVPmed) foi de 6,92 hPa. A evapotranspiração de referência (EVT) teve uma média geral de 115,82 mm mês<sup>-1</sup>. As médias das mínimas e máximas da umidade relativa (UR) estabeleceram-se entre 62,79 a 91,48% e média geral mensal de 79,06 % (Figura 3). A porcentagem nas análises granulométricas para as camadas de profundidade de 0-10 e 10-20 cm (argila 79,82%, areia 11,16 % e silte 9%) e (argila 77%, areia 9,48 % e silte 13,48%) respectivamente. Os macronutrientes e micronutrientes mais detalhes nos apêndices (E e F).

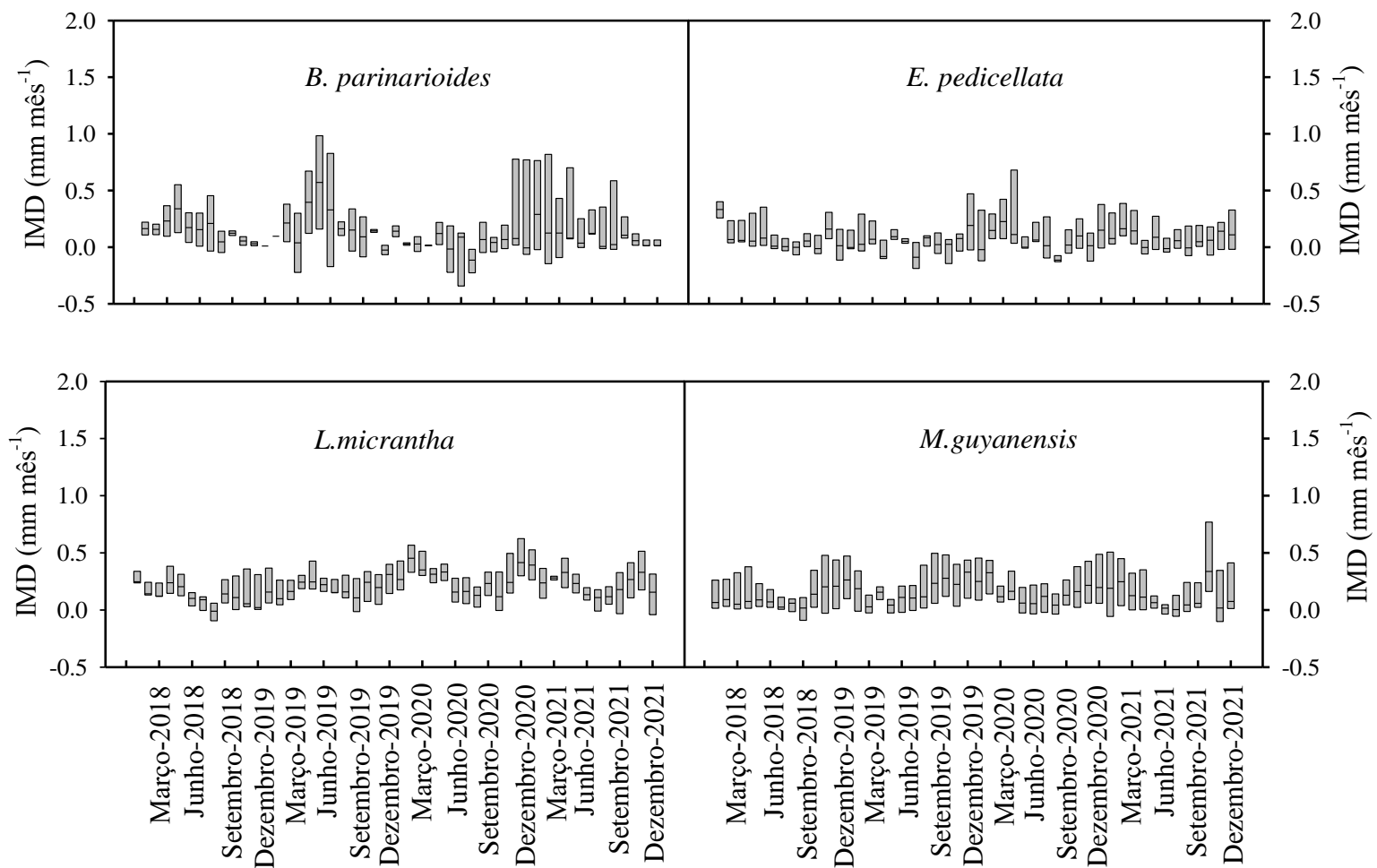


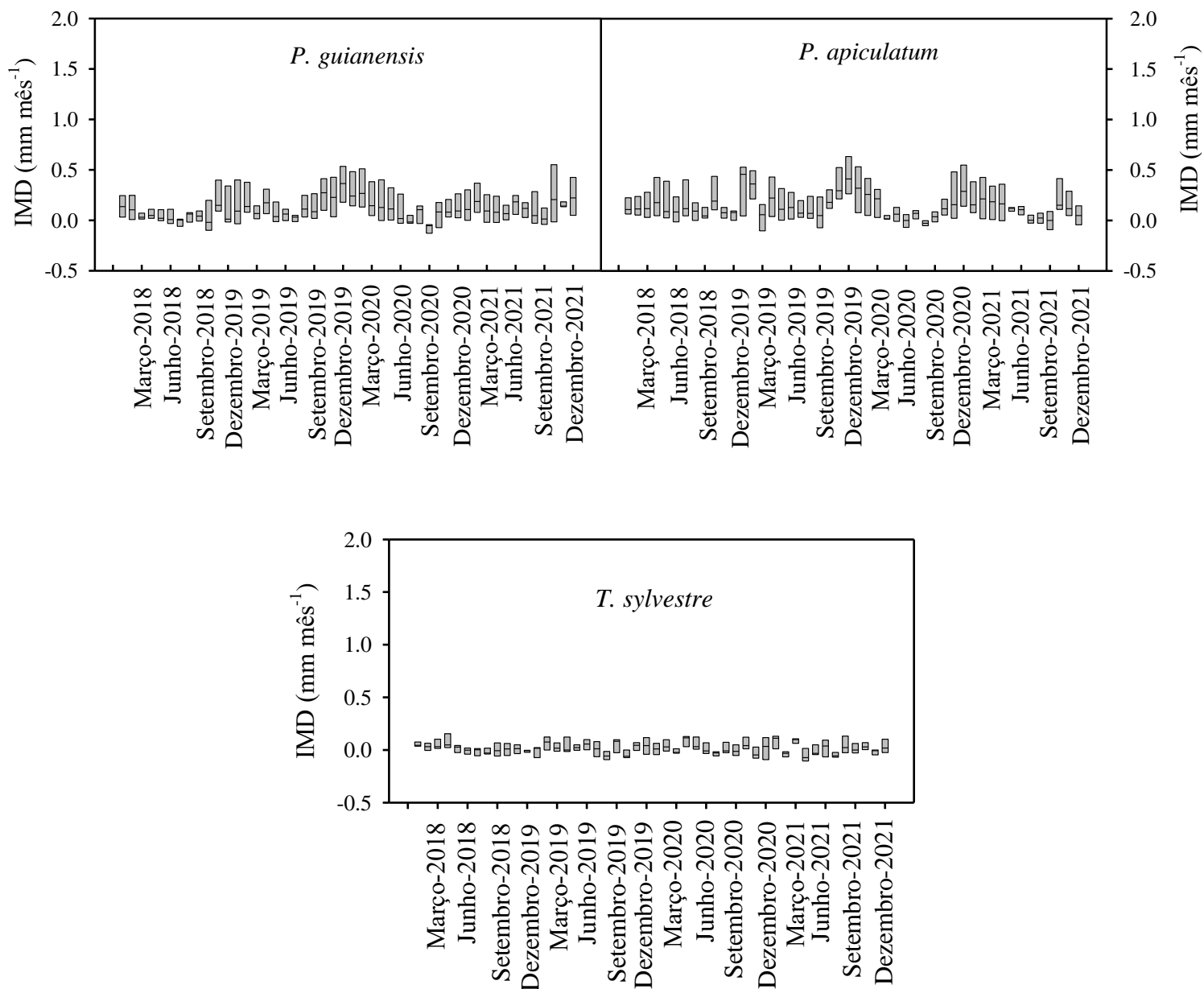
**Figura 3.** A) médias da umidade relativa (%): ○- média, □- mínima e △- máxima; b) médias da evapotranspiração (EVT em mm mês<sup>-1</sup>), “△”. Teor de água no solo (TAS), “○” e Radiação fotossinteticamente ativa- PAR (mol m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>) representada por “□”; c) médias da temperatura (°C) ○- média, □- mínima e △- máxima; d) Déficit de pressão de

vapor (DPV): o-média, □-mínimas, △-máximas. A Precipitação em (mm/mês). Os gráficos correspondem a um período de 4 anos (2018-2021).

### Incremento mensal em diâmetro do tronco

Em relação as análises do incremento mensal do tronco foram analisadas 29 árvores de sete espécies por quatro anos, a média geral foi de  $0,12 \text{ mm mês}^{-1}$  (Tabela 4). As maiores médias são das espécies *L. micrantha* ( $0,22 \text{ mm mês}^{-1}$ ) e *M. guyanensis* ( $0,16 \text{ mm mês}^{-1}$ ), já as menores são das espécies *E. pedicellata* e *T. sylvestre* ( $0,10$  e  $0,02 \text{ mm mês}^{-1}$ , respectivamente). A variação ao longo dos meses está detalhada na (Tabela do apêndice C).





**Figura 4.** Boxplot da variação do  $IMD_0$  ( $\text{mm mês}^{-1}$ ) dados não ajustados das sete espécies estudadas durante 48 meses (2018-2021).

Observou-se diferença no  $IMD$  ( $\text{mm mês}^{-1}$ ) das espécies em relação aos anos. Em relação aos meses, devida a variação climática o incremento do tronco diferiu. Ao comparar o  $IMD$  entre as espécies também houve diferença significativa ( $p = 0,045$ ).

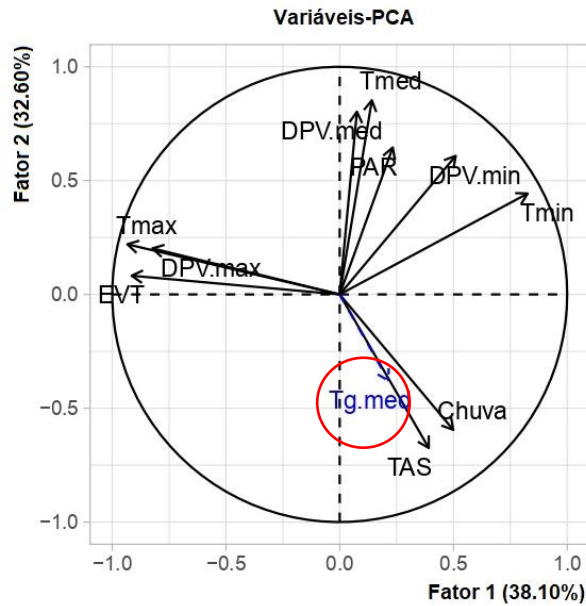
**Tabela 2.** Análise de variância repetida (ANOVA) observando o incremento mensal em diâmetro do tronco de 29 árvores das sete espécies estudadas durante os anos de 2018 a 2021 (48 meses). Cada espécie com no mínimo três indivíduos por espécie. Os números significativos estão em negrito com ( $p \leq 0,05$ ), é também apresentado valor de  $p$  ( $p_{adj}$ ) após correção de Greenhouse-Geisser devido ao afastamento da esfericidade. Os dados foram transformados para  $[\text{Log}_{10}(x+1)]$  antes de serem submetidos ao ANOVA.

	Grau de liberdade	Quadrado Médio	Valor (F)	Valor ( $p$ )	$p_{adj}$
Espécies (E)	6	0,120208	2,62185	<b>0,045</b>	-
Erro	22	0,045849			-
<b>Anos (A)</b>	3	0,012900	2,67539	0,054	0,062
(A) × (E)	18	0,008451	1,75261	0,053	0,061
Erro	66	0,004822			-
<b>Meses (M)</b>	11	0,031012	20,97113	< <b>0,001</b>	< 0,001
(M) × (E)	66	0,003463	2,34152	< <b>0,001</b>	0,002
Erro	242	0,001479			
(A) × (M)	33	0,005647	3,37051	< <b>0,001</b>	0,002
(A) × (M) × (E)	198	0,002745	1,63839	< <b>0,001</b>	0,015
Erro	726	0,001675			

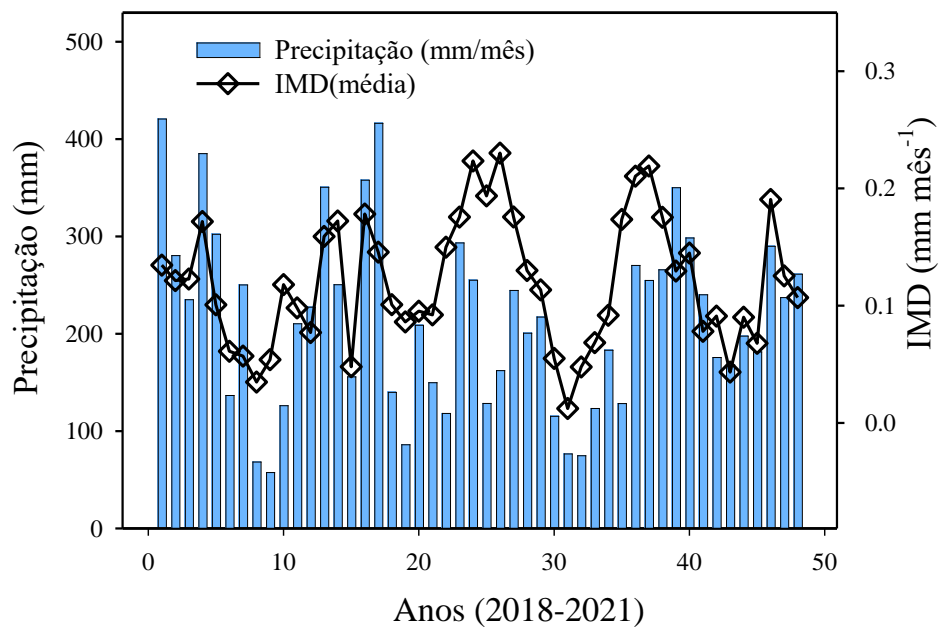
A média geral da altura das sete espécies foi de 22,3 m e a média do DAP é de 21,8 cm. A espécie com maior altura foi *B. parinarioides* (28,5 m), enquanto que *T. sylvestre* foi a que atingiu a menor altura 15,9 m. Em relação ao DAP, a *P. guianensis* teve maior média (34,9 cm) e *T. sylvestre* alcançou o menor DAP (10,8 cm) (Tabela 4).

### **Incremento do diâmetro do tronco em relação ao microclima**

Uma análise exploratória foi realizada procedendo-se a investigação por componentes principais (PCA), foram utilizadas 10 variáveis climáticas, cujo os fatores um e dois encontram-se representados no gráfico de correlação (Figura 5). É observada uma relação positiva da precipitação e do teor de água no solo (TAS) em relação ao IMD da média (análise conjunta das sete espécies). As variáveis climáticas com relação inversa ao IMD (média) são a temperatura (média e máxima), o déficit de pressão de vapor (média e máxima) e a radiação fotossinteticamente ativa (PAR), sendo estas relações estudadas com mais detalhes no PCR. É possível observar no PCA do IMD média, que a evapotranspiração e as temperaturas (médias mínima e máxima) têm pouca relação. A análise mais detalhada das variáveis climáticas em relação ao IMD de cada espécie está detalhada no apêndice D. Na (Figura 6) é observado que após o período de seca o IMD aumenta bastante nos primeiros meses que a precipitação começa a aumentar.



**Figura 5.** Análise por componentes principais (PCA), correlação entre o clima e o incremento de crescimento do tronco (médio) das sete espécies (Tg.med) está como variável suplementar. O gráfico apresenta as variáveis climáticas com dados padronizados representados pelas seguintes siglas: Déficit de pressão de vapor média, mínima e máxima (DPV med, DPV min e DPV max), Temperatura média, mínima e máxima (Tmed, Tmin e Tmax) e teor de água no solo (TAS).



**Figura 6.** Variação da precipitação (em barra) e do IMD (losango aberto) das sete espécies estudadas durante os quatro anos (48 meses) de coleta de dados.

A análise do PCR mostrou que a precipitação e o teor de água do solo são as variáveis com maior influência no IMD das espécies (Tabela 3). Em relação a temperatura, a média dos valores

mínimos e máximos não foram significativos no IMD ( $\text{mm mês}^{-1}$ ). Em relação a radiação (PAR) houve influência somente em *L. micrantha* e *M. guyanensis*, estas duas espécies também são as mais influenciadas pelas variáveis climáticas. O DPV foi a terceira variável mais influente nas espécies do estudo, principalmente em *T. sylvestre* cujo DPV média geral e média mínima e máxima foram significativos.

**Tabela 3.** Coeficiente beta e influência das variáveis microclimáticas no crescimento em diâmetro de 29 árvores com sete espécies. Análise feita utilizando método de regressão por componentes principais (PCR), nesta análise utilizou-se o crescimento desprovido da tendência temporal ( $\text{IMD}_D$ ). Mostra-se também os valores de ( $p \leq 0,05$ ) em negrito e o coeficiente de determinação ( $R^2$ ) da regressão (PCR) entre o  $\text{IMD}_D$  e as variáveis climáticas.

Espécies	Bpar		Eped		Lmic		Mguy		Pgui		Papi		Tsyl		Média	
$R^2$	0,13		0,17		0,14		0,22		0,12		0,23		0,26		0,24	
Varclima	Beta	<i>p</i>	Beta	<i>p</i>	Beta	<i>p</i>	Beta	<i>p</i>	Beta	<i>P</i>	Beta	<i>p</i>	Beta	<i>p</i>	Beta	<i>p</i>
PAR	-0,006	0,07	0,010	0,20	-0,006	<b>0,02</b>	0,018	<b>0,02</b>	-0,004	0,06	0,012	0,18	0,006	0,06	0,005	0,25
Tmin	-0,001	0,86	0,004	0,21	-0,004	0,23	0,003	0,32	-0,001	0,59	0,008	0,06	0,002	0,13	0,002	0,26
Tmed	-0,008	<b>0,04</b>	0,008	0,18	-0,008	<b>0,01</b>	0,010	0,07	-0,006	<b>0,04</b>	0,008	0,21	0,002	0,36	0,002	0,59
Tmax	-0,007	0,08	0,005	0,20	-0,003	0,34	0,007	0,09	-0,004	0,18	0,002	0,69	-0,001	0,67	0,001	0,82
Preci	0,009	<b>0,01</b>	<b>0,022</b>	<b>0,01</b>	0,006	<b>0,02</b>	0,021	<b>0,01</b>	0,005	<b>0,03</b>	<b>0,029</b>	<b>0,01</b>	<b>0,007</b>	<b>0,03</b>	<b>0,014</b>	<b>0,01</b>
TAS	0,009	<b>0,01</b>	<b>0,019</b>	<b>0,01</b>	0,007	<b>0,01</b>	0,015	<b>0,03</b>	0,006	<b>0,02</b>	<b>0,024</b>	<b>0,01</b>	0,005	0,09	<b>0,012</b>	<b>0,01</b>
DPVmed	-0,008	<b>0,03</b>	0,000	0,96	-0,008	<b>0,01</b>	-0,012	<b>0,04</b>	-0,008	<b>0,03</b>	-0,002	0,79	<b>-0,007</b>	<b>0,01</b>	-0,005	0,15
DPVmin	-0,004	0,25	-0,002	0,81	-0,006	<b>0,05</b>	-0,014	<b>0,02</b>	-0,003	0,17	-0,002	0,81	<b>-0,006</b>	<b>0,02</b>	-0,004	0,20
DPVmax	-0,006	0,07	0,003	0,46	-0,003	0,32	-0,002	0,69	-0,003	0,17	-0,001	0,92	<b>-0,004</b>	<b>0,03</b>	-0,001	0,55
EVT	-0,005	0,15	0,009	0,08	-0,002	0,59	0,013	<b>0,01</b>	-0,003	0,31	0,007	0,25	0,002	0,48	0,004	0,21

**Abreviação:** *Brosimum parinarioides* (Bpar); *Eschweileira pedicellata* (Epedi); *Licania micrantha* (Lmicra); *Micropholis guyanensis* (Mguy); *Pouteria guianensis* (Pgui); *Protium apiculatum* (Papi); *Theobroma sylvestre* (Tsyl); Crescimento do tronco das espécies-média ( $\text{IMD}_{med}$ ). Varclima (variáveis climáticas); radiação fotossinteticamente ativa (PAR); Temperatura média, mínima e máxima (Tmed, Tmin e Tmax); Precipitação (Preci); Teor de água do solo (TAS); Déficit de pressão de vapor (DPVmed, DPVmin e DPVmax) e Evapotranspiração (EVT). Variáveis climáticas com dados padronizados.

### Incremento do tronco e características funcionais

As maiores árvores em altura neste estudo foram *B. parinarioides* e *P. guianensis* e também com maior DAP (34,5 e 34,9 cm). As espécies *P. guianensis* e *E. pedicellata* foram as árvores com maior densidade da madeira (0,87 e 0,73  $\text{g cm}^{-3}$ , respectivamente) e as menores médias na densidade da madeira foram registradas para em *B. parinarioides* e *T. sylvestre* ambas com (0,67 e 0,66  $\text{g cm}^{-3}$ , respectivamente). As maiores médias do IMD são das espécies *L. micrantha*, *M. guyanensis* e *P.*



*apiculatum* (0,21, 0,15 e 0,15 mm mês<sup>-1</sup>, respectivamente). As médias das características funcionais das sete espécies podem ser observadas na (Tabela 4).

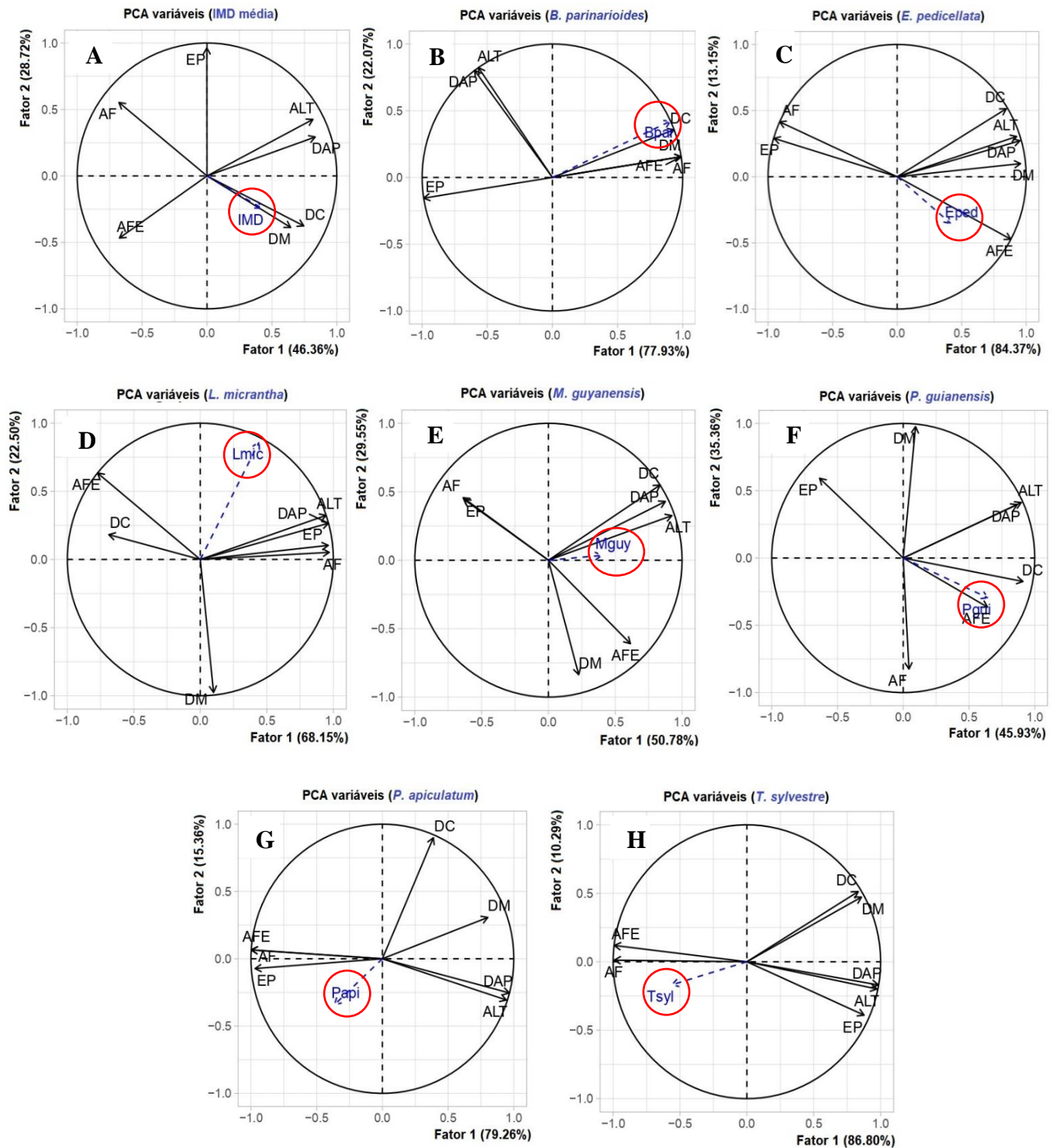
Em relação a área foliar (AF) *M. guyanensis* e *T. sylvestre* apresentam a maior média, já a área foliar específica (AFE) *B. parinarioides* e *T. sylvestre* apresentam os maiores resultados (164,2 e 119,51 cm<sup>2</sup> g<sup>-1</sup>). As espécies *L. micrantha* e *M. guyanensis* apresentam o diâmetro da copa mais extenso (Tabela 4).

**Tabela 4.** Média e desvio padrão das características funcionais das sete espécies estudadas. Espécies (Esp), altura (Alt), diâmetro a altura do peito (DAP), densidade da madeira (DM), diâmetro da copa (DC), área foliar por folha (AF), área foliar específica (AFE), espessura da folha (EP) e incremento médio mensal em diâmetro (IMD).

Esp	Alt (m)	DAP (cm)	DM (g cm <sup>-3</sup> )	DC (m)	AFE (cm <sup>2</sup> g <sup>-1</sup> )	AF (cm <sup>2</sup> )	EP (mm)	IMD (mm mês <sup>-1</sup> )
Bpar	28,5±5,6	34,5±15,2	0,68±0,09	6,94±0,92	164,2±80,5	67,39±16,4	0,39±0,06	0,13±0,21
Eped	20,5±2,8	16,2±4,4	0,73±0,04	7,75±2,85	105,1±16,3	50,12±21,2	0,29±0,02	0,10±0,16
Lmic	24,3±4,0	23,7±9,8	0,72±0,04	12,06±1,50	91,1±12,2	51,86±12,2	0,22±0,05	0,21±0,15
Mguy	26,3±5,0	29,1±12,3	0,73±0,01	10,54±1,39	64,14±3,87	79,60±28,7	0,28±0,02	0,15±0,17
Pgui	27,6±6,5	34,9±23,1	0,87±0,04	9,11±2,80	86,70±27,4	68,17±28,3	0,25±0,07	0,12±0,15
Papi	22,4±5,1	20,6±9,1	0,70±0,02	6,69±2,68	112,34±8,5	39,79±16,5	0,16±0,03	0,15±0,17
Tsyl	15,9±2,6	10,8±2,6	0,66±0,03	4,22±1,61	119,51±28,1	256,56±76,6	0,31±0,04	0,02±0,06
Tgmed	22,3±6,1	21,8±13,6	0,71±0,09	7,54±3,31	94,17±26,6	99,26±91,3	0,27±0,11	0,12±0,17

**Abreviação:** *Brosimum parinarioides* (Bpar); *Eschweileira pedicellata* (Eped); *Licania micrantha* (Lmic); *Micropholis guyanensis* (Mguy); *Pouteria guianensis* (Pgui); *Protium apiculatum* (Papi); *Theobroma sylvestre* (Tsyl); Crescimento das espécies-média (Tgmed).

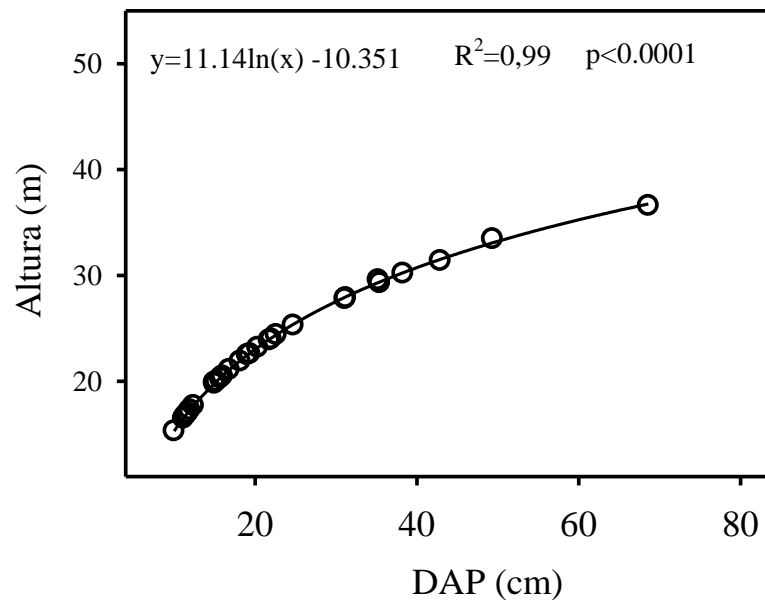
Analisando as características funcionais no PCA o fator 1 e 2, foram responsáveis por responder 75,8% da variância. O IMD (médio) das sete espécies estudadas apresentou relação positiva com o diâmetro da copa (DC) e densidade da madeira (DM), sendo inversamente proporcional a área foliar (AF). A relação positiva na densidade da madeira é pela razão das maiores árvores em altura possuírem também alta densidade e maior IMD. Já, na análise individual das espécies, nota-se que as espécies com maior IMD (*L. micrantha*, *M. guyanensis* e *P. apiculatum*) tem como característica funcional inversa ao crescimento diamétrico a densidade da madeira. A respeito sobre espécies com menor altura, *E. pedicellata* e *T. sylvestre* o IMD apresentou relação positiva com área foliar, diferente do observado para as outras espécies (Figura 7).



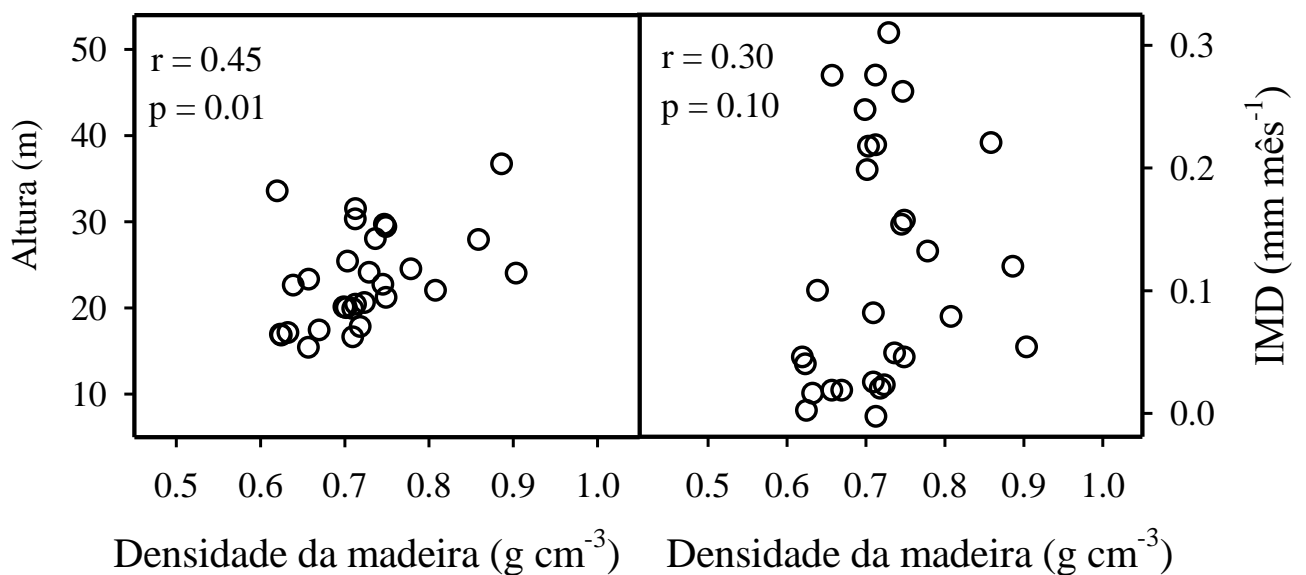
**Figura 7.** PCA das características funcionais e IMD média (linha pontilhada em azul) está como variável suplementar. A média do IMD<sub>0</sub> (mm mês<sup>-1</sup>) de cada espécie está representada por uma linha pontilhada azul com as seguintes siglas: a) Média das sete espécies (IMD); b) *B. parinarioides* (Bpar); c) *E. pedicellata* (Eped); d) *L. micrantha* (Lmic); e) *M.*

*guyanensis* (Mgyu); f) *P. guianensis* (Pgui); g) *P. apiculatum* (Papi) e h) *T. sylvestre* (Tsyl). As características funcionais estão representadas pelas seguintes siglas: área foliar (AF), área foliar específica (AFE), espessura da folha (EP), diâmetro da copa (DC), densidade da madeira (DM) e diâmetro a altura do peito (DAP).

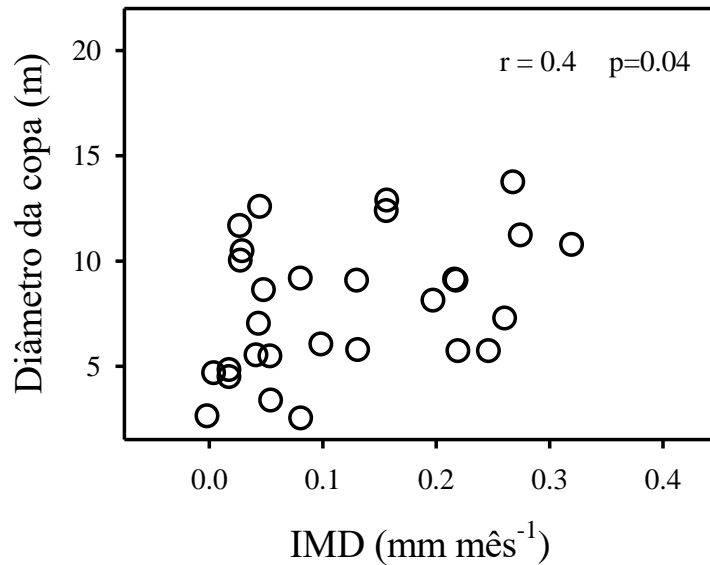
A altura e o DAP das árvores estudadas estreitamente relacionadas ( $R^2=0,99$ ) (Figura 8). Em relação ao IMD (média) das espécies, o diâmetro da copa apresentou uma correlação positiva (Figura 10). A partir da análise é possível observar que a altura das árvores é inversamente proporcional a AFE (Figura 11A) e o diâmetro da copa apresenta relação negativa a área foliar (Figura 11B). Sobre a densidade da madeira, não foi encontrado relações significativas com o incremento do tronco, mas as maiores árvores apresentam relação significativa com a densidade da madeira (Figura 9).



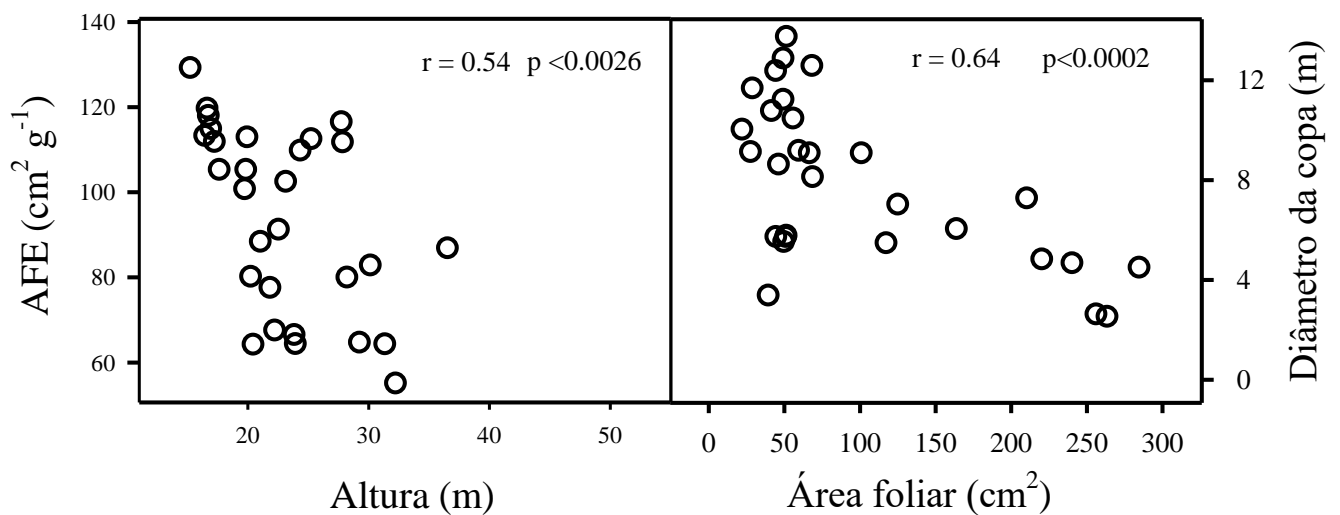
**Figura 8.** Relação entre a altura e diâmetro a altura do peito das sete espécies estudadas.



**Figura 9.** Correlação de Pearson ( $p \leq 0,05$ ) entre: a) altura e a densidade da madeira e b) DM entre  $IMD_0$  das sete espécies do estudo



**Figura 10.** Correlação de Pearson ( $p \leq 0,05$ ) entre diâmetro da copa mensurada e  $IMD_0$  ( $mm\ mês^{-1}$ ) das sete espécies estudadas.



**Figura 11.** Correlação de Pearson ( $p \leq 0,05$ ) das sete espécies estudadas entre: a) altura e área foliar específica; b) área foliar e diâmetro da copa.

É observado que dentre as sete características funcionais, as duas características que influenciaram no crescimento do tronco significativamente foram o diâmetro da copa e a área foliar (Tabela 5) a partir da análise de correlação é possível observar que as árvores com grande (DC)

apresentam maior IMD, diferente das espécies com extensa AF cujo IMD é menor, como por exemplo *T. sylvestre*. A altura das espécies não favoreceu significativamente no aumento do IMD, ou seja, as árvores deste estudo tiveram altura similar.

**Tabela 5.** Correlação de Pearson entre características funcionais e incremento mensal em diâmetro (IMD), com a média geral de cada espécie. Os resultados significativos estão em negrito ( $p \leq 0,05$ ). O coeficiente de Pearson (r) e o valor de (p).

		Bpar	Eped	Lmic	Mgyu	Pgui	Papi	Tsyl	Média
DAP	r	-0,17	-0,60	-0,93	0,25	-0,74	-0,01	0,26	0,04
	p	0,89	0,40	0,07	0,75	0,26	0,98	0,61	0,82
ALT	r	-0,33	-0,60	-0,94	0,24	-0,75	-0,14	0,26	-0,07
	p	0,67	0,40	0,06	0,76	0,25	0,86	0,62	0,95
DM	r	0,95	-0,51	0,52	0,53	0,20	0,67	0,09	0,30
	p	0,20	0,49	0,48	0,45	0,80	0,33	0,86	0,11
DC	r	0,99	-0,26	0,56	0,02	-0,94	0,23	-0,07	0,32
	p	0,07	0,74	0,44	0,97	0,06	0,78	0,91	<b>0,04</b>
AF	r	0,95	0,88	-0,77	0,58	-0,32	-0,09	-0,16	-0,37
	p	0,20	0,12	0,23	0,42	0,69	0,91	0,77	<b>0,05</b>
AFE	r	0,95	-0,87	0,26	0,55	-0,68	-0,09	-0,25	-0,34
	p	0,20	0,13	0,74	0,45	0,32	0,91	0,63	0,07
EP	r	-0,95	0,87	-0,78	0,60	0,75	0,08	0,47	-0,15
	p	0,20	0,13	0,21	0,41	0,25	0,92	0,35	0,45

**Abreviação:** *Brosimum parinarioides* (Bpar); *Eschweileira pedicellata* (Eped); *Licania micrantha* (Lmic); *Micropholis guyanensis* (Mgyu); *Pouteria guianensis* (Pgui); *Protium apiculatum* (Papi); *Theobroma sylvestre* (Tsyl); Crescimento das espécies-média (Tgmed). Os tratos funcionais altura (Alt), diâmetro da altura do peito (DAP), densidade da madeira (DM), diâmetro da copa (DC), área foliar (AF), área foliar específica (AFE) e espessura da folha (EP)

## Incremento do tronco e fenologia

Durante os meses de julho de 2020 a junho de 2022 foram observadas a mudança foliar de 33 árvores de sete espécies diferentes. Esta diferença no aumento de novos indivíduos, é devido ao período de ajuste no tronco das bandas dendométricas ser muito longo (mais de três meses), impossibilitando mensurar o IMD dessas árvores recrutadas.

A fenofase da copa das árvores mais frequente durante os meses de coleta foi a de “copa cheia e com folhas velhas” 75,31% e também “copa cheia com folhas novas e velhas” com (19,89%). As espécies *L. micrantha* e *M. guyanensis* apresentaram somente uma vez a copa com poucas folhas, sendo a *P. guianensis* a que apresentou mais desfolhamento por mais meses. Apenas a espécie *B. parinarioides* apresentou a fenofase “copa sem folhas” por um curto período, com 2 indivíduos durante o mês de agosto de 2020.

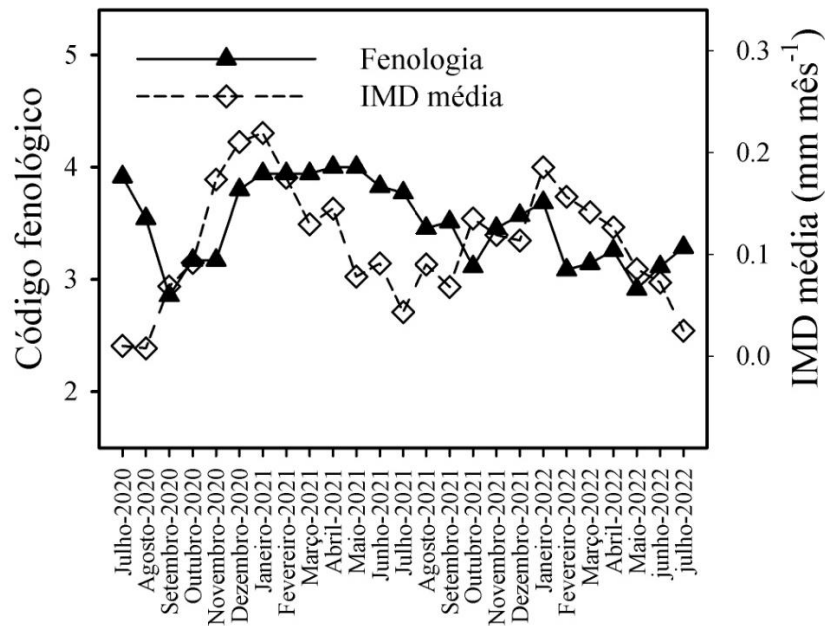
Sobre os períodos de seca e precipitação (Figura 12), de junho a setembro (período de seca) houve maior diversidade nos tipos de copas, com uma frequência de 0,23% “copa sem folhas”,

3,81% “copa com poucas folhas e somente velhas”, 2,86% “copa cheia e somente folhas novas” e com maior porcentagem 17,78% “copa cheia com folhas novas e velhas” e 74,92% “copa cheia e somente folhas velhas”. Em relação aos meses de novembro a maio (período chuvoso) ocorreu uma leve diferença na porcentagem de frequência, não houve copa sem folhas e “copa com poucas folhas e somente velhas” 1,22%, “copa cheia e somente folhas novas 1,84%. Esta diferença durante os meses de seca não foi significativa no incremento médio mensal das árvores, somente para *P. guyanensis*. Em relação a fenologia e o clima, as variáveis climáticas que mais apresentaram significado foram o teor de água no solo, temperatura média e déficit de pressão de vapor mínimo (Tabela 6).

**Tabela 6.** Correlação de Pearson entre a média do código fenológico e o clima e incremento médio de 33 indivíduos de sete espécies. Os números em negrito apresentam significância ( $p \leq 0,05$ ). Coeficiente de Pearson (r) e valor de ( $p$ ).

Variáveis		Tgmed	Bpar	Eped	Lmic	Mguy	Pgui	Papi	Tsyl
IMD	r	0,08	-0,06	-0,04	0,15	-0,10	0,30	0,12	-0,05
	p	0,50	0,76	0,67	0,17	0,30	<b>0,01</b>	0,27	0,60
PAR	r	0,01	0,02	-0,10	-0,15	0,33	-0,07	-0,11	-0,14
	p	0,92	0,92	0,255	0,16	<b>0,03</b>	0,53	0,31	0,13
Precipitação	r	0,06	0,09	0,255	0,22	0,14	0,15	-0,24	-0,04
	p	0,63	0,65	-0,10	<b>0,04</b>	0,18	0,16	<b>0,02</b>	0,13
Tmed	r	-0,23	-0,38	-0,02	-0,32	0,98	-0,22	0,04	-0,06
	p	0,06	0,07	0,76	<b>0,01</b>	<b>0,03</b>	<b>0,04</b>	0,73	0,65
Tmin	r	0,07	0,12	0,00	-0,05	0,00	0,07	-0,15	-0,07
	p	0,55	0,57	0,97	0,66	0,99	0,50	0,15	0,52
Tmax	r	-0,12	-0,19	-0,06	-0,22	0,14	-0,13	0,14	-0,00
	p	0,34	0,37	0,53	<b>0,04</b>	0,20	0,22	0,19	0,99
DPVmed	r	0,11	0,18	0,05	-0,14	0,16	-0,08	0,20	0,15
	p	0,11	0,40	0,60	0,20	0,12	0,45	<b>0,05</b>	0,10
DPVmin	r	0,24	0,41	0,05	-0,05	0,13	0,06	0,05	0,18
	p	<b>0,04</b>	<b>0,05</b>	0,60	0,66	0,23	0,57	0,64	0,06
DPVmax	r	0,04	0,04	0,10	-0,07	0,20	-0,03	0,31	0,10
	p	0,96	0,96	0,28	0,51	0,06	0,76	<b>0,01</b>	0,27
TAS	r	0,25	0,42	0,02	0,25	-0,00	0,36	0,02	0,12
	p	<b>0,04</b>	<b>0,04</b>	0,87	<b>0,01</b>	0,98	<b>0,01</b>	0,83	0,22
EVT°	r	-0,22	-0,37	0,08	-0,26	0,01	-0,15	0,05	-0,11
	p	0,06	0,07	0,40	<b>0,01</b>	0,93	0,15	0,61	0,24

**Abreviação:** *Brosimum parinarioides* (Bpar); *Eschweileira pedicellata* (Eped); *Licania micrantha* (Lmic); *Micropholis guyanensis* (Mguy); *Pouteria guianensis* (Pgui); *Protium apiculatum* (Papi); *Theobroma sylvestre* (Tsyl); Crescimento das espécies-média (Tgmed).



**Figura 12.** Média do incremento do diâmetro do tronco e código fenológico das sete espécies durante 24 meses (2020-2022). A mudança foliar é representada pelo código fenológico adaptado da metodologia de Alencar *et al.* (1979).

## DISCUSSÃO

### Incremento do diâmetro do tronco

Os dados da coleta do IMD deste estudo têm uma média de (0,12 mm mês<sup>-1</sup>). As espécies que tiveram maior e menor IMD mensal foram *L. micrantha* e *T. sylvestre* (0,21 e 0,02 mm mês<sup>-1</sup>, respectivamente). Os resultados encontrados para estas espécies corroboram com o crescimento do tronco encontrados por (Dias e Marengo 2016; Antezana-Vera 2017 e Camargo 2018). O IMD durante os anos e meses foi significativo (Tabela 2). Este resultado indica que sazonalidade do clima ao decorrer dos meses tem influência no crescimento do tronco. Foi observado que todas espécies tiveram o mesmo comportamento no IMD descrendo durante os meses de seca.

As espécies *E. pedicellata* e *T. sylvestre* são as menores árvores deste estudo e com maior IMD média *L. micrantha* e *M. guyanensis* (Tabela 4). O efeito positivo da sazonalidade da precipitação no incremento foi observado em trabalhos (Clark e Clark 1992 e Silva *et al.* 2002). De acordo com o PCR (Tabela 3) a precipitação foi influente em todas espécies, sendo observado nos meses chuvosos uma forte tendência no aumento do IMD. Na pesquisa de Chagas *et al.* (2004) há uma baixa correlação entre incremento diamétrico e porte de indivíduos, apesar dos baixos valores de correlação, as árvores de maior tamanho tendem a crescer mais rapidamente devida a disponibilidade dos recursos, porém isto não se aplica a todas as espécies.

A altura média das espécies variou entre (15,9 a 28,5 m). O incremento do tronco em árvores com maior porte (*L. micrantha* e *P. apiculatum*) tiveram maior crescimento quando comparada a *T. sylvestre*, porém, ao ser realizada a análise foi observado que a altura não favoreceu estatisticamente o crescimento diamétrico, mas sim a extensão da copa das árvores.

### **Efeito da Precipitação e teor de água no solo sobre o IMD**

As variáveis climáticas coletadas durante os anos de estudos tiveram resultados semelhantes a trabalhos realizados na mesma área (Ferreira *et al.* 2005; Dias e Marengo 2016; Camargo 2018; Souza e Marengo 2022). As 10 variáveis climáticas analisadas de maneira independente pelo PCR, a precipitação e teor de água no solo (TAS) tiveram influência positiva no IMD, a única exceção foi em *T. sylvestre*, pois não houve resultado significativo do TAS. Nos trabalhos de (Silva *et al.* 2002, Ourique 2014 e Antezana-Vera e Marengo 2021), também desenvolvidos na ZF-2, os autores perceberam a grande influência da precipitação na taxa de crescimento do tronco, o que vai ao encontro dos resultados aqui apresentados.

O clima é um forte determinante da produtividade nas florestas tropicais (Jimenez *et al.* 2020) e a sazonalidade das florestas maduras está relacionada a precipitação pluviométrica e é observado que nos períodos de seca o incremento diamétrico do tronco das árvores reduz e retorna a crescer durante o início dos meses chuvosos (Chagas *et al.* 2004). Este efeito entre precipitação e IMD, foi observado por Higuchi (2011) em uma série histórica de 25 anos o incremento do tronco e a precipitação tiveram uma correlação fortemente positiva. No período de seca, a variação nos diferentes comportamentos das espécies entre o incremento do tronco e a precipitação, podem ser explicados pelas diferentes estratégias na captação de água no solo. De acordo (Canadell *et al.* 1996 e Broedel *et al.* 2017) as árvores na Amazônia podem desenvolver suas raízes até três metros para explorar as camadas mais profundas do solo e uma característica sobre os solos amazônicos é que a umidade do solo nas primeiras camadas tem um rápido aumento em resposta a precipitação, sobre as camadas de solo mais profundas, este aumento da umidade é gradativo.

O teor de água no solo foi de 48,6% no período de precipitação e 43,6% no período de seca, sendo valores similares encontrados nos trabalhos realizados na mesma área de estudo, é observado também que a sazonalidade da precipitação influencia na disponibilidade de água no solo (Antezana-Vera e Marengo 2021; Camargo e Marengo 2022). De acordo com (Nortcliff e Thornes 1981; Ferreira *et al.* 2002; Spanner *et al.* 2022) em latossolo amarelo, uma característica marcante é a baixa retenção de água e o maior índice com disponibilidade de TAS nas primeiras camadas do



solo, isto favorece a perda de água pela evapotranspiração, promovendo alta sazonalidade. A mortalidade em florestas tropicais é provavelmente desencadeada por processos hidráulicos, a menor disponibilidade de água no ecossistema além de diminuir a biomassa, em secas severas há um grande risco desencadeado pelo déficit severo em umidade do solo, pois é combinado com aumento de temperatura e baixa umidade do ar (Rowland *et al.* 2015).

O TAS teve influência positiva em 6 espécies (Tabela 3) acompanhando maior índice nos períodos de precipitação, o que corrobora com os resultados encontrados por Antezana-Vera e Marengo (2021), cuja pesquisa encontrou resultados significativo entre o IMD e TAS. A sazonalidade foi influenciada principalmente pela precipitação, o que por sua vez confluiu consideravelmente no incremento do tronco, assim como constatado por (Wagner *et al.* 2014).

### **Efeito da Radiação solar sobre o IMD**

A radiação solar fotossinteticamente ativa (RFA) na área de estudo teve uma mínima e máxima de (13,78 e 35,54 mol m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>, respectivamente), já a temperatura estabeleceu-se entre (21,8 e 33°C) e O DPV variou entre (0,02 e 27,93 hPa). Destaca-se que estas três variáveis são inversamente proporcionais a precipitação e teor de água no solo. No presente estudo, RFA teve pouca influência nas espécies, cujo valor significativo somente foi em *L. micrantha* (negativamente) e *M. guyanensis* (positivamente).

Árvores de dossel tendem a receber e interceptar maior quantidade de luz, porém sofrem maior quantidade de estresse e maior transpiração, diferente das espécies de sub-dossel cuja a luz é um recurso limitante, sofrendo menos estresse e desenvolvem estratégias para capturar a luz disponível (Mulkey *et al.* 1996; Wright *et al.* 2004; Smith *et al.* 2019). No sub-bosque ocorre maior supressão da luz do que as árvores de dossel (Souza 2020). Em árvores sombreadas a radiação pode ser um fator limitante ao crescimento (Magalhães *et al.* 2014). Em época de secas longas, o estresse hídrico é promovido pela falta de precipitação prolongada aliada a altas taxas de radiação solar. Neste cenário, a densidade da madeira e a dinâmica na competição das árvores na floresta tropical irão ser fatores determinantes na sobrevivência das espécies às mudanças microclimáticas (Rowland *et al.* 2014, 2020). A luz também foi um fator importante na pesquisa realizada por Vieira *et al.* (2004), árvores de dossel crescem mais rápido devido a disponibilidade de luz, diferente das árvores menores que podem permanecer no sub-bosque a vida inteira. O presente estudo observou efeito positivo em *M. guyanensis*, mostrando que apesar das variáveis climáticas serem as mesmas para todas as espécies o efeito pode diferenciar, devido as diferentes estratégias de cada espécie por meio

das suas características funcionais e seus níveis que as espécies ocupam, nos diferentes estratos no dossel da floresta. Em *M. guyanensis* os indivíduos encontram-se com a copa mais sombreada por outras espécies, sendo assim, neste caso a evapotranspiração não influencia negativamente o crescimento diamétrico, pois não há exposição direta da copa aos raios solares.

A taxa fotossintética tem uma variação ao longo do dia, as folhas de dossel na Amazônia estão adaptadas a radiação intensa durante o dia (Marenco *et al.* 2014) em anomalias a radiação solar pode ser um fator limitante (Ahlström *et al.* 2017). No dossel das árvores, era esperado uma relação positiva com o crescimento das árvores, devida sua função na fotossíntese, porém foi observado o contrário em espécies com *L. micrantha* cuja copa é exposta e não teve influência com sombreamento por outras espécies.

Em algumas espécies a radiação tem relação negativa, apesar da pouca variação RFA (Malhi *et al.* 1998; Camargo 2018). De acordo com Rowland *et al.* (2014) as árvores tem um decréscimo no período de seca quando a radiação é mais intensa. Entretanto, as árvores crescem mais lentamente devida a diminuição da precipitação e teor de água no solo, independentemente da variação de PAR (Antezana-Vera e Marenco 2021).

### **Efeito da temperatura sobre o IMD**

As mudanças sazonais na radiação, temperatura e DPV podem influenciar na fisiologia das árvores (Hutley *et al.* 2000; Brando 2009). De acordo com Bauman *et al.* (2021) anomalias na radiação solar e DPV são as principais variáveis climáticas que impulsionam a sazonalidade e influenciaram de forma negativa no crescimento. A temperatura pode afetar na fotossíntese de maneira direta pela diminuição na atividade da enzima rubisco responsável pela fixação de carbono (Lloyd e Farquod 2008)

O RFA e o DPV estão relacionadas diretamente com a temperatura, estas variáveis climáticas apresentam influência negativa na condutância estomática e foi observado que altas temperaturas prejudicam fotossíntese e causam mortalidade de árvores (Santos *et al.* 2018). No presente estudo, a temperatura média influenciou de maneira negativa o IMD das espécies *B. parinarioides*, *L. micrantha* e *P. guianensis*. A variação nas temperaturas mínimas e máximas não foram suficientes para influenciar no IMD, pois não permanecem por tempo suficiente para influenciar de alguma maneira o desenvolvimento das árvores, diferente da temperatura média que permanece por mais tempo.

O aumento da temperatura do ar aumenta o déficit de pressão de vapor (folha - ar), como consequência a transpiração fica mais alta (Malhi *et al.* 2009). A temperatura tem influência de maneira diferente nas espécies arbóreas devida suas características funcionais. Na floresta Amazônica algumas espécies com a copa exposta ao sol, o fechamento dos estômatos pode limitar o ganho de carbono em até 64% (Camargo e Marengo 2017). Em espécies com baixa densidade, a resposta do incremento é mais sensível a temperatura (García-Cervigón *et al.* 2017). Diferente do esperado, nem todas as árvores com menor densidade tiveram relação significativa com a temperatura (Tabela 4).

O efeito da temperatura no IMD ainda precisa ser mais elucidado, apesar de ter variação na sazonalidade climática, apresenta pouca influência no incremento do tronco quando comparada a precipitação. Dias e Marengo (2021) não encontraram efeito significativo da temperatura na taxa de crescimento em diâmetro. Wagner *et al.* (2014) observaram uma importância secundária na temperatura sobre as árvores, a temperatura máxima não teve efeito e em temperaturas mínimas houve uma correlação positiva no crescimento. Nos trabalhos de Clark *et al.* (2010) a temperatura máxima não houve resultado negativo, porém a temperatura noturna teve influência negativa no IMD, a temperatura média foi influente no decréscimo da taxa do diâmetro do tronco corroborando com o presente estudo.

A temperatura pode afetar o crescimento das espécies vegetais de diferentes maneiras, em seu desenvolvimento da fase juvenil para adulta no desenvolvimento em alocação de biomassa, como por exemplo no crescimento radicular, maior área foliar ou espessura, ou produção de folhas novas e expansão da copa das árvores, ao invés do crescimento do tronco (Feeley *et al.* 2007)

### **Efeito do DPV e Evapotranspiração sobre o IMD**

O déficit de pressão de vapor em setembro de 2020 houve valor máximo registrado de 27,93 hPa e valor mínimo em outubro de 2021 0,02 hPa, em relação a evapotranspiração a máxima e mínima foram registradas em setembro de 2020 e em maio de 2019 ( $152,1 \pm 79,2 \text{ mm mês}^{-1}$ ). O DPV teve grande influência neste estudo, sendo observada relação negativa no IMD de 5 espécies, válido ressaltar que os valores da média do DPV foram os que mais influenciaram. A evapotranspiração (EVT) apenas teve resultado significativo na espécie *L. micrantha*.

Os mecanismos hídricos da planta e na alocação da biomassa estão relacionados com o DPV. A assimilação do carbono dependerá do grau de estresse que a árvore está recebendo, é observado que plantas que estão recebendo luz intensa durante a seca, sofrem um aumento de temperatura na

folha (Sage e Kubien 2007; Rowland *et al.* 2020). O DPV está diretamente relacionado com a temperatura, com isto além de promover a perda de água pela transpiração, o déficit estimula o fechamento dos estômatos resultando na fotorrespiração (Marengo *et al.* 2014).

Este estudo observou mais resultados significativos no DPV do que na temperatura. A razão disto, é que o DPV tem relação direta com a temperatura e a umidade do ar (Camargo 2018). Em estudos anteriores realizados na Amazônia Central, houve uma grande influência do DPV no IMD das espécies. Na pesquisa realizada por Antezana-Vera (2021) e Camargo (2018) o DPV teve grande relação com a diminuição no incremento do tronco, corroborando com este estudo e o EVT apresentou relação negativa e pouco influente nas espécies.

A demanda evaporativa durante o período de seca pode causar redução na fotossíntese (Lloyd e Farquard 2008). Entretanto, a evapotranspiração contribui também para o ciclo hídrico da precipitação, favorecendo o clima em florestas tropicais (Kunert *et al.* 2017). Na Amazônia Central a evapotranspiração é alta durante o período de seca (Aragão 2012). Porém, diferente do esperado, a evapotranspiração não teve relação significativa com a grande maioria das espécies. Em *M. guyanensis* também foi observada uma relação positiva com a radiação, mostrando evidências que esta espécie está na faixa ideal da fotossíntese, a evapotranspiração não é suficiente para diminuir no incremento do tronco.

### **Incremento do tronco mensal e características funcionais**

A média do incremento do tronco das espécies não teve correlação com a densidade da madeira (DM), diâmetro da copa e área foliar. A densidade da madeira deste estudo teve amplitude similar (0,66 a 0,87 g cm<sup>-3</sup>) a outros resultados em florestas tropicais, 0,30 a 0,80 g cm<sup>-3</sup> (Osunkoya *et al.* 2007) e na mesma área de estudo (ZF-2) 0,41 a 0,91 g cm<sup>-3</sup> (Dias e Marengo 2016), 0,55 a 0,92 g cm<sup>-3</sup> (Antezana-Vera 2017) e 0,56 a 0,81 g cm<sup>-3</sup> (Souza e Marengo 2022).

Árvores com maior altura tem alta densidade da madeira e menor índice de mortalidade (Chao *et al.* 2008; Phillips *et al.* 2019). De acordo Baker *et al.* (2004) na Amazônia Central, as espécies desta região apresentam alta densidade. A densidade varia entre as espécies e a localidade e é um bom indicador para utilização comercial e árvores com boa resistência ao período de seca (Nogueira *et al.* 2004). Esta resistência pode ser pela correlação entre paredes espessas e fibras pesadas (Zanne e Falster 2010), porém esta adaptação na resistência do tronco pela densidade promove menor armazenamento de água, pois as madeiras mais densas têm paredes celulares do xilema mais espessas, reduzindo a capacidade de armazenamento de água (McCulloh *et al.* 2011),

em contrapartida, espécie com tronco menos denso apresentam vasos com maior diâmetro e mais ar nos espaços abertos (Osunkoya 2007). Neste contexto, árvores com baixa densidade é esperado que tenham maior crescimento em diâmetro do tronco (Meinzer 2003; Osunkoya 2007).

No presente estudo as espécies (*B. parinarioides* e *T. sylvestre*) com menor densidade da madeira o IMD teve relação positiva. Já as espécies com maior densidade (*M. guyanensis*, *L. micrantha* e *P. guianensis*) mostrou que o IMD é inversamente proporcional. Entretanto, estas relações apontadas pelo PCA, a densidade da madeira não influenciou estatisticamente o crescimento do tronco das árvores (Tabela 5). Uma observação importante é que as árvores com maior IMD tiveram também maior altura e densidade da madeira, apesar dos estudos realizados apontarem que a DM pode ser um limitador do crescimento, porém auxilia na baixa mortalidade das espécies, permitindo que árvores com grande densidade alcancem o dossel.

As maiores árvores têm maior IMD devida a maior quantidade de recursos disponibilizados, é observado uma tendência das maiores árvores apresentarem também alta densidade da madeira, porém a DM não foi significativa nas espécies (Figura 9), este resultado apresenta que quando as árvores atingem o dossel e captam mais recursos, a densidade não se torna um limitador ao crescimento do tronco. É válido ressaltar que as espécies com maior densidade, também são altas e com diâmetro da copa extenso podendo facilitar na competição por recursos, como demonstrada na relação positiva entre o IMD e o diâmetro da copa (Figura 10). Em trabalhos realizados na Amazônia central, Dias e Marengo (2021) e Souza (2020) a densidade da madeira teve pouco efeito significativo na taxa de crescimento do diâmetro. A densidade é uma estratégia de sobrevivência das árvores, porém não é um elemento crucial para seu desenvolvimento, características como a filogenética, composição do solo, região e clima são elementos essenciais que devem ser considerados (Kraft 2010; Phillips 2019)

As características foliares foram significativas na média geral do IMD e também nas espécies. Em árvores de maior altura, a estrutura do diâmetro da copa é maior, porém com menor área foliar (Figura 10). Isto pode ser explicado pelo aumento da área foliar ser uma estratégia desenvolvida por árvores que recebem pouco sol, já com árvores que atingiram o estágio acima do dossel, há um investimento em aumentar o diâmetro da copa e aumentar o número de folhas para compensar o menor tamanho foliar (Reich *et al.* 2003; Araújo 2019).

A distribuição da área foliar é fundamental para melhor absorção da luz pela copa das árvores (Lee *et al.* 2009; Richardson *et al.* 2009; Stark *et al.* 2012). De acordo com Wright (2010) o principal

fator que influencia nas características foliares é explicada pela ontogenia, como por exemplo a redução do tamanho da copa ser influenciada pelo efeito da competição em anos passados, resultando em uma distribuição desigual da luz (Cunha e Finger 2013; Clark e Clark 2001).

Desta forma, árvores baixas como *T. sylvestre* apresentam uma extensa área foliar para captar mais luz (Tabela 6), visto que, uma adaptação ecológica é aumentar a área de uma determinada unidade de biomassa foliar com a finalidade de interceptar mais luz em condições de sombra (Poorter *et al.* 2009).

### **Fenologia e sua relação com o clima e incremento médio mensal**

A fenologia da copa das espécies observadas apresentou desfolhamento e folhamento contínuo, tendo pouca incidência de árvores com poucas folhas ou sem folha, sendo assim, a estrutura do dossel das árvores teve poucas mudanças durante os 24 meses. A única espécie que apresentou uma copa com poucas folhas por mais tempo foi a espécie *P. guianensis*, neste caso, a fenologia influenciou no decréscimo da taxa de crescimento do tronco (Tabela 6). Levando a interpretação que a longevidade foliar (tempo de vida) para a grande maioria das espécies do estudo não são anuais.

De acordo com Lopes *et al.* (2016) folhas verde-claras (folhas novas) na copa das árvores é mais frequente no período seco, já as folhas velhas e com clorose, na Amazônia Central, não caem abruptamente sendo frequentes copas de árvores com folhas verdes e maduras, como também folhas novas surgindo. Esta evidência que a troca de folhas é mais acentuada no período seco é observado nos estudos de (Alencar *et al.* 1979; Aleixo 2019). A taxa de crescimento das árvores e a queda de folhas foi mais intensa no período de seca (Janssen *et al.* 2021). Porém, existem evidências por meio de modelagem que o esverdeamento na copa das árvores não ocorre no período de seca (Anderson *et al.* 2018).

Este estudo observou que a precipitação somente influenciou na fenologia de duas espécies, porém o teor de água no solo mostrou ser mais influente em três espécies. De acordo com Saleska *et al.* (2007) o esverdeamento não é limitado pela precipitação, pois em períodos de seca, as árvores são capazes de utilizar suas raízes para obter água em solos mais profundos. Em relação a radiação (PAR) a fenologia não foi influenciada significativamente (Tabela 6). Segundo Jones *et al.* (2014) seus resultados mostram que na floresta Amazônica, a sazonalidade total de PAR exhibe aumento relativamente pequeno. Morton *et al.* (2014) corroboram com este resultado, visto que não observaram evidências de mudanças sazonais na estrutura do dossel das árvores.

A característica da mudança foliar somente influenciou no IMD de *P. guianensis* que foi a única espécie a apresentar copa com poucas folhas por mais tempo durante o período de seca, as outras espécies apresentaram uma copa com senescência e surgimento de folhas de maneira contínua. Alencar (1994) observou o mesmo comportamento nos meses de julho e agosto em *P. guianensis*. Nos estudos de O'Brien *et al.* (2008) cuja área de estudo foi em florestas tropicais, observaram um resultado significativo na correlação do incremento do troco a fenologia em espécies que apresentaram ausência de folhas. Em relação a estudos na Amazônia Central, há uma grande carência de pesquisas que façam uma correlação entre a fenologia e o incremento do tronco mensal. Neste contexto, a falta de resultado significativo entre o IMD e a fenologia deve-se a ausência de mudanças bruscas na copa das árvores mesmo em períodos de seca. É possível que trabalhos com mais tempos de estudo evidenciem o esverdeamento da copa das árvores.

## CONCLUSÃO

A sazonalidade da precipitação influenciou nas variações do microclima, como também influenciou significativamente no incremento médio mensal das árvores. Dentre as 10 variáveis climáticas, precipitação e o teor de água no solo foram as variáveis climáticas mais influentes no IMD ao apresentar efeito positivo. O déficit de pressão de vapor influenciou negativamente em cinco espécies no IMD, diferente do esperado, a radiação solar e as temperaturas mínimas e máximas as variações destas não foram suficientemente significativas na grande maioria das espécies.

Dentre as características funcionais o diâmetro da copa e a área foliar tiveram influência no IMD. Foi observado que árvores com maior altura foram as que apresentaram maior copa, porém o tamanho da área foliar é mais extensa em árvores de sub-bosque, apontando uma estratégia para captar o máximo possível de luz solar. Era esperado que a DM tivesse influência negativa no IMD, porém neste estudo não foi evidenciado que a DM possui qualquer efeito significativo IMD.

A fenologia mostrou ser pouco influente no IMD, pois a copa das árvores não apresentou mudanças foliares significativas, com exceção de *P. guianensis* que foi a espécie que apresentou poucas folhas nos meses mais secos. A respeito das variáveis climáticas e seu efeito na fenologia, TAS, DPV e Temperatura (média) foram as variáveis que mais influenciaram significativamente nas espécies. É possível que estudos longos a respeito da mudança foliar na Amazônia Central evidenciem uma influência da fenologia no IMD.



## REFERÊNCIAS

- Aguirre-Gutiérrez J., Oliveras I., Rifai S., Fauset S., Adu-Bredu S., Affum-Baffoe K. *et al.* 2019. Drier tropical forests are susceptible to functional changes in response to a long-term drought. *Ecology Letters*, 22: 855-865.
- Ahlström A., Canadell J.G., Schurgers G., Wu M., Berry J.A., Guan K., Jackson R.B. 2017. Hydrologic resilience and Amazon productivity. *Nature Communications*, 8: 1-9.
- Alencar J.D.C., Almeida R.A.D., Fernandes N.P. 1979. Fenologia de espécies florestais em floresta tropical úmida de terra firme na Amazônia Central. *Acta Amazonica*, 9: 163-199.
- Alencar J. 1994. Fenologia de cinco espécies arbóreas tropicais de sapotaceae correlacionada a variáveis climáticas na reserva ducke, MANAUS, AM. *Acta Amazonica*, 24: 161-182
- Aleixo I.F. 2019. Padrões fenológicos e mortalidades de árvores de terra firme na Amazônia Central. Tese de doutorado, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Manaus, Amazonas. 201pp.
- Anderson L.O., Neto G.R., Cunha A.P., Fonseca M.G., Moura Y.M. 2018. Vulnerability of Amazonian forests to repeated droughts. *Philosophical transactions*, 373: 1-13.
- Antezana-Vera S.A. 2017. *Fluxo de seiva e crescimento de árvores em função das variáveis climáticas em espécies arbóreas na Amazônia Central*. Tese de Doutorado, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Manaus, Amazonas. 113pp.
- Antezana-Vera S.A., Marengo R.A. 2020. Sap flow rates of *Miconia guianensis* in central Amazonia during the prolonged dry season of 2015-2016. *Journal of Forestry Research*, 32: 2067-2076.
- Antezana-Vera S.A., Marengo R.A. 2021. Intra-annual tree growth responds to micrometeorological variability in central Amazon. *iForest*. 12: 242-249.
- Aragão L.E.O.C. 2012. Environmental science: the rainforest's water pump. *Nature*, 489: 217-218.
- Araújo M.H.T. 2008. *Estudos taxonômicos das subespécies *Micropholis guyanensis* (a. dc.) pierre subsp. duckeana (baehni) td penn., *Micropholis guyanensis* (a. dc.) pierre subsp. guyanensis e *Micropholis guyanensis* (a. dc.) pierre subsp. 3 (sapotaceae juss.): uma abordagem biossistemática*. Dissertação de Mestrado, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Manaus, Amazonas. 87pp.

- Araújo R.F. 2019. *Estrutura do dossel, dinâmica florestal e fenologia foliar com uso de aeronave remotamente pilotada na Amazônia Central*. Tese de Doutorado, Instituto Nacional de Pesquisa da Amazônia, Manaus, Amazonas. 84 pp.
- Bauman D., Fortunel C., Cernusak L.A., Benteley L.P., McMahon S.M., Rifai S.W. *et al.* 2021. Tropical tree growth sensitivity to climate is driven by species intrinsic growth rate and leaf traits. *Global change biology*, 28:1414-1432.
- Baker T.R., Phillips O.L., Malhi Y., Almeida S., Arroyo L., Fiore A.D. *et al.* 2004. Variation in wood density determines spatial patterns in Amazonian forest biomass. *Global Change Biology*, 10: 545-562.
- Brando M.P., Goetz S.J., Baccini A., Nepstad D.C., Beck P.S.A., Christman M.C. 2009. Seasonal and interannual variability of climate and vegetation indices across the Amazon. *PNAS*, 107: 14685-14690.
- Bonal D., Burban B., Stahl C., Wagner F., Hérault B. 2016. The response of tropical rainforests to drought—lessons from recent research and future prospects. *Annals of Forest Science*, 73: 27-44.
- Borchert R. 1994. Soil and stem water storage determine phenology and distribution of tropical dry forest trees. *Ecology*, 75: 1437-1449.
- Borchert R., Renner S.S., Calle Z., Navarrete D., Tye A., Gautier L. *et al.* 2005. Photoperiodic induction of synchronous flowering near the Equator. *Nature*, 433: 627-629.
- Broedel E., Tomasella J., Cândido L.A.; Randow C.V. 2017. Deep soil water dynamics in an undisturbed primary forest in central Amazonia: differences between normal years and the 2005 drought. *Hydrological Process*, 31: 1749-1759.
- Buck A.L. 1981. New equations for computing vapour pressure and enhancement factor. *Journal of Applied Meteorology*, 20: 1527-1532.
- Camargo M.A.B., Marengo R.A. 2017. Tree growth over three years in response to monthly rainfall in central Amazonia. *Dendrobiology*, 78: 10-17.
- Camargo M.A.B., Marengo R.A. 2022. Orthogonal effects of micrometeorological variables on two Amazonian species of contrasting growth rates. *Tropical forest science*, 34: 259-267.

- Camargo M.A.B. 2018. *Variação em diâmetro do tronco de 30 espécies de árvores florestais em função de variáveis ambientais em floresta de terra firme na Amazônia central*. Tese de Doutorado, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Manaus, Amazonas. 87 pp.
- Cameron K.M., Chase M.W., Anderson W.R., Hills H.G., Harold G.H. 2001. Molecular systematics of Malpighiaceae: Evidence from plastid rbcL and matK sequences. *American Journal of Botany*, 88: 1847-1862.
- Canadell J., Jackson R.B., Ehleringer J.B., Mooney H.A., Sala O.E., Schulze E.D. 1996. Maximum rooting depth of vegetation types at the global scale. *Oecologia*, 108: 583-595.
- Castro R.M. 2006. *Flora da Bahia - Moraceae*. Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual Feira de Santana, Santana, Bahia. 146 pp.
- Chagas R.K., Durigan G., Contieri W.A., Masahiro S. 2004. Crescimento diametral de espécies arbóreas em floresta estacional semidecidual ao longo de seis anos. *Embrapa*, 15: 265-299.
- Chao Kuo-Jong., Phillips O.L., Gloor E., Monteagudo *et al.* 2008. Growth and wood density predict tree mortality in Amazon forests. *Journal of Ecology*, 96: 281-292.
- Clark D.A., Clark D.B. 1992. Life history diversity of canopy and emergent trees in a neotropical rain forest. *Ecological Monographs*, 62: 315-344.
- Clark D.A., Clark D.B. 2001. Getting to canopy: Tree height growth in a neotropical rain forest. *Ecology Society America*, 82: 1460-1472.
- Clark D.B., Clark D.A., Oberbauer S.F. 2010. Annual wood production in a tropical rain forest in NE Costa Rica linked to climatic variation but not to increasing CO<sub>2</sub>. *Global Change Biology*, 16: 747-759.
- Corrêa P. 1984. *Dicionário de Plantas úteis do Brasil e das Exóticas Cultivadas*. Instituto Brasileiro de desenvolvimento Florestal, Rio de Janeiro, 707pp.
- Cunha T.A., Finger C.A.G. 2013. Competição assimétrica e o incremento diamétrico das árvores individuais de *Cedrela odorata L.* na Amazônia ocidental. *Acta Amazonica*, 43: 9-18.
- Dias D.P., Marengo R.A. 2016. Tree growth, wood and bark water content of 28 Amazonian tree species in response to variations in rainfall and wood density. *IForest*, 9: 445-451.

- Dias D.P., Marengo R.A. 2021. Wood and bark water content and monthly stem growth in Amazonian tree species. *Acta Amazonica*, 51: 363-369.
- Duke J.A., Martinez R.V. 1994. *Amazonian Ethnobotanical Dictionary*. CRC Press, Boca Raton, Florida. 195 pp.
- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA). 2011. *Manual de métodos de análise de solos*. In: Donagema G.K., Campos D.V.B. de., Calderano S.B., Teixeira W.G., Viana J.H.M. (Eds.) Rio de Janeiro, 230p.
- Fearnside P.M. 2006. Desmatamento na Amazônia: dinâmica, impactos e controle. *Acta Amazonica*, 36: 395-400.
- Feeley K.J., Wright J.S., Supardi M.N.N., Kassim A.R., Davies S.J. 2007. Decelerating growth in tropical forest trees. *Ecology letters*, 10: 461-469.
- Ferreira M.J. 2017. *Manejo intensivo de árvores e palmeiras úteis ao redor de ocupações pré-colombianas no interflúvio Madeira-Tapajós*. Dissertação de Mestrado, Instituto Nacional de Pesquisas na Amazônia. Manaus, Amazonas. 75 pp.
- Ferreira S.J.F., Luizão F.J., Mello-Ivo W., Ross S.M., Biot Y. 2002. Propriedades físicas do solo após extração seletiva de madeira na Amazônia central. *Acta Amazonica*, 32: 449- 466.
- Ferreira S.J.F., Luizão F.J., Dallarosa R.L.G. 2005. Precipitação interna e interceptação da precipitação em floresta de terra firme submetida à extração seletiva de madeira na Amazônia Central. *Acta Amazonica*, 35: 55-62.
- Fortunel C., Valencia R., Wright S.J., Garwood N.C., Kraft N.J.B. 2016. Functional trait differences influence neighbourhood interactions in a hyperdiverse Amazonian forest. *Ecology Letters*, 19: 1062-1070.
- Fournier-Origg L.A. 1976. Observaciones fenológicas en el bosque húmedo de premontano de San Pedro de Montes de Oca, Costa Rica. *Turrialba*, 26:54-59.
- Galupo S.C. 2004. *Documentação do uso e valorização do óleo de Piquiá (Caryocar villosum (Aubl) Pers.) e do leite do Amapá-doce (Brosimum parinarioides Ducke) para a Comunidade de Piquiatuba, Floresta Nacional do Tapajós: Estudos Físicos, Químicos, Fitoquímicos e Farmacológicos*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém. 92pp.

- García-Cervigón A.I., Camarero J.J., Espinosa C.I. 2017. Intra-annual stem increment patterns and climatic responses in five tree species from an Ecuadorian tropical dry forest. *Trees*, 31: 1057-1067.
- Gilbert-Escrivá M.V., Gonçalves L.A., Silva C.R.S., Figueira A. 2002. Fatty acid and triacylglycerol composition and thermal behaviour of fats from seeds of Brazilian Amazonian *Theobroma* species. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 82: 1425-1431.
- Hargreaves G.H., Samani Z.A. 1982. Estimating Potential Evapotranspiration. *Journal of the Irrigation and Drainage Division*, 108: 225-230.
- Hargreaves G.H., Samani Z.A. 1985. Reference Crop Evapotranspiration from Temperature. *Applied Engineering in Agriculture*, 1: 96-99.
- Higuchi N., dos Santos J., Lima A.J.N., Higuchi F.G., Chambers J.Q. 2011. A floresta Amazônica e a água da precipitação. *Floresta*, 41: 427-434.
- Holbrook N.M. 1995. Drought responses of neotropical dry forest trees. In: Bullock S.H., Medina E., Mooney H.A., Eds. *Seasonally dry tropical forests*. Cambridge University Press, Cambridge p. 243-276.
- Hutley L.B., O'Grady A.P., Eamus D. 2000. Evapotranspiration from eucalypt open-forest savanna of northern Australia. *Functional Ecology*, 14:183-194.
- IBGE 2018. Censoagro 1-2 (<https://censoagro2017.ibge.gov.br/>). Acesso em: 7/12/2022.
- Iida Y., Poorter L., Sterck F.J., Kassim A.R., Kubo T., Potts M.D. *et al.* 2012. Wood density explains architectural differentiation across 145 co-occurring tropical tree species. *Functional Ecology*, 26: 274-282.
- Iida Y., Kohyama T.S., Swenson N.G., Su S.-H., Chen C.-T., Chiang J.-M. *et al.* 2014. Linking functional traits and demographic rates in a subtropical tree community: the importance of size dependency. *Journal of Ecology*, 102: 641-650.
- Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). 2018. INPE consolida 7.536 km<sup>2</sup> de desmatamento na Amazônia em 2018. (<http://www.obt.inpe.br/>). Acesso em: 7/12/2022.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 2007. *Climate Change 2007: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental*

*Panel on Climate Change*. edited by S. Solomon *et al.* Cambridge University Press, New York, 987pp.

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 2013. *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. edited by Stocker, T.F *et al.*, Cambridge University Press, New York, 1535pp.

Lee H., Slatton K.C., Roth B.E., Cropper W.P. 2009. Prediction of forest canopy light interception using tree-dimensional airborne LiDAR data. *Internacional journal of remote sensing*, 30:189-207.

Janzen D. 1967. Why Mountain Passes are Higher in the Tropics. *The American Naturalist*, 101: 233-249.

Janssen T., Velde Y., Hofhansl F., Luysaert S., Naudts K., Driessen B. *et al.* 2021. Drought effects on leaf fall, leaf flushing and stem growth in the Amazon forest: reconciling remote sensing data and field observations. *Biogeosciences*, 18: 4445-4472.

Jones M., Kimball J.S., Nemani R.R. 2014. Asynchronous Amazon forest canopy phenology indicates adaptation to both water and light availability. *Environmental research*, 9: 1-10.

Jimenez E.M., Peñuela-Mora M.C., Moreno F., Sierra C.A. 2020. Spatial and temporal variation of forest net primary productivity components on contrasting soils in northwestern Amazon. *Ecosphere*, 11: 1-19.

Kinupp V.F., Lorenzi H. 2014. *Plantas alimentícias não convencionais (PANC) no Brasil: guia de identificação, aspectos nutricionais e receitas ilustradas*. São Paulo, Plantarum. 755pp.

Kraft N.J.B., Metz M.G., Condit R.S., Chave J. 2010. The relationship between wood density and mortality in a global tropical forest data set. *New phytologist*, 188:1124-1136.

Kunstler G., Falster D., Coomes D.A., Hui F., Kooyman R.M., Laughlin D.C. *et al.* 2016. Plant functional traits have globally consistent effects on competition. *Nature*, 529: 204-207.

Kunert N., Aparecido L.M.T., Wolff S., Higuchi N., Santos J., Araujo A.C. *et al.* 2017. A revised hydrological model for the Central Amazon: The importance of emergent canopy trees in the forest water budget. *Agricultural and Forest Meteorology* 239: 47-57.

- Lima L.R., Pirani J.R. 2005. Burseraceae. In: Wanderley M.G.L., Shepherd G.J., Melhem T.S., Martins S.E., Kirizawa M., Giuliatti A.M. (eds.) *Flora Fanerogâmica do Estado de São Paulo*. Instituto de Botânica, São Paulo, 4: 163-168.
- Lima A., Rodal M. 2010. Phenology and wood density of plants growing in the semi-arid region of Northeastern Brazil. *Journal of Arid Environments*, 74:1363-1373.
- Lima R.C. 2015. *Equações para estimativas de biomassa de uma floresta tropical úmida do Amapá*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), Recife, Pernambuco. 50pp.
- Liu Y.Y., Van Dijk A.I., De Jeu R.A., Canadell J.G., McCabe M.F., Evans J.P., Wang G. *et al.* 2015. Recent reversal in loss of global terrestrial biomass. *Nature Climate Change*, 5: 470-474.
- Lloyd J., Farquhar G.D. 2008. Effects of rising temperatures and [CO<sub>2</sub>] on the physiology of tropical forest trees. *Philosophical Transactions of the Royal Society B. Biological Sciences*, 363: 1811-1817.
- Lopes A.P., Nelson B.W., Wu J., Graça, P.M; Tavares, J; Prohaska, N. 2016. Leaf flush drives dry season green-up of the Central Amazon. *Remote sensing of environment*, 182: 90-98.
- Looney C.E., D'Amato A.W., Palik B.J., Fraver S., Kastendick D.N. 2018. Size-growth relationship, tree spatial patterns, and tree-tree competition influence tree growth and stand complexity in a 160-year red pine chronosequence. *Forest Ecology and Management*, 424: 85-94.
- Lopezaraiza-Mikel M., Quesada M., Álvarez-Añorve M., Ávila-Cabadilla L., Martén-Rodríguez S., Calvo-Alvarado J. *et al.* 2013. Phenological patterns of tropical dry forests along latitudinal and successional gradients in the neotropics. *Tropical dry forest in the Americas: ecology, conservation, and management*. Florida: CRC Press Taylor and Francis Group, 101-128.
- Malcher M.S.G. 2014. *Lecythidaceae da volta grande do rio Xingu, municípios de Altamira, Vitória do Xingu e Anapu – PA*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém, Pará. 61pp.
- Malhi Y., Nobre A.D., Grace J., Kruijt B., Pereira M.G.P., Culf A. *et al.* 1998. Carbon dioxide transfer over a Central Amazonian rain forest. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* 103: 31593-31612.

- Malhi Y., Wright J. 2004. 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: 311-329.
- Malhi Y., Wood D., Baker T.R., Wright J., Phillips O.L., Cochrane, T. *et al.* 2006. The regional variation of aboveground live biomass in old-growth Amazonian forests. *Global Change Biology*, 12: 1107-1138.
- Malhi Y., Aragão L.E., Galbraith D., Huntingford C., Fisher R., Zelazowski P. *et al.* 2009. Exploring the likelihood and mechanism of a climate-change-induced dieback of the Amazon rainforest. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 106: 20610-20615.
- Magalhães N.S., Marengo R.A., Camargo M.A.B. 2014. Do soil fertilization and forest canopy foliage affect the growth and photosynthesis of Amazonian saplings? *Scientia Agricola*, 71: 58-65.
- Marengo R.A., Antezana-Vera S.A., Gouvêa P.R.S., Camargo M.A.B., Oliveira M.F., Santos J.K.S. 2014. Fisiologia de espécies florestais da Amazônia: fotossíntese, respiração e relações hídricas. *Ceres*, 61: 786-799.
- Marengo J.A., Souza Júnior C. 2018. Mudanças climáticas: impactos e cenários para a Amazônia. *Programa de pós graduação em ciência ambiental, Universidade de São Paulo* 1: 1-32.
- Martão V.M. 2013. *Atividade antioxidante in vitro de plantas medicinais da Amazônia Ocidental*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Rondônia (UNIR), Porto Velho, Rondônia. 99pp.
- Mattietto R.A., Bezerra V.S., Táxi C.D., Yano C.Y., Cordeiro B.S., Tsukui A. 2009. Otimização do processo de conservação do leite de amapá doce (*Brosimum parinarioides* Ducke). In: *Anais da SPC&T Fase II/PPG7*, Belém, 352-354.
- McCulloh K.A., Meizer F.C., Sperry J.S., Lachenbruch B., Voelker S.L., Woodruff D.R., Domec J.-C. 2011. Comparative hydraulic architecture of tropical tree species representing a range of successional stages and wood density. *Oecologia*, 167: 27-37.
- McWilliam A.L.C., Roberts J.M., Cabral O.M.R., Leitao M.V.B.R., Costa A.C.L., Maitelli G.T. *et al.* 1993. Leaf Area Index and Above-Ground Biomass of terra firme Rain Forest and Adjacent Clearings in Amazonia. *Functional Ecology*, 7: 310-317.



- Meinzer F.C. 2003. Functional convergence in plant responses to the environment. *Oecologia*, 134:1-11.
- Monteiro M.H.D.A., Neves L.J., Andreato R.H.P. 2007. Levantamento e distribuição das espécies de *Pouteria* Aubl.(Sapotaceae) do Estado do Rio de Janeiro, Brasil. *Revista Brasileira de Biociências*, 5: 369-371.
- Montgomery D.C., Peck E.A., Vining G.G. 2012. Introduction to linear regression analysis. Hoboken, USA: John Wiley & Sons. 13-15.
- Morton D., Nagol J., Carabajal C., Rosette J., Palace M. *et al.* 2014. Amazon forests maintain consistent canopy structure and greenness during the dry season. *Nature*, Letter. 10pp.
- Mulkey S.S., Kitajima K., Wright S.J. 1996. Plant physiological ecology of tropical forest canopies. *Tree*, 11: 408-412.
- Negrón-Juárez R.I., Holm J.A., Marra D.M., Rifai S.W., Riley W.J., Chambers J.Q. *et al.* 2018. Vulnerability of Amazon forests to storm-driven tree mortality. *Environmental Research Letters*, 13: 1-10.
- Nepstad D.C., Verssimo A., Alencar A., Nobre C., Lima E., Lefebvre P. *et al.* 1999. Large-scale impoverishment of Amazonian forests by logging and fire. *Nature*, 398: 505-508.
- Nogueira E.M., Fearnside P.M., Nelson B.W., Barbosa R.I., Keizer E.W.H. 2008. Estimates of forest biomass in the Brazilian Amazon: New allometric equations and adjustments to biomass from wood-volume inventories. *Forest Ecology and Management*, 256:1853-1867.
- Nogueira E.M., Nelson B.W., Fearnside P.M. 2004. Wood density in dense forest in Central Amazon. *Forest ecology and Management*, 208: 261-286.
- Nortcliff S., Thornes J.B. 1981. *Seasonal variations in the hydrology of a small forested catchment Inear Manaus, Amazonas, and the implications for its managemant.* Tropical agricultural hydrology-watershed management and Land Use, 225pp.
- O'Brien J., Oberbauer S., Clark D., Clark D.A. 2008. Phenology and Stem Diameter Increment Seasonality in a Costa Rican Wet Tropical Forest. *Biotropica*, 151-159.

- Oliveira R.S., Galvão H.C., Campos M.C., Eller C.B., Pearse S.J., Lambers H. 2015. Mineral nutrition of campos rupestres plant species on contrasting nutrient-impoverished soil types. *New Phytologist*, 205: 1183-1194.
- Oliveira T.A., Ronchi-Teles B., Fonseca C.R.V., Silva S.L.R., Santos P.A., Nunez C.V. 2012. Insecticidal activity of *Vitex cymosa* (Lamiaceae) and *Eschweilera pedicellata* (Lecythidaceae) extracts against *Sitophilus zeamais* adults (Curculionidae). *Emirates Journal of Food and Agriculture*, 24: 49-56. <https://www.ejfa.me/index.php/journal/article/view/729>
- Osunkoya O.O., Sheng T.K., Mahmud N.A., Damit N. 2007. Variation in wood density, wood water content, stem growth and mortality among twenty-seven tree species in a tropical rainforest on Borneo Island. *Austral Ecology*, 32: 191-201.
- Ourique L.K. de. 2014. *Produção de serapilheira e incremento diamétrico em uma Floresta de Terra Firme na Amazônia Central*. Dissertação de Mestrado, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Manaus, Amazonas. 69 pp.
- Phillips O.L., Aragão L.E.O.C., Lewis S.L., Fisher J.B., Lloyd J., López-González G. *et al.* 2009. Drought sensitivity of the Amazon rainforest. *Science (New York, N.Y.)* 323: 1344-1347.
- Phillips O.L., Sullivan M.J.P., Baker T.R., Monteagudo Mendoza A., Vargas P.N., Vásquez R. 2019. Species Matter: Wood Density Influences Tropical Forest Biomass at Multiple Scales. *Surveys in Geophysics* 40: 913-935.
- Poorter H., Niinemets Ü., Poorter L., Wright I.J., Villar R. 2009. Causes and consequences of variation in leaf mass per area (LMA): A meta-analysis. *New Phytologist*, 182: 565-588.
- Poorter H., Niinemets U., Poorter L., Wright I.J., Villar *et al.* 2009. Causes and consequences of variation in leaf mass per área (LMA) a meta-analysis. *New phytologist*, 182: 565-588.
- Powell T.L., Koven C.D., Johnson D.J., Faybishenko B., Fisher R.A., Knox R.G. *et al.* 2018. Variation in hydroclimate sustains tropical forest biomass and promotes functional diversity. *New Phytologist*, 219: 932-946.
- R Core.Team. 2020. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing.

- Reich P.B., Wright I.J., Cevender-Bares J., Craine J.M. *et al.* 2003. The evolution of plant functional variation: traits, spectra and strategies. *Plant sciences*, 3:143-164.
- Ribeiro J.E.L.S., Hopkins M.J.G., Vicentini A., Sothers C.A., Costa M.A.S., Brito J.M. 1999. *Flora da Reserva Ducke: Guia de identificação das plantas vasculares de uma floresta de terra-firme na Amazônia Central*. Editora INPA, Manaus. 816pp.
- Richardson J.J., Moskal L.M., Kim S. 2009. Modeling approaches to estimate effective leaf area index from aerial discrete-return LIDAR. *Agricultural and forest meteorology*, 149: 1152-1160.
- Rios M.N.S., Pastore Junior F. 2011. *Plantas da Amazônia: 450 espécies de uso geral*. Universidade de Brasília, Brasília. 3140pp.
- Rowland L., Costa A.C.L., Galbraith D.R., Oliveira R.S., Binks O.J., Oliveira A.A.R., Ferreira L.V. 2015. Death from drought in tropical forests is triggered by hydraulics not carbon starvation. *Nature*, 528: 119-122.
- Rowland L., Malhi Y., Silva-Espejo J.E., Farfán-Amézquita *et al.* 2014. The sensitivity of wood production to seasonal and interannual variations in climate in a lowland Amazonian rainforest. *Oecologia*, 174: 2955-306.
- Rowland L., Costa A.C.L., Oliveira R.S., Bittencourt P.R.L., Giles A.L. *et al.* 2020. The response of carbon assimilation and storage to long-term drought in tropical trees is dependent on light availability. *Functional Ecology*, 1: 1-27.
- Rüger N., Berger U., Hubbell S.P., Vieilledent G., Condit R. 2011. Growth Strategies of Tropical Tree Species: Disentangling Light and Size Effects. *PLoS ONE* 6: e25330.
- Sage R.F., Kubien D.S. 2007. The temperature response of C3 and C4 photosynthesis. *Plant, Cell and Environment*, 30: 1086-1106.
- Saleska S.R., Didan K., Huete A.R., da Rocha H.R. 2007. Amazon forests green-up during 2005 drought. *Science*, 318: 612.
- Santos V.A., Ferreira M.J., Rodrigues J.V., Garcia M.N. *et al.* 2018. Causes of reduced leaf-level photosynthesis during strong El Niño drought in a Central Amazon Forest. *Global Change Biology*, 24: 4266-4279.

- Seghieri J., Do F., Devineau J., Fournier A. 2012. Phenology of Woody Species Along the Climatic Gradient in West Tropical Africa. *Phenology and Climate Change*, 22: 144-178.
- Silvertown J. 2004. Plant coexistence and the niche. *Trends in Ecology & Evolution* 19: 605-611.
- Slot M., Winter K. 2017. In situ temperature response of photosynthesis of 42 tree and liana species in the canopy of two Panamanian lowland tropical forests with contrasting rainfall regimes. *New Phytologist* 214: 1103-1117.
- Silva R.P., Santos J., Tribuzy E., Chambers J.Q., Nakamura S., Higuchi N. 2002. Diameter increment and growth patterns for individual tree growing in Central Amazon, Brazil. *Forest Ecology and Management*, 166: 295-301.
- Silva R.P., Nakamura S., Azevedo C.P., Chambers J., Rocha R.M., Pinto A.C.M., Santos J., Higuchi N. 2003. Uso de banda dendométrica na definição de padrões de crescimento individual em diâmetro de árvores na bacia do rio Cuieiras. *Acta Amazonica*, 33: 67-86.
- Simplício F.G. 2017. *Estudo químico e farmacológico do gênero Byrsonima (Malpighiaceae) para o desenvolvimento de novos anti-inflamatórios e antimicrobianos*. Tese de Doutorado, Universidade Federal do Amazonas, Manaus, Amazonas. 229 pp.
- Smith M.N., Scott C.S., Taylor T.C., Ferreira M.L. *et al.* 2019. Seasonal and drought-related changes in leaf area profiles depend on height and light environment in an Amazon forest. *New phytologist*, 222: 1284-1297.
- Souza W.O., Alves-Araújo A. 2017. Flora of the Espírito Santo: Micropholis (Sapotaceae-Chrysophylloideae). *Rodriguésia*, 68: 1871-1882.
- Souza A.P. 2020. *Incremento de espécies arbóreas com potencialidade de uso múltiplo*. Dissertação de Mestrado. Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Manaus, Amazonas. 68 pp.
- Souza A.P., Marengo R.A. 2022. Stem growth of multipurpose tree species: net effect of micrometeorological variability assessed by principal component regression. *Acta Amazonica*, 52: 277-284.
- Spanner G.C., Gimenez B.O., Wright C.L., Menezes V.S., Newman B.D., Collins A.D., Jardine K.J., Negrón-Juárez R.L., Lima A.D.N., Rodrigues J.R., Chambers J.Q., Higuchi N., Warren J.M.

2022. Dry season transpiration and soil water dynamics in the central Amazon. *Plant Science*, 13: 1-16.
- Stark S.C., Leitold J.L., Hunter M.O., Castilho C.V., Costa F.R.C. *et al.* 2012. Amazon forest carbon dynamics predicted by profiles of canopy leaf area and light environment. *Ecology letters*, 15:1406-1414.
- Uriarte M., Lasky J.R., Boukili V.K., Chazdon R.L. 2016. A trait-mediated, neighbourhood approach to quantify climate impacts on successional dynamics of tropical rainforests. *Functional Ecology*, 30: 157-167.
- Valdez-Hernández M., Andrade J.L., Jackson P.C., Rebolledo-Vieyra M. 2010. Phenology of five tree species of a tropical dry forest in Yucatan, Mexico: effects of environmental and physiological factors. *Plant and soil*, 329: 155-171.
- Van der Sande M.T., Arets E.J., Peña-Claros M., Avila A.L., Roopsind A., Mazzei L. *et al.* 2016. Old-growth Neotropical forests are shifting in species and trait composition. *Ecological Monographs*, 86: 228-243.
- Vieira S., Camargo P.B., Selhorst D., da Silva R., Hutyrá L., Chambers J.Q. *et al.* 2004. Forest structure and carbon dynamics in Amazonian tropical rain forests. *Oecologia* 140: 468-479.
- Vilanova E., Ramírez-Angulo H., Torres-Lezama A., Aymard G., Gámez, L., Durán C. *et al.* 2018. Environmental drivers of forest structure and stem turnover across Venezuelan tropical forests. *PLoS ONE* 13:1-27.
- Wagner F., Rossi V., Stahl C., Bonal D., Hérault B. 2012. Water Availability Is the Main Climate Driver of Neotropical Tree Growth. *PLoS ONE*, 7: 1-11.
- Wagner F., Rossi V., Aubry-Kientz M., Bonal D., Dalitz H., Gliniars R.; *et al.* 2014. Pan-tropical analysis of climate effects on seasonal tree growth. *PLoS ONE* 9: 20-22.
- Weiner J. 1990. Asymmetric competition in plant populations. *Trends in Ecology and Evolution* 5: 360-364.
- Wiegand T., Uriarte M., Kraft N.J.B., Shen G., Wang X., He F. 2017. Spatially Explicit Metrics of Species Diversity, Functional Diversity, and Phylogenetic Diversity: Insights into Plant Community Assembly Processes. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics* 48: 329-351.

Williamson G.B., Wiemann M.C. 2010. Measuring wood specific gravity correctly. *American Journal of Botany*, 97: 519-524.

Wright S.J., Calderón O., Hernández A., Paton S. 2004. Are lianas increasing in importance in tropical forests? A 17-year record from Panama. *Ecology*, 85: 484-489.

Wright I.J., Reich P.B., Westoby M., Ackerly D.D. *et al.* 2004. The worldwide leaf economics spectrum. *Nature*, 428:821-827.

Wright S.J., Kitajima K., Kraft N.J.B., Reich P.B., Wright I.J., Bunker D.E. *et al.* 2010. Functional traits and the growth-mortality trade-off in tropical trees. *Ecology*, 91: 3664-3674.

Zanne A.E., Falster D.S. 2010. Plant functional traits- linkages among stem anatomy, plant performance and life history. *The new phytologist*, 185:348-351.

## APÊNDICE A

Média das variáveis climáticas dos 48 meses da coleta de dados (2018-2021). Radiação fotossinteticamente ativa (PAR em mol m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>). Temperatura média, mínima e máxima (Tmed, Tmin e Tmax em °C). Déficit de pressão de vapor média, mínima e máximo (DPVmin, DPVmed e DPVmax em hPa) Teor de água no solo (TAS em %) e Evapotranspiração (EVT em mm mês<sup>-1</sup>) e Precipitação (Prec em mm mês<sup>-1</sup>). O desvio padrão e média das variáveis PAR e TAS ( $\pm$ ).

Meses	Ano	PAR	Prec	Tmed	Tmin	Tmax	DPVmed	DPVmin	DPVmax	TAS	EVT
Janeiro	2018	25,95±5,1	421,14	25,24	23,44	27,38	6,87	3,45	9,26	50,10±0,8	92,55
Fevereiro	2018	24,39±3,2	280,89	25,38	23,55	27,53	7,52	3,26	10,21	48,40±1,5	89,30
Março	2018	28,12±2,1	235,56	25,77	23,77	28,24	7,66	3,63	10,77	48,12±3,6	101,6
Abril	2018	23,69±2,4	385,56	25,30	23,54	27,46	7,53	2,83	10,43	49,17±0,6	86,78
Maio	2018	24,64±0,7	302,73	25,32	23,60	27,32	6,50	2,90	9,02	48,92±1,3	81,56
Junho	2018	30,01±3,1	137,19	25,43	23,48	27,64	8,45	4,25	12,19	46,40±1,0	80,26
Julho	2018	31,20±2,2	250,77	25,70	23,73	27,92±	9,20	4,95	12,71	44,78±1,6	85,66
Agosto	2018	33,82±4,6	68,73	26,15	23,95	28,45	11,08	6,88	14,86	42,21±1,5	95,53
Setembro	2018	34,06±3,0	57,96	26,78	24,54	28,98	10,30	4,88	14,50	39,34±2,6	98,50
Outubro	2018	35,54±3,3	126,66	27,85	24,98	30,92	11,07	5,03	16,39	42,00±1,8	122,18
Novembro	2018	29,50±3,2	210,78	27,60	25,12	30,29	9,12	4,27	13,62	44,70±1,9	107,89
Dezembro	2018	24,17±7,7	227,88	25,47	23,44	27,72	6,77	3,20	9,37±	46,40±0,4	95,56
Janeiro	2019	26,02±5,1	351,06	25,53	23,53	27,78	6,68	3,33	10,33	51,88±0,9	96,68
Fevereiro	2019	26,74±2,9	250,95	25,75	23,96	27,90	6,81	3,13	11,51	49,62±1,6	86,50
Março	2019	32,90±2,2	156,21	26,10	24,06	28,60	7,78	3,44	13,34	47,16±3,7	103,37
Abril	2019	28,01±8,4	358,32	25,94	24,22	28,01	6,36	2,80	14,22	49,10±0,6	86,70
Maio	2019	18,48±6,5	416,77	25,78	24,20	27,63	3,67	0,66	11,78	50,84±1,4	79,25
Junho	2019	20,70±5,4	140,37	25,11	22,53	29,99	3,46	0,10	11,45	44,27±1,1	106,80
Julho	2019	22,34±5,7	86,45	25,27	22,22	30,49	5,33	1,20	14,81	43,18±1,6	118,91
Agosto	2019	24,18±4,0	209,29	25,54	21,88	31,44	6,97	1,95	18,21	43,79±1,5	137,09
Setembro	2019	27,93±6,4	150,29	26,24	22,22	32,63	7,69	2,14	19,21	42,47±2,7	148,86
Outubro	2019	30,57±5,5	118,68	25,29	22,27	31,03	5,33	1,27	18,27	43,57±1,8	140,13
Novembro	2019	29,20±7,9	293,84	25,71	22,86	31,28	7,12	1,94	18,24	48,03±2,0	132,08
Dezembro	2019	27,23±6,3	255,60	25,02	22,81	29,46	6,39	3,21	12,42	49,55±0,5	117,87
Janeiro	2020	31,17±6,6	128,94	25,62	22,74	30,73	6,86	2,34	16,69	46,91±1,4	132,78
Fevereiro	2020	29,60±6,5	162,64	25,81	23,12	30,69	6,94	1,95	18,41	44,64±1,3	120,02
Março	2020	28,00±11,0	245,12	25,97	23,06	30,68	6,46	1,46	17,78	48,41±1,1	133,26
Abril	2020	24,08±8,4	201,15	24,98	22,81	29,53	3,51	0,49	13,85	44,85±0,9	112,60
Maio	2020	23,06±6,2	217,67	24,94	22,86	29,14	2,95	0,37	11,71	44,57±1,0	104,91
Junho	2020	25,06±5,5	115,69	25,10	22,61	29,88	4,83	0,70	15,67	43,02±1,1	105,32

Julho	2020	31,01±5,2	77,05	25,62	22,13	31,48	7,81	1,48	21,92±	40,77±0,9	127,60
Agosto	2020	21,86±3,9	75,24	26,29	22,15	32,55	6,27	0,74	21,74	39,94±0,9	145,76
Setembro	2020	24,08±5,2	123,79	26,23	22,20	33,06	10,21	2,47	27,93	40,43±2,1	152,14
Outubro	2020	23,94±6,7	183,62	25,28	22,34	31,30±	5,89	0,73	19,62	43,01±1,8	141,66
Novembro	2020	17,66±6,9	128,82	25,30	22,64	30,08	5,07	0,42	16,37	44,32±2,0	122,86
Dezembro	2020	16,06±5,7	270,79	24,85	22,16	30,53	4,68	0,32	17,17	51,49±1,5	131,63
Janeiro	2021	26,25±7,8	255,36	24,57	22,27	29,34	5,77	2,49	11,94	50,54±2,4	121,74
Fevereiro	2021	16,66±5,6	266,32	24,89	22,64	29,31	4,86	0,51	15,44	50,89±0,9	110,14
Março	2021	20,54±9,6	350,67	24,31	22,15	28,76	4,44	0,73	16,62	52,47±0,7	119,69
Abril	2021	17,91±5,1	298,90	25,02	22,63	31,19	9,23	4,47	27,51	50,22±1,6	128,12
Mai	2021	13,79±3,2	240,58	25,17	22,78	30,63	9,13	4,49	24,34	49,29±2,5	118,70
Junho	2021	14,70±3,7	176,11	25,23	22,35	31,84	9,81	3,83	26,42	48,32±0,7	120,87
Julho	2021	15,36±4,1	168,46	24,83	21,80	31,47	6,86	1,16±	21,31	46,86±2,7	126,82
Agosto	2021	18,86±6,7	198,14	25,54	21,96	32,71	8,61	2,27	25,40	46,13±4,1	144,76
Setembro	2021	33,91±5,9	181,96	25,34	21,82	32,48	7,37	1,17	25,09	46,26±1,8	147,13
Outubro	2021	32,76±8,3	290,47	25,72	22,35	32,22	5,39	0,02	20,84	49,40±1,3	150,28
Novembro	2021	27,51±7,2	237,74	25,35	22,72	30,89	7,26	4,29	13,49	49,94±0,7	129,18
Dezembro	2021	20,40±5,5	261,75	24,95	22,89	29,79	6,15	3,61	11,46	50,38±1,2	119,82



## APÊNDICE B

**Quadro 1.** Coeficiente do método de Pearson das 10 variáveis microclimáticas durante os 48 meses de estudo.

Variáveis	PAR	Precipitação	Tmed	Tmin	Tmax	DPVmed	DPVmin	DPVmax	TAS	EVT
PAR	1,00	-0,26	0,56	0,42	-0,08	0,33	0,33	-0,21	-0,35	-0,05
Preci	-0,26	1,00	-0,31	0,19	-0,48	-0,27	-0,02	-0,34	0,83	-0,36
Tmed	0,56	-0,31	1,00	0,63	0,13	0,58	0,42	0,04	-0,50	0,00
Tmin	0,42	0,19	0,63	1,00	-0,64	0,34	0,59	-0,56	0,03	-0,71
Tmax	-0,08	-0,48	0,13	-0,64	1,00	0,14	-0,31	0,85	-0,40	0,94
DPVmed	0,33	-0,27	0,58	0,34	0,14	1,00	0,82	0,32	-0,28	0,33
DPVmin	0,33	-0,02	0,42	0,59	-0,31	0,82	1,00	-0,14	0,00	-0,38
DPVmax	-0,21	-0,34	0,04	-0,56	0,85	0,32	-0,14	1,00	-0,27	0,75
TAS	-0,35	0,83	-0,50	0,03	-0,40	-0,28	0,00	-0,27	1,00	-0,26
EVT	-0,05	-0,36	0,00	-0,71	0,94	0,01	-0,38	0,75	-0,26	1,00

**Abreviação:** Radiação fotossinteticamente ativa (PAR); Precipitação como (Preci); Temperatura média como (Tmed); Temperatura mínima como (Tmin); Temperatura máxima como (Tmax); Déficit de pressão de vapor média como (DPVmed); Déficit de pressão de vapor mínimo como (DPVmin); Déficit de pressão de vapor máxima como (DVPmax); Teor de água no solo como TAS; Evapotranspiração como (EVT). Unidades de medida como no Apêndice A.

## APÊNDICE C

Média e desvio padrão ( $\pm$ ) do incremento médio mensal (mm/mês) durante 48 meses (2018-2021) das sete espécies estudadas neste estudo.

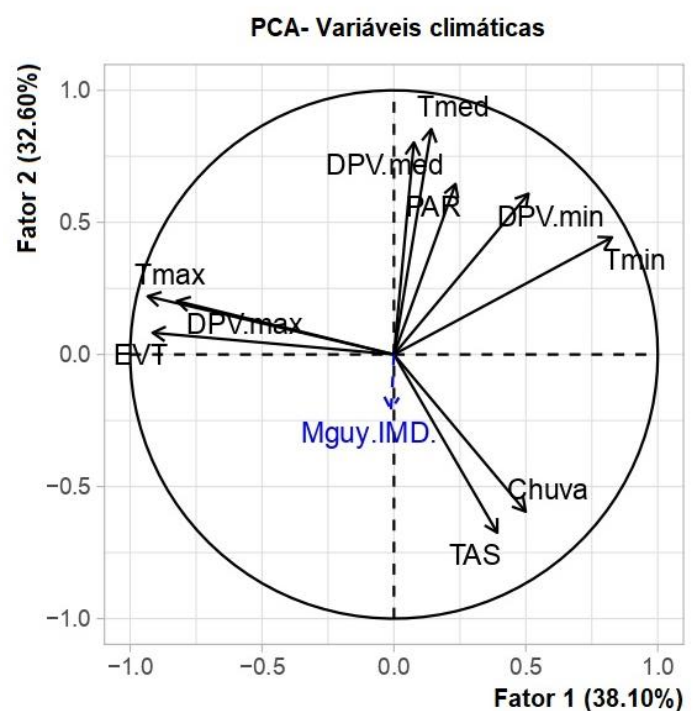
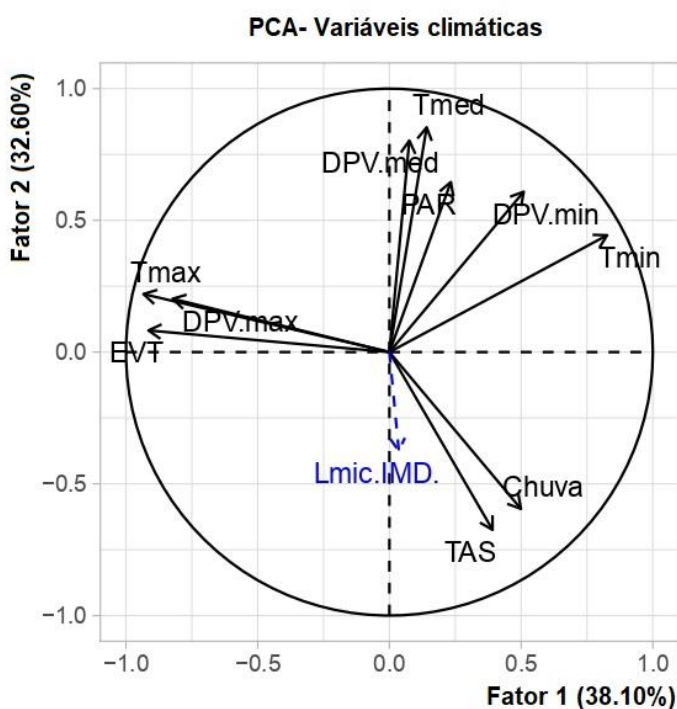
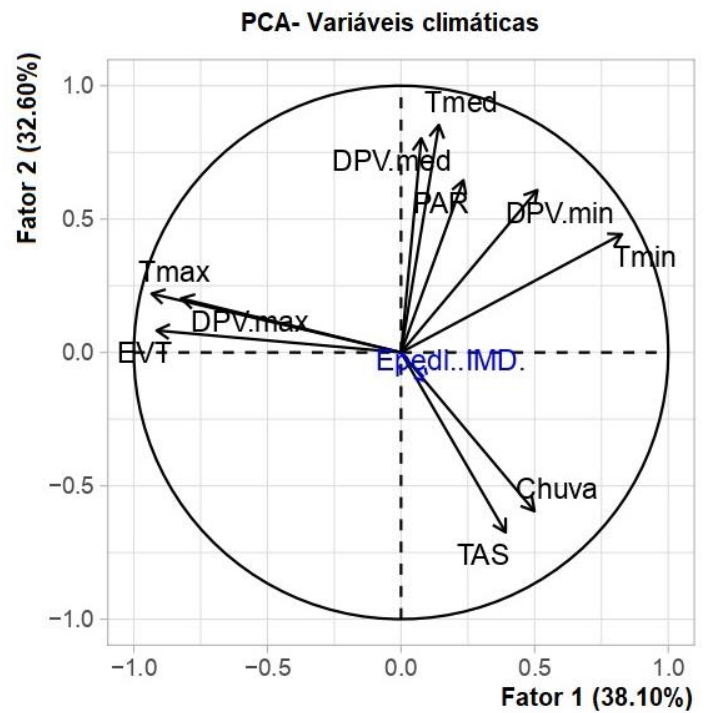
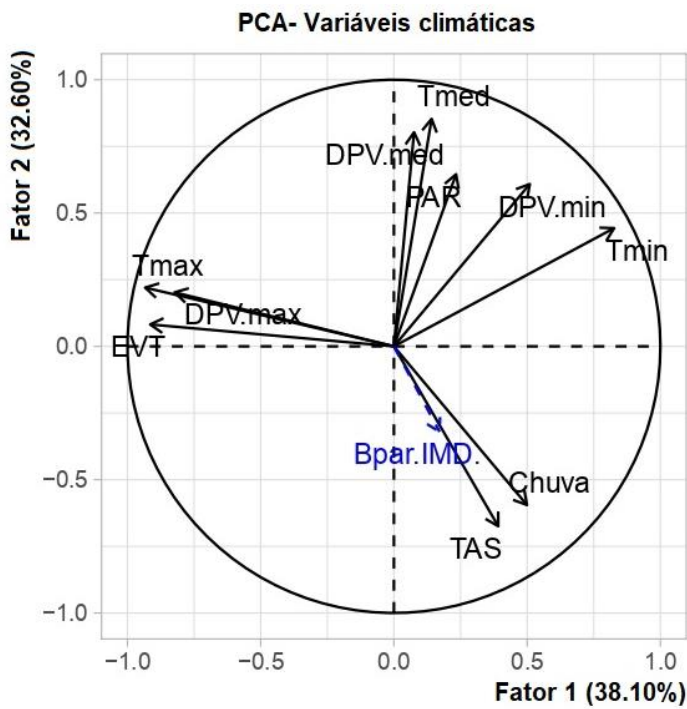
Ano	Meses	Média Geral	Bpar	Epedi	Lmicra	Mguy	Pgui	Papi	Tsyl
2018	Jan	0,14 $\pm$ 0,1	0,16 $\pm$ 0,06	0,12 $\pm$ 0,15	0,25 $\pm$ 0,09	0,11 $\pm$ 0,1	0,14 $\pm$ 0,12	0,13 $\pm$ 0,09	0,05 $\pm$ 0,02
2018	Fev	0,12 $\pm$ 0,08	0,16 $\pm$ 0,05	0,12 $\pm$ 0,15	0,18 $\pm$ 0,06	0,13 $\pm$ 0,13	0,12 $\pm$ 0,13	0,13 $\pm$ 0,10	0,03 $\pm$ 0,03
2018	Mar	0,12 $\pm$ 0,10	0,23 $\pm$ 0,13	0,13 $\pm$ 0,22	0,18 $\pm$ 0,07	0,13 $\pm$ 0,19	0,04 $\pm$ 0,03	0,14 $\pm$ 0,13	0,05 $\pm$ 0,05
2018	Abr	0,17 $\pm$ 0,14	0,34 $\pm$ 0,21	0,16 $\pm$ 0,25	0,26 $\pm$ 0,12	0,16 $\pm$ 0,21	0,06 $\pm$ 0,05	0,22 $\pm$ 0,20	0,08 $\pm$ 0,07
2018	Mai	0,10 $\pm$ 0,10	0,17 $\pm$ 0,13	0,04 $\pm$ 0,07	0,21 $\pm$ 0,10	0,12 $\pm$ 0,11	0,04 $\pm$ 0,06	0,17 $\pm$ 0,21	0,01 $\pm$ 0,05
2018	Jun	0,06 $\pm$ 0,08	0,15 $\pm$ 0,15	0,02 $\pm$ 0,07	0,10 $\pm$ 0,06	0,09 $\pm$ 0,09	0,03 $\pm$ 0,08	0,10 $\pm$ 0,13	-0,01 $\pm$ 0,04
2018	Jul	0,06 $\pm$ 0,09	0,21 $\pm$ 0,24	-0,01 $\pm$ 0,06	0,07 $\pm$ 0,07	0,05 $\pm$ 0,06	-0,02 $\pm$ 0,04	0,19 $\pm$ 0,20	-0,02 $\pm$ 0,05
2018	Ago	0,04 $\pm$ 0,06	0,05 $\pm$ 0,09	0,06 $\pm$ 0,07	-0,02 $\pm$ 0,08	0,05 $\pm$ 0,06	0,04 $\pm$ 0,06	0,09 $\pm$ 0,10	-0,01 $\pm$ 0,03
2018	Set	0,05 $\pm$ 0,07	0,05 $\pm$ 0,02	0,02 $\pm$ 0,08	0,16 $\pm$ 0,11	0,01 $\pm$ 0,11	0,04 $\pm$ 0,05	0,07 $\pm$ 0,06	0,00 $\pm$ 0,08
2018	Out	0,12 $\pm$ 0,12	0,05 $\pm$ 0,04	0,18 $\pm$ 0,14	0,14 $\pm$ 0,16	0,17 $\pm$ 0,18	0,03 $\pm$ 0,17	0,24 $\pm$ 0,18	0,01 $\pm$ 0,06
2018	Nov	0,1 $\pm$ 0,12	0,03 $\pm$ 0,02	0,02 $\pm$ 0,15	0,15 $\pm$ 0,21	0,22 $\pm$ 0,28	0,21 $\pm$ 0,18	0,08 $\pm$ 0,05	0,01 $\pm$ 0,05
2018	Dez	0,08 $\pm$ 0,11	0,01 $\pm$ 0,00	0,05 $\pm$ 0,11	0,11 $\pm$ 0,20	0,22 $\pm$ 0,24	0,11 $\pm$ 0,22	0,06 $\pm$ 0,05	-0,01 $\pm$ 0,01
2019	Jan	0,16 $\pm$ 0,17	0,10 $\pm$ 0,00	0,11 $\pm$ 0,17	0,19 $\pm$ 0,17	0,28 $\pm$ 0,20	0,15 $\pm$ 0,24	0,34 $\pm$ 0,29	-0,02 $\pm$ 0,06
2019	Fev	0,17 $\pm$ 0,12	0,21 $\pm$ 0,17	0,12 $\pm$ 0,11	0,14 $\pm$ 0,12	0,17 $\pm$ 0,19	0,20 $\pm$ 0,17	0,36 $\pm$ 0,14	0,06 $\pm$ 0,07
2019	Mar	0,04 $\pm$ 0,09	0,04 $\pm$ 0,26	-0,03 $\pm$ 0,10	0,17 $\pm$ 0,09	0,04 $\pm$ 0,08	0,07 $\pm$ 0,07	0,04 $\pm$ 0,14	0,03 $\pm$ 0,04
2019	Abr	0,19 $\pm$ 0,12	0,40 $\pm$ 0,28	0,11 $\pm$ 0,05	0,24 $\pm$ 0,06	0,15 $\pm$ 0,06	0,18 $\pm$ 0,13	0,23 $\pm$ 0,22	0,04 $\pm$ 0,07
2019	Mai	0,14 $\pm$ 0,14	0,57 $\pm$ 0,41	0,05 $\pm$ 0,02	0,29 $\pm$ 0,14	0,04 $\pm$ 0,06	0,07 $\pm$ 0,11	0,14 $\pm$ 0,17	0,02 $\pm$ 0,03
2019	Jun	0,11 $\pm$ 0,14	0,33 $\pm$ 0,50	-0,08 $\pm$ 0,12	0,22 $\pm$ 0,06	0,10 $\pm$ 0,12	0,06 $\pm$ 0,06	0,14 $\pm$ 0,14	0,05 $\pm$ 0,07
2019	Jul	0,09 $\pm$ 0,07	0,16 $\pm$ 0,06	0,06 $\pm$ 0,05	0,19 $\pm$ 0,08	0,11 $\pm$ 0,12	0,02 $\pm$ 0,03	0,10 $\pm$ 0,09	0,01 $\pm$ 0,08
2019	Ago	0,1 $\pm$ 0,11	0,15 $\pm$ 0,19	0,03 $\pm$ 0,10	0,19 $\pm$ 0,11	0,17 $\pm$ 0,21	0,13 $\pm$ 0,11	0,11 $\pm$ 0,13	-0,05 $\pm$ 0,04
2019	Set	0,09 $\pm$ 0,11	0,09 $\pm$ 0,18	-0,03 $\pm$ 0,12	0,12 $\pm$ 0,15	0,26 $\pm$ 0,23	0,12 $\pm$ 0,13	0,07 $\pm$ 0,16	0,05 $\pm$ 0,07
2019	Out	0,15 $\pm$ 0,12	0,14 $\pm$ 0,01	0,05 $\pm$ 0,08	0,22 $\pm$ 0,14	0,29 $\pm$ 0,20	0,26 $\pm$ 0,17	0,20 $\pm$ 0,10	-0,04 $\pm$ 0,05
2019	Nov	0,18 $\pm$ 0,16	-0,03 $\pm$ 0,04	0,22 $\pm$ 0,31	0,19 $\pm$ 0,14	0,22 $\pm$ 0,19	0,23 $\pm$ 0,21	0,34 $\pm$ 0,17	0,04 $\pm$ 0,04
2019	Dez	0,22 $\pm$ 0,18	0,14 $\pm$ 0,05	0,08 $\pm$ 0,29	0,28 $\pm$ 0,14	0,29 $\pm$ 0,18	0,36 $\pm$ 0,18	0,44 $\pm$ 0,20	0,04 $\pm$ 0,08
2020	Jan	0,19 $\pm$ 0,15	0,03 $\pm$ 0,01	0,18 $\pm$ 0,14	0,29 $\pm$ 0,13	0,26 $\pm$ 0,19	0,29 $\pm$ 0,18	0,31 $\pm$ 0,24	0,01 $\pm$ 0,06

2020	Fev	0,23±0,17	0,03±0,07	0,24±0,19	0,45±0,12	0,30±0,16	0,30±0,20	0,24±0,20	0,04±0,07
2020	Mar	0,18±0,17	0,01±0,01	0,31±0,35	0,39±0,12	0,13±0,07	0,19±0,19	0,18±0,15	-0,01±0,02
2020	Abr	0,13±0,11	0,12±0,10	0,03±0,08	0,30±0,07	0,20±0,14	0,17±0,22	0,03±0,02	0,09±0,05
2020	Mai	0,11±0,11	-0,02±0,21	0,12±0,10	0,33±0,08	0,08±0,12	0,15±0,17	0,06±0,08	0,06±0,06
2020	Jun	0,06±0,11	-0,04±0,26	0,07±0,22	0,17±0,11	0,08±0,13	0,08±0,17	0,00±0,07	0,01±0,06
2020	Jul	0,01±0,09	-0,12±0,10	-0,10±0,04	0,17±0,12	0,11±0,13	0,00±0,05	0,06±0,04	-0,03±0,02
2020	Ago	0,05±0,08	0,08±0,13	0,04±0,11	0,12±0,10	0,05±0,09	0,07±0,10	-0,03±0,03	0,02±0,06
2020	Set	0,07±0,1	0,03±0,06	0,12±0,17	0,23±0,11	0,15±0,12	-0,08±0,05	0,04±0,05	0,00±0,06
2020	Out	0,09±0,10	0,08±0,10	0,00±0,13	0,15±0,18	0,19±0,19	0,06±0,13	0,13±0,08	0,06±0,06
2020	Nov	0,17±0,17	0,29±0,42	0,18±0,25	0,29±0,19	0,23±0,19	0,11±0,09	0,22±0,25	-0,03±0,06
2020	Dez	0,21±0,20	0,22±0,47	0,15±0,19	0,45±0,17	0,25±0,23	0,13±0,13	0,33±0,22	0,02±0,11
2021	Jan	0,22±0,17	0,34±0,40	0,23±0,18	0,39±0,14	0,21±0,31	0,14±0,16	0,21±0,17	0,08±0,06
2021	Fev	0,18±0,18	0,27±0,50	0,17±0,15	0,23±0,14	0,24±0,21	0,21±0,15	0,22±0,22	-0,04±0,03
2021	Mar	0,13±0,13	0,15±0,26	0,00±0,07	0,28±0,02	0,15±0,18	0,11±0,14	0,18±0,19	0,09±0,03
2021	Abr	0,14±0,16	0,28±0,36	0,12±0,17	0,33±0,14	0,16±0,19	0,10±0,14	0,17±0,19	-0,05±0,06
2021	Mai	0,08±0,08	0,09±0,14	0,01±0,06	0,23±0,09	0,07±0,06	0,07±0,08	0,11±0,02	0,00±0,05
2021	Jun	0,09±0,07	0,19±0,12	0,07±0,09	0,14±0,06	0,01±0,04	0,16±0,10	0,10±0,04	0,02±0,08
2021	Jul	0,04±0,09	0,12±0,21	0,04±0,15	0,09±0,10	0,03±0,10	0,11±0,08	0,01±0,04	-0,05±0,02
2021	Ago	0,09±0,10	0,20±0,34	0,09±0,14	0,12±0,08	0,09±0,14	0,10±0,18	0,02±0,05	0,05±0,09
2021	Set	0,07±0,09	0,15±0,10	0,06±0,13	0,16±0,19	0,11±0,12	0,03±0,09	0,00±0,10	0,01±0,06
2021	Out	0,19±0,16	0,06±0,05	0,11±0,13	0,26±0,16	0,42±0,33	0,25±0,30	0,23±0,18	0,04±0,04
2021	Nov	0,12±0,13	0,03±0,03	0,14±0,22	0,34±0,18	0,09±0,24	0,15±0,03	0,15±0,14	-0,02±0,02
2021	Dez	0,12±0,13	0,05±0,08	0,13±0,23	0,14±0,18	0,17±0,24	0,23±0,20	0,05±0,10	0,04±0,07

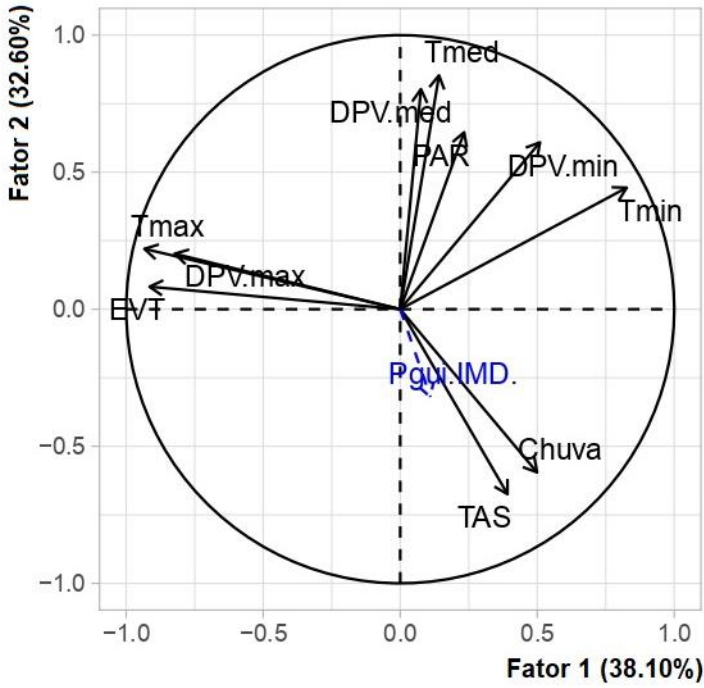
---

## APÊNDICE D

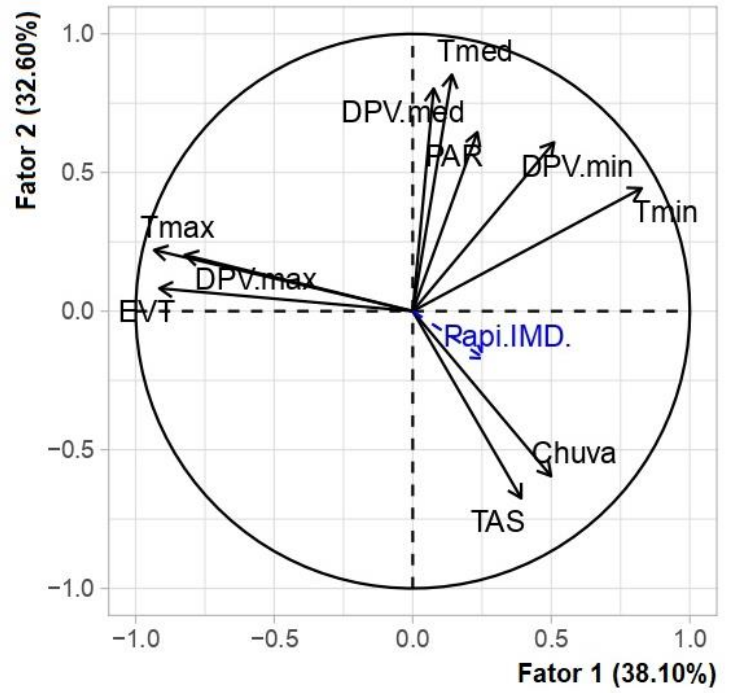
Análise por componentes principais das variáveis climáticas e o incremento do diâmetro do tronco (mm/mês) das sete espécies do estudo. As siglas das variáveis climáticas correspondem a Tabela do Apêndice C.



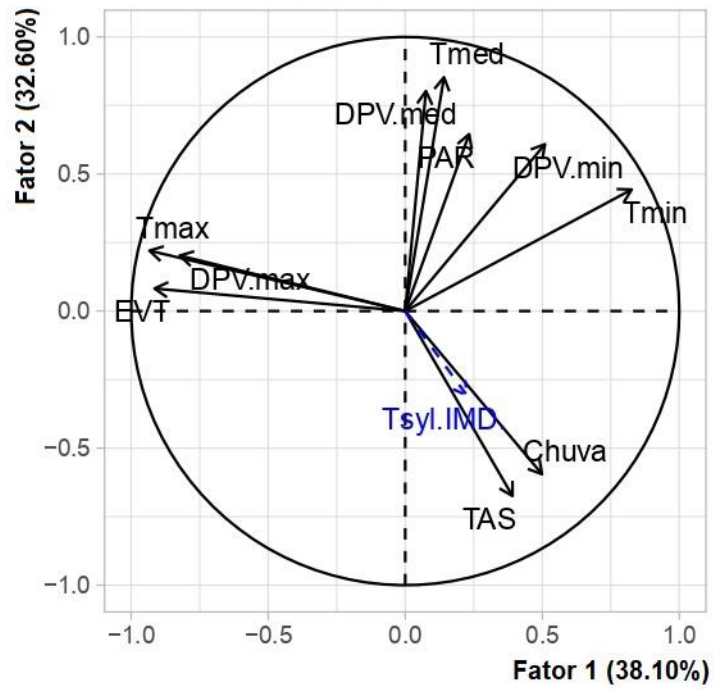
PCA- Variáveis climáticas



PCA- Variáveis climáticas



PCA- Variáveis climáticas



## APÊNDICE E

**Tabela 2.** Resultados da análise granulométrica e pH do solo da área de estudo, com profundidade de 0-10 cm e 10-20 cm. A unidade de media para análise granulométrica (areia, silte e argila) e para matéria orgânica (MOS) e carbono (C) é de  $\text{g kg}^{-1}$ . Na tabela a média e desvio padrão ( $\pm$ ).

Camada	Areia	Silte	Argila	MOS	C	pH	
Unidade	(g kg <sup>-1</sup> )					(água)	(KCl)
0-10 (cm)	(111,60±3,85)	(90,00±47,27)	(798,20±44,31)	(52,89±2,56)	(30,68±1,49)	(4,18±0,04)	(3,74±0,02)
10-20 (cm)	(94,80±7,46)	(134,80±28,99)	(770,00±35,29)	(34,30±2,71)	(19,92±1,57)	(4,30±0,08)	(3,93±0,03)

## APÊNDICE F

**Tabela 3.** Análise de macro e micronutrientes presentes no solo da área de estudo. A profundidade da coleta do solo foi de (0-10 cm) e (10-20 cm). Na tabela a média e desvio padrão ( $\pm$ ).

Micronutrientes						
Nutrientes	Al	Al+H	Na	Fe	Zn	Mn
Unidades	(cmolc kg <sup>-1</sup> )	(cmolc kg <sup>-1</sup> )		(mg kg <sup>-1</sup> )		
0-10(cm)	(2,03±0,06)	(10,74±0,45)	(0,06±0,01)	(325,16±8,78)	(0,38±0,07)	(2,43±0,68)
20-10(cm)	(1,48±0,06)	(7,12±0,41)	(0,04±0,00)	(281,34±17,8)	(0,27±0,10)	(2,12±0,36)
Macronutrientes primários			Macronutrientes secundários			
Nutrientes	N	P	K	Ca	Mg	
Unidades	(g kg <sup>-1</sup> )	(mg kg <sup>-1</sup> )		(cmolc kg <sup>-1</sup> )		
0-10(cm)	(2,71±0,09)	(1,34±0,10)	(0,10±0,01)	(0,06±0,02)	(0,17±0,02)	
10-20(cm)	(1,84±0,11)	(0,81±0,07)	(0,06±0,00)	(0,03±0,01)	(0,10±0,01)	