INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS DA AMAZÔNIA - INPA

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRICULTURA NO TRÓPICO ÚMIDO

INCREMENTO DE ESPÉCIES ARBÓREAS COM POTENCIALIDADE DE USO MÚLTIPLO

ALAN PENA DE SOUZA

Manaus, Amazonas

outubro, 2020

ALAN PENA DE SOUZA

INCREMENTO DE ESPÉCIES ARBÓREAS COM POTENCIALIDADE DE USO MÚLTIPLO

Orientador: Dr. Ricardo Antonio Marenco
Coorientador: Dr. Saul Alfredo Antezana-Vera

Projeto financiado via: PRJ15.182 (FIXAM/FAPEAM-005/2018)

Dissertação apresentada ao Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Agricultura no Trópico Úmido. Área de concentração: Ecofisiologia de árvores.

Manaus, Amazonas

outubro, 2020

INPA
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS DA AMAZÔNIA

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA, INOVAÇÕES E COMUNICAÇÕES

PÁTRIA AMADA BRASIL
GOVERNO FEDERAL

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRICULTURA NO TRÓPICO ÚMIDO

DEFESA PÚBLICA DE DISSERTAÇÃO

Ata da Defesa Presencial de Dissertação de Mestrado de ALAN PENA DE SOUZA, aluno (a) do Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Agricultura no Trópico Úmido, do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, realizada no dia 08 de outubro de 2020.

Aos 08 dias do mês de Outubro de 2020, às 09h, realizou-se por videoconferência a Defesa Pública da Dissertação de Mestrado, intitulada: **"INCREMENTO DE ESPÉCIES ARBÓREAS COM POTENCIALIDADE DE USO MÚLTIPLO"** do (a) aluno (a) ALAN PENA DE SOUZA, sob a orientação do (a) Prof. (a). Dr (a) Dr. Ricardo Antônio Marenco (INPA) em conformidade com o Artigo 52 do Regimento Geral da Pós-Graduação do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (MCTI-INPA) e Artigo 60 do Regimento Interno do PPG-ATU como parte de suas atividades para conclusão e obtenção do título de ***"MESTRE EM AGRICULTURA NO TRÓPICO ÚMIDO"***. A **Banca Examinadora** foi constituída pelos seguintes membros: **ADRIANO JOSÉ NOGUEIRA LIMA (INPA), BRUNO OLIVA GIMENEZ (INPA) e JAIR MAX FURTUNATO MAIA (UEA).** O Presidente da Banca Examinadora deu início à sessão, convidando os membros e o (a) Mestrando (a) a tomarem seus lugares. Em seguida, O Sr. Presidente informou sobre o procedimento do exame. A palavra foi facultada ao (a) Mestrando (a) para apresentar uma síntese do seu estudo e responder às perguntas formuladas pelos membros da Banca Examinadora. Após a apresentação e arguição pelos membros da Banca Examinadora esta decidiu por **aprovar**. O **Certificado de conclusão do Curso de mestrado e o Diploma o aluno receberá somente o título após cumprir as exigências do Art. 54 do Regulamento Geral dos programas de Pós-Graduação *Stricto Sensu* datado de 29 de fevereiro de 2008.** Serão conferidos ao (a) aluno (a) após a apresentação, um prazo máximo de 30 (trinta) dias após a Defesa da versão definitiva contendo as modificações sugeridas pela Banca e impressa em 02 (duas) cópias e 1 (uma) cópia em meio digital (arquivo preferencialmente em .pdf, que inclua todo o texto, figuras e outras matérias que fazem parte da dissertação). Nada mais havendo, a sessão foi encerrada, foi lavrada a presente Ata, que, após lida e aprovada, foi assinada pelos membros da Banca Examinadora.

BANCA EXAMINADORA:

Nome	Parecer	Assinatura
ADRIANO JOSÉ NOGUEIRA LIMA	(x) Aprovado ( ) Reprovado	Adriano José N. Lima
BRUNO OLIVA GIMENEZ	(x) Aprovado ( ) Reprovado	Bruno Oliva Gimenez
JAIR MAX FURTUNATO MAIA	(x) Aprovado ( ) Reprovado	Jair Max Furtunato Maia

( ) com *"Distinção"* ( ) com *"Distinção e Louvor"*

Manaus (AM), 08 de outubro de 2020.

Obs.: Considerar as sugestões e observações da banca examinadora._____

_____

_____

©SEDAB/INPA - Ficha Catalográfica Automática gerada com dados fornecidos pelo(a) autor(a)
Bibliotecário responsável: Jorge Luiz Cativo Alauzo - CRB11/908

Souza
i

Souza, Alan Pena de
INCREMENTO DE ESPÉCIES ARBÓREAS COM POTENCIALIDADE DE USO MÚLTIPLO / Alan Pena de Souza; orientador Ricardo Antonio Marenco Marenco; coorientador Saul Alfredo Antezana-Vera Antezana-Vera. -- Manaus:[s.l], 2020.
68 f.

Dissertação (Mestrado - Programa de Pós Graduação em Agricultura do Trópico Úmido) -- Coordenação do Programa de Pós-Graduação, INPA, 2020.

1. Dinâmica florestal. 2. Mudanças climáticas. 3. interações espaciais. 4. traços funcionais. I. Marenco, Ricardo Antonio Marenco, orient. II. Antezana-Vera, Saul Alfredo Antezana-Vera, coorient. III. Título.

CDD: 630

Sinopse:

Estudou-se os efeitos dos fatores meteorológicos, e as características funcionais com influência no incremento em diâmetro do tronco em seis espécies florestais da Amazônia central. Os resultados mostram que as espécies têm uma forte relação com a sazonalidade, e as características funcionais como bons preditores da interação entre as árvores e taxas de crescimento. Assim, os resultados deste trabalho, contribuem com o entendimento dos efeitos das mudanças climáticas regionais e globais em espécies arbóreas tropicais.

Palavras-chave: Dinâmica florestal, mudanças climáticas, interações espaciais, traços funcionais.

Ao ASSIS meu eterno irmão

(*In memoriam*)

Dedico

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela saúde, motivação, oportunidades, capacidade física e intelectual para desenvolver o trabalho.

Ao Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia.

Ao laboratório de ecofisiologia de árvores.

A CAPES pela concessão das bolsas.

A Universidade do Estado do Amapá pela concessão de diversas bolsas na época de graduação e pela oportunidade de formação e qualificação profissional.

Ao meu orientador Dr. Ricardo Antonio Marenco.

Ao meu coorientador Dr. Saul Alfredo Antezana-Vera.

Ao meu orientador na época de graduação Prof. Fernando Galvão Rabelo por ter norteado minha vida acadêmica.

Aos meus coorientadores na época de graduação Prof. Breno Marques da Silva e Silva e Dr. Salustiano Vilar da Costa Neto.

Ao técnico de campo senhor Valzenir.

Aos colegas de mestrado da turma PPG-ATU 02/2018 com os quais adquiri sabedoria e exemplos que irei levar para a vida toda, compartilhei angústias e incertezas, mas também boas oportunidades de amadurecimento.

Aos amigos, Crispim Monteiro, Milton Renan, Gildeone Soares, Andrey Ribeiro, Ananda Flávia, Kássia Huanne, Heitor, Adriana e Valdir.

A minha namorada Chrislayne C. Moraes da Silva.

Aos membros da banca examinadora, por aceitarem o convite e enriquecerem o trabalho com suas avaliações e sugestões.

A todos que direta ou indiretamente fizeram parte da minha formação, o meu muito obrigado.

RESUMO

A previsão da extensão do período de seca para as próximas décadas, aliada ao aumento acentuado do número de queimadas e extrativismo ilegal, podem ocasionar mudanças na dinâmica da floresta amazônica. Incertezas na previsão das respostas desse ecossistema às mudanças no meio abiótico e biótico surgem dado a alta diversidade de espécies arbóreas. O objetivo deste estudo foi investigar o incremento mensal em diâmetro do tronco de seis espécies arbóreas distribuídas em 43 árvores, assim como, determinar o efeito de fatores meteorológicos e da presença de árvores vizinhas (índice de aglomeração) na ecofisiologia das árvores em uma floresta madura de terra firme, na Amazônia Central. A precipitação acumulada em 2019 foi 2787,8 mm, com acúmulo mínimo de 86,45 mm em julho e máximo em maio (416,8 mm), a média da umidade relativa do ar (UR) foi de 82,51% variando entre 50,13 a 97,59%. A temperatura média foi de 26,16 ºC, com mínima de 23,58 ºC e máxima de 29,95 ºC. A radiação fotossinteticamente ativa (PAR), foi em média 26,45 mol m^{-2} dia^{-1}, com o máximo no mês de março de 2019, 32,9 mol m^{-2} dia^{-1} e o mínimo 18,5 mol m^{2} dia^{-1} em maio de 2019. A média do déficit de pressão de vapor (DPV) foi de 16,77 hPa. A média de evapotranspiração de referência (EVT) foi de 116,64 mm $mês^{-1}$. O teor de água do solo (TAS) com média de 44,5 % (v/v) e máximo de 47 % (v/v) e mínimo de 42,4% (v/v). O incremento médio mensal em diâmetro (IMD) foi de 0,10 mm $mês^{-1}$. *P. macrophylla* (0,15 mm $mês^{-1}$) e *M. guianensis* (0,13 mm $mês^{-1}$) obtiveram os maiores IMD, enquanto observou-se os menores IMD nas espécies *G. argenteum* e *I. laurina* ambas com 0,07 mm $mês^{-1}$, com as espécies *P. decandrum* e *P. hebetatum* apresentando valores semelhantes. A média do diâmetro altura do peito (DAP) foi de (24 cm), já a média da altura foi de (23 m). Nas árvores com maior altura e copa foram observados os maiores IMD. As características funcionais espessura da casca, diâmetro da copa, altura e DAP relacionaram-se mais com o IMD. Aumento da DM influenciaram negativamente o IMD em 90% das espécies. Em *M. guianensis* não foram observados efeitos diretos da DM no IMD, sendo mais influenciado negativamente por variações na área foliar. Portanto, os resultados encontrados neste trabalho, destacam que as diferenças no meio abiótico e biótico, modelam a dinâmica da comunidade em florestas tropicais.

Increment of tree species with multiple use potentiality

ABSTRACT

The extension of the widespread drought period to the coming decades, coupled with the sharp increase in the number of fires and illegal extraction, can cause changes in the dynamics of the Amazon rainforest. Uncertainties in predicting the responses of this ecosystem to changes in the abiotic and biotic environment arise due to the high diversity of tree species. The aim of this study was to investigate the monthly increase in trunk diameter of six tree species distributed in 43 trees, as well as to determine the effect of climate factors and the presence of neighboring trees (index of neighborhood crowding) on the ecophysiology of trees in a plateau at a pristine terra firme rainforest in central Amazonia. The 2019 accumulated rainfall was 2787.8 mm, with a minimum accumulation of 86.45 mm in July and maximum in May (416.8 mm), the average relative humidity (RH) was 82.51%, varying between 50.13 to 97.59%. The average temperature was 26.16 ºC, with a minimum of 23.58 ºC and a maximum of 29.95 ºC. Photosynthetically active radiation (PAR) averaged 26.45 mol m^{-2} day^{-1}, with the maximum in march 2019, 32.9 mol m^{-2} day^{-1} and the minimum 18.5 mol m^{-2} day^{-1} in May 2019. The average vapor pressure deficit (VPD) was 16.77 hPa. The average reference evapotranspiration (EVT) was 116.64 mm $month^{-1}$. The soil water content (SWC) with an average of 44.5% (v/v) and a maximum of 47% (v/v) and a minimum of 42.4% (v/v). The average monthly growth in diameter (MGD) was 0.10 mm $month^{-1}$. *P. macrophylla* (0.15 mm $month^{-1}$) and *M. guianensis* (0.13 mm $month^{-1}$) obtained the highest MGD, while the lowest MGD was observed in the species *G. argenteum* and *I. laurina* both with 0.07 mm $month^{-1}$, with the species *P. decandrum* and *P. hebetatum* showing similar values. The mean diameter of the breast height (DBH) was (24 cm), while the mean height was (23 m). In the trees with the highest height and crown, the highest MGD was observed. The functional traits of shell thickness, crown diameter, height and DBH were more closely related to the MGD. The results suggest that taller individuals tend to tolerate more agglomeration of neighboring trees, as well as species with denser woods, such as *P. macrophylla*, *G. argenteum* and *M. guianensis*, since these species have individuals that reach the forest canopy. Therefore, the results found in this work, highlight that the differences in the abiotic and biotic environment, shape the dynamics of the community in tropical forests.

Sumário

INTRODUÇÃO **1**

OBJETIVOS **4**

Objetivo geral 4

Objetivos específicos 4

MATERIAL E MÉTODOS **5**

Área de estudo 5

Espécies de estudo 6

Variáveis meteorológicas 7

Umidade do solo 8

Incremento mensal em diâmetro do tronco 9

Incremento mensal em diâmetro do tronco de árvores expostas ao sol versus sombreadas .. 9

Características funcionais 9

Influência da aglomeração de árvores vizinhas nas taxas de incremento 11

Análise estatística 12

RESULTADOS **13**

Variáveis meteorológicas 13

Incremento mensal em diâmetro 14

Variação do IMD e variáveis meteorológicas 17

Incremento e características funcionais 20

Incremento, aglomeração e caraterísticas funcionais 25

DISCUSSÃO **27**

Incremento em diâmetro 27

Efeito da sazonalidade chuva 28

Efeito da temperatura 30

Incremento e características funcionais 32

Índice de aglomeração, características funcionais e IMD 34

CONCLUSÕES 36

REFERÊNCIAS 37

APÊNDICE A 54

APÊNDICE B 55

APÊNDICE C 56

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Localização da área de estudo. 5

Figura 2. Ilustração do raio utilizado para a criação de zonas de influência na floresta amazônica, refere-se a um raio de 10 metros, cuja as árvores dentro do círculo são consideradas como possíveis competidoras. 11

Figura 3. Variação mensal da radiação fotossinteticamente ativa (PAR, a) com ± desvio padrão em linhas verticais para cada mês. Variação da temperatura (b), volume de precipitação (C) e umidade relativa do ar (UR, d). O triângulo, o quadrado e o círculo representam valores máximo, médio e mínimo de temperatura e UR, bem como a área destacada indica o período de estiagem na Amazônia (julho, agosto, setembro e outubro). 13

Figura 4. (a) Em círculo aberto, médias mensais da evapotranspiração de referência (EVT) e em círculo fechado médias mensais do déficit de pressão de vapor (DPV), com ± erro padrão em linhas verticais para cada mês em ambos. (b) As barras indicam as médias mensais de precipitação e em círculo aberto, com ± erro padrão em linhas verticais as médias mensais do conteúdo de água no solo (TAS) ao longo de janeiro de 2019 a junho 2020, a área destacada indica o período de estiagem na Amazônia (julho, agosto, setembro e outubro). 14

Figura 5. (a) Box plot das médias mensais de incremento em diâmetro (IMD) ao longo de janeiro de 2019 a junho 2020, $p < 0,000001$. (b) Box plot das médias mensais de incremento em diâmetro (IMD) nas seis espécies arbóreas estudadas $p = 0,3265$. Na posição superior encontra-se a indicação do valor de "p", a linha sólida dentro da caixa mostra a mediana. 15

Figura 6. Box plot da distribuição do Incremento Mensal em Diâmetro (IMD em milímetros) para árvores agrupadas de acordo com o nível de sombreamento da copa, expostas ao sol com 11 árvores e sombreadas com 32 árvores ($p < 0,0100$). 15

Figura 7. Análise por componentes principais (PCA) mostrando a associação entre as variáveis meteorológicas e a média geral do incremento das seis espécies. Em que, DPV = Déficit de pressão de vapor; URmin, URmax, URmed = Umidade relativa mínima, máxima e média respectivamente; Tmin, Tmax, Tmed = Temperaturas mínima, máxima e média respectivamente; e PAR = Radiação fotossinteticamente ativa. Note que o Fator 1 representa 45,74% da variação, contra 24,80 % do Fator 2. Também é possível observar que (embora com correlação relativamente baixa) de forma geral a PAR e EVT influenciaram negativamente o IMD. 17

Figura 8. Correlação entre a média geral do IMD e a Temperatura mínima (Tmin). 18

Figura 9. Relação Altura e DAP para as seis espécies estudas ($p < 0,00001$). 20
Figura 10. (a) Relação entre altura das árvores com a densidade da madeira (DM), (b) altura das árvores e área foliar específica (AFE), para as seis espécies estudadas. 20
Figura 11. Análise por componentes principais (PCA) mostrando a associação entre traços funcionais e média geral do incremento mensal (IMD) das seis espécies. Em que, DAP = Diâmetro altura do peito (cm); Alt = Altura (m); DM = Densidade da madeira (g cm^{-3}); Copa = Diâmetro da copa; Casca = Espessura da casca (cm); AF = Área foliar (cm^2) e AFE = Área foliar específica (cm^2 g^{-1}). 22
Figura 12. Análise por componentes principais (PCA) mostrando a associação entre traços funcionais e a média do incremento mensal em diâmetro (IMD) para cada uma das seis espécies estudadas. Em que, DAP = Diâmetro altura do peito (cm); Alt = Altura (m); DM = Densidade da madeira (g cm^{-3}); Copa = Diâmetro da copa; Casca = Espessura da casca (cm); AF = Área foliar (cm^2) e AFE = Área foliar específica (cm^2 g^{-1}). 23
Figura 13. Relação entre Incremento mensal em diâmetro (IMD) e Índice de aglomeração para o conjunto de espécies estudadas. 26
Figura 14. Correlação linear de Pearson entre traços funcionas e Índice de aglomeração (Log). Onde, DAP = Diâmetro altura do peito (cm); Alt = Altura (m); DM = Densidade da madeira (g cm^{-3}); Copa = Diâmetro da copa; Casca = Espessura da casca (cm); AF = Área foliar (cm^2) e AFE = Área foliar específica (cm^2 g^{-1})..... 26

INTRODUÇÃO

A Amazônia é conhecida por ser a maior área de floresta tropical do mundo, sendo uma das maiores reservas de biomassa viva acima do solo estima-se que sua vegetação possua de 86 a 100 Pg carbono (um petagrama equivale a um bilhão de toneladas) (Saatchi *et al.* 2007; Feldpausch *et al.* 2012), desse total entre 6,500 e 12,500 são espécies arbóreas (Hubbell *et al.* 2008; Cardoso *et al.* 2017). Embora haja interesse em promover boas práticas de aplicação do manejo florestal, ainda falta informações ecofisiológicas da maioria das espécies.

Atualmente, são escassas as bases científicas para os critérios definidos na execução de planos de manejo florestal, um exemplo é que o diâmetro mínimo de corte (DMC) de 50 cm estabelecido pelo Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis – IBAMA, através da Instrução Normativa 5/2006, pode variar dependendo da espécie arbórea, tendo como prerrogativa estudos a respeito da estrutura populacional e informações ecológicas. Não obstante, dado a multiplicidade de árvores existentes na Amazônia, é preciso aprimorar os critérios de escolha das espécies comerciais a serem manejadas.

Em contrapartida, nos últimos anos, segundo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) já é possível notar uma perda significativa no volume das florestas, provenientes do aumento acentuado do número de queimadas e extrativismo ilegal (Cruz *et al.* 2020). Logo, uma das consequências eminentes é o risco de perda de biodiversidade, de serviços ecossistêmicos, ciclagem de nutrientes e, sobretudo, extinção em larga escala de espécies arbóreas (Hubbell *et al.* 2008; Fearnside 2018; Nogueira *et al.* 2018).

O relatório do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, 2019) prevê que, se a elevação na concentração de CO_2 na atmosfera continuar no ritmo atual, o aquecimento global entre os anos 2030 e 2052 atingirá um pico de 1,5 °C. Uma vez que estas previsões se confirmem o aumento exacerbado na temperatura e o declínio do volume de precipitação nos trópicos ocasionará sérios problemas ambientais e sociais, impactando significativamente os meios de subsistência, abastecimento de água e segurança humana (Marengo e Espinoza 2016).

Com suporte em mensurações anuais e interanuais da produtividade de madeira, vem sendo amplamente sugerido alterações na dinâmica do carbono e biologia de árvores tropicais, bem como uma tendência decrescente no acúmulo de carbono pela Amazônia (Phillips *et al.* 2009; Brienen *et al.* 2015). Por exemplo, estudos indicam a extensão e maior frequência do período de seca para as próximas décadas (Marengo *et al.* 2011; Gloor *et al.* 2015; Jiménez-Muñoz *et al.* 2016, Marengo e Espinoza 2016; Barichivich *et al.* 2018; Jimenez *et al.* 2018), além do que, nos últimos anos, as incertezas relacionadas ao aumento de CO_2 na atmosfera, tem demandado esforços da comunidade científica para entender quais as mudanças a nível de sítio e possíveis trade-offs em nível individual (Huntingford *et al.* 2013; Meakem *et al.* 2018; Yang *et al.* 2018).

Apesar dos esforços, em elucidar os processos pelos quais ocorrerão com a provável extensão do período de seca e maior emissão de CO_2 nesta época (Phillips *et al.* 2009; Feldpausch *et al.* 2016; Greenwood *et al.* 2017; Aguirre-Gutiérrez *et al.* 2019; Aleixo *et al.* 2019), ainda existem muitas lacunas no conhecimento de como a floresta responderá as mudanças em seu ambiente biótico e abiótico. Uma vez que eventos extremos de seca como nos anos de El Niño, podem impactar o *turnover* das folhas de dossel, reduzindo, então, a Produtividade Primária Líquida (PPL) e propiciando elevação na taxa de mortalidade (Leitold *et al.* 2018). Por outro lado, estudos vem mostrando que em períodos de chuva, em especial durante a ocorrência de tempestades, são observados a ocorrência de taxas de mortalidade (Nelson *et al*. 1994; Fontes *et al.* 2018).

Em florestas tropicais, estudos têm mostrado que o crescimento das árvores está significativamente correlacionado com variações no o 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.* 2012, 2014; Camargo e Marenco 2017; Slot e Winter 2017; Vilanova *et al.* 2018). No entanto, o entendimento das principais características funcionais envolvidas nesse processo, 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). As relações entre características funcionais e taxas demográficas geralmente variam com o tamanho da árvore. Maiores estaturas costumam estarem correlacionadas positivamente com maiores taxas de incremento em uma ampla variedade de espécies arbóreas (Herault *et al.* 2010; Iida *et al.* 2012, 2014; Lasky *et al.* 2015; Visser *et al.* 2016). A densidade da madeira costuma correlaciona-se negativamente com o incremento e positivamente à proporção de biomassa viva

acima do solo (Iida *et al.* 2012, 2014; Phillips *et al.* 2019). Da mesma forma, as características foliares, são essenciais para o estabelecimento das plantas, pois além do principal órgão fotossintético responsável pelo sequestro de carbono em escala de comunidade (Poorter *et al.* 2009; Wright *et al.* 2010; Sande *et al.* 2016).

Assim, a interação das 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 consequentemente as taxas interanuais de crescimento são diferentes (Silvertown 2004). Não obstante, em florestas tropicais as plantas competem principalmente por luz (Clark e Clark 1992; Enquist *et al.* 1999). Assim sendo, a competição assimétrica ocorre quando árvores com maiores dimensões têm influência negativa no crescimento de plantas com menores alturas (Weiner 1990). Desta maneira, a ocorrência de um padrão determinante de distribuição espacial neste processo, devido a criação de zonas com alta e baixa aglomeração de indivíduos (clareiras naturais), em zonas com maior aglomeração os indivíduos tendem a ter suas taxas de crescimento reduzidas (Adams *et al.* 2013; Fortunel *et al.* 2016; Kunstler *et al.* 2016; Wiegand *et al.* 2017; Looney *et al.* 2018).

À pluralidade de condições de crescimento, os estudos do agrupamento de indivíduos aliado a características funcionais de plantas, podem ser usados como ferramenta integral para manipular a interação entre espécies, modelagem do crescimento e, por exemplo, na prescrição de práticas adequadas para os planos de manejo florestal. No entanto, sem informações precisas, certamente será difícil alcançar uma floresta sustentável. Por essa razão, as espécies arbóreas selecionadas para este estudo (*Geissospermum argenteum, Inga laurina, Minquartia guianensis, Pouteria macrophylla, Protium hebetatum* e *Protium decandrum*) desempenham um papel fundamental no desenvolvimento econômico e cultural nas regiões de abrangência, em função das suas diversas aplicabilidades. Portanto, compreender a dinâmica do crescimento e a interação das árvores é fundamental tanto para Ecofisiologia, quanto para estudos que visam a influência das mudanças climáticas em florestas tropicais.

OBJETIVOS

Objetivo geral

Investigar a influência de fatores meteorológicos e da aglomeração de árvores vizinhas na ecofisiologia de espécies arbóreas, em uma floresta madura de terra firme, na Amazônia Central.

Objetivos específicos

1. Determinar quais as variáveis meteorológicas mais influentes no incremento mensal em diâmetro.

2. Investigar se o incremento mensal em diâmetro é maior em árvores com copa totalmente expostas ao sol do que em sombreadas.

3. Avaliar quais são as características funcionais com maior influência no incremento mensal em diâmetro.

4. Investigar se existe influência da aglomeração de árvores vizinhas no incremento mensal em diâmetro.

5. Avaliar se a sensibilidade das espécies à aglomeração depende de suas características funcionais.

MATERIAL E MÉTODOS

Área de estudo

O estudo foi realizado na Estação Experimental de Silvicultura Tropical (ZF2), localizada a cerca de 60 km ao norte de Manaus (02°36'21" S, 60°08'11" W). A área é um platô de floresta madura de terra firme na Amazônia central, com elevação de cerca de 125 m acima do nível do mar (conforme ilustrado na Figura 1)

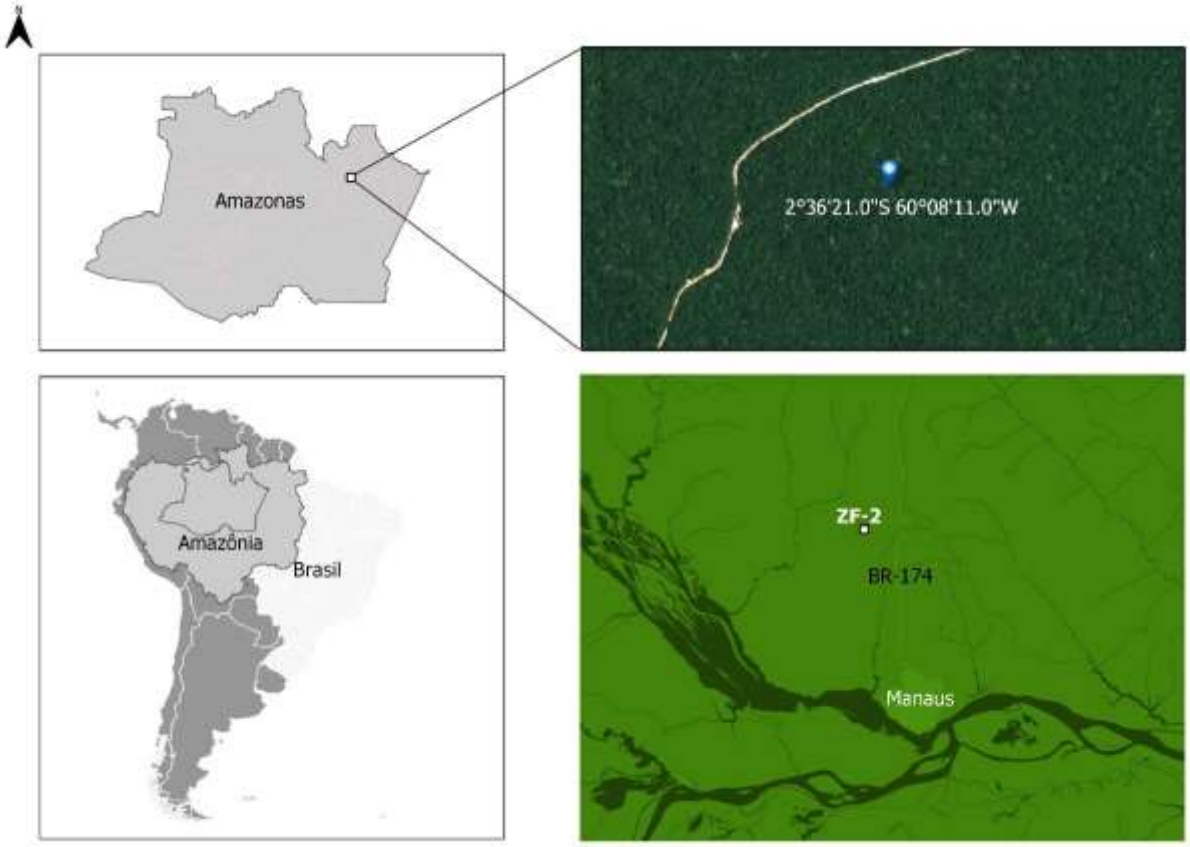

Figura 1. Localização da área de estudo.

Esta área é caracterizada por um clima típico das florestas tropicais úmidas, com uma precipitação anual de aproximadamente 2400 mm, com uma estação seca moderada (≤ 100 mm

por mês) entre julho a setembro, enquanto que a estação chuvosa, inicia em novembro e finaliza em maio. A evapotranspiração potencial anual é de cerca de 1300 mm. A temperatura média é 26 °C. Onde devido a nebulosidade, a irradiância média máxima é cerca de 1000 μmol m^{-2} s^{-1} acima do dossel, a umidade relativa do ar (UR) varia de 70% ao meio-dia a 100% à noite. O tipo de solo é Latossolo Amarelo de textura argilosa (areia 11%, silte 15% e argila 74%), com pH 4,0 e baixa fertilidade. Nesta área, as árvores, atingem o dossel da floresta com mais de 30 m de altura, assim como há árvores emergentes que podem alcançar 45 m. O índice de área foliar varia entre 4,5 e 5,7. Nesta região a biodiversidade das árvores chega a 280 espécies ha^{-1}.

Espécies de estudo

Para este estudo foram selecionadas seis espécies arbóreas (Tabela 1). O critério de escolha das espécies ocorreu de acordo com a maior abundância na área, e pelo papel desempenhado no desenvolvimento econômico e cultural nas regiões de abrangência, em função de seus diversos usos. Cada espécie possui pelo menos quatro indivíduos, com diâmetro altura do peito com DAP ≥ 10 cm, totalizando 43 árvores estudadas. Para confirmação do nome científico de cada espécie, foram coletadas amostras botânicas (exsicatas). As amostras foram identificadas utilizando morfologia comparada com as exsicatas disponíveis no herbário do INPA e literatura especializada (APG IV).

Tabela 1 . Nome das famílias seguido pelo nome científico, número de árvores (N) e potencial de uso documentado para as 6 espécies estudadas.

Família	Espécie	N	Uso Econômico
Apocynaceae	*Geissospermum argenteum* Woodson	10	Ecológico, agrícola, medicinal [1,2]
Burseraceae	*Protium hebetatum* Daly	8	Madeireiro, cosmético, medicinal [3,4,5]
Burseraceae	*Protium decandrum* (Aubl.) Marchand	6	Madeireiro, cosmético, medicinal [3,4,5]
Fabaceae	*Inga laurina* (Sw.) Willd.	5	Madeireiro, medicinal, Agrícola[6,7,8]

Olecaceae	*Minquartia guianensis* Aubl.	10	Madeireiro e medicinal [9, 10,11]
Sapotaceae	*Pouteria macrophylla* (Lam.) Eyma	4	Madeireiro, agrícola, medicinal[11,12]

([1]Camargo, 2011; [2]Adaime et al., 2018; [3]Zoghbi et al., 2005; [4]Andrade & Higuchi, 2009; [5]Silva et al., 2009; [6]Lorenzi, 2002; [7]Furtado, 2014; [8]Jesus et al., 2016; [9]Camargo & Ferraz, [10]2004; [11]Andrade et al., 2017; [11]Silva et al., 2012; [12]Cruz, 2017).

Variáveis meteorológicas

Foi instalada uma estação meteorológica na Torre C14 na Estação Experimental de Silvicultura Tropical (ZF2), a 40 m de altura. Dados meteorológicos, a exemplo da irradiância (Radiação Fotossinteticamente Ativa - PAR) foram mensurados com o uso de um sensor quântico (Li-190SA, Li-Cor, NE, USA), configurado para registrar dados a cada 15 min. (coleta dos dados entre as 05:30 h e 18:30 h). A Temperatura e Umidade do ar foram mensuradas usando um sensor de temperatura-umidade (Humitter 50y, Oy Vaisala, Finland). Ambos os sensores foram conectados a um data logger (LI-1400, Li-Cor, Lincoln, NE, USA), e configurados para coletar a cada 30 min (dados coletados dia e noite). Os dados da PAR, foram integrados ao longo do tempo para se obterem valores diários (mol m^{-2} dia^{-1}). Um segundo sensor térmico adicional foi instalado (Thermo Recorder TR-52, T&D Corporation, Japan) na altura do dossel da floresta (30 metros), para medir e registrar as temperaturas diárias da copa das árvores. Os dados de chuva acumulada foram coletados diariamente, utilizando um pluviômetro (Em5b, Decagon, WA, USA), um segundo pluviômetro convencional foi instalado, para a coleta da chuva acumulada mensal. Adicionalmente, dados climáticos foram obtidos no site da NASA (https://giovanni.gsfc.nasa.gov/giovanni/) e INMET - Instituto Nacional de Meteorologia (http://www.inmet.gov.br/portal/), com a finalidade de obter um segundo grupo de dados, caso algum dos dataloggers tenham algum tipo de problema na coleta dos dados.

Com a finalidade de correlacionar os efeitos microclimáticos no incremento mensal das árvores, foi estimado a evapotranspiração de referência (EVT mm dia^{-1}) do ecossistema, calculada com base nos dados de irradiância e temperatura, descrito pelo método (Hargreaves e Samani 1982,1985) sendo:

$$ET_o = a\, R_a\, TD^{1/2}(T_a + 17{,}8)$$

Onde, a é um parâmetro constante (0,0023), TD a diferença entre a temperatura máxima e mínima diária (ºC), T_a é a temperatura média diária (ºC), R_a a radiação extraterrestre expressa em unidades de evaporação (mm d^{-1}).

Da mesma forma, foi calculado o Déficit de Pressão de Vapor (DPV hPa) da área de estudo. Onde o DPV foi estimado conforme (Buck 1981), sendo a pressão de saturação do vapor (e_s) obtida de acordo a equação:

$$e_s\ (\text{kPa}) = 0{,}613 exp\left(\frac{17{,}502 * T}{T + 240{,}97}\right)$$

Onde, T_C é a temperatura em graus Celsius (°C);

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

$$e_a = RH * e_s/100$$

Umidade do solo

O teor de água do solo foi monitorado mensalmente, a partir de amostragens coletadas na camada superficial do solo, entre 0 a 10 cm de profundidade, as coletas foram realizadas duas vezes ao mês, durante os 18 meses do experimento, determinadas com o auxílio de

cilindros volumétricos, com área de 113,10 cm^3 (10 a 20 amostras por mês). As amostras não perturbadas de solo foram pesadas e secadas em estufa (105 °C) até atingir massa constante (EMBRAPA 2011).

Incremento mensal em diâmetro do tronco

Foram medidos mensalmente durante 18 meses (janeiro de 2019 a junho de 2020), o incremento médio mensal em diâmetro (IMD) em (43) árvores pertencentes a seis espécies, utilizando cinta de aço inoxidável (banda/fita dendrométrica), instaladas pelo menos 10 anos antes do início do estudo. O IMD foi mensurado com o auxílio de um paquímetro digital com precisão de 0,01 mm (Mitutoyo Sul Americana, São Paulo, Brasil). As árvores utilizadas, foram indivíduos com Diâmetro Altura do Peito DAP ≥ 10 cm. Instaladas a 1,3 m do solo. O IMD foi calculado por meio da diferença entre duas medições sucessivas.

Incremento mensal em diâmetro do tronco de árvores expostas ao sol versus sombreadas

Em campo realizou-se a verificação se os indivíduos estavam com copa totalmente exposta ao sol ou parcialmente sombreados de acordo com a metodologia adaptada de (Clark e Clark 1992). Com a finalidade de observar uma influência da exposição das copas das árvores no incremento médio mensal.

Características funcionais

Foram medidas características funcionais das árvores em setembro de 2019 e maio de 2020. Para a obtenção da densidade da madeira e espessura da casca na base da matéria fresca, foram extraídas do tronco das 43 árvores amostras de madeira e casca, com auxílio de um trado de incremento (Haglöf, Suécia) com 5,15 mm de diâmetro, coletou-se uma amostra da madeira

do tronco com cinco centímetros de comprimento, obtidas entre 10 a 15 cm acima das bandas dendrométricas, as quais estão posicionadas a aproximadamente 1,3 m de altura. As amostras de madeira do tronco foram colocadas em tubos de ensaio hermeticamente fechados e transportadas ao laboratório para determinação da massa fresca e volume de madeira fresca. Para a obtenção da massa seca (MS), as amostras de madeira foram colocadas em estufa de circulação forçada de ar e secas a 105 ºC até massa constante (cerca de 72 h) (Williamson e Wiemann 2010).

A densidade da madeira (DM) foi determinada pela razão entre a massa seca (MS) e o volume da matéria fresca (VF): DM = MS/VF.

Obtenção da espessura da casca, com auxílio de um paquímetro de alta precisão 0,01 mm, eram feitas 10 medidas da espessura da casca para obter uma média. Este mesmo processo foi realizado novamente após a secagem das amostras. O diâmetro da copa foi obtido a partir de medidas angulares (leste, oeste, norte, sul), com auxílio de uma fita métrica (trena), o raio da copa determinou-se pela distância do fuste da árvore e a projeção da copa, sendo que a média se multiplicou por 2 para obter o diâmetro da copa. As alturas de todas as árvores foram medidas com o auxílio de um escalador, esticando uma fita métrica verticalmente do chão até o topo da árvore.

Com auxílio de um podão eram obtidos os galhos com folhas, para a determinação da área foliar AF (cm^2) (tamanho da folha), área foliar específica AFE ($cm^2\ g^{-1}$), por meio do medidor de área foliar (modelo LI-COR LI-3000; Licor Inc., Lincon, Nebrasca, US). Utilizou-se de três a quatro indivíduos de cada espécie, e de oito a dez folhas (ou folíolos para folhas compostas) sem pecíolo, totalmente expandidas e com bom aspecto fitossanitário, as quais, foram armazenadas em sacos de papel e levadas para estufa com ventilação forçada (72 °C) posteriormente, foram pesados em balança analítica até atingir massa constante. A AFE foi obtida pela razão entre Área foliar e a Massa seca (Poorter e De Jong 1999).

Influência da aglomeração de árvores vizinhas nas taxas de incremento

Com a finalidade de relacionar a influência das árvores vizinhas no incremento em diâmetro de cada espécie estudada, foi usado o raio fixo de 10 metros, usado o dobro do raio da copa das árvores da área, que atingiram em média 3,5 metros de raio (Tabela 4), foi mensurado o número de árvores vizinhas com diâmetro altura do peito DAP ≥ 15 cm. A maioria dos índices de aglomeração, assume que a zona circular em torno da árvore focal é a melhor forma de capturar este efeito, que além de dar-se em função do tamanho em altura e diâmetro do tronco, geralmente é baseado na largura máxima da copa de uma árvore do mesmo tamanho e de tamanho semelhante (Uriarte *et al.* 2004; Rivas *et al.* 2005) (Figura 2).

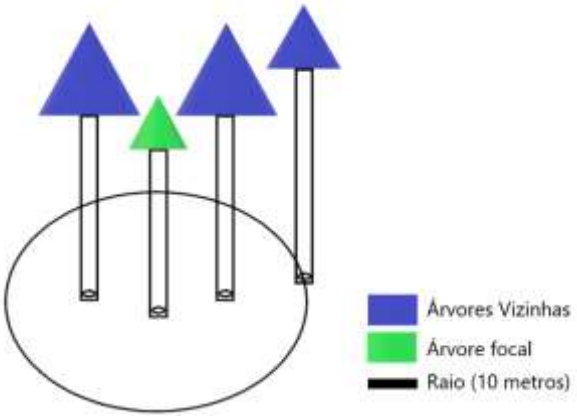

Figura 2. Ilustração do raio utilizado para a criação de zonas de influência na floresta amazônica, refere-se a um raio de 10 metros, cuja as árvores dentro do círculo são consideradas como possíveis competidoras.

Assim, o estudo baseou-se nas dimensões das copas das espécies estudadas para a respectiva escolha do raio de 10 metros, embasando-se no método de sobreposição de copas utilizado por Canham *et al.* (2004, 2006). Para calcular o efeito da aglomeração de indivíduos vizinhos na árvore focal foi usada a fórmula proposta por (Uriarte *et al.* 2004; Lasky *et al.* 2014), pela qual, a influência (negativa ou positiva) dos vizinhos varia diretamente com o diâmetro do vizinho "*j*" (DAP_j) e inversamente com a distância do vizinho "*ij*" (d_{ij}). Assim, o efeito líquido de uma árvore vizinha no crescimento de uma árvore focal de uma determinada espécie varia em uma função direta do tamanho e distância do vizinho. Por conseguinte, foi

criado um coeficiente para cada árvore focal, e então correlacionado com as taxas de incremento e traços funcionais.

$$\text{Índice de aglomeração} = \sum_{j=1}^{n} \frac{DAP_j^2}{d_{ij}^2}$$

Onde: *n* é o número de indivíduos (coeficiente de 0 a 1), DAP_j é diâmetro altura do peito, d_{ij} distância do vizinho em relação a árvore focal (Lasky *et al.* 2014).

Análise estatística

Para avaliar a variação entre espécies, bem como a variação entre os níveis de sombreamento e entre os períodos chuvoso e seco foi usado análise da ANOVA, Para avaliar as diferenças entre as espécies e as taxas de crescimento mensal, com a interação entre essas variáveis climáticas, foram realizadas análise de variância de médias repetidas, sendo utilizado o seguinte modelo empírico com base hierárquica:

$$Yijkl = \mu + \alpha i + Bj + yk + (\alpha y)ik + (By)jk + (\alpha By)ijk + \varepsilon ijk$$

Onde: μ é uma constante, *αi, ßj* e *γk* representam o efeito de *i*-ésima espécie, *j*-ésimo ano e *k*-ésimo mês, *(αß)ij, (αγ)ik, (βγ)jk* e *(αßγ)ijk* denotam o efeito das interações e *εijk* representa a estimativa de erro.

Na análise da relação entre o efeito da sazonalidade climática e características funcionais com a variação do IMD ao longo do período de estudo, foi realizada Análise de Componentes Principais (PCA). Nestas análises, o IMD (resíduo) foi incluído como variável suplementar. A correlação entre o IMD (resíduo) e as variáveis meteorológicas e traços funcionais também foi examinada utilizando a análise de correlação linear de Pearson. Para características funcionais, também foi realizada ao nível de espécie dado as diferenças comportamentais. Antes de serem realizadas, os valores das variáveis foram padronizados, pela seguinte fórmula z = (x-μ) / σ, onde x é o valor de medição, μ é a média aritmética e σ é o desvio padrão, isto é particularmente recomendado quando as variáveis são medidas em diferentes escalas. As análises estatísticas e elaboração dos gráficos foram realizados utilizando o software R (R Development Core Team 2020) versão 3.6.3.

RESULTADOS

Variáveis meteorológicas

Durante os 18 meses de avaliação de estudo, a umidade relativa do ar (UR) média foi de 82,51% variando entre 50,13% (URmin) ao meio dia a 97,59% (URmax) durante a noite (Figura. 3d). Enquanto que a temperatura média foi de 26,16 ºC, com mínima de 23,58 ºC (*T*min) e máxima de 29,95 ºC (*T*max) (Fig. 3b). A precipitação durante o ano de 2019 foi de 2787,8 mm, com variação entre os meses, observando 86,45 mm em julho (mês mais seco do período de estudo) a 416,8 mm em maio (mês mais chuvoso do período de estudo) (Fig. 3c). Já a radiação fotossinteticamente ativa (PAR), foi em média 26,45 mol m^{-2} dia^{-1} com o máximo ocorrendo no mês de fevereiro de 2020, 29,6 mol m^{-2} dia^{-1} e o mínimo 15,1 mol m^{-2} dia^{-1} em dezembro de 2019 (Fig. 3a). O teor de água do solo (TAS), além de seguir o mesmo comportamento da chuva, com média de 44,5 % (v/v) e máximo de 47 % (v/v) (janeiro, 2019) e mínimo de 42,4% (v/v) (outubro, 2019) (Figura. 4b). Já a média do déficit de pressão de vapor (DPV) foi de 16,77 hPa. A média de evapotranspiração de referência (EVT) foi de 116,64 mm $mês^{-1}$ (Figura. 4a) (ver apêndice A).

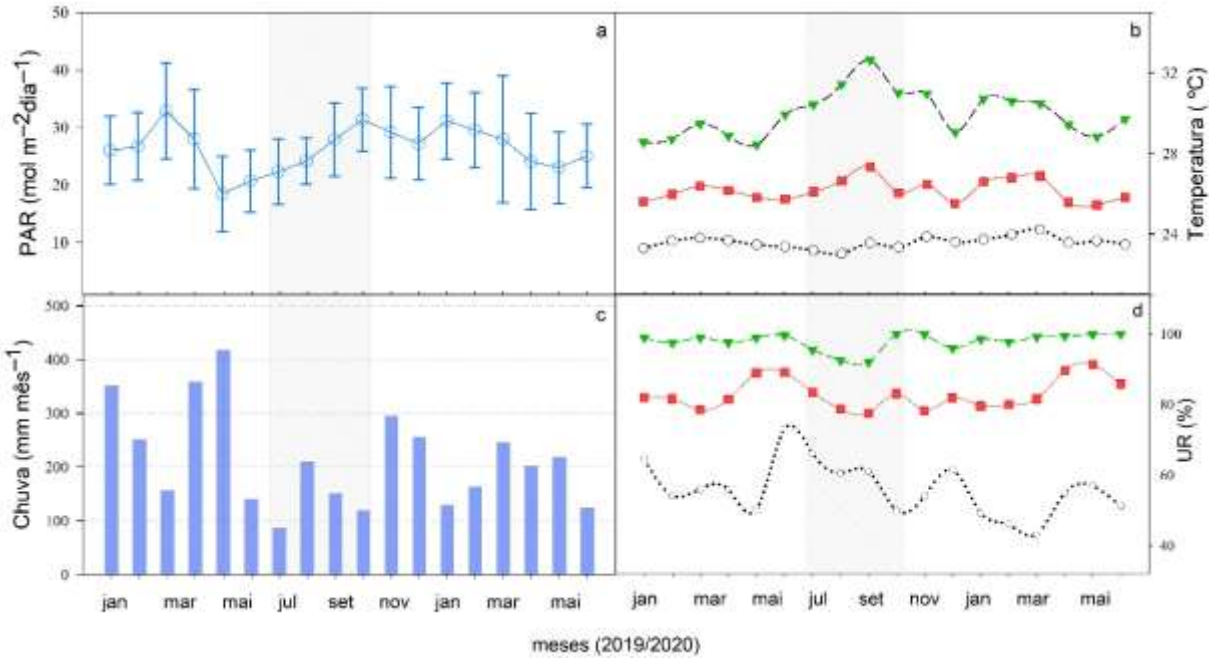

Figura 3. Variação mensal da radiação fotossinteticamente ativa (PAR, a) com ± desvio padrão em linhas verticais para cada mês. Variação da temperatura (b), volume de precipitação (C) e umidade relativa do ar (UR, d). O triângulo, o quadrado e o círculo representam valores máximo, médio e mínimo de temperatura e UR, bem como a área destacada indica o período de estiagem na Amazônia (julho, agosto, setembro e outubro).

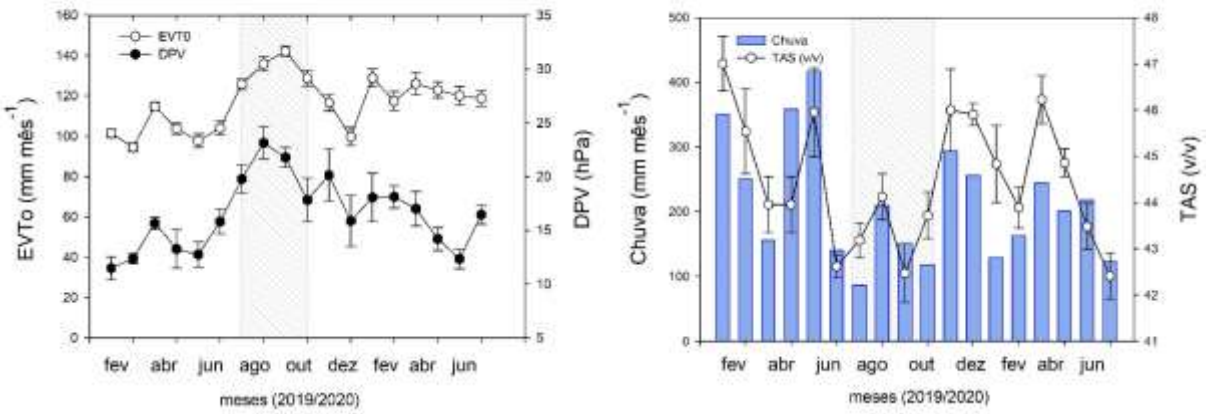

Figura 4. (a) Em círculo aberto, médias mensais da evapotranspiração de referência (EVT) e em círculo fechado médias mensais do déficit de pressão de vapor (DPV), com ± erro padrão em linhas verticais para cada mês em ambos. (b) As barras indicam as médias mensais de precipitação e em círculo aberto, com ± erro padrão em linhas verticais as médias mensais do conteúdo de água no solo (TAS) ao longo de janeiro de 2019 a junho 2020, a área destacada indica o período de estiagem na Amazônia (julho, agosto, setembro e outubro).

Incremento mensal em diâmetro

Para as espécies avaliadas, o incremento médio mensal em diâmetro (IMD) observou-se 0,10 mm mês^{-1}. As espécies que apresentaram maiores IMD foram, *P. macrophylla* 0,15 mm mês^{-1} e *M. guianensis* 0,13 mm mês^{-1}. Já os menores IMD foram nas espécies *G. argenteum e I. laurina* ambas com 0,07 mm mês^{-1}, e as espécies *P. decandrum P. hebetatum* apresentaram valores semelhantes (Tabela 5). O incremento médio anual (IMA) registrado para as espécies foi de 1,145 mm ano^{-1}, e as espécies que apresentaram maiores IMA foram *M. guianensis* e *P. macrophylla* com 1,39 e 1,49 mm ano^{-1} respectivamente. Já *G. argenteum* foi observado 0,79 mm ano^{-1} (ver apêndice B).

Na análise comparativa das árvores crescendo com copa totalmente exposta ao sol com as de copa sombreada, foi observado diferença significativa ($p < 0.044$), obtendo uma média no IMD de 0,13 mm mês^{-1} em árvores expostas ao sol, e 0,09 mm mês^{-1} nas árvores do sombreadas (Figura 6).

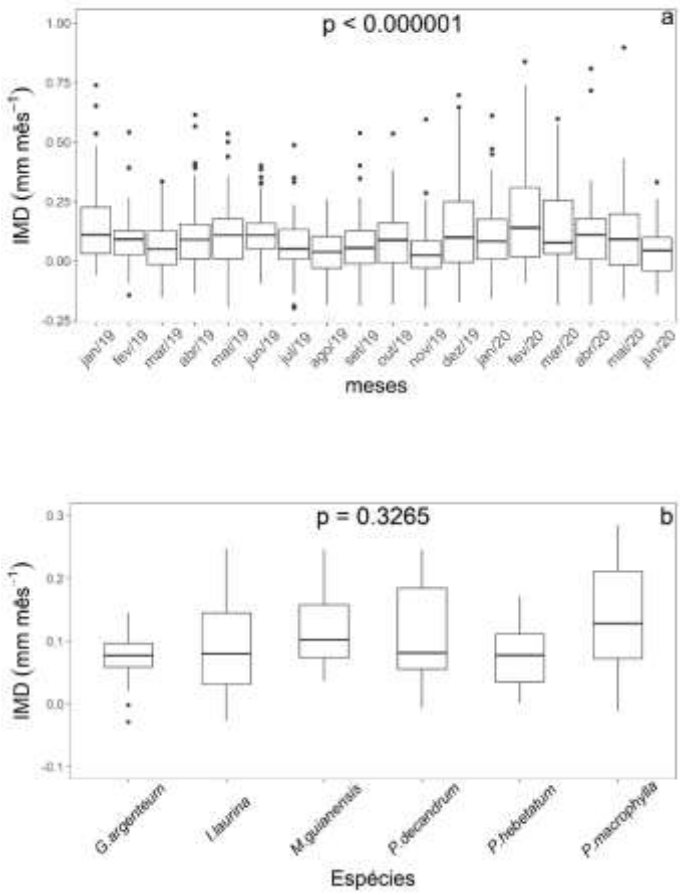

Figura 5. (a) Box plot das médias mensais de incremento em diâmetro (IMD) ao longo de janeiro de 2019 a junho 2020, p < 0,000001. (b) Box plot das médias mensais de incremento em diâmetro (IMD) nas seis espécies arbóreas estudadas p = 0,3265. Na posição superior encontra-se a indicação do valor de "p", a linha sólida dentro da caixa mostra a mediana.

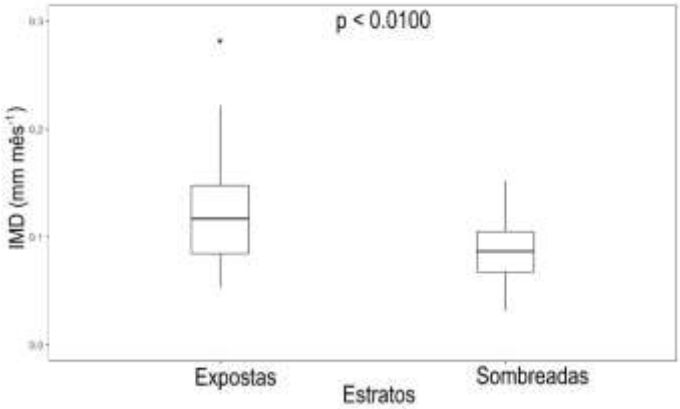

Figura 6. Box plot da distribuição do Incremento Mensal em Diâmetro (IMD em milímetros) para árvores agrupadas de acordo com o nível de sombreamento da copa, expostas ao sol com 11 árvores e sombreadas com 32 árvores (p < 0,0100).

Apesar de ter sido observado variação no IMD entre todas as espécies, não houve diferença significativa no incremento mensal em diâmetro mensal entre as espécies (p = 0,32), mostrando que todas as espécies tiveram o mesmo comportamento no IMD ao longo do tempo (18 meses), em função deste resultado, as médias do IMD foram realizadas em conjunto para todas as espécies. Por conseguinte, foi observado uma relação significativa entre a interação meses e espécies (p < 0,001621), indicando que em um ou mais meses o comportamento do IMD foi diferente em pelo menos uma das espécies (Tabela 2).

Tabela 2. Análise de variância (ANOVA) com medições repetidas para o efeito de mês e espécie no crescimento mensal em diâmetro de árvores, a mesma árvore entre 4 e 10 repetições por espécie, totalizando 43 árvores. Foi mensurada repetidamente por 18 meses (em intervalos de 1 mês, de janeiro 2019 a junho 2020). Números em negrito indicam significância.

Fonte de Variação	***g.l.***	**Soma de Quadrados**	**Quadrado médio**	**Valor de F**	**Valor de p**
Espécie	5	0,66566	0,133131	1,20374	0,326541
Erro	37	4,09211	0,110597		
Meses	17	1,41712	0,083360	4,18453	**0,000001**
Meses*Espécie	85	2,65225	0,031203	1,56634	**<0,001621**
Erro	629	12,53028	0,019921		

Variação do IMD e variáveis meteorológicas

Na análise de componentes principais (PCA), os dois eixos (fator 1 e fator 2) apresentados explicaram 70 % do total da variância. Sendo que, o primeiro eixo (fator 1), explicou 45,7 % e o segundo eixo (fator 2) 24,8 %. Assim, as variáveis Chuva, TAS e *T*min relacionaram-se positivamente com a média geral do IMD. Enquanto, PAR, EVT, URmax e *T*max, influenciaram negativamente o IMD (Figura 7).

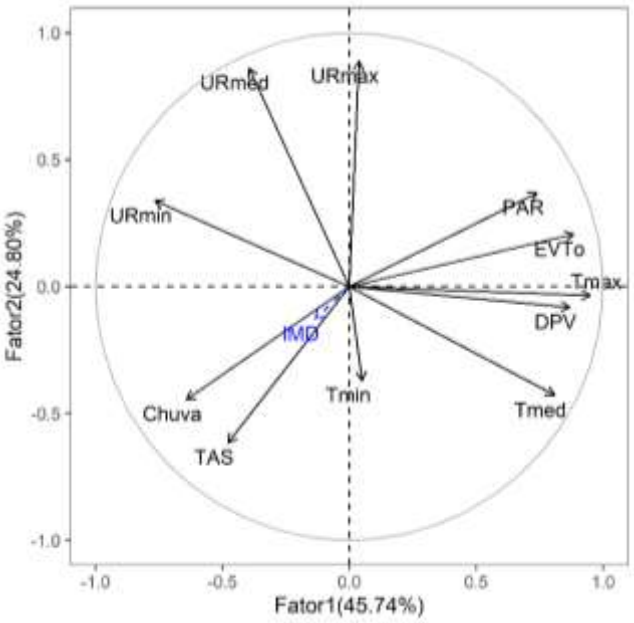

Figura 7. Análise por componentes principais (PCA) mostrando a associação entre as variáveis meteorológicas e a média geral do incremento das seis espécies. Em que, DPV = Déficit de pressão de vapor; URmin, URmax, URmed = Umidade relativa mínima, máxima e média respectivamente; *T*min, *T*max, *T*med = Temperaturas mínima, máxima e média respectivamente; e PAR = Radiação fotossinteticamente ativa. Note que o Fator 1 representa 45,74% da variação, contra 24,80 % do Fator 2. Também é possível observar que (embora com correlação relativamente baixa) de forma geral a PAR e EVT influenciaram negativamente o IMD.

Na análise do PCA por espécie, mostrou que as variáveis mais influentes com efeitos no aumento do IMD foram a URmin e URmed nas espécies *G. argenteum*, *P. decandrum* e *P. hebetatum*, *T*min em *M. guianensis* e *P. macrophylla*, e chuva e TAS em *I. laurina*. Já as variáveis climáticas que influenciaram negativamente o IMD foram URmax (*M. guianensis*, *P. decandrum*, *P. hebetatum* e *P. macrophylla*) e *T*min e *T*med em *P. decandrum* e *G. argenteum* respectivamente (ver apêndice C).

Apesar da sazonalidade das chuvas ter influenciado as taxas de IMD, não foram observados grandes efeitos da chuva no IMD (p = 0,73). Uma vez que, durante a estação chuvosa ocorreram as maiores variações das taxas de incremento médio mensal (IMD) com relação aos meses mais secos. No entanto, a influência da chuva sobre as demais variáveis analisadas, influenciou nas variações mensais do IMD entre todas as espécies (p < 0,000001). Assim, como a variável temperatura mínima (*T*min), mostrou-se bastante influente em aumentos da média geral do IMD (p < 0,054) (Figura 8), já o TAS mostrou-se com influência direta em aumentos no IMD, mas não foram observados valores significativos (r = 0,28). Durante a estação seca (julho a outubro), onde registrou-se valores elevados de DPV (acima de 20 hPa) influenciando negativamente as taxas de IMD (r = -0,37) (Tabela 3). Entretanto, é importante salientar que o curto período deste estudo possa ter implicado nos resultados, uma vez que um período de maior duração poderia fornecer mais robustez nas análises para elucidar com mais clareza a influência meteorológica no IMD.

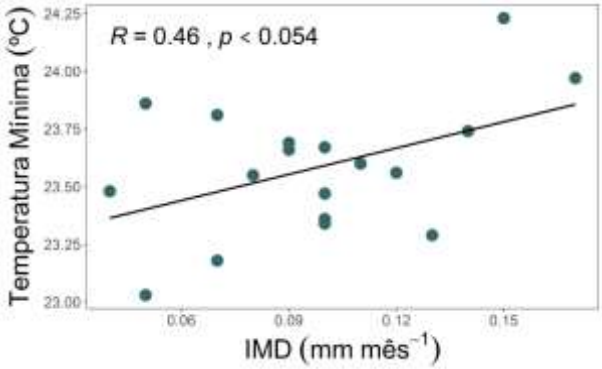

Figura 8. Correlação entre a média geral do IMD e a Temperatura mínima (*T*min).

.

Tabela 3. Coeficientes de correlação entre as variáveis meteorológicas com o incremento mensal em diâmetro (IMD) média geral e de cada espécie, quando positiva, negativa (pelo valor de r), ou se significante aos 5% de probabilidade (pelo valor de p; negrito). [PAR = Radiação fotossinteticamente ativa; URmed, URmin, URmax = umidade relativa media, mínima e máxima; *T*med, *T*min, *T*max = Temperatura média, mínima e máxima; TAS = Teor de água no solo, DPV = Déficit de pressão de vapor e EVT = evapotranspiração de referência].

		(Média geral)	***G. argenteum***	***I. laurina***	***M. guianensis***	***P. decandrum***	***P. hebetatum***	***P. macrophylla***
PAR	r	0,08	0,01	-0,33	0,14	0,08	-0,17	0,27
	p	0,737	0,955	0,175	0,579	0,738	0,503	0,270
URmed	r	0,14	0,21	-0,12	-0,08	0,58	0,26	-0,15
	p	0,575	0,399	0,636	0,759	**< 0,012**	0,300	0,562
URmin	r	-0,19	0,09	0,23	-0,23	-0,25	0,17	-0,35
	p	0,427	0,711	0,359	0,353	0,327	0,508	0,154
URmax	r	0,22	0,14	0,13	-0,07	0,47	0,13	0,06
	p	0,369	0,568	0,620	0,791	**< 0,051**	0,602	0,826
***T*med**	r	-0,07	-0,17	0,07	0,05	-0,25	-0,42	0,16
	p	0,7589	0,494	0,772	0,838	0,323	0,083	0,533
***T*min**	r	0,46	-0,10	0,30	0,29	0,41	-0,10	0,52
	p	**< 0,054**	0,691	0,233	0,238	0,093	0,685	**< 0,026**
***T*max**	r	-0,25	-0,30	-0,22	-0,12	-0,34	-0,29	0,08
	p	0,308	0,231	0,384	0,638	0,168	0,245	0,749
Chuva	r	0,11	0,18	0,29	0,19	0,15	-0,07	-0,05
	p	0,731	0,477	0,248	0,440	0,558	0,791	0,859
TAS	r	0,28	0,08	-0,33	0,16	0,68	0,20	0,13
	p	0,2528	0,751	0,179	0,533	**< 0,002**	0,423	0,599
DPV	r	-0,37	-0,51	-0,16	-0,20	-0,51	-0,28	0,04
	p	0,129	**< 0,031**	0,518	0,427	**< 0,032**	0,253	0,884
EVT	r	-0,32	-0,19	-0,45	-0,13	-0,14	-0,35	-0,10
	p	0,188	0,460	0,063	0,611	0,569	0,158	0,693

Incremento e características funcionais

A média geral do diâmetro altura do peito (DAP) entre as seis espécies foi de 24 cm. Sendo observado as maiores médias nas espécies *G. argenteum* (37 cm) e *P. macrophylla* (28 cm). Enquanto as menores, forma observadas em *P. hebetatum* (14 cm) e *P. decandrum* (18 cm) (Tabela 4). No que diz respeito à altura, a média foi de (23 m), observando as maiores medias em *P. macrophylla* (28 m) e *G. argenteum* (27 m), enquanto as menores em *P. hebetatum* (19 m) e *P. decandrum* (22 m). De maneira geral, este estudo mostra indícios de que indivíduos de maior diâmetro, altura e copa, possuem maiores taxas de IMD. Desta maneira, foi observado uma relação direta significativa não linear entre o DAP e altura das árvores ($p < 0,00001$) (Figura 9). Da mesma forma, foi observado significância entre altura das árvores com a densidade da madeira (DM) e área foliar especifica (AFE) (Figura 10).

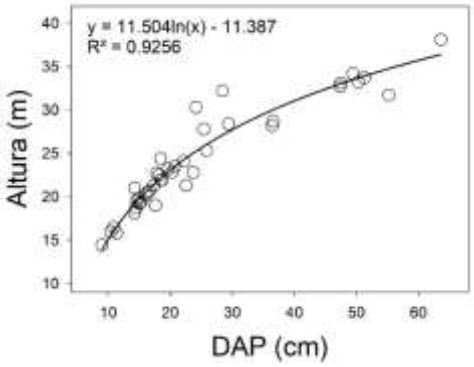

Figura 9. Relação entre a Altura mensurada e DAP para as seis espécies estudas, mensuradas com fita métrica.

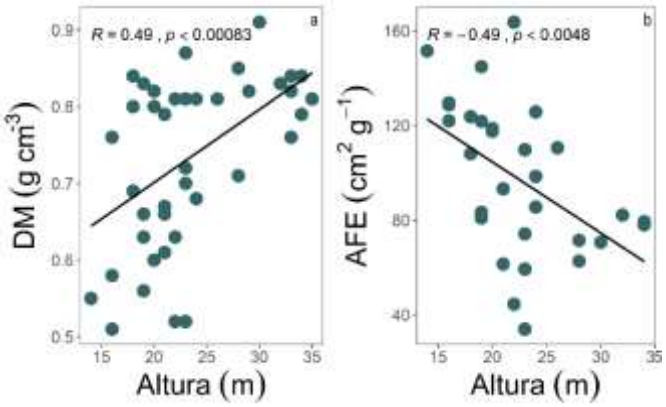

Figura 10. Relação entre altura das árvores com a densidade da madeira (DM) em (a), altura das árvores e área foliar específica (AFE) em (b), para as seis espécies estudadas.

Tabela 4. Resumo das variáveis estudadas, incluindo a média, e seu respectivo desvio padrão (±). Em que, DAP = Diâmetro altura do peito (cm); DM = Densidade da madeira (g cm^{-3}); Altura= Altura individual das árvores (m); Copa = Diâmetro da copa; Casca = Espessura da casca fresca (cm); AF = Área foliar (cm^2); AFE = Área foliar específica (cm^2 g^{-1}); IMD = Incremento mensal em diâmetro (mm $mês^{-1}$); IMA = Incremento Anual em diâmetro (mm ano^{-1}).

Variáveis	*G. argenteum*	*I. laurina*	*M. guianensis*	*P. decandrum*	*P. hebetatum*	*P. macrophylla*	Média
DAP (cm)	37 ± 15	19 ± 7	25 ± 16	18 ± 3	14 ± 4	28,29 ± 14.93	**24 ± 14**
DM (g cm^{-3})	0,82 ± 0,03	0,73 ± 0,03	0,82 ± 0,02	0,58 ± 0.01	0,58 ± 0,02	0,92 ± 0,05	**0,74 ± 0,12**
Altura (m)	27 ± 7	22 ± 4	23 ± 6	22 ± 2	19 ± 3	28 ± 6	**23 ± 5**
Diâmetro copa (m)	7 ± 2	5 ± 1	7 ± 2	6 ± 1	6 ± 1	4,84 ± 2,50	**6 ± 2**
Casca fresca (cm)	0,36 ± 0,08	0,32 ± 0,09	0,32 ± 0,06	0,35 ± 0,13	0,32 ± 0,10	0,44 ± 0,14	**0,35 ± 0,10**
AF* (cm^2)	58,82 ± 3,74	41,73 ± 5,76	88,80 ± 16,46	41,08 ± 3,05	53,63 ± 2,24	30,53 ± 1,83	**52,43 ± 20,44**
AFE (cm^2 g^{-1})	138,83± 28,22	68,37± 7,93	97,11± 14,24	101,51 ± 21,31	111,15 ± 24,81	67,46 ± 9,21	**97,41 ± 30,12**
IMD (mm)	0,07 ± 0,05	0,07 ± 0,10	0,12 ± 0,08	0,11 ± 0,09	0,08 ± 0,04	0,16 ± 0,12	**0,10 ± 0,08**
IMA (mm)**	0,88 ± 0,51	1,05 ± 1,50	1,20 ± 0,81	0,88 ± 0,70	0,92 ± 0,66	1,51 ± 1,91	**1,145 ± 1,091**

*Área foliar (AF) e Área foliar específica (AFE) correspondem a média de oito a dez folhas por árvore.
**Incremento Anual em diâmetro (IMA) corresponde a soma dos incrementos mensais do ano de 2019.

A análise de componentes principais (PCA) para traços funcionais, resultou na apresentação de dois eixos fatoriais (fator 1 e fator 2), pelos quais, explicaram-se 63% do total da variância. A média geral do IMD mostrou maior afinidade com espessura da casca, diâmetro da copa, altura, DAP e densidade da madeira (DM) e inversamente com a AFE, AF (Figura11). A análise de correlação de Pearson, mostrou que o diâmetro da Copa ($p < 0,0396$) e Altura ($p < 0,0349$) (Tabela 5) foram correlacionados de forma positiva e significativa com o IMD.

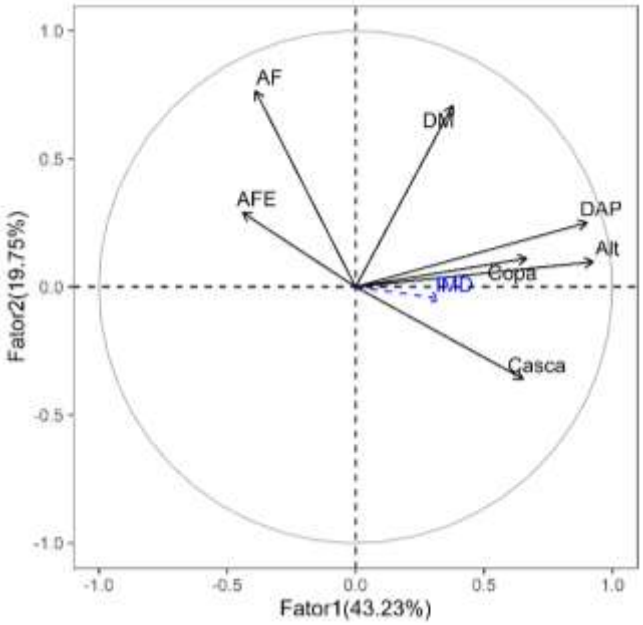

Figura 11. Análise por componentes principais (PCA) mostrando a associação entre traços funcionais e média geral do incremento mensal (IMD) das seis espécies. Em que, DAP = Diâmetro altura do peito (cm); Alt = Altura (m); DM = Densidade da madeira (g cm^{-3}); Copa = Diâmetro da copa; Casca = Espessura da casca (cm); AF = Área foliar (cm^2) e AFE = Área foliar específica (cm^2 g^{-1}).

A análise de componentes principais (PCA), entre as características funcionais com influência no IMD, mostrou nos dois eixos fatoriais (fator 1 e fator 2), de modo geral, a espessura da casca, DAP, altura e o diâmetro da copa, sendo os fatores mais influentes em aumentos no IMD. No entanto, para a espécie *P. decandrum* as diferentes características funcionais não apresentam integração clara, uma vez que apenas a área foliar (AF) obteve uma baixa influência. Apesar de observar ampla variação na densidade da madeira (DM) entre as espécies, quando relacionadas com o IMD, influenciou negativamente em 90% das espécies, indicando que aumentos na DM levaram a menores variações no IMD entre as espécies, e

consequentemente menor será o seu crescimento. Entretanto, em *M. guianensis* esse efeito não foi observado, a falta da influência do DM no IMD pode ser explicada devido a esta espécie contar com indivíduos que atingem o dossel da floresta, sendo que a altura foi a variável mais influenciadora no IMD para esta espécie, assim sendo, em árvores com maiores alturas foram observadas maiores variações do IMD (Figura 6), por outro lado, foi observado que aumentos da área foliar influenciaram negativamente no IMD em *M. guianensis* (Figura 12).

Já na análise de correlação de Pearson, somente foram observadas diferenças significativas ($p < 0,05$) para as variáveis DAP e diâmetro da copa nas espécies *M. guianensis* e *P. macrophylla*, enquanto em *G. argenteum* foi observado influência significativa entre IMD e a DM ($p < 0,0442$), no entanto, cabe destacar que para as espécies com menores alturas e DAP (árvores do sub-dossel de floresta), sendo *I. laurina P. decandrum P. hebetatum*, não foram observados diferenças significativas entre todas as variáveis analisadas (Tabela 5).

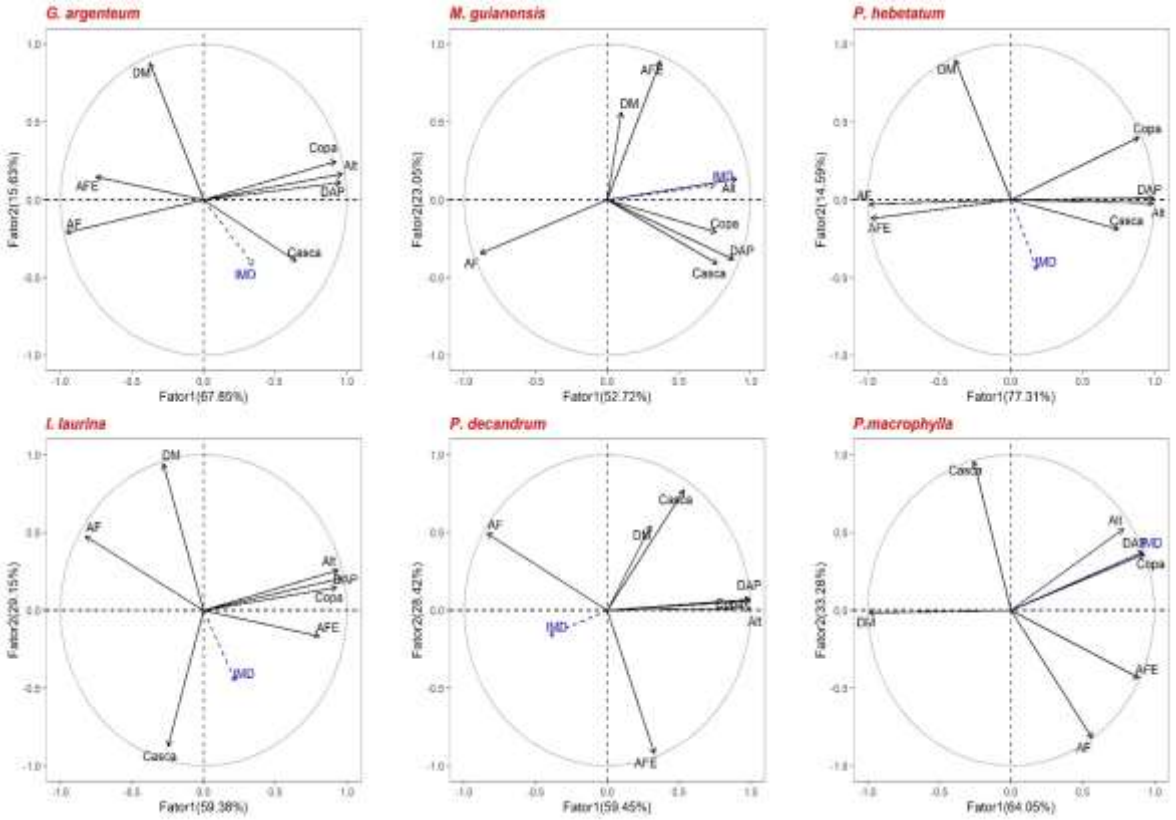

Figura 12. Análise por componentes principais (PCA) mostrando a associação entre traços funcionais e a média do incremento mensal em diâmetro (IMD) para cada uma das seis espécies estudadas. Em que, DAP = Diâmetro altura do peito (cm); Alt = Altura (m); DM = Densidade da madeira (g cm^{-3}); Copa = Diâmetro da copa; Casca = Espessura da casca (cm); AF = Área foliar (cm^2) e AFE = Área foliar específica (cm^2 g^{-1}).

Tabela 5. Coeficientes de correlação entre traços funcionais e incremento mensal em diâmetro (IMD) média geral e de cada espécie. Em que, DAP = Diâmetro altura do peito (cm); Alt = Altura (m); DM = Densidade da madeira (g cm^{-3}); Copa = Diâmetro da copa; Casca = Espessura da casca fresca (cm); AF = Área foliar (cm^2) e AFE = Área foliar específica (cm^2/g).

		(Média geral)	***G. argenteum***	***I. laurina***	***M. guianensis***	***P. decandrum***	***P. hebetatum***	***P. macrophylla***
DAP	r	0,27	0,20	0,03	0,66	-0,39	0,17	0,99
	p	0,0697	0,5624	0,9580	**< 0,0376**	0,438	0,679	**< 0,00331**
Alt	r	0,32	0,31	0,09	0,58	-0,38	0,21	0,91
	p	**< 0,0349**	0,3746	0,8740	0,0733	0,455	0,604	0,0819
DM	r	0,02	-0,64	-0,39	0,22	-0,51	-0,51	-0,92
	p	0,8846	**< 0,0442**	0,5130	0,5280	0,299	0,187	0,0769
Copa	r	0,31	0,24	0,11	0,75	-0,35	-0,06	0,99
	p	**< 0,0396**	0,4885	0,8570	**< 0,0110**	0,496	0,876	**< 0,00461**
Casca	r	0,15	0,06	0,32	0,45	-0,14	-0,003	0,12
	p	0,32	0,8687	0,5980	0,1850	0,79	0,994	0,87
AF	r	-0,15	-0,29	-0,66	-0,648	0,46	-0,28	0,21
	p	0,3334	0,4055	0,2240	**< 0,0428**	0,353	0,496	0,7854
AFE	r	-0,15	-0,47	0,15	0,36	0,12	-0,19	0,65
	p	0,3208	0,1613	0,8020	0,3060	0,817	0,637	0,3409

Incremento, aglomeração e caraterísticas funcionais

Na correlação entre índice de aglomeração de árvores vizinhas com influência no IMD, foi observado uma tendência negativa, ou seja, aumentos no IMD levaram a redução do índice de aglomeração (Figura 13). Essa tendência foi significativa em *G. argenteum* e *P. decandrum* ambas espécies com p = 0,056, assim, quanto menor era o índice de aglomeração maior foi o IMD (Tabela 6). Da mesma forma, para espécies com menores alturas, situadas no sub-dossel da floresta, como *I. laurina* e *P. hebetatum* o índice de aglomeração, mostrou efeito negativo ou nulo com relação ao IMD. Por exemplo, na espécie *P. hebetatum* o índice de aglomeração teve uma relação de (r = -0,072) indicando que a influência das árvores vizinhas não tem efeitos significativos ou alguma influência direta no IMD, pois na área de estudo, não foram observados indivíduos desta espécie que atinjam o dossel da floresta, indicando que esta espécie encontra-se sempre no sub-dossel (média da altura 19 m).

Relacionado o índice de aglomeração de árvores com os traços funcionais, no geral, não foram observados efeitos significativos entre as variáveis analisadas, com exceção da densidade da madeira (DM), mostrando que, espécies com madeiras mais densas, tais como *P. macrophylla*, *G. argenteum* e *M. guianensis* podem ser menos sensíveis aos efeitos da aglomeração de árvores vizinhas, uma vez que, estas espécies contam com indivíduos que atingem o dossel da floresta, assim, as árvores vizinhas não tem nenhuma influência sobre estas espécies. Já no caso oposto destas espécies tais como *I. laurina*, *P. decandrum* e *P. hebetatum* com madeiras menos densas, é observado maior sensibilidade a influência da aglomeração de árvores vizinhas quando relacionado com a DM, desta forma, quanto maior for a altura as árvores tendem a ser mais tolerantes a aglomeração de árvores vizinhas, pois a influência da vizinhança tende a ser menor ou nula (Figura 14).

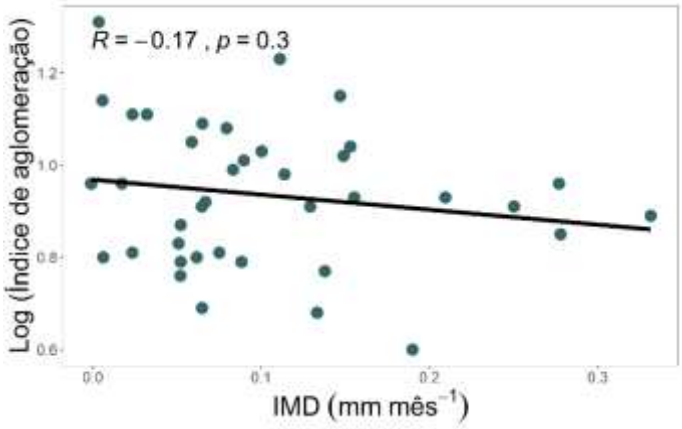

Figura 13. Relação entre Incremento mensal em diâmetro (IMD) e Índice de aglomeração para o conjunto de espécies estudadas.

Tabela 6. Coeficientes de Correlação linear de Pearson (r) entre Log (Índice de aglomeração) e IMD das seis espécies estudadas.

	G. argenteum	***I. laurina***	***M. guianensis***	***P. decandrum***	***P. hebetatum***	***P. macrophylla***
r	-0,62	-0,41	0,46	-0,8	-0,072	-0,49
p	**< 0,056**	0,59	0,21	**< 0,056**	0,89	0,51

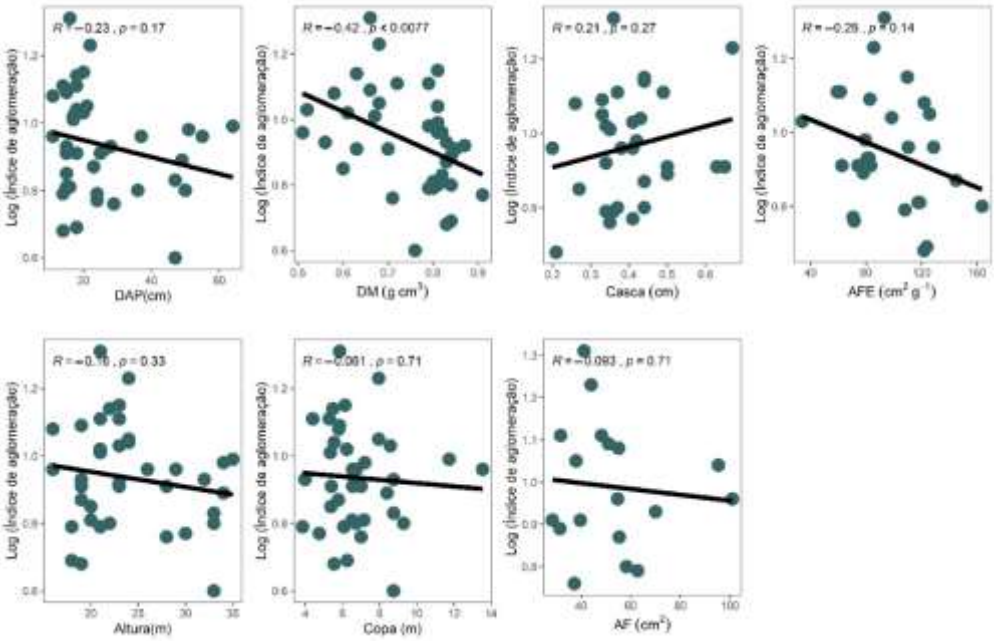

Figura 14. Correlação linear de Pearson entre traços funcionas e Índice de aglomeração (Log). Onde, DAP = Diâmetro altura do peito (cm); Alt = Altura (m); DM = Densidade da madeira (g cm^{-3}); Copa = Diâmetro da copa; Casca = Espessura da casca (cm); AF = Área foliar (cm^2) e AFE = Área foliar específica (cm^2 g^{-1}).

DISCUSSÃO

Incremento em diâmetro

O incremento médio geral de IMD encontrada das 43 árvores foi (0,10 mm mês^{-1}), e está dentro do padrão registrado em trabalhos anteriores na área de estudo (Dias 2009; Antezana-Vera 2017; Camargo 2018), assim como a média do IMA (1,145 mm ano^{-1}) (Silva *et al.* 2002; Vieira *et al.* 2004; Higuchi *et al.* 2011; Ourique *et al.* 2016) (Tabela 6). Já para outras áreas da Amazônia, é possível observar médias menores ou maiores como os observados em Stahl *et al.* (2010) e Wagner *et al.* (2012, 2014).

Tabela 6. Estudos do incremento em diâmetro do tronco, com o uso de bandas dendrométricas na Estação Experimental de Silvicultura Tropical (ZF2).

Autor	Local	Incremento mm ano^{-1}	N indivíduos
Este estudo	ZF-2 (Manaus)	1,14	43
(Silva *et al.* 2002)	ZF-2 (Manaus)	1,64	272
(Vieira *et al.* 2004)	ZF-2 (Manaus)	1,99	79
(Dias 2009)	ZF-2 (Manaus)	1,99	400
(Higuchi *et al.* 2011)	ZF-2 (Manaus)	1,5	545
(Ourique 2014)	ZF-2 (Manaus)	1,43	250
(Antezana-Vera 2017)	ZF-2 (Manaus)	2,119	56

Neste trabalho, não foi observado diferença significativa do IMD entre as espécies, isto pode ser explicado devido à alta variação do IMD ao longo dos meses, o que pode impossibilitar observar diferenças significativas no comportamento das espécies (Camargo e Marenco 2017). Por outro lado, uma variação intraespecífica foi notada nas taxas de incremento, assim como observou-se incremento maior nas árvores crescendo com copa exposta ao sol (emergentes ou não), do mesmo modo, Camargo (2018), já havia descrito este mesmo comportamento. É possível que nas florestas tropicais, a maior oferta de luz aumente as taxas de incremento do tronco em todas espécies (Rüger *et al.* 2011), até mesmo em espécies de sub-dossel como as do gênero *Protium* e *I. laurina* (Lopes-Costa *et al.* 2020), no entanto de acordo com Bloor (2003), Bloor e Grubb (2003) é muito difícil que isso ocorra, e quando acontece está ligado a características intrínsecas desenvolvidas pela planta ao longo de sua vida, como a capacidade da planta aclimatar-se e a composição genética (Cavaleri *et al.* 2006; Santiago e Wright 2007).

Myers e Kitajima (2007), Smith *et al.* (2019) mencionam que indivíduos de sub-dossel não experimentam o mesmo nível de estresse de indivíduos de dossel, o que faz com que estas espécies respondam mais lentamente as variações atmosféricas do que as espécies de dossel (Kunert *et al.* 2017). Consequentemente, ao longo do ano, são capazes de tolerar melhor épocas de seca por exemplo. Ao contrário de árvores expostas ao sol, as quais, podem apresentar maior perda de água (maior taxa de transpiração), bem como, são mais influenciadas pela sazonalidade das chuvas, tornando-as mais sensíveis às mudanças atmosféricas, influenciando negativamente o crescimento (McDowell e Allen 2015; Mendes *et al.* 2019). Entretanto, estas árvores geralmente contam com maiores reservatórios de água nos seus tecidos, aliados a maior redistribuição radicular, o que as permite acessar a solos mais profundos com maior disponibilidade água (Oliveira *et al.* 2005).

Efeito da sazonalidade chuva

As condições climáticas registradas neste estudo são semelhantes as registradas anteriormente na mesma área (Malhi *et al.* 1998; Ferreira *et al.* 2005; Dias e Marenco 2016; Antezana-Vera 2017; Camargo 2018), já a intensidade anual da precipitação foi de (2787 mm), com distribuição irregular sazonal ao longo dos meses, sendo observado, ainda, uma tendência positiva quando relacionada ao IMD, este resultado está consonância com estudos anteriores realizados na Amazônia (Vieira *et al.* 2004; Stahl *et al.* 2010; Higuchi *et al.* 2011; Rowland *et al.* 2014; Wagner *et al.* 2014), onde foi observada essa mesma relação. No entanto, salienta-se que neste estudo não foi observado resultado significativo entre IMD e chuva. Uma vez que, o resultado deste estudo sustenta a hipótese de que na Amazônia central, na estação seca não muito intensa, como ocorrido em 2019, não há redução detectável suficiente para causar efeito significativo no crescimento das árvores, o que também foi observado por (Dias e Marenco 2016; Camargo e Marenco 2017). Além do mais, a alta intensidade das chuvas em florestas tropicais, está frequentemente associada à redução dos níveis de irradiância em resposta à aumentos da nebulosidade (Wagner *et al.* 2014). Frisa-se, ainda, que em períodos com maiores volumes pluviométricos, aliados a tempestades e ventanias, frequentemente podem causar maiores taxas de mortalidade, provocando assim, mudanças consideráveis na dinâmica florestal. Por exemplo, Fontes *et al.* (2018) observaram em uma área de platô vizinha, 24 % do total de árvores mortas na época chuvosa. Marra *et al.* (2018) indicam que eventos de vento nos

quais geralmente vem acompanhados por tempestades são determinantes e causam mudanças perceptíveis na paisagem a curto e longo prazo.

A precipitação mensal mostrou-se influente na umidade relativa do ar (UR) e do teor de água no solo (TAS) (Figura 7). Sendo observado os maiores valores no período noturno, reduzindo significativamente o DPV e a transpiração foliar. Apesar de estudos mostrarem que as florestas tropicais tendem a ser mais sensíveis aos níveis de umidade do que temperatura (Silva *et al.* 2013; Espinosa *et al.* 2018), neste estudo só foi observado correlação significativa positiva entre *P. decandrum* com a média e máxima da UR. No entanto, esta relação, também foi documentada na Amazônia ocidental, na Venezuela (Vilanova *et al.* 2018), na porção oriental, na Guiana Francesa (Stahl *et al.* 2010), na mesma área (Camargo e Marenco 2017) e em grande escala (Wagner *et al.* 2012, 2014). Eventualmente, foram observadas gotículas de água condensadas nas folhas provenientes de nevoeiro, estudos demonstram, ser possível que estes eventos possam contribuir no balanço hídrico das plantas, em regiões onde a duração é mais longa (Burgess e Dawson 2004). No entanto, devido à sua curta duração nesta parte da Amazônia, a sua contribuição ainda é incerta (Spracklen *et al.* 2018).

O maior teor de água no solo (TAS) registrado durante a estação chuvosa foi de 47% (v/v) e na época seca com 42% (v/v) estando em consonância com trabalhos anteriores (Malhi *et al*. 1998; Antezana-Vera 2017; Camargo 2018). O efeito da variação do TAS entre as espécies estudadas, só foi observado em *P. decandrum*, no qual foi observado relação positiva e significativa ao aumento do TAS em relação ao IMD (Tabela 3). O suprimento de água para as plantas é o resultante do intercâmbio entre o sistema solo-planta-atmosfera, assim, à medida que o UR diminui, a capacidade evaporativa para a atmosfera aumenta (ocorrendo maior déficit de pressão de vapor – DPV) o que pode levar a maiores taxas de transpiração. Assim sendo, em condições elevadas de DPV o poro estomático tende a fechar (Dai *et al.* 1992), nos horários onde a URmin encontra-se em nível mais baixo (50,13% neste estudo).

Neste contexto, segundo (Ferreira *et al.* 2002) somente 11 a 18% de água são disponibilizados para às plantas (em um perfil de 1 m de profundidade). No entanto, mesmo em solos com alta umidade, o fechamento estomático pode ocorrer em consequência de uma maior perda de água via transpiração, em horários de maior demanda evaporativa (geralmente ao meio-dia), devido ao volume de água perdido pela transpiração ultrapassar a capacidade do xilema em transportar a água das raízes para as folhas. Este fenômeno poderia explicar a

tendência da diminuição das taxas de incremento em diâmetro IMD das árvores serem reduzidas nos meses mais secos do ano (época seca) (Figura 8).

A sazonalidade das chuvas na região central da Amazônia, aliada a presença de nuvens durante época seca, podem evitar altas variações da radiação fotossinteticamente ativa **(**PAR), ao longo dos meses (média de 26,45 mol m^{-2} dia^{-1}). Os valores PAR obtidos neste trabalho, estão de acordo com os observados anteriormente por (Malhi *et al.* 1998; Antezana-Vera 2017; Camargo e Marenco 2017). Sua variação não foi o suficiente para influenciar diretamente no IMD das espécies ($p > 0,05$) (Figura 3,7). Contudo, é notado que a PAR pode influenciar o crescimento de árvores em florestas tropicais, principalmente em árvores no sub-dossel (Dong *et al.* 2012; Magalhães *et al.* 2014). Do mesmo modo, existem limiares de temperatura (incluso as mínimas) influenciando o crescimento das árvores (Clark *et al.* 2003; Wagner *et al.* 2012).

Efeito da temperatura

A precipitação mensal foi inversamente correlacionada com *T*max, *T*med, DPV e EVT. em outras palavras, um declínio na precipitação mensal foi acompanhado por um aumento na temperatura máxima (23,58 ± 29,95 °C), DPV 11,3 ± 23,1 hPa e EVT 94,5 ± 142,2 mm $mês^{-1}$ (Figura 3,4). Assim, foi observado influência positiva das temperaturas mínimas no IMD (Figura 7). Este efeito também foi observado em trabalhos anteriores (Clark *et al.* 2003; Antezana-Vera 2017). Segundo Wagner *et al.* (2012), na Guiana Francesa, temperaturas mínimas tem efeitos mínimos no IMD de árvores, de igual forma, estes autores também não observaram efeitos da temperatura máxima no IMD, esta ausência pode apontar que essas variações se encontram dentro da faixa ideal da fotossíntese. A influência da temperatura mínima no IMD das espécies, pode nos dar indícios que as árvores tenham maiores aumentos no aparato fotossintético, uma vez que, em temperaturas mínimas ocorre uma maior eficiência no aparato fotossintético (Marenco *et al.* 2014).

Por outro lado, estudos vêm demostrando que a temperatura pode afetar o crescimento arbóreo de diversas maneiras, inclusive, fazendo com que ao longo de vida, as plantas mudem suas estratégias de alocação de biomassa, por exemplo, o produto final da fotossíntese pode ser usado no crescimento radicular, frutificação e na produção de novas folhas ao invés da expansão do tronco (Wright e Calderon 2005; Feeley *et al.* 2007).

Entre os meses mais secos (julho a outubro), houve um aumento na evapotranspiração (EVT) na área de estudo (116,64 mm mês^{-1}), este mesmo comportamento também foi observado em outras partes da Amazônia e na mesma área por (Stahl *et al.* 2010; Antezana-Vera 2017; Camargo 2018; Vilanova *et al.* 2018). No entanto, a variação da EVT não causou efeitos significativos no IMD das espécies. Desta forma, é importante salientar o curto período deste estudo (18 meses), fato pelo qual possa ter limitado a aquisição de resultados mais robustos. Entretanto, é possível que a redução do volume de chuva (época seca) e aumento da temperatura (32 ºC, médias das máximas deste estudo), possam ter contribuído com a redução da condutância estomática, seja a curto ou a longo prazo, dessa forma, ocasionando mudanças na capacidade fotossintética (Lloyd e Farquhar 2008). Por exemplo, alguns trabalhos indicam que espécies na fase juvenil (sub-dossel) estão mais suscetíveis a pequenas mudanças na estrutura do dossel, como a abertura de clareiras naturais (Sack *et al.* 2006; Magalhães *et al.* 2014; Marenco *et al.* 2017).

Aumentos da temperatura também podem influenciar indiretamente o IMD, uma vez que, a temperatura tem uma relação direta com o DPV (Galbraith *et al.* 2010; Powell *et al.* 2013), deste modo, o déficit de pressão de vapor apresentou correlação negativa para todas as espécies, entretanto, só foram observadas correlações significativas em *P. decandrum* e *G. argenteum* (Tabela 3). Por conseguinte, o aumento da demanda evaporativa durante o período seco (23,1 hPa durante a época seca), pode causar redução na taxa fotossintética (Lloyd e Farquhar 2008). Segundo Malhi *et al.* (1998) aumentos nos níveis DPV no ecossistema, tendem a limitar a produtividade primária, principalmente, em espécies com copa totalmente expostas ao sol, cuja os ganhos de carbono tendem a ser menores durante esse período (Camargo e Marenco 2012). Vlam *et al.* (2014) salientam que haverá um decréscimo no crescimento das árvores como consequência do aquecimento global, principalmente, pelas correlações inversas entre IMD com a temperatura e o DPV.

Incremento e características funcionais

Os traços funcionais que mais se relacionaram com o IMD foram a espessura da casca, diâmetro da copa, altura e o DAP (Tabela 5), estes achados são corroborados por estudos descritos para florestas tropicais (Herault *et al.* 2010; Iida *et al.* 2012, 2014; Lasky *et al.* 2015; Visser *et al.* 2016), onde, salienta-se ser fundamental investigar o papel dos traços funcionais nas estratégias de aquisição recursos pelas plantas. Por exemplo, árvores de dossel de floresta aliadas a maiores áreas de copa aliados a maiores DAP, obtendo maior disponibilidade de luz (Slot e Winter 2017) assim, maximizando as taxas de crescimento (Poorter *et al.* 2006) como observados neste estudo, mostrando que árvores do dossel de floresta tem maiores incrementos mensais e maiores variações do IMD em relação as do sub-dossel (Figura 6), resultados similares foram observados por (Rozendaal *et al.* 2010; Sheil *et al.* 2017), como também, os estudos de Sterck *et al*. (2003), Sterck *et al.* (2005) salientam que, árvores de dossel investem fortemente no incremento de seus caules com o intuito de obter maior área de copa. De igual forma, foi observado que com o aumento da altura das árvores maior é a densidade da madeira (DM) (Figura 10a).

A espessura da casca se relacionou de forma positiva com maior IMD, no entanto, não foram observadas significâncias entre todas as espécies (Tabela 5). Baraloto *et al.* (2010) em estudo realizado na Guiana Francesa, indicam que cascas mais espessas tendem a estarem associadas a madeiras de menor densidade, estes autores sugerem um possível trade-off entre a espessura da casca e madeira para melhor suporte biomecânico, no entanto, para Paine *et al.* (2010) é pouco provável que na Amazônia a casca forneça suporte biomecânico, e sua maior espessura está possivelmente relacionada a defesa contra patógenos e herbívoros. Por outro lado, é importante salientar, pelos achados deste trabalho foi possível notar que quanto maior é a espessura da casca maiores eram a densidade da madeira ($r = 0{,}46828$; $p < 0{,}007887$).

Apesar de não ter sido observado diferenças significativas entre a densidade da madeira (DM) e o IMD (Tabela 5), esperava-se observar, nas espécies de maior DM menores taxas de IMD (Vieira *et al.* 2005; Osunkoya *et al.* 2007), contrariando o esperado, não foi observado esse efeito, uma vez que, por exemplo, nas espécies de maior DM as taxas de IMD eram maiores (*P. macrophylla* e *M. guianensis*), no entanto, vale notar que nessas espécies foi observado árvores com maiores alturas. Assim, as espécies com alta DM contam com maiores taxas de

sobrevivência e são mais resistentes a períodos secos imposto pelo aumento no DPV (Chave *et al.* 2006). Em contrapartida, esse benefício pode acarretar aumento na resistência ao transporte de água na planta (Pratt *et al.* 2007), corriqueiramente, atribuído a menores vasos em madeiras mais densas (Baas *et al.* 2004). Assim, a variação da DM tem influência por diversos fatores ambientais, influenciando nos padrões e composição da DM, com as condições de luminosidade (Van Gelder *et al.* 2006) e inclusive a fertilidade do solo (Baker *et al.* 2004, Muller-Landau 2004). No entanto, embora o ambiente tenha alguma influência na DM, a densidade da madeira é conservada filogeneticamente entre as mais diferentes espécies (Chave *et al.* 2006). Desta maneira, sendo geneticamente determinada com associações ao crescimento intrínsecas de cada espécie (Sterck *et al.* 2006; Van Gelder *et al.* 2006).

Geralmente, maiores taxas de crescimento estão associadas a madeiras de menor densidade, por elas possuírem menor densidade e maior diâmetro dos vasos condutores o que lhes fornece maior condutividade hidráulica, nas madeiras densas esta relação é contraria, com isso, contam com menor condutividade hidráulica (Santiago *et al.* 2004; Poorter *et al.* 2010; Fan *et al.* 2012). Resultados como os que foram encontrados no presente trabalho, reforçam o que é indicado por Poorter *et al.* (2010), onde o crescimento nem sempre está associado de forma direta a densidade da madeira. É preciso estudos mais detalhados para obter resultados mais precisos, como avaliar as características do diâmetro do vaso, frequência do vaso, e características de fibra da madeira (Preston *et al.* 2006; Russo *et al.* 2010; Zanne *et al.* 2010).

As árvores produziram as suas folhas com características diferenciadas entre os estratos da floresta (sub-dossel e dossel) diante das diferentes condições abióticas, observou-se, que quanto maior é a árvore menor é a área foliar especifica (AFE) (Figura 10). Esta relação ajudaria a explicar os diferentes desempenhos das plantas (Lusk e Jorgensen 2013; Reich 2014). Uma vez que, segundo (Bongers 1998) folhas expostas à alta radiação solar, quando comparadas com folhas que estão na sombra, são mais espessas e influenciam inclusive o teor de massa foliar seca (Pérez-Ramos *et al.* 2012) fato pelo qual, é promovido variação funcional na capacidade fotossintética entre espécies em florestas tropicais, por isso a capacidade de aclimatação da AFE dos indivíduos arbóreos é importante para maximizar o crescimento em diferentes condições de luz (Rozendaal *et al.* 2006; Santiago e Wright 2007).

A relação entre traços funcionais foliares e o incremento médio mensal (IMD) pode ser influenciada pela ontogenia de cada espécie. Para os traços foliares (AF e AFE) não foi

observado uma relação direta com o IMD. Este resultado, corrobora com estudos anteriores (Poorter *et al.* 2008; Wright *et al.* 2010; Hérault *et al.* 2011; Rüger *et al.* 2012), nos quais, a AFE não foi um bom preditor do incremento de árvores. No entanto, era esperado que o IMD aumentasse positivamente, principalmente com a eficiência dos traços foliares em função da captura de luz, assim, podendo observar um investindo maior de biomassa. Em contrapartida, estudos vêm observando que conforme as árvores atingem o seu clímax, essa relação diminuí, devido ao aumento da densidade foliar da copa (Lambers e Poorter 1992; Reich *et al.* 2003; Poorter *et al.* 2009; Wright *et al.* 2010). Outra hipótese, seria a correlação com outros traços foliares não abordados neste estudo, como por exemplo, potencial hídrico, densidade do tecido foliar, concentraçôes de nutrientes N,P,K, capacidade fotossintética entre outros (Reich *et al.* 1995; Poorter e Bongers 2006; Kitajima e Poorter 2010).

Índice de aglomeração, características funcionais e IMD

Há complexidade de se avaliar e interpretar as interações bióticas, com influência no crescimento de árvores, tendo como objetivo o entendimento da competição em florestas tropicais. Para esse fim, devem ser considerados os efeitos competitivos com as características das plantas (Lasky *et al.* 2014). Estudos como (Uriarte *et al.* 2004; Cunha e Finger 2012; Cunha *et al.* 2016; Fortunel *et al.* 2016; Rozendaal *et al.* 2020), confirmam a importância da competição em florestas tropicais. Uma vez que, o crescimento ontogenético de qualquer árvore em uma população natural tem relação em função do seu dimensionamento (área da copa), desta maneira, as árvores podem passar longos períodos nos estratos inferiores do dossel da floresta, supridas por breves episódios de crescimento rápido em luz direta, por exemplo, devido a criação de abertura no dossel por eventos de queda de árvore (Wright *et al.* 2000).

Os resultados deste estudo estão de acordo aos observados por (Uriarte *et al.* 2004; Lasky *et al.* 2014), pelos quais o mesmo método vem sendo aplicado em estudos realizados em ambiente de florestas tropicais (Lasky *et al.* 2014, 2015; Fortunel *et al.* 2016, 2018; Uriarte *et al.* 2016). Observou-se, nas árvores com maior estatura (altura e área da copa) maior tolerância a maiores níveis de aglomeração, com destaque para as espécies *P. macrophylla* e *M. guianensis*, por sua vez, Lasky *et al.* (2015) estudando a dinâmica da floresta de Luquillo (Porto

Rico), sugerem que indivíduos de grande porte tendem a ser favorecidos pela partição de nicho na montagem da comunidade.

O entendimento da influência da aglomeração de árvores vizinhas em relação aos traços funcionais não foi muito claro, uma vez que, só observamos relação direta entre o índice de aglomeração e densidade da madeira (Figura 14). No entanto, cabe salientar, que os resultados negativos ou nulos observados neste estudo, quando se referem ao nível populacional e/ou estratificação do dossel da floresta, podem levar a interpretações errôneas, por exemplo, em *P. hebetatum*, os traços funcionais analisados não se apresentaram significativos. Para essa espécie, o ambiente onde ela está situada (sub-dossel), apresenta condições ideais para o seu desenvolvimento mesmo assim não foi possível observar influência significativa de nenhum traço em relação ao IMD. Da mesma forma, os achados deste trabalho, indicam uma tendência de relação negativa entre maior aglomeração e DM, assim como, já haviam documentado outros autores (Lasky *et al.* 2014; Fortunel *et al.* 2016; Kunstler *et al.* 2016; Uriarte *et al.* 2016). Portanto, avaliar a dinâmica do incremento médio mensal (IMD) de seis espécies correlacionando com as diferentes características próprias de cada espécie, crescendo em uma floresta de platô de terra firme, fornece importantes informações, as quais podem ser usadas como indicativos da dinâmica florestal.

CONCLUSÕES

Os fatores climáticos influenciaram o IMD de forma diferenciada entre as espécies, sendo a chuva como maior influenciador em aumentos no IMD, assim, com a diminuição da chuva seguida de aumentos na irradiância associadas a incrementos da temperatura influenciaram negativamente no IMD. Em *G. argenteum, P. hebetatum* e *P. decandrum* foram mais responsivas a variações médias e mínimas da UR influenciando em aumentos no IMD, já em *M. guianensis* e *P. macrophylla* aumentos no IMD foram associados a aumentos da temperatura média e mínima. *I. laurina* foi mais influenciada pela chuva e TAS.

Variações nas características funcionais e os estratos verticais no dossel, influenciaram o IMD. Árvores totalmente expostas ao sol, apresentaram maiores variações no IMD, em relação as do sub-dossel. A altura das árvores aliadas ao tamanho da copa, DAP e espessura da casca influenciaram em aumentos na média geral do IMD, esses efeitos foram mais evidentes em *G. argenteum, M. guianensis, P. macrophylla* e *P. hebetatum*. Aumento da DM influenciou negativamente o IMD em 90% das espécies. Em *M. guianensis* não foram observados efeitos diretos da DM no IMD, sendo mais influenciado negativamente por variações na área foliar.

Houve uma tendência negativa da influência do índice de aglomeração das árvores vizinhas no IMD, sendo mais evidentes em *G. argenteum* e *P. decandrum*. A DM influenciou negativamente o IMD das espécies. Portanto, as medições mensais do IMD e as características funcionais das árvores são necessárias para elucidar a influência das mudanças climáticas no crescimento do tronco das árvores, e tendo grande importância para estudos que visam a contribuição de modelos climáticos.

REFERÊNCIAS

Adaime, R.; Lima, A..; Sousa, M.S.. 2018. Controle biológico conservativo de moscas-das-frutas na Amazônia brasileira Adaime. *Innovations Agronomiques* 64: 47–59.

Adams, T.P.; Holland, E.P.; Law, R.; Plank, M.J.; Raghib, M. 2013. On the growth of locally interacting plants: Differential equations for the dynamics of spatial moments. *Ecology* 94: 2732–2743.

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.

Aleixo, I.; Norris, D.; Hemerik, L.; Barbosa, A.; Prata, E.; Costa, F.; et al. 2019. Amazonian rainforest tree mortality driven by climate and functional traits. *Nature Climate Change* 9: 384–388.

Andrade, C.G.C.; Da Silva, M.L.; Torres, C.M.M.E.; Ruschel, A.R.; Da Silva, L.F.; De Andrade, D.F.C.; et al. 2017. Crescimento diamétrico e tempo de passagem de Minquartia guianensis após manejo na Floresta Nacional do Tapajós. *Pesquisa Florestal Brasileira* 37: 299.

Andrade, E.A.; Higuchi, N. 2009. Produtividade de quatro espécies arbóreas de Terra Firme da Amazônia Central. *Acta Amazonica* 39: 105–112.

Antezana-Vera, S.A. 2017. *Fluxo De Seiva E Crescimento De Árvores Em Função Das Variáveis Climáticas Em Espécies Arbóreas Na Amazônia Central*. INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS DA AMAZÔNIA, 113p.

APG IV. 2020. *Angiosperm Phylogeny Website*. Version 14, July 2017. (http://www.mobot.org/MOBOT/research/APweb/).

Baas, P.; Ewers, F.; Davis, S.; Wheeler, E. 2004. Evolution of xylem physiology. The evolution of plant physiology. .

Baker, T.R.; Phillips, O.L.; Malhi, Y.; Almeida, S.; Arroyo, L.; Di Fiore, A.; et al. 2004.

Variation in wood density determines spatial patterns inAmazonian forest biomass. *Global Change Biology* 10: 545–562.

Baraloto, C.; Paine, C.E.T.; Poorter, L.; Beauchene, J.; Bonal, D.; Domenach, A.M.; et al. 2010. Decoupled leaf and stem economics in rain forest trees. *Ecology Letters* 13: 1338–1347.

Barichivich, J.; Gloor, E.; Peylin, P.; Brienen, R.J.W.; Schöngart, J.; Espinoza, J.C.; et al. 2018. Recent intensification of Amazon flooding extremes driven by strengthened Walker circulation. *Science Advances* 4: eaat8785.

Bloor, J.M.G. 2003. Light responses of shade-tolerant tropical tree species in north-east Queensland: A comparison of forest- and shadehouse-grown seedlings. *Journal of Tropical Ecology* 19: 163–170.

Bloor, J.M.G.; Grubb, P.J. 2003. Growth and mortality in high and low light: trends among 15 shade-tolerant tropical rain forest tree species. *Journal of Ecology* 91: 77–85.

Bongers, F. 1998. Manipulation of light in tropical rain forest. *Tropenbos 1998. Research in tropical rain forests: its challenges for the future.*: 169–184.

Brienen, R.J.W.; Phillips, O.L.; Feldpausch, T.R.; Gloor, E.; Baker, T.R.; Lloyd, J.; et al. 2015. Long-term decline of the Amazon carbon sink. *Nature* 519: 344.

Buck, A.L. 1981. New equations for computing vapour pressure and enhancement factor. *Journal of Applied Meteorology* 20: 1527–1532.

Burgess, S.S.O.; Dawson, T.E. 2004. The contribution of fog to the water relations of Sequoia sempervirens (D. Don): Foliar uptake and prevention of dehydration. *Plant, Cell and Environment* 27: 1023–1034.

Camargo, J.L.C.; Ferraz, I.D.K. 2004. Acariquara-roxa, Minquartia guianensis Aubl. Olacaceae. *Manual de sementes da Amazônia* Fascículo: 3.

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*. Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, 84p.

Camargo, M.A.B.; Marenco, R.A. 2012. Growth, leaf and stomatal traits of crabwood (Carapa guianensis Aubl.) in central Amazonia. *Revista Árvore* 36: 07–16.

Camargo, M.A.B.; Marenco, R.A. 2017. Tree growth over three years in response to monthly rainfall in central Amazonia. *Dendrobiology* 78: 10–17.

Camargo, M.R.M. 2011. Avaliação da atividade antimalárica e antimicrobiana de Geissosperum argenteum Woodson E Minquartia guianensis Aubl coletadas em Roraima. : 96.

Canham, C.D.; LePage, P.T.; Coates, K.D. 2004. A neighborhood analysis of canopy tree competition: effects of shading versus crowding. *Canadian Journal of Forest Research* 34: 778–787.

Canham, C.D.; Papaik, M.J.; Uriarte, M.; Mcwilliams, W.H.; Jenkins, J.C.; Twery, M.J.; et al. 2006. Neighborhood Analyses of Canopy Tree Competition along Environmental Gradients in New England. *Ecological Applications* 16: 540–554.

Cardoso, D.; Särkinen, T.; Alexander, S.; Amorim, A.M.; Bittrich, V.; Celis, M.; et al. 2017. Amazon plant diversity revealed by a taxonomically verified species list. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 114: 10695–10700.

Cavaleri, M.A.; Oberbauer, S.F.; Ryan, M.G. 2006. Wood CO2 efflux in a primary tropical rain forest. *Global Change Biology* 12: 2442–2458.

Chave, J.; Muller-Landau, H.C.; Baker, T.R.; Easdale, T.A.; Steege, H. ter; Webb, C.O. 2006. Regional And Phylogenetic Variation Of Wood Density Across 2456 Neotropical Tree Species. *Ecological Applications* 16: 2356–2367.

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.; Piper, S.C.; Keeling, C.D.; Clark, D.B. 2003. Tropical rain forest tree growth and atmospheric carbon dynamics linked to interannual temperature variation during 1984-2000. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 100: 5852–5857.

Cruz, D.C. da; Benayas, J.M.R.; Ferreira, G.C.; Santos, S.R.; Schwartz, G. 2020. An overview of forest loss and restoration in the Brazilian Amazon. *New Forests*: 1–16.

Cruz, E.D. 2017. Germinação de sementes de espécies amazônicas: cutite [Pouteria macrophylla (Lam.) Eyma]. In: Cruz, E.D. (Ed.), *Comunicado Técnico 289*, 1st ed.Embrapa Amazônia Oriental, Bélem, p.1–4.

Cunha, T.A. da; Finger, C.A.G. 2012. Competição assimétrica e o incremento diamétrico de árvores individuais de Cedrela odorata L. na Amazônia ocidental. *Acta Amazonica* 43: 9–18.

Cunha, T.A. da; Finger, C.A.G.; Hasenauer, H. 2016. Tree basal area increment models for Cedrela, Amburana, Copaifera and Swietenia growing in the Amazon rain forests. *Forest Ecology and Management* 365: 174–183.

Dai, Z.; Edwards, G.E.; Ku, M.S.B. 1992. Control of photosynthesis and stomatal conductance in Ricinus communis L. (Castor Bean) by leaf to air vapor pressure deficit. *Plant Physiology* 99: 1426–1434.

Dias, D.P. 2009. *Fotossíntese e crescimento em diâmetro de árvores em função da temperatura e da precipitação numa floresta primária de terra-firme na Amazônia Central*. 123p.

Dias, D.P.; Marenco, 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.

Dong, S.X.; Davies, S.J.; Ashton, P.S.; Bunyavejchewin, S.; Supardi, M.N.N.; Kassim, A.R.; et al. 2012. Variability in solar radiation and temperature explains observed patterns and trends in tree growth rates across four tropical forests. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences* 279: 3923–3931.

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.

Enquist, B.J.; West, G.B.; Charnov, E.L.; Brown, J.H. 1999. Allometric scaling of production and life-history variation in vascular plants. *Nature* 401: 907–911.

Espinosa, C.I.; Camarero, J.J.; Gusmán, A.A. 2018. Site-dependent growth responses to climate in two major tree species from tropical dry forests of southwest Ecuador. *Dendrochronologia* 52: 11–19.

Fan, Z.-X.; Zhang, S.-B.; Hao, G.-Y.; Ferry Slik, J.W.; Cao, K.-F. 2012. Hydraulic conductivity traits predict growth rates and adult stature of 40 Asian tropical tree species better than wood density. *Journal of Ecology* 100: 732–741.

Fearnside, P.M. 2018. Brazil's Amazonian forest carbon: the key to Southern Amazonia's significance for global climate. *Regional Environmental Change* 18: 47–61.

Feeley, K.J.; Joseph Wright, S.; Nur Supardi, M.N.; Kassim, A.R.; Davies, S.J. 2007. Decelerating growth in tropical forest trees. *Ecology Letters* 10: 461–469.

Feldpausch, T.R.; Lloyd, J.; Lewis, S.L.; Brienen, R.J.W.; Gloor, M.; Monteagudo Mendoza, A.; et al. 2012. Tree height integrated into pantropical forest biomass estimates. *Biogeosciences* 9: 3381–3403.

Feldpausch, T.R.; Phillips, O.L.; Brienen, R.J.W.; Gloor, E.; Lloyd, J.; Malhi, Y.; et al. 2016. Amazon forest response to repeated droughts To cite this version : *Global Biogeochemical Cycles* 30: 964–982.

Ferreira, S.J.F.; Luizão, F.J.; Dallarosa, R.L.G. 2005. Precipitação interna e interceptação da chuva em floresta de terra firme submetida à extração seletiva de madeira na Amazônia Central. *Acta Amazonica* 35: 55–62.

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: 449–449.

Fontes, C.G.; Chambers, J.Q.; Higuchi, N. 2018. Revealing the causes and temporal distribution of tree mortality in Central Amazonia. *Forest Ecology and Management* 424: 177–183.

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.

Fortunel, C.; Lasky, J.R.; Uriarte, M.; Valencia, R.; Wright, S.J.; Garwood, N.C.; et al. 2018. Topography and neighborhood crowding can interact to shape species growth and distribution in a diverse Amazonian forest. *Ecology* 99: 2272–2283.

Furtado, F.B. 2014. Estudo químico, análise do óleo essencial e atividades biológicas de Inga laurina (Sw.) Willd. *Universidade Federal de Uberlândia*: 101.

Galbraith, D.; Levy, P.E.; Sitch, S.; Huntingford, C.; Cox, P.; Williams, M.; et al. 2010. Multiple mechanisms of Amazonian forest biomass losses in three dynamic global vegetation models under climate change. *New Phytologist* 187: 647–665.

Van Gelder, H.A.; Poorter, L.; Sterck, F.J. 2006. Wood mechanics, allometry, and life-history variation in a tropical rain forest tree community. *New Phytologist* 171: 367–378.

Gloor, M.; Barichivich, J.; Ziv, G.; Brienen, R.; Schöngart, J.; Peylin, P.; et al. 2015. Recent Amazon climate as background for possible ongoing and future changes of Amazon humid forests. *Global Biogeochemical Cycles* 29: 1384–1399.

Greenwood, S.; Ruiz-Benito, P.; Martínez-Vilalta, J.; Lloret, F.; Kitzberger, T.; Allen, C.D.; et al. 2017. Tree mortality across biomes is promoted by drought intensity, lower wood density and higher specific leaf area. *Ecology Letters* 20: 539–553.

Hargreaves, G.H.; Samani, Z.A. 1982. Estimating Potential Evapotranspiration. *Journal of the Irrigation and Drainage Division* 108: 225–230.

Hargreaves, G.H.; Zohrab A. Samani. 1985. Reference Crop Evapotranspiration from Temperature. *Applied Engineering in Agriculture* 1: 96–99.

Herault, B.; Ouallet, J.; Blanc, L.; Wagner, F.; Baraloto, C. 2010. Growth responses of neotropical trees to logging gaps. *Journal of Applied Ecology* 47: 821–831.

Hérault, B.; Bachelot, B.; Poorter, L.; Rossi, V.; Bongers, F.; Chave, J.; et al. 2011. Functional traits shape ontogenetic growth trajectories of rain forest tree species. *Journal of Ecology* 99: 1431–1440.

Higuchi, N.; dos Santos, J.; Lima, A.J.N.; Higuchi, F.G.; Chambers, J.Q. 2011. A floresta

Amazônica e a água da chuva. *Floresta* 41: 427–434.

Hubbell, S.P.; He, F.; Condit, R.; Borda-de-Água, L.; Kellner, J.; Ter Steege, H. 2008. How many tree species are there in the Amazon and how many of them will go extinct? *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 105: 11498–11504.

Huntingford, C.; Zelazowski, P.; Galbraith, D.; Mercado, L.M.; Sitch, S.; Fisher, R.; et al. 2013. Simulated resilience of tropical rainforests to CO2 -induced climate change. *Nature Geoscience* 6: 268–273.

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.

Jesus, M.F. de C.; De Souza Júnior, J.O.; Góes, G.S.; Brito-Rocha, E.; Mielke, M.S. 2016. Crescimento e qualidade de mudas de Inga laurina em função do substrato e adubação suplementar. *Pesquisa Florestal Brasileira* 36: 153.

Jiménez-Muñoz, J.C.; Mattar, C.; Barichivich, J.; Santamaría-Artigas, A.; Takahashi, K.; Malhi, Y.; et al. 2016. Record-breaking warming and extreme drought in the Amazon rainforest during the course of El Niño 2015–2016. *Scientific Reports* 6: 33130.

Jimenez, J.C.; Barichivich, J.; Mattar, C.; Takahashi, K.; Santamaría-Artigas, A.; Sobrino, J.A.; et al. 2018. Spatio-temporal patterns of thermal anomalies and drought over tropical forests driven by recent extreme climatic anomalies. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences* 373.

Kitajima, K.; Poorter, L. 2010. Tissue-level leaf toughness, but not lamina thickness, predicts sapling leaf lifespan and shade tolerance of tropical tree species. *New Phytologist* 186: 708–721.

Kunert, N.; Aparecido, L.M.T.; Wolff, S.; Higuchi, N.; Santos, J. dos; Araujo, A.C. de; 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.

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.

Lambers, H.; Poorter, H. 1992. Inherent Variation in Growth Rate Between Higher Plants: A Search for Physiological Causes and Ecological Consequences. *Advances in Ecological Research* 23: 187–261.

Lasky, J.R.; Uriarte, M.; Boukili, V.K.; Chazdon, R.L. 2014. Trait-mediated assembly processes predict successional changes in community diversity of tropical forests. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 111: 5616–5621.

Lasky, J.R.; Bachelot, B.; Muscarella, R.; Schwartz, N.; Forero-Montaña, J.; Nytch, C.J.; et al. 2015. Ontogenetic shifts in trait-mediated mechanisms of plant community assembly. *Ecology* 96: 2157–2169.

Leitold, V.; Morton, D.C.; Longo, M.; dos-Santos, M.N.; Keller, M.; Scaranello, M. 2018. El Niño drought increased canopy turnover in Amazon forests. *New Phytologist* 219: 959–971.

Lloyd, J.; Farquhar, G.D. 2008. Effects of rising temperatures and [CO2] on the physiology of tropical forest trees. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences* 363: 1811.

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.

Lopes-Costa, N.-S.; Da-Silva-Jardim, F.-C.; Macedo-Gomes, J.; Silva-Dionisio, L.-F.; Schwartz, G. 2020. Responses in growth and dynamics of the shade-tolerant species

Theobroma subincanum to logging gaps in the Eastern Amazon. *Forest Systems* 29: e003.

Lorenzi, H. 2002. *Brazilian trees : a guide to the identification and cultivation of Brazilian native trees*. Instituto Plantarum de Estudos da Flora, .

Lusk, C.H.; Jorgensen, M.A. 2013. The whole-plant compensation point as a measure of juvenile tree light requirements. *Functional Ecology* 27: 1286–1294.

Magalhães, N. dos S.; Marenco, 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.

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.

Marenco, R.A.; Camargo, M.A.B.; Antezana-Vera, S.A.; Oliveira, M.F. 2017. Leaf trait plasticity in six forest tree species of central Amazonia. *Photosynthetica* 55: 679–688.

Marenco, R.A.; Antezana-Vera, S.A.; Dos Santos Gouvêa, P.R.; Camargo, M.A.B.; De Oliveira, M.F.; Da Silva Santos, J.K. 2014. Fisiologia de espécies florestais da Amazônia: Fotossíntese, respiração e relações hídricas. *Revista Ceres* 61: 786–799.

Marengo, J.A.; Espinoza, J.C. 2016. Extreme seasonal droughts and floods in Amazonia: Causes, trends and impacts. *International Journal of Climatology* 36: 1033–1050.

Marengo, J.A.; Nobre, C.A.; Sampaio, G.; Salazar, L.F.; Borma, L.S. 2011. Climate change in the Amazon Basin: Tipping points, changes in extremes, and impacts on natural and human systems. *Tropical Rainforest Responses to Climatic Change*: 259–283.

Marra, D.M.; Trumbore, S.E.; Higuchi, N.; Ribeiro, G.H.P.M.; Negrón-Juárez, R.I.; Holzwarth, F.; et al. 2018. Windthrows control biomass patterns and functional composition of Amazon forests. *Global Change Biology* 24: 5867–5881.

McDowell, N.G.; Allen, C.D. 2015. Darcy's law predicts widespread forest mortality under climate warming. *Nature Climate Change* 5: 669–672.

Meakem, V.; Tepley, A.J.; Gonzalez-Akre, E.B.; Herrmann, V.; Muller-Landau, H.C.; Wright, S.J.; et al. 2018. Role of tree size in moist tropical forest carbon cycling and water deficit responses. *New Phytologist* 219: 947–958.

Mendes, K.R.; Bento, M.; Marenco, R.A. 2019. PHOTOSYNTHETIC TRAITS OF CANOPY LEAVES OF DINIZIA EXCELSA (FABACEAE). *Revista Árvore* 43.

Muller-Landau, H.C. 2004. Interspecific and inter-site variation in wood specific gravity of tropical trees. *Biotropica* 36: 20–32.

Myers, J.A.; Kitajima, K. 2007. Carbohydrate storage enhances seedling shade and stress tolerance in a neotropical forest. *Journal of Ecology* 95: 383–395.

Nelson, B.W.; Kapos, V.; Adams, J.B.; Oliveira, W.J.; & Braun, O.P. 1994. Forest disturbance by large blowdowns in the Brazilian Amazon. Ecology, 853-858.

Nogueira, E.M.; Yanai, A.M.; de Vasconcelos, S.S.; de Alencastro Graça, P.M.L.; Fearnside, P.M. 2018. Carbon stocks and losses to deforestation in protected areas in Brazilian Amazonia. *Regional Environmental Change* 18: 261–270.

Oliveira, R.S.; Dawson, T.E.; Burgess, S.S.O.; Nepstad, D.C. 2005. Hydraulic redistribution in three Amazonian trees. *Oecologia* 145: 354–363.

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.; Silva, R.O.; De Souza, C.A.S.; Noguchi, H.; Dos Santos, J.; Higuchi, N. 2016. Relação da produção de serapilheira com incremento em diâmetro de uma floresta madura na Amazônia Central. *Scientia Forestalis/Forest Sciences* 44: 875–886.

Ourique, L.K. de. 2014. Produção de serapilheira e incremento diamétrico em uma Floresta de Terra Firme na Amazônia Central. : 59.

Paine, C.E.T.; Stahl, C.; Courtois, E.A.; Patiño, S.; Sarmiento, C.; Baraloto, C. 2010. Functional explanations for variation in bark thickness in tropical rain forest trees. *Functional Ecology*

24: 1202–1210.

Pérez-Ramos, I.M.; Roumet, C.; Cruz, P.; Blanchard, A.; Autran, P.; Garnier, E. 2012. Evidence for a “plant community economics spectrum” driven by nutrient and water limitations in a Mediterranean rangeland of southern France. *Journal of Ecology* 100: 1315–1327.

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.; De Jong, R. 1999. A comparison of specific leaf area, chemical composition and leaf construction costs of field plants from 15 habitats differing in productivity. *New Phytologist* 143: 163–176.

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, L.; Bongers, F. 2006. Leaf traits are good predictors of plant performance across 53 rain forest species. *Ecology* 87: 1733–1743.

Poorter, L.; Bongers, L.; Bongers, F. 2006. Architecture of 54 moist-forest tree species: Traits, trade-offs, and functional groups. *Ecology* 87: 1289–1301.

Poorter, L.; Wright, S.J.; Paz, H.; Ackerly, D.D.; Condit, R.; Ibarra-Manríquez, G.; et al. 2008. Are functional traits good predictors of demographic rates? Evidence from five neotropical forests. *Ecology* 89: 1908–1920.

Poorter, L.; McDonald, I.; Alarcón, A.; Fichtler, E.; Licona, J.-C.; Peña-Claros, M.; et al. 2010. The importance of wood traits and hydraulic conductance for the performance and life history strategies of 42 rainforest tree species. *New Phytologist* 185: 481–492.

Powell, T.L.; Galbraith, D.R.; Christoffersen, B.O.; Harper, A.; Imbuzeiro, H.M.A.; Rowland,

L.; et al. 2013. Confronting model predictions of carbon fluxes with measurements of Amazon forests subjected to experimental drought. *New Phytologist* 200: 350–365.

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.

Pratt, R.B.; Jacobsen, A.L.; Ewers, F.W.; Davis, S.D. 2007. Relationships among xylem transport, biomechanics and storage in stems and roots of nine Rhamnaceae species of the California chaparral. *New Phytologist* 174: 787–798.

Preston, K.A.; Cornwell, W.K.; DeNoyer, J.L. 2006. Wood density and vessel traits as distinct correlates of ecological strategy in 51 California coast range angiosperms. *New Phytologist* 170: 807–818.

R, Core.Team. 2020. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing. .

Reich, P.B. 2014. The world-wide “fast-slow” plant economics spectrum: A traits manifesto. *Journal of Ecology* 102: 275–301.

Reich, P.B.; Ellsworth, D.S.; Uhl, C. 1995. Leaf Carbon and Nutrient Assimilation and Conservation in Species of Differing Successional Status in an Oligotrophic Amazonian Forest. *Functional Ecology* 9: 65.

Reich, P.B.; Wright, I.J.; Cavender-Bares, J.; Craine, J.M.; Oleksyn, J.; Westoby, M.; et al. 2003. The evolution of plant functional variation: Traits, spectra, and strategies. *International Journal of Plant Sciences* 164.

Rivas, J.J.C.; González, J.G.Á.; Aguirre, O.; Hernández, F.J. 2005. The effect of competition on individual tree basal area growth in mature stands of Pinus cooperi Blanco in Durango (Mexico). *European Journal of Forest Research* 124: 133–142.

Rowland, L.; Malhi, Y.; Silva-Espejo, J.E.; Farfán-Amézquita, F.; Halladay, K.; Doughty, C.E.; et al. 2014. The sensitivity of wood production to seasonal and interannual variations in climate in a lowland Amazonian rainforest. *Oecologia* 174: 295–306.

Rozendaal, D.M.A.; Hurtado, V.H.; Poorter, L. 2006. Plasticity in leaf traits of 38 tropical tree species in response to light; relationships with light demand and adult stature. *Functional Ecology* 20: 207–216.

Rozendaal, D.M.A.; Brienen, R.J.W.; Soliz-Gamboa, C.C.; Zuidema, P.A. 2010. Tropical tree rings reveal preferential survival of fast-growing juveniles and increased juvenile growth rates over time. *New Phytologist* 185: 759–769.

Rozendaal, D.M.A.; Phillips, O.L.; Lewis, S.L.; Affum-Baffoe, K.; Alvarez-Davila, E.; Andrade, A.; et al. 2020. Competition influences tree growth, but not mortality, across environmental gradients in Amazonia and tropical Africa. *Ecology* 101.

Rüger, N.; Wirth, C.; Wright, S.J.; Condit, R. 2012. Functional traits explain light and size response of growth rates in tropical tree species. *Ecology* 93: 2626–2636.

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.

Russo, S.E.; Jenkins, K.L.; Wiser, S.K.; Uriarte, M.; Duncan, R.P.; Coomes, D.A. 2010. Interspecific relationships among growth, mortality and xylem traits of woody species from New Zealand. *Functional Ecology* 24: 253–262.

Saatchi, s. S.; Houghton, r. A.; Dos santos alvalá, r. C.; Soares, j. V.; Yu, Y. 2007. Distribution of aboveground live biomass in the Amazon basin. *Global Change Biology* 13: 816–837.

Sack, L.; Melcher, P.J.; Liu, W.H.; Middleton, E.; Pardee, T. 2006. How strong is intracanopy leaf plasticity in temperate deciduous trees? *American Journal of Botany* 93: 829–839.

Sande, M.T. Van Der; Arets, E.J.M.M.; Peña-Claros, M.; De 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.

Santiago, L.S.; Wright, S.J. 2007. Leaf functional traits of tropical forest plants in relation to growth form. *Functional Ecology* 21: 19–27.

Santiago, L.S.; Goldstein, G.; Meinzer, F.C.; Fisher, J.B.; Machado, K.; Woodruff, D.; et al.

2004. Leaf photosynthetic traits scale with hydraulic conductivity and wood density in Panamanian forest canopy trees. *Oecologia* 140: 543–550.

Sheil, D.; Eastaugh, C.S.; Vlam, M.; Zuidema, P.A.; Groenendijk, P.; van der Sleen, P.; et al. 2017. Does biomass growth increase in the largest trees? Flaws, fallacies and alternative analyses. *Functional Ecology* 31: 568–581.

Silva, B.A. da; Gordon, A.; Jungfer, E.; Marx, F.; Maia, J.G.S. 2012. Antioxidant capacity and phenolics of Pouteria macrophylla, an under-utilized fruit from Brazilian Amazon. *European Food Research and Technology* 234: 761–768.

Silva, C.E.; Kellner, J.R.; Clark, D.B.; Clark, D.A. 2013. Response of an old-growth tropical rainforest to transient high temperature and drought. *Global Change Biology* 19: n/a-n/a.

Silva, J.R. de A.; Zoghbi, M. das G.B.; Pinto, A. da C.; Godoy, R.L.O.; Amaral, A.C.F. 2009. Analysis of the Hexane Extracts From Seven Oleoresins of Protium Species. *Journal of Essential Oil Research* 21: 305–308.

Silva, R.P.; Dos Santos, J.; Tribuzy, E.S.; 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.

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.

Smith, M.N.; Stark, S.C.; Taylor, T.C.; Ferreira, M.L.; de Oliveira, E.; Restrepo-Coupe, N.; 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.

Spracklen, D.V.; Baker, J.C.A.; Garcia-Carreras, L.; Marsham, J.H. 2018. The Effects of Tropical Vegetation on Rainfall. *Annual Review of Environment and Resources* 43: 193–218.

Stahl, C.; Burban, B.; Bompy, F.; Jolin, Z.B.; Sermage, J.; Bonal, D. 2010. Seasonal variation in atmospheric relative humidity contributes to explaining seasonal variation in trunk circumference of tropical rain-forest trees in French Guiana. *Journal of Tropical Ecology* 26: 393–405.

Sterck, F.J.; Poorter, L.; Schieving, F. 2006. Leaf Traits Determine the Growth - Survival Trade - Off across Rain Forest Tree Species Author (s): F . J . Sterck , L . Poorter and F . Schieving Published by : The University of Chicago Press for The American Society of Naturalists Stable URL : http:/. 167: 758–765.

Sterck, F.J.; Schieving, F.; Lemmens, A.; Pons, T.L. 2005. Performance of trees in forest canopies: Explorations with a bottom-up functional-structural plant growth model. *New Phytologist* 166: 827–843.

Sterck, F.J.; Bongers, F.; During, H.J.; Martínez-Ramos, M.; De Kroon, H. 2003. Module responses in a tropical forest tree analyzed with a matrix model. *Ecology* 84: 2751–2761.

Uriarte, M.; Canham, C.D.; Thompson, J.; Zimmerman, J.K. 2004. A neighborhood analysis of tree growth and survival in a hurricane-driven tropical forest. *Ecological Monographs* 74: 591–614.

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.

Vieira, S.; de Camargo, P.B.; Selhorst, D.; da Silva, R.; Hutyra, L.; Chambers, J.Q.; et al. 2004. Forest structure and carbon dynamics in Amazonian tropical rain forests. *Oecologia* 140: 468–479.

Vieira, S.; Trumbore, S.; Camargo, P.B.; Selhorst, D.; Chambers, J.Q.; Higuchi, N.; et al. 2005. Slow growth rates of Amazonian trees: consequences for carbon cycling. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 102: 18502–18507.

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: e0198489.

Visser, M.D.; Bruijning, M.; Wright, S.J.; Muller-Landau, H.C.; Jongejans, E.; Comita, L.S.; et al. 2016. Functional traits as predictors of vital rates across the life cycle of tropical trees. *Functional Ecology* 30: 168–180.

Vlam, M.; Baker, P.J.; Bunyavejchewin, S.; Zuidema, P.A. 2014. Temperature and rainfall strongly drive temporal growth variation in Asian tropical forest trees. *Oecologia* 1: 1449–1461.

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: e34074.

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.

Wright, E.F.; Canham, C.D.; Coates, K.D. 2000. Effects of suppression and release on sapling growth for 11 tree species of northern, interior British Columbia. *Canadian Journal of Forest Research* 30: 1571–1580.

Wright, S.J.; Calderon, O. 2005. Seasonal, El Nino and longer term changes in flower and seed production in a moist tropical forest. *Ecology Letters* 0: 051128082709002.

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.

Yang, Y.; Saatchi, S.S.; Xu, L.; Yu, Y.; Choi, S.; Phillips, N.; et al. 2018. Post-drought decline of the Amazon carbon sink. *Nature Communications* 9: 1–9.

Zanne, A.E.; Westoby, M.; Falster, D.S.; Ackerly, D.D.; Loarie, S.R.; Arnold, S.E.J.; et al. 2010. Angiosperm wood structure: Global patterns in vessel anatomy and their relation to wood density and potential conductivity. *American Journal of Botany* 97: 207–215.

Zoghbi, M. das G.B.; Andrade, E.H.A.; Lima, M. da P.; Silva, T.M.D.; Daly, D.C. 2005. The Essential Oils of Five Species of Protium Growing in the North of Brazil. *Journal of Essential Oil Bearing Plants* 8: 312–317.

APÊNDICE A

Tabela 1. Médias das variáveis meteorológicas ao longo de janeiro de 2019 a junho de 2020 onde PAR = Radiação fotossinteticamente ativa; URmed, URmin, URmax = umidade relativa media, mínima e máxima; Tmed, Tmin, Tmax = Temperatura média, mínima e máxima; TAS = Teor de água no solo, DPV = Déficit de pressão de vapor e EVT = evapotranspiração de referência. As variáveis PAR, TAS, DPV e EVT com a média e ± desvios padrões.

meses	PAR	URmed	URmin	URmax	Tmed	Tmin	Tmax	Chuva	TAS	DPV	ETVo
janeiro	26,02±5,94	79,65	69,48	89,53	25,61	23,29	28,55	351,06	47,00±2,49	11,28±4,60	101,50±11,47
fevereiro	26,74±5,92	79,51	66,06	88,12	25,97	23,66	28,71	250,95	45,54±3,91	13,18±2,03	94,47±10,71
março	32,90±8,36	77,09	69,49	88,55	26,37	23,81	29,47	156,21	43,96±2,55	15,76±2,50	114,79±10,12
abril	28,01±8,60	81,09	62,55	90,78	26,17	23,69	28,86	358,32	43,96±2,55	15,35±7,49	103,72±13,97
maio	18,48±6,50	89,00	68,29	97,83	25,82	23,47	28,43	416,77	45,95±4,06	12,75±5,05	97,72±19,78
junho	20,70±5,42	89,18	73,12	99,62	25,72	23,36	29,93	140,37	42,62±1,06	15,82±4,97	103,97±17,80
julho	22,34±5,66	83,50	66,20	95,53	26,10	23,18	30,42	86,45	43,18±1,63	19,78±5,56	125,79±11,22
agosto	24,18±3,98	78,77	60,63	92,59	26,65	23,03	31,44	209,29	44,12±2,09	23,13±6,40	135,90±14,91
setembro	24,29±6,00	77,55	61,18	92,04	27,35	23,55	32,63	150,29	42,47±2,70	21,10±3,90	142,21±9,92
outubro	26,17±9,43	83,52	59,58	95,28	26,03	23,34	30,99	118,68	43,72±2,11	20,92±8,71	128,91±16,85
novembro	21,08±10,63	78,11	61,53	92,75	26,47	23,86	30,96	293,84	46,00±3,76	19,04±10,21	116,60±18,70
dezembro	27,23±6,27	79,92	69,94	88,48	25,52	23,60	29,05	255,60	45,90±0,99	17,69±10,13	99,75±24,87
janeiro	22,17±8,84	79,62	62,83	91,99	26,59	23,74	30,71	128,94	44,83±3,52	18,05±9,51	128,94±24,87
fevereiro	29,60±6,54	79,98	59,23	93,91	26,80	23,97	30,59	162,64	43,89±1,90	17,96±4,43	117,42±23,27
março	28,00±11,05	81,59	60,64	95,61	26,88	24,23	30,47	245,12	46,22±2,21	17,01±6,73	126,06±24,87
abril	24,08±8,39	89,70	67,36	99,01	25,58	23,56	29,42	201,15	44,85±1,30	14,20±4,52	122,94±24,07
maio	23,06±6,22	91,45	71,90	99,46	25,45	23,67	28,82	217,67	43,48±2,10	12,34±3,82	120,05±24,87
junho	25,47±5,51	85,87	63,73	98,43	25,83	23,48	29,71	123,79	42,41±2,10	16,46±3,81	118,79±24,07

APÊNDICE B

Tabela 2. Valores do incremento médio mensal (IMD) média geral e para cada espécie ± o desvio padrão, coletados a 1,3 m de altura (DAP, cm) em seis espécies arbóreas tropicais, coletados ao longo de janeiro de 2019 a junho de 2020.

Ano	**meses**	**Média Geral**	***G. argenteum***	***I. laurina***	***M. guianensis***	***P. macrophylla***	***P. decandrum***	***P. hebetatum***
2019	janeiro	0,13±0,16	0,14±0,13	0,16±0,22	0,21±0,15	0,13±0,24	0,05±0,21	0,08±0,10
2019	fevereiro	0,09±0,11	0,11±0,07	0,08±0,13	0,10±0,12	0,06±0,15	0,09±0,10	0,08±0,13
2019	março	0,07±0,10	0,06±0,12	0,17±0,12	0,05±0,08	0,12±0,06	0,05±0,10	0,07±0,07
2019	abril	0,09±0,16	0,10±0,15	0,12±0,21	0,11±0,18	-0,01±0,15	0,12±0,14	0,05±0,19
2019	maio	0,10±0,17	0,07±0,17	0,07±0,29	0,15±0,20	0,09±0,14	0,16±0,10	0,08±0,18
2019	junho	0,10±0,11	0,09±0,10	0,15±0,12	0,07±0,06	0,10±0,17	0,08±0,10	0,13±0,12
2019	julho	0,07±0,12	0,05±0,10	0,17±0,14	0,04±0,09	0,07±0,10	0,07±0,09	0,08±0,20
2019	agosto	0,05±0,11	0,07±0,11	0,03±0,10	0,10±0,08	0,01±0,13	-0,01±0,09	0,03±0,13
2019	setembro	0,08±0,15	0,08±0,14	0,04±0,20	0,12±0,16	0,16±0,25	0,04±0,09	0,03±0,07
2019	outubro	0,10±0,14	0,14±0,10	-0,03±0,13	0,11±0,13	0,15±0,26	0,06±0,13	0,10±0,13
2019	novembro	0,05±0,12	0,00±0,08	0,10±0,11	0,04±0,05	0,22±0,26	0,06±0,08	0,03±0,10
2019	dezembro	0,11±0,18	-0,03±0,06	0,11±0,21	0,16±0,12	0,28±0,34	0,08±0,17	0,17±0,13
2020	janeiro	0,14±0,16	0,06±0,13	0,08±0,06	0,16±0,16	0,22±0,17	0,21±0,25	0,12±0,08
2020	fevereiro	0,17±0,18	0,08±0,14	-0,01±0,04	0,25±0,19	0,22±0,22	0,19±0,22	0,17±0,12
2020	março	0,15±0,19	0,09±0,11	0,25±0,24	0,22±0,23	0,25±0,25	0,23±0,15	0,00±0,08
2020	abril	0,12±0,16	0,10±0,11	0,01±0,08	0,07±0,14	0,20±0,14	0,22±0,29	0,12±0,07
2020	maio	0,10±0,18	0,08±0,12	0,04±0,14	0,09±0,17	0,03±0,07	0,24±0,32	0,06±0,10
2020	junho	0,04±0,15	0,02±0,12	0,01±0,05	0,08±0,21	0,08±0,05	0,05±0,22	0,02±0,09

APÊNDICE C

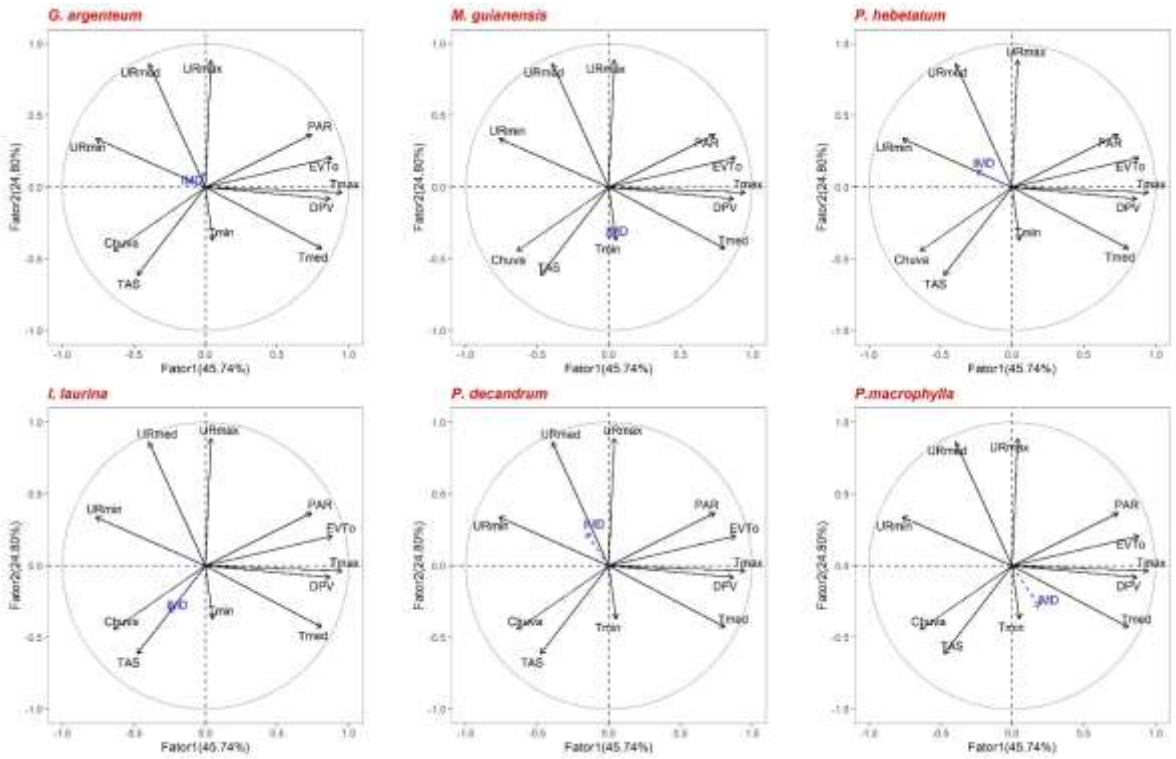

Figura 1. Análise por componentes principais (PCA) mostrando a associação entre as variáveis meteorológicas com Incremento mensal em diâmetro (IMD) para cada uma das seis espécies estudadas, Em que, DPV = Déficit de pressão de vapor; URmin, URmax, URmed = Umidade relativa mínima, máxima e média respectivamente; *T*min, *T*max, *T*med = Temperaturas mínima, máxima e média respectivamente; PAR = Radiação fotossinteticamente ativa; TAS = Teor de água no solo e EVT = evapotranspiração de referência.