

CRESCIMENTO E EFICIÊNCIA FOTOQUÍMICA DE ESPÉCIES  
ARBÓREAS NATIVAS DA FLORESTA ATLÂNTICA EM ÁREA DE  
RESTAURAÇÃO ECOLÓGICA

**ERSHILEY PEREIRA DAVID FORTUNATO**

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO NORTE FLUMINENSE DARCY  
RIBEIRO – UENF

CAMPOS DOS GOYTACAZES - RJ

ABRIL DE 2022

CRESCIMENTO E EFICIÊNCIA FOTOQUÍMICA DE ESPÉCIES  
ARBÓREAS NATIVAS DA FLORESTA ATLÂNTICA EM ÁREA DE  
RESTAURAÇÃO ECOLÓGICA

**ERSHILEY PEREIRA DAVID FORTUNATO**

Dissertação apresentada ao Centro de Biociências e Biotecnologia da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Ecologia e Recursos Naturais.

Orientadora: Dra. Angela Pierre Vitória

Coorientadora: Dra. Tatiane de Oliveira Vieira

CAMPOS DOS GOYTACAZES - RJ

ABRIL DE 2022

**FICHA CATALOGRÁFICA**

UENF - Bibliotecas

Elaborada com os dados fornecidos pela autora.

F745

Fortunato, Ershiley Pereira David.

CRESCIMENTO E EFICIÊNCIA FOTOQUÍMICA DE ESPÉCIES ARBÓREAS NATIVAS DA FLORESTA ATLÂNTICA EM ÁREA DE RESTAURAÇÃO ECOLÓGICA / Ershiley Pereira David Fortunato. - Campos dos Goytacazes, RJ, 2022.

72 f. : il.

Bibliografia: 39 - 52.

Dissertação (Mestrado em Ecologia e Recursos Naturais) - Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Centro de Biociências e Biotecnologia, 2022.  
Orientadora: Angela Pierre Vitoria.

1. Restauração ecológica. 2. Estádio de desenvolvimento. 3. Crescimento. 4. Eficiência fotoquímica. I. Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. II. Título.

CDD - 577

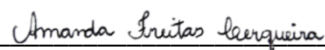
CRESCIMENTO E EFICIÊNCIA FOTOQUÍMICA DE ESPÉCIES  
ARBÓREAS NATIVAS DA FLORESTA ATLÂNTICA EM ÁREA DE  
RESTAURAÇÃO ECOLÓGICA

**ERSHILEY PEREIRA DAVID FORTUNATO**

Dissertação apresentada ao Centro de Biociências  
e Biotecnologia da Universidade Estadual do Norte  
Fluminense Darcy Ribeiro, como parte das  
exigências para obtenção do título de Mestre em  
Ecologia e Recursos Naturais.

Aprovada em: 13/04/2022

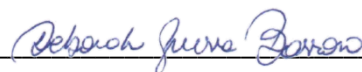
Comissão examinadora:



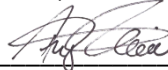
Amanda Freitas Cerqueira (Dra. Em Ecologia)



Saulo Pireda Fernandes (Dr. em Biociências e Biotecnologia) – UENF



Prof<sup>a</sup>. Deborah Guerra Barroso (Dra. em produção Vegetal) – UENF



Prof<sup>a</sup>. Angela Pierre Vitória (Dra. em Biologia Vegetal) - UENF (Orientadora)



Tatiane de Oliveira Vieira (Dra. em Ecologia) - UENF (Coorientadora)



Governo do Estado do Rio de Janeiro  
Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro  
Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação

## DECLARAÇÃO

Eu, Marina Satika Suzuki, coordenadora do Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Recursos Naturais (PPG-ERN) da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro (UENF), seguindo a Resolução CPPG nº2 de 2021, declaro validadas as assinaturas constantes da Folha de Assinaturas da Dissertação intitulada “**Crescimento e Eficiência Fotoquímica de Espécies Arbóreas Nativas da Floresta Atlântica em Área de Restauração Ecológica**” de autoria de Ershiley Pereira David Fortunato, defendida no dia 13 de abril de 2022.

Campos dos Goytacazes, 13 de junho de 2022

Marina Satika Suzuki  
Coordenadora PPG-ERN / UENF  
ID. Funcional 641333-1



Documento assinado eletronicamente por **Marina Satika Suzuki, Coordenadora**, em 13/06/2022, às 14:30, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento nos art. 21º e 22º do [Decreto nº 46.730, de 9 de agosto de 2019](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site [http://sei.fazenda.rj.gov.br/sei/controlador\\_externo.php?acao=documento\\_conferir&id\\_orgao\\_acesso\\_externo=6](http://sei.fazenda.rj.gov.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=6), informando o código verificador **34423245** e o código CRC **D03BEF62**.

Referência: Processo nº SEI-260009/002124/2021

SEI nº 34423245

Avenida Alberto Lamego, 2000, - Bairro Pq. Califórnia, Campos dos Goytacazes/RJ, CEP 28013-602  
Telefone: - [www.uenf.br](http://www.uenf.br)

## AGRADECIMENTOS

---

Quero agradecer primeiramente a DEUS. Por ter me guardado todo esse tempo. O que seria da minha vida, se não fosse Deus. Só eu e Ele sabemos o que passei profundamente de 2021 pra cá, e como a fé nele foi primordial pra que eu conseguisse me reerguer. Obrigada Senhor, por sempre estar comigo!

Quero agradecer a minha orientadora, professora Angela Vitória, por todo o conhecimento passado. Professora, você foi essencial para o meu amadurecimento em uma área que nem tinha tanto conhecimento assim rsrs. Obrigada por toda a paciência, toda preocupação e palavras de consolo e fé que você me passou ao longo dessa dissertação. Escolhi a orientadora certa!!

Minha coorientadora chamada carinhosamente de Vieira rsrs. Tati, sem palavras pra descrever todo o apoio, força, ensinamento não só no laboratório, mas no campo também! Afinal, era minha parceira de campo rsrs. Gratidão eterna por tudo o que fez por mim. Você e Angela foram uma dupla excepcional para o meu crescimento na área de Ecofisiologia vegetal.

Quero agradecer a cada um dos meus colegas de laboratório por toda a paciência, porque reconheço que eu perguntava e muito, e todos vocês foram excepcionais em tirar as minhas dúvidas e me fazer rir. Já estou com saudades!!

Quero agradecer aqui, ao meu marido. Amor, você viu de perto como foi a minha luta! Como eu chorei, como quis desistir. Foi desesperador, mas com muita paciência soube contornar a situação e me dar força e ânimo pra caminhar. Você é 10 Fortunato, te amo!!!

Mãe, Pai, aqueles que me ensinaram a ter fé em todo o tempo. Não foi fácil né? Eu agradeço a DEUS todos os dias pelos pais que Ele me deu. Quantas palavras de fé não vieram de vocês, hein meus pais? Os dois que em inúmeras vezes me acompanharam em exames e viram como foi difícil ter fé e seguir! Mas nunca largaram a minha mão. Eu amo MUITO vocês dois. Obrigada por tanto, e por sempre estarem aqui.

Minha irmã amada Yasmin, como você cresceu!! Obrigada por todo apoio, amor e carinho que você me deu!! Por todas as palavras de conforto e fé, nos momentos mais tristes. Eu te amo!

Minha família, minha avó tão querida Abigail Faria, minhas tias, tios e primos! Obrigada por todas as orações, preocupações, ajudas. Eu cheguei até aqui com a intercessão de cada um de vocês. Deus me abençoou com uma família maravilhosa.

Aos meus amigos mais antigos, aqueles que carrego desde do ensino médio e graduação! Cicero, Silvana e Layra. O que seria de mim sem vocês!! Eu amo o meu quarteto fantástico e amo ao ver que vocês não soltaram a minha mão em momento nenhum. Quando estava quase no fundo do poço de tristeza, vocês me animaram e me ergueram. Até porque estávamos na mesma sofrência de pós graduação rsrs.

Aos amigos que a UENF me deu: Gustavo, Queila, Jônatha, Luiz! Obrigada por sempre me darem forças. Vocês foram mega essenciais pra que o período difícil passasse com mais facilidade. Ao ponto de mandarem áudio no whatsapp porque eu não podia ler na tela do celular. Vocês são mil. Agradeço a Deus pelo presente que a UENF me deu.

Minhas amigas mais antigas, Aline e Daianny, obrigada por todo apoio e orações para comigo. Eu amo vocês!

A coordenação do programa de Ecologia e Recursos Naturais por todo o suporte dado em períodos de amparo!

A Capes, Faperj pelas bolsas que me foram dadas ao longo desses dois ano e meio.

Gratidão a TODOS que oraram por mim, se preocuparam e intercederam pra que tudo desse certo. Cheguei até aqui graças a cada um de vocês!

Obrigada novamente Deus, por ter pessoas tão especiais a minha volta!!

**Obrigada por existirem!!!!**

## SUMÁRIO

<b>LISTA DE FIGURAS</b>	<b>x</b>
<b>LISTA DE TABELAS</b>	<b>xii</b>
<b>LISTA DE SIGLAS E ABREVIações</b>	<b>xiii</b>
<b>RESUMO</b>	<b>xiv</b>
<b>ABSTRACT</b>	<b>xvi</b>
<b>1. INTRODUÇÃO</b>	<b>1</b>
1.1 Floresta Atlântica e restauração	1
1.2 Estádio de desenvolvimento e aclimação	4
1.3 Atributos morfofisiológicos e aclimação	6
1.4 Espécies utilizadas na restauração ecológica	9
<b>2. OBJETIVO GERAL</b>	<b>12</b>
2.1 Objetivos específicos	12
<b>3. HIPÓTESES</b>	<b>12</b>
<b>4. MATERIAL E MÉTODOS</b>	<b>13</b>
4.1 Local de estudo	13
4.1.1 Seleção e plantio de espécies em área de restauração	14
4.1.1.1 Plântulas e tratamentos de irradiância	17
4.1.1.2 Indivíduos adultos em área de restauração	18
4.1.1.3 Caracterização microclimática	19
4.2 Avaliações morfofisiológicas e número amostral	20
4.2.1 Avaliações de crescimento	21
4.2.2 Avaliações morfológicas	22
4.2.3 Avaliações fotossintéticas	24
4.2.3.1 Fluorescência da clorofila <i>a</i>	24
4.2.3.2 Composição de pigmentos fotossintéticos	24
4.3 Análises Estatísticas	25



<b>5. RESULTADOS</b>	<b>25</b>
<b>6. DISCUSSÃO</b>	<b>33</b>
6.1 Diferença de crescimento entre as populações de espécies	33
6.2 Variação no curso diário da fluorescência da clorofila <i>a</i>	34
6.3 Variação de atributos a depender do estágio de desenvolvimento	36
<b>7. CONCLUSÃO</b>	<b>38</b>
<b>8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>39</b>

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1:** Mapa de localização da Reserva Biológica União (ReBio União, RJ). Parte superior esquerda: estado do Rio de Janeiro com destaque nos municípios que abrangem a ReBio União (Macaé, Rio das Ostras, Casimiro de Abreu). Parte superior direita: está a representação da ReBio União, onde os fragmentos menores estão relacionados aos antigos talhões de eucalipto (cor verde e amarela). Parte inferior direita: ampliação da área de estudo do presente trabalho (antigo talhão 18 - em amarelo). ..... 14
- Figura 2:** Berço de plantio após adubação em área de restauração na ReBio União, RJ..... 15
- Figura 3:** Sombrites de malha de polietileno para tratamento sombreado na ReBio União em 2015..... 17
- Figura 4:** Espécies selecionadas para estudo em área de restauração na Reserva Biológica União. Espécie *Citharexylum myrianthum* (A); *Vitex polygama* (B); *Cupania oblongifolia* (C); *Guarea guidonia* (D). As espécies estão inseridas dentro das elipses. .... 19
- Figura 5:** Retirada de três folhas de dez indivíduos por espécie (A) e acondicionamento em sacos de papel identificados (B) para determinação da área foliar específica. .... 23
- Figura 6:** Ganho percentual em crescimento (%) da altura (A) e diâmetro a altura do solo (B) para os indivíduos adultos (2021) a partir dos dados de plântulas no tempo zero (2015) em área de restauração ecológica na ReBio União, RJ. Letras maiúsculas comparam o crescimento entre a população de espécies (n=10) (Teste de Tukey,  $p \leq 0.05$ ). ..... 26
- Figura 7:** Valores médios da área foliar específica (AFE) ( $\text{cm}^2/\text{g}$ ) nos diferentes estádios de desenvolvimento (plântula - tempo zero e adulto) para as espécies *Citharexylum myrianthum* (A), *Vitex polygama* (B), *Cupania oblongifolia* (C) e *Guarea guidonia* (D) em área de restauração ecológica na ReBio União, RJ. Letras maiúsculas comparam entre as espécies no mesmo estádio, e letras minúsculas comparam os estádios na mesma espécie (n=10) (Teste de Tukey,  $p \leq 0.05$ ). ..... 28
- Figura 8:** Valores médios do curso diário para o rendimento quântico máximo do Fotossistema II (Fv/Fm), coeficiente de dissipação fotoquímico (qP), e coeficiente de dissipação não fotoquímico (NPQ) no estádio de plântula no tempo zero (fevereiro

de 2015), plântula com seis meses crescendo no sol e sombra (setembro 2015) e indivíduos adultos (6 anos), para a população de espécies da *Citharexylum myrianthum* (A, E, I); *Vitex polygama* (B, F, J); *Cupania oblongifolia* (C, G, K) e *Guarea guidonia* (D, H, L). Linha vermelha delimita pontos acima e abaixo do valor de 0,75 (n=5) (Teste de Tukey,  $p \leq 0.05$ ). .....30

**Figura 9:** Espaço de ordenação gerado pela análise de componentes principais (PCA) para a população da *Citharexylum myrianthum* (triângulo), *Vitex polygama* (círculo), *Cupania oblongifolia* (losango) e *Guarea guidonia* (quadrado) em área de restauração na ReBio União, RJ. Foram considerados os atributos: área foliar específica (AFE), altura, diâmetro a altura do solo (DAS), rendimento quântico máximo do fotossistema II (Fv/Fm), coeficiente de dissipação fotoquímico (qP) e não fotoquímico (NPQ). As espécies foram avaliadas em diferentes estádios de desenvolvimento (plântulas e adultos) e tratamentos de irradiância (apenas para plântulas). Plântulas no tempo zero: símbolos vermelhos. Plântulas crescidas no sol: símbolos abertos. Plântulas crescidas na sombra: símbolos cinzas. Indivíduos adultos: símbolos pretos (Teste de Tukey,  $p \leq 0.05$ ). .....32

**Apêndice 1.** Média  $\pm$  desvio padrão do crescimento absoluto em altura e diâmetro a altura do solo (DAS) da população da *Citharexylum myrianthum*, *Vitex polygama*, *Cupania oblongifolia* e *Guarea guidonia* para os indivíduos adultos a depender das plântulas (tempo zero). Letras maiúsculas comparam entre as espécies (n=10) (Teste de Tukey,  $p \leq 0.05$ ). .....53

**Apêndice 2.** Média  $\pm$  desvio padrão do valor final em altura e diâmetro a altura do solo (DAS) da população da *Citharexylum myrianthum*, *Vitex polygama*, *Cupania oblongifolia* e *Guarea guidonia* para os indivíduos adultos. Letras maiúsculas comparam as espécies entre si (n=10) (Teste de Tukey,  $p \leq 0.05$ ). .....54

**Apêndice 3.** Análise de variância (ANOVA One -way). As médias foram comparadas pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ) para os valores médios do rendimento quântico máximo do Fotossistema II (Fv/Fm), coeficiente de dissipação fotoquímico (qP), e coeficiente de dissipação não fotoquímico (NPQ) no estádio de plântula no tempo zero (fevereiro de 2015), seis meses sol e sombra (setembro 2015), e estádio adulto (seis anos), para a população da *Citharexylum myrianthum*, *Vitex polygama*, *Cupania oblongifolia*, e *Guarea guidonia*. Letras maiúsculas comparam os estádios no mesmo horário do dia, e letras minúsculas comparam os horários dentro do mesmo estádio (n=5). .....55

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> - Lista das espécies utilizadas no plantio de restauração florestal na ReBio União,RJ. ....	16
<b>Tabela 2</b> - Condições de sol ou sombra ao qual as espécies <i>Citharexylum myrianthum</i> , <i>Vitex polygama</i> , <i>Cupania oblongifolia</i> e <i>Guarea guidonia</i> estavam expostas na área de restauração na ReBio União em diferentes estádios de desenvolvimento. ....	18
<b>Tabela 3</b> - Caracterização da Densidade de Fluxo Fótons Fotossintéticos (DFFF - $\mu\text{mol m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ), déficit de pressão de vapor (KPa), temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ) e umidade relativa (UR - %) disponíveis para as espécies <i>Citharexylum myrianthum</i> , <i>Vitex polygama</i> , <i>Cupania oblongifolia</i> e <i>Guarea guidonia</i> em janeiro/21 nos horários de 07h; 12h e 16h, na Reserva Biológica União. Os valores representam a média de cinco indivíduos por espécie.....	20
<b>Tabela 4</b> - Valores médios $\pm$ desvio padrão da composição de pigmentos fotossintéticos (n=5), área foliar específica, altura, diâmetro a altura do solo, diâmetro a altura do peito e espessura foliar (n=10) para a população de espécies da <i>Citharexylum myrianthum</i> , <i>Vitex polygama</i> , <i>Cupania oblongifolia</i> e <i>Guarea guidonia</i> no estádio adulto em área de restauração na Reserva Biológica União. Letras maiúsculas comparam a população de espécies para cada atributo (Teste de Tukey, $p \leq 0.05$ ). ....	29
<b>Tabela 5</b> - Valores da análise de componentes principais (PCA) para os atributos de crescimento, área foliar específica e fotoquímicos de <i>Citharexylum myrianthum</i> , <i>Vitex polygama</i> , <i>Cupania oblongifolia</i> e <i>Guarea guidonia</i> em área de restauração na ReBio União (Teste de Tukey, $p \leq 0.05$ ). ....	32

## LISTA DE SIGLAS E ABREVIações

**AFE** - Área foliar específica

**BEF** - Biodiversity-ecosystem functioning

**CMB** - Casa da Moeda do Brasil

**DAP** - Diâmetro do caule a altura do peito

**DAS** - Diâmetro a altura do solo

**DFFF** - Densidade de fluxo de fótons fotossintéticos

**DMSO** - Dimetilsulfóxido

**FSII** - Fotossistema II

**Fv/Fm** - Rendimento quântico máximo do fotossistema II

**ICMBio** - Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade

**NPQ** - Coeficiente de dissipação não fotoquímico

**PCA** - Análise multivariada por componentes principais

**qP** - Coeficiente de dissipação fotoquímico

**ReBio União** - Reserva Biológica União

## RESUMO

A floresta Atlântica é um dos biomas mais ricos em biodiversidade e espécies endêmicas. Vários programas de restauração ecológica têm sido implantados neste bioma com o intuito de reestabelecer sua diversidade genética e funcionalidade, entre outros. Atributos funcionais podem variar a depender de fatores como a idade da planta e as condições ambientais e de crescimento. Assim, este estudo teve por objetivo determinar de forma comparativa o crescimento e a eficiência fotoquímica da população de quatro espécies arbóreas nativas da floresta Atlântica (*Citharexylum myrianthum*; *Vitex polygama*; *Cupania oblongifolia*; e *Guarea guidonia*) em área de restauração na Reserva Biológica União (RJ). Foram avaliados indivíduos no estágio de plântula (dados de 2015, indivíduos de todas as espécies no sol e na sombra) e adultos (dados de 2021) nas condições de sol para indivíduos de *C. myrianthum* e *V. polygama* e sombra para *C. oblongifolia* e *G. guidonia* (em função da localização das espécies no dossel ou sub-bosque). As perguntas que nortearam este estudo foram: 1. Haverá diferença de crescimento entre as espécies, e quais apresentarão maior crescimento? 2. Existe variação do curso diário da fluorescência da clorofila *a* a depender do estágio de desenvolvimento (plântula e adulto) ou das condições de irradiância da plântula? 3. Qual conjunto de atributos mais influencia o desempenho das espécies e eles são os mesmos independente do estágio de desenvolvimento? Em plântulas e em indivíduos adultos foram conduzidas análises de crescimento, morfológicas e fotossintéticas. Houve diferença significativa entre as espécies em relação aos ganhos de crescimento, com maiores ganhos de crescimento em altura para *C. oblongifolia*, *G. guidonia* e *V. polygama*, enquanto *C. myrianthum*, *V. polygama* e *G. guidonia* cresceram comparativamente mais em diâmetro à altura do solo. Após seis anos de plantio, a altura média dos indivíduos adultos variou entre 2,6 e 3,4 m; o diâmetro médio à altura do solo entre 3,7 e 6,0 cm; e o diâmetro à altura do peito entre 3,8 e 6,6 cm. O curso diário da fluorescência da clorofila *a* variou a depender do estágio de desenvolvimento e condições de irradiância das plântulas. Em geral, plântulas crescidas no sol mostrando-se mais suscetíveis ao estresse (alguns valores de  $F_v/F_m$  abaixo de 0,75) do que os indivíduos adultos. Com exceção de *G. guidonia* às 12 h, os valores de  $F_v/F_m$  nos indivíduos adultos não caracterizaram condição estressante. A análise dos componentes principais (PCA) mostrou uma clara separação a depender

do estágio de desenvolvimento. Os principais atributos a contribuir para a separação entre os estádios de desenvolvimento foram os morfológicos e de crescimento, enquanto os fotoquímicos influenciaram na disposição das amostras em função dos tratamentos de irradiância (apenas nas plântulas). Nossos dados reforçam a importância de se estudar os atributos de crescimento, morfológicos e fisiológicos em áreas de restauração por atuarem como indicadores do desenvolvimento e das estratégias que garantam sucesso aos programas de restauração.

**Palavras-chave:** Restauração ecológica, Estádio de desenvolvimento, Crescimento, Eficiência fotoquímica.

## ABSTRACT

The Atlantic Forest is one of the richest biomes in terms of biodiversity and endemic species. Several ecological restoration programs have been implemented in this biome with the aim of reestablishing its genetic diversity and functionality, among other things. Functional traits may vary depending on factors such as plant age and environmental and growing conditions. Thus, this study aimed to comparatively determine the growth and photochemical efficiency of the population of four Atlantic Forest native tree species (*Citharexylum myrianthum*; *Vitex polygama*; *Cupania oblongifolia*; *Guarea guidonia*) in a restoration area in the União Biological Reserve (RJ). Seedling (data from 2015, individuals of all species in sun and shade) and adult individuals (data from 2021) were evaluated under sun conditions for *C. myrianthum* and *V. polygama*, and shade for *C. oblongifolia* and *G. guidonia* (depending on the location of the species in the canopy or understory). The questions that drove this study were: 1. Will there be a difference in growth between species, and which ones will show greater growth? 2. Is there variation in the daily course of chlorophyll a fluorescence depending on the stage of development (seedling and adult) or on the irradiance conditions of the seedling? 3. Which set of traits most drives the performance of the species and are they the same regardless of the stage of development? Growth, morphological, and photosynthetic analyses were carried out. There was a significant difference between species in terms of growth gains, with greater growth gains in height for *C. oblongifolia*, *G. guidonia*, and *V. polygama*; while *C. myrianthum*, *V. polygama*, and *G. guidonia* grew comparatively more in diameter at ground height. After six years of planting, the average height of the adult individuals varied between 2.6 and 3.4 m; the average diameter at ground height was between 3.7 and 6.0 cm; and the diameter at breast height between 3.8 and 6.6 cm. The daily course of chlorophyll a fluorescence varied depending on the stage of development and irradiance from seedlings. In general, seedlings grown in the sun were more susceptible to stress (some Fv/Fm values below 0.75) than adult individuals. With the exception of *G. guidonia* at 12 h, Fv/Fm values in adult individuals did not characterize a stressful condition. Principal component analysis (PCA) showed a clear separation depending on the developmental stage. The main traits that contributed to the separation between the stages of development were the morphological and the growth stages, while photochemicals influenced the



arrangement of the samples as a function of the irradiance treatments (only for seedlings). Our data reinforce the importance of studying the growth, morphological and physiological traits in restoration areas, as they act as indicators of development and of strategies that guarantee the success of restoration programs.

**Keywords:** Ecological restoration, Stage of development, Growth, Photochemical efficiency.

## 1. INTRODUÇÃO

### 1.1 Floresta Atlântica e restauração

A floresta Atlântica é um dos biomas mais ricos em variedade de habitats e apresenta elevada biodiversidade com um número considerável de espécies endêmicas, sendo considerada pela *International Conservation* como um dos 36 *hotspots* mundiais de biodiversidade e um dos três mais vulneráveis às mudanças climáticas (Myers *et al.*, 2000; Mittermeier *et al.*, 2011; Bellard *et al.*, 2014). Este bioma inclui grande variedade de tipos vegetacionais com diferentes formações florestais (floresta ombrófila densa; floresta ombrófila mista; floresta ombrófila aberta; floresta estacional semidecidual; floresta estacional decidual) (IBGE, 2012) e ecossistemas associados (manguezais; restingas), de modo que a elevada diversidade de espécies também está relacionada à grande heterogeneidade ambiental (Fundação SOS Mata Atlântica, 2018).

Este bioma possuía uma cobertura original de 1.309.736 km<sup>2</sup> (Fundação SOS Mata Atlântica, 2018), mas, atualmente é um dos biomas mais afetados pela exploração descontrolada de seus recursos naturais (Rezende *et al.*, 2018). A perda da cobertura vegetal original, as mudanças na composição florística e a descaracterização dos habitats, deram espaço a uma vegetação remanescente fragmentada, representando apenas 28% da área original (26% de formações florestais e 2% de formações não florestais) (Rezende *et al.*, 2018). Esse cenário atual mostra a necessidade e importância da restauração ecológica neste bioma, com o intuito de reestabelecer o ecossistema dessas áreas.

A restauração ecológica é o processo que reestabelece um ecossistema que foi degradado, danificado ou destruído, sendo uma atividade que acelera a recuperação de um ecossistema com respeito à sua saúde (processos funcionais), integridade (composição de espécies e estrutura da comunidade), e sustentabilidade (resistência à perturbação e resiliência) (Seri, 2004). Os esforços de restauração são voltados ao restabelecimento de um ecossistema que tenha diversidade e funcionamento adequados (Biodiversity-ecosystem functioning - BEF), baseando-se no fato de que é a diversidade funcional e não o número de espécies que determina o nível de funcionamento de um ecossistema (Naeem, 2006; Wright *et al.*, 2009).

As ações de restauração antes da década de 1980, eram baseadas em aspectos desvinculados de concepções teóricas, resultando em plantios aleatórios de espécies arbóreas, muitas vezes exóticas, não combinadas em grupos sucessionais, favorecendo as espécies de maior ocorrência e, portanto, mais conhecidas que geralmente apresentavam crescimento mais lento (Bellotto *et al.*, 2009). De maneira geral, o plantio era sem espaçamento entre as mudas plantadas, de forma a não construir grupos homogêneos, com distribuição ao acaso, resultando em florestas mistas com longo tempo de estabelecimento e insucesso de diversas espécies nas condições existentes (Bellotto *et al.*, 2009). Nessa época, a restauração tinha como foco proteger algum recurso natural ou mitigação pontual de impactos anteriormente causados, buscando-se apenas a reconstrução de uma fisionomia florestal, tornando-a em alguns casos um método incipiente (Bellotto *et al.*, 2009). A partir da década de 1980, os programas de restauração passaram a levar em consideração conceitos de ecologia, como a sucessão ecológica das espécies, diversidade genética (importância para a sobrevivência da própria espécie), diversidade de espécies (inserção de outras formas de vida), e a inserção de espécies de distintos grupos funcionais (Rodrigues e Gandolfi, 2004; Almeida, 2016). Recentemente, o conceito de restauração funcional passou a ser considerado como prioridade, sendo dada maior importância a diversidade funcional do que a diversidade de espécies (Brancalion *et al.*, 2015).

Os projetos de restauração passaram por uma série de mudanças ao longo dos anos. A sucessão ecológica foi o primeiro conceito a ser utilizado nesses programas de restauração, por ser um processo que envolve variações gradativas na composição específica e na estrutura da comunidade de espécies (Longhi, 2005). As espécies têm sido classificadas em diferentes grupos sucessionais por vários autores (Budowski, 1970; Bazzaz e Pickett, 1980; Denslow, 1980; Swaine e Whitmore, 1988), e tais classificações se baseiam na separação das espécies entre aquelas de estádios iniciais e tardios da sucessão (Swaine e Whitmore, 1988). As ações de restauração que tinham como foco a sucessão ecológica, trabalhavam com a concepção do reflorestamento misto, com espécies nativas agrupadas segundo suas características ou papel na sucessão secundária, com a proporção do número de mudas por espécie sendo definida com base nos grupos sucessionais (Bellotto *et al.*, 2009). Com isso, surgiram diferentes modelos que consorciavam entre esses grupos ecológicos, sendo o mais comum, o plantio de mudas com

alternância de linhas de plantio de espécies de estádios iniciais de sucessão e linhas de plantio de espécies tardias de sucessão ou com mistura desses grupos ecológicos na mesma linha (Bellotto *et al.*, 2009). Também foram utilizadas nessa fase “núcleos de diversidade”, onde espécies tardias seriam circundadas por espécies iniciais, as quais eram distribuídas ao longo da área a ser restaurada. Com o tempo, esperava-se que esses núcleos se expandissem para as áreas vizinhas adjacentes, formando uma floresta contínua (Bellotto *et al.*, 2009).

A classificação em grupos ecológicos pode também ser considerada uma tentativa de ordenar a alta diversidade de espécies das florestas tropicais, sendo considerado um grande salto de desenvolvimento de tecnologia de plantio de nativas (Kageyama *et al.*, 2003; Kageyama e Gandara, 2004). O foco dessa fase na sucessão, sem vínculo forte com a diversidade de espécies dentro de cada grupo, trouxe como consequência projetos de restauração com um número de espécies inferior ao naturalmente encontrado em florestas tropicais, o que comprometia a restauração dos processos ecológicos, já que houve um favorecimento excessivo do uso de espécies iniciais (Bellotto *et al.*, 2009). Tal favorecimento resultou na redução da diversidade florística, já que o grupo das iniciais de sucessão eram caracterizados por poucas espécies, sendo que nas florestas tropicais a grande diversidade de espécies está presente nas fases finais de sucessão. Com isso, os projetos de restauração adotaram o modelo de “copiar uma floresta madura”, com o objetivo de reproduzir a florística e a estrutura desta, a partir do levantamento florístico e fitossociológico de um ou poucos remanescentes dessa floresta (Bellotto *et al.*, 2009). Nesse modelo o único método aceito de implantação da restauração no campo era o plantio de mudas, que ocorria em combinações sucessionais com espécies iniciais e tardias misturadas e distribuídas em módulos preestabelecidos (Bellotto *et al.*, 2009). A intenção desse modelo era a reprodução florística e estrutural daquela floresta. Esse modelo também passou a ser questionado a partir da compreensão de que as comunidades naturais são sistemas abertos, sofrendo ação e sendo limitado por fatores bióticos e abióticos.

Muda-se novamente o paradigma da restauração, não dando enfoque somente nas características florísticas e fisionômicas, mas também nos processos que garantam sua construção e manutenção no tempo, sendo esta a nova concepção de restauração ecológica (Bellotto *et al.*, 2009; Brancalion *et al.*, 2015). Com o intuito de garantir a eficácia dessas ações, foi necessário a adequação dos

conceitos de sucessão florestal na restauração, com as espécies sendo distribuídas em dois grupos: as de Preenchimento, constituída por espécies com bom crescimento e cobertura de copa proporcionando rápido fechamento da área plantada; e de Diversidade, que incluía as espécies que não possuem bom crescimento, nem cobertura de copa, mas são essenciais para garantir a perpetuação da área plantada, já que as espécies desse grupo irão substituir as do grupo de preenchimento quando as mesmas entrarem na senescência, ocupando definitivamente a área (Bellotto *et al.*, 2009).

Estudos recentes sobre a restauração ecológica, demonstram que a maior parte das pesquisas realizadas sobre esta temática foram para a floresta Atlântica (56%) (Guerra *et al.*, 2020). Na maioria das publicações (81%) o foco está voltado para o estudo de organismos vegetais, principalmente os arbóreos. Setenta por cento (70%) são norteadas pela técnica de restauração ecológica, com base na sucessão natural/ativa, o que evidencia que a restauração ecológica é uma área de conhecimento recente, que vem demonstrando rápido desenvolvimento (Guerra *et al.*, 2020). A restauração ecológica na floresta Atlântica leva em consideração ainda os demais componentes do ecossistema, como a restauração da diversidade genética, diferentes formas de vida, grupos funcionais, ciclos biogeoquímicos e até a sustentabilidade econômica, ao considerar os possíveis serviços ambientais dessas áreas restauradas (Brançalion *et al.*, 2015).

## **1.2 Estádio de desenvolvimento e aclimação**

Estudos dos estádios de desenvolvimento das espécies (plântulas, juvenis e indivíduos adultos) podem ajudar a estabelecer a dinâmica de uma floresta, a determinar o estado sucessional de uma vegetação, e ainda a determinar os ajustes duradouros ou transitórios nos atributos morfológicos e fisiológicos das espécies em áreas de restauração (Gogosz *et al.*, 2010; Kellerman *et al.*, 2016).

Plântulas compreendem o estágio inicial do desenvolvimento vegetal ocupando o estrato inferior da floresta, sendo caracterizadas como a fase na qual os indivíduos apresentam até 50 cm de altura em florestas tropicais para a maioria das espécies (Valladares *et al.*, 2000; Montgomery, 2004; Vieira *et al.*, 2015). O estágio de plântula é caracterizado como o mais vulnerável e frágil do desenvolvimento,

sendo o que apresenta a maior mortalidade dos indivíduos (Gurevitch *et al.*, 2006; Carvalho, 2013). A mortalidade das espécies em geral está relacionada às limitações de aclimatação a ambientes estressantes e a fatores como irradiância, água e temperatura presente nas áreas de restauração (Moraes *et al.*, 2013). A irradiância pode atuar como um filtro ambiental podendo causar restrição no estabelecimento, crescimento e até mesmo na reprodução das espécies (Vitória *et al.*, 2016; Vieira *et al.*, 2021). O estresse hídrico por atuar em vários processos que estão interrelacionados pode restringir ou desacoplar o crescimento e a fotossíntese (Pellizzari *et al.*, 2016). Altas e baixas temperaturas podem limitar o crescimento e o desempenho fotossintético (Castro *et al.*, 2017). Outros fatores também podem comprometer a sobrevivência das plântulas em áreas de restauração como ventos fortes, pisoteio de animais, quedas de ramos ou herbivoria, além de danos morfofisiológicos promovidos pelas condições estressantes dessas áreas (Oliveira, 1999). Entretanto, as plântulas apresentam elevado potencial de aclimatação em relação aos outros estádios, por compreender um estágio transitório e inicial de desenvolvimento que requer grande capacidade de expressar diferentes respostas em função das condições ambientais (Vieira *et al.*, 2015).

Um dos mecanismos que propiciam o estabelecimento das plantas é o investimento no crescimento de raízes, estrutura vegetal de vital importância por ser responsável pela fixação ao substrato, armazenamento de substâncias e pela absorção de água e sais minerais da solução de solo (Gurevitch *et al.*, 2006). O estudo realizado em uma formação savânica, demonstrou que as plântulas investiram em raízes profundas para alcançar maior disponibilidade de água, antes do início da estação seca (Tomlinson *et al.*, 2012). Em uma floresta decídua tropical, as plântulas investiram na formação de raízes tuberosas que armazenam reservas para rebrotar, pois o solo desta fitofisionomia geralmente é raso (Vieira *et al.*, 2006). Em uma floresta tropical, o desenvolvimento radicular conferiu sobrevivência, mas por outro lado, o baixo investimento no crescimento caulinar, ocasionou em algumas espécies o aspecto de plântulas com o passar dos anos, embora estivessem com as raízes bastante desenvolvidas (Hoffmann e Franco, 2003). Um mecanismo observado em uma floresta tropical densa foi o estiolamento, no qual a planta alonga o caule para maior interceptação de irradiância (Vieira *et al.*, 2015).

O estágio adulto é caracterizado como a fase reprodutiva, com mudança centralizada no meristema apical do caule, que em condições favoráveis adquire

maturação para florescer, sofrendo mudanças em suas características para formar o meristema de reprodução (Gurevitch *et al.*, 2006). Indivíduos adultos apresentam menor taxa de mortalidade que as plântulas, pois neste estágio os danos causados pelas condições estressantes na maioria dos casos, são mais amenos (Brancalion *et al.*, 2010). Os indivíduos adultos, assim como as plântulas, apresentam respostas aclimatativas para suportar as condições ambientais, podendo em alguns casos, as respostas serem distintas entre os dois estádios de desenvolvimento (Oliveira, 1999; Brancalion *et al.*, 2010; Vieira *et al.*, 2015). A comparação entre a fotoaclimação de plântulas e indivíduos jovens da *Siparuna guianensis* mostrou que os indivíduos jovens apresentaram maior investimento em área foliar, número de folhas, crescimento absoluto, espessura da lâmina foliar e do parênquima lacunoso, enquanto as plântulas apresentaram maior investimento em altura (Vieira, *et al.*, 2015). Plântulas de *Bertholletia excelsa*, espécie usada para restauração de áreas degradadas em florestas tropicais, demonstraram significativa tolerância ao estresse hídrico; os indivíduos jovens demonstraram alto potencial de assimilação de carbono e incorporação de biomassa; e os indivíduos adultos demonstraram elevada capacidade fotoprotetora sob condições de alta irradiância (Gomes, 2012). Plântulas e indivíduos jovens de *Euterpe edulis*, apresentaram respostas distintas quanto à morfologia em função do estresse hídrico, sendo o desempenho fotossintético dos indivíduos jovens superior ao das plântulas, com uma maior superfície foliar para perda de água, consumindo a água disponível do substrato mais rapidamente (Oliveira, 2015). Esses distintos comportamentos a depender do estágio de desenvolvimento podem influenciar o desempenho das espécies nas áreas de restauração (Oliveira *et al.*, 2015; Vieira *et al.*, 2015).

### **1.3 Atributos morfofisiológicos e aclimação**

O conhecimento dos mecanismos morfológicos, fisiológicos e anatômicos que determinam a tolerância das plantas em ambientes estressantes pode fornecer subsídios que contribuam para o avanço da ciência no estudo de espécies para restauração (Ehleringer e Sandquist, 2006; Cooke e Suskie, 2008; Oliveira, 2015). Logo, o entendimento dos processos fisiológicos e suas interações com o ambiente circundante oferece segurança as técnicas de restauração ecológica, minimizando

os custos, potencializando o sucesso do estabelecimento das plantas e possivelmente acelerando os resultados finais da restauração (Almeida, 2006). Por isso, é importante o estudo dos efeitos das variações microclimáticas sobre a fotossíntese, que pode ser avaliada através dos índices de eficiência fotoquímica (Münzbergová *et al.*, 2020).

A aclimação das espécies consiste em uma série de alterações no metabolismo vegetal em diferentes níveis de organização (molecular, bioquímico, anatômico, morfológico, entre outros) com o intuito de suportar as novas condições impostas pelo ambiente (Walterl *et al.*, 2015). Algumas alterações podem se desenvolver após um curto período de exposição ao estresse (minutos/horas/dias) caracterizando aclimação de curto prazo; enquanto outras ocorrem após um longo período (semanas/anos) caracterizando aclimação de longo prazo (Walteri *et al.*, 2015). A variabilidade das respostas aclimatativas pode ser um diferencial entre as espécies perante as condições abióticas das áreas de restauração. Por exemplo, em locais com alta irradiância, as espécies maximizam processos metabólicos, crescimento e desenvolvimento do indivíduo. Para lidar com a deficiência de nutrientes, há um investimento na captura dos macro e micronutrientes presentes no solo, oriundos do intemperismo das rochas ou decomposição da matéria orgânica. Em locais com déficit hídrico, as espécies investem na redução das taxas de crescimento devido ao processo de fotoinibição, entre outros (Osorio *et al.*, 1998; Schulze *et al.*, 2005; Lage- Pinto *et al.*, 2012; Vieira *et al.*, 2021).

A atividade fotossintética é dependente de fatores abióticos que incluem disponibilidade de água, nutrientes, temperatura, irradiância, e também fatores bióticos que incluem a concentração de clorofila, idade da folha, herbivoria (González-Cruz e Pastenes, 2012; Paula *et al.*, 2014). Avaliações da fluorescência da clorofila *a* tem sido amplamente empregadas com o intuito de monitorar a eficiência fotoquímica e possíveis estresses nas plantas, antes que qualquer dano estrutural possa causar alterações visíveis (Baker, 2008; Oliveira, 2015). O aumento da intensidade luminosa associado ao déficit hídrico pode levar a condição de estresse conhecida como fotoinibição, que pode ser detectada pelo rendimento quântico máximo ( $F_v/F_m$ ) do fotossistema II (FSII) (Krause e Weis, 1991; Demmig-Adams *et al.*, 1996; Santos *et al.*, 2006; Gonçalves *et al.*, 2007). O coeficiente de dissipação fotoquímica (qP) representa a utilização da energia luminosa para os processos fotoquímicos da fotossíntese. Em alguns casos, este atributo é maior em



espécies com ausência de estresse a irradiância, consequentemente usando a energia para a produção de foto assimilados (Beneragama e Goto, 2010). Outro importante atributo é o coeficiente de dissipação não fotoquímico (NPQ), por ser um dos principais processos de regulação da distribuição da energia de excitação para os centros de reação, onde o excesso de luz é eliminado via conversão em calor (Baker, 2008; Ruban *et al.*, 2012; Oliveira, 2015). Os pigmentos podem caracterizar foto - oxidação e investimento em fotoproteção (Vieira *et al.*, 2015). A foto - oxidação está interligada a eficiência fotossintética e a fotoproteção está intimamente relacionada aos pigmentos carotenoides que realizam a rápida dissipação dos estados excitados das clorofilas (Costa, 2014; Taiz *et al.*, 2017).

Devido à importância dos atributos fotossintéticos para o estabelecimento e permanência das espécies, as mesmas tendem a investir em ajustes que garantam seu funcionamento de forma mais eficiente. *Siparuna guianenses*, espécie inicial do processo sucessional apresentou ajustes na concentração de carotenoides, que atuou como fotoprotetor, antioxidante, e dissipador do excesso de energia luminosa em condições de maior irradiância em estudo com gradiente de luz na floresta Atlântica (Vieira, *et al.*, 2015). As espécies *Xylopia sericea* e *Siparuna guianenses* apresentaram valores reduzidos de clorofila *a* em condições de alta irradiância também na floresta Atlântica (Lage-Pinto *et al.*, 2012), sugerindo mecanismo de aclimação vantajoso ao promover menor absorção de fótons, o que atenuaria efeitos deletérios do excesso de irradiância (Martínez-Ferri *et al.*, 2004; Lage-Pinto *et al.*, 2012). Por outro lado, em área sombreada estas mesmas espécies apresentaram maiores índices de clorofila *b* (Lage-Pinto *et al.*, 2012), sendo esta uma resposta aclimatativa em locais de baixa irradiância (Scalon *et al.*, 2002; Dias *et al.*, 2007; Chaves *et al.*, 2008; Lage-Pinto *et al.*, 2012). Indivíduos jovens da espécie *Siparuna guianenses* apresentaram maiores valores do coeficiente de dissipação fotoquímico (qP) na área de maior irradiância; já as plântulas apresentaram maiores valores no coeficiente de dissipação não fotoquímico (NPQ) na área aberta e intermediária (Vieira *et al.*, 2015). Esses diferentes investimentos em aclimação perante as variações das condições ambientais, reforçam a importância na escolha das espécies para garantir melhor desempenho e sucesso nas áreas de restauração.

#### 1.4 Espécies utilizadas na restauração ecológica

A escolha e a caracterização do ecossistema de referência são fundamentais para orientar as ações de restauração ecológica (Aronson *et al.*, 1995; Clewell e Aronson, 2007). Alguns atributos são necessários para que determinada área seja considerada como restaurada, entre os quais se destaca em florestas tropicais a elevada diversidade de espécies vegetais (Seri, 2004; Brancalion *et al.*, 2010). Em meio ao processo de restauração, essa diversidade (riqueza) é determinada através do levantamento florístico (Brancalion *et al.*, 2010). Outras características como os padrões funcionais que englobam a estrutura da comunidade, as interações ecológicas, composição funcional e processos biogeoquímicos, também estão correlacionadas com a riqueza de espécies na floresta a ser restaurada (Brancalion *et al.*, 2010). Logo, é de suma importância a escolha correta das espécies, já que isso aumenta a previsibilidade de sucesso na formação e manutenção de uma fisionomia e habitat florestal, mesmo que não haja aporte de novas espécies na área em restauração por minimizar os casos de insucesso (Brancalion *et al.*, 2010).

A vegetação é o resultado da ação conjunta dos fatores biológicos, climáticos, entre outros (Galvão e Medeiros, 2002). Em função disso, todo plano de restauração requer um perfeito entendimento das exigências das espécies arbóreas e de como elas se comportam frente as diferentes variações dos fatores ambientais (Galvão e Medeiros, 2002). No contexto da floresta Atlântica e da conservação de sua biodiversidade, as florestas restauradas devem ser vistas como elementos capazes de ampliar a probabilidade de persistência das espécies nativas nas paisagens antrópicas, proporcionando a reintrodução de espécies de plantas já extintas local ou regionalmente, aumentando a conectividade estrutural e funcional da paisagem restabelecendo fluxos ecossistêmicos (Brancalion *et al.*, 2010). A partir desse contexto, quatro espécies arbóreas nativas da floresta Atlântica foram escolhidas: *Citharexylum myrianthum*, *Vitex polygama*, *Cupania oblongifolia* e *Guarea guidonia*.

A espécie *Citharexylum myrianthum* Cham. pertence à família Verbenaceae (BFG, 2015; Thode e França, 2015; BFG, 2018; O'Leary e Thode, 2020; BFG, 2021). É descrita como espécie inicial de sucessão com rápido crescimento, características que a tornam opção em programas de restauração ecológica (Lorenzi, 1992; Andrade *et al.*, 1999; Amaral, 2013; BFG, 2015; Thode e França, 2015; BFG, 2018; O'Leary e Thode, 2020; BFG, 2021). *Citharexylum myrianthum* é uma das 7

espécies distribuídas nesse gênero, com árvores de até 15 metros de altura com diâmetro do tronco entre 40 e 60 centímetros e folhas opostas (BFG, 2015; Thode e França, 2015; BFG, 2018; O'Leary e Thode, 2020; BFG, 2021). É uma espécie decídua, com hábito predominante arbóreo, sendo encontrada nos domínios fitogeográficos: caatinga, cerrado, floresta atlântica e pampa, com ocorrências confirmadas no norte, nordeste, sudeste e sul do Brasil (BFG, 2015; Thode e França, 2015; BFG, 2018; O'Leary e Thode, 2020; BFG, 2021).

A espécie *Vitex polyagama* Cham. é endêmica do Brasil e pertence à família Lamiaceae (BFG, 2015; Harley *et al.*, 2015; BFG, 2018; França, 2020; BFG, 2021). É uma espécie pertencente ao estágio inicial de sucessão com rápido crescimento, por isso também é escolhida para restaurar áreas degradadas (BFG, 2015; Harley *et al.*, 2015; BFG, 2018; França, 2020; BFG, 2021). *Vitex polyagama* é uma das 34 espécies distribuídas nesse gênero, com árvores de pequeno a médio porte até 12 metros, com diâmetro do tronco entre 10 e 30 centímetros, e folhas compostas de 5 folíolos com 12 centímetros tomentosos (BFG, 2015; Harley *et al.*, 2015; BFG, 2018; França, 2020; BFG, 2021). É uma espécie sempre verde, com hábito arbóreo, sendo encontrada nos domínios fitogeográficos: amazônia, caatinga, cerrado e floresta atlântica, com ocorrências confirmadas no norte, nordeste, centro-oeste, sudeste e sul do Brasil (BFG, 2015; Harley *et al.*, 2015; BFG, 2018; França, 2020; BFG, 2021).

A espécie *Cupania oblongifolia* Mart. é endêmica do Brasil, e pertence à família Sapindaceae (Ferrucci *et al.*, 2009; BFG, 2015; Somner *et al.*, 2015; BFG, 2018; BFG, 2021). Está inserida no grupo inicial de sucessão, apresentando rápido crescimento. *Cupania oblongifolia* é uma das 30 espécies distribuídas nesse gênero, com árvores de médio porte até 15 metros, diâmetro do tronco de até 20 centímetros, folhas compostas imparipinadas de 8 a 12 folíolos (Ferrucci *et al.*, 2009; BFG, 2015; Somner *et al.*, 2015; BFG, 2018; BFG, 2021). É sempre verde, com hábito arbóreo, sendo encontrada nos domínios fitogeográficos: amazônia, caatinga, cerrado e floresta atlântica, com ocorrências confirmadas no norte, nordeste, sudeste e sul do Brasil (Ferrucci *et al.*, 2009; BFG, 2015; Somner *et al.*, 2015; BFG, 2018; BFG, 2021).

A espécie *Guarea guidonia* (L.) Sleumer pertence à família Meliaceae (Pennington e Clarkson, 2013; BFG, 2015; Stefano *et al.*, 2015; BFG, 2018; Flores, 2020; BFG, 2021). Também pertence ao estágio inicial de sucessão, com rápido crescimento. *Guarea guidonia* é uma das 32 espécies distribuídas nesse gênero

com árvores de até 20 metros de altura, diâmetro do tronco até 50 centímetros, folhas compostas com até 40 centímetros de comprimento com 6-10 pares de folíolos de até 30 centímetros (Pennington e Clarkson, 2013; BFG, 2015; Stefano *et al.*, 2015; BFG, 2018; Flores, 2020; BFG, 2021). É sempre verde, com hábito arbóreo, sendo encontrada nos domínios fitogeográficos: amazônia, caatinga, cerrado, floresta atlântica e pampa, tendo ocorrências confirmadas no norte, nordeste, centro-oeste, sudeste e sul do Brasil (Pennington e Clarkson, 2013; BFG, 2015; Stefano *et al.*, 2015; BFG, 2018; Flores, 2020; BFG, 2021).

Todas essas espécies pertencem ao mesmo grupo sucessional, portanto devem apresentar características de sobrevivência, crescimento e estabelecimento semelhantes. Entretanto, estudos demonstram que espécies pertencentes ao mesmo grupo sucessional, com características de estabelecimento e sobrevivência similares, podem apresentar desempenhos distintos perante as condições e variações do ambiente (Sano, 2016). Estes diferentes desempenhos são oriundos das diversas respostas aclimatativas ou adaptativas das espécies (Gomes, 2017).

Em uma área de restauração na floresta Atlântica ombrófila na Reserva Biológica União (ReBio União –RJ), a diferença no desempenho de espécies de mesmo grupo sucessional (espécies iniciais de sucessão) mostrou variação quanto à sobrevivência, sendo *Vitex polygama* mais afetada do que *Citharexylum myrianthum*, *Guarea guidonia* e *Cupania oblongifolia* (Vieira *et al.*, 2021). Ambos os grupos apresentam diferenças quanto ao estabelecimento e sobrevivência perante as condições ambientais (Brancalion *et al.*, 2009). A ReBio União representa atualmente um dos maiores remanescentes de floresta Atlântica de baixada do estado do Rio de Janeiro, apresentando algumas áreas compostas por mosaicos com diferentes estágios de regeneração em função do manejo florestal de retirada da espécie exótica de eucalipto (*Corymbia citriodora*) (Vieira *et al.*, 2021). No ano de 2015 foi realizado um trabalho na ReBio União com o intuito de estudar o desempenho fotoquímico e a variabilidade interespecífica de quatro espécies arbóreas nativas da floresta Atlântica (*Citharexylum myrianthum*, *Vitex polygama*, *Cupania oblongifolia*, e *Guarea guidonia*) recém plantadas em área de restauração. A partir dos dados de 2015 (indivíduos no estágio de plântulas) e de dados obtidos em 2021 (indivíduos adultos), o presente trabalho teve como objetivo comparar o crescimento e aspectos fotoquímicos da população dessas espécies visando responder às seguintes perguntas: 1. Haverá diferença de crescimento entre a

população de espécies, e quais apresentarão maior crescimento? 2. Existe variação do curso diário da fluorescência da clorofila *a* a depender do estágio de desenvolvimento (plântula e adulto) ou das condições de irradiância (plântula)? 3. Qual conjunto de atributos mais influencia o desempenho das espécies e eles são os mesmos independente do estágio de desenvolvimento?

## 2. OBJETIVO GERAL

Determinar o crescimento e ajustes fotoaclimatativos nas populações de quatro espécies arbóreas nativas da floresta Atlântica em área de restauração na Reserva Biológica União -RJ.

### 2.1 Objetivos específicos

Comparar o ganho percentual de crescimento em altura e diâmetro a altura do solo entre as populações de espécies;

Determinar os pigmentos fotossintéticos, área foliar específica, espessura foliar e parâmetros de crescimento nos indivíduos adultos;

Comparar a eficiência fotoquímica de plântulas (crescidas no sol e sombra - 2015) e de indivíduos adultos (2021) em função da irradiância.

Determinar quais atributos mais contribuem para o desempenho de plântulas (2015) e adultos (2021) a partir da análise dos componentes principais (PCA).

## 3. HIPÓTESES

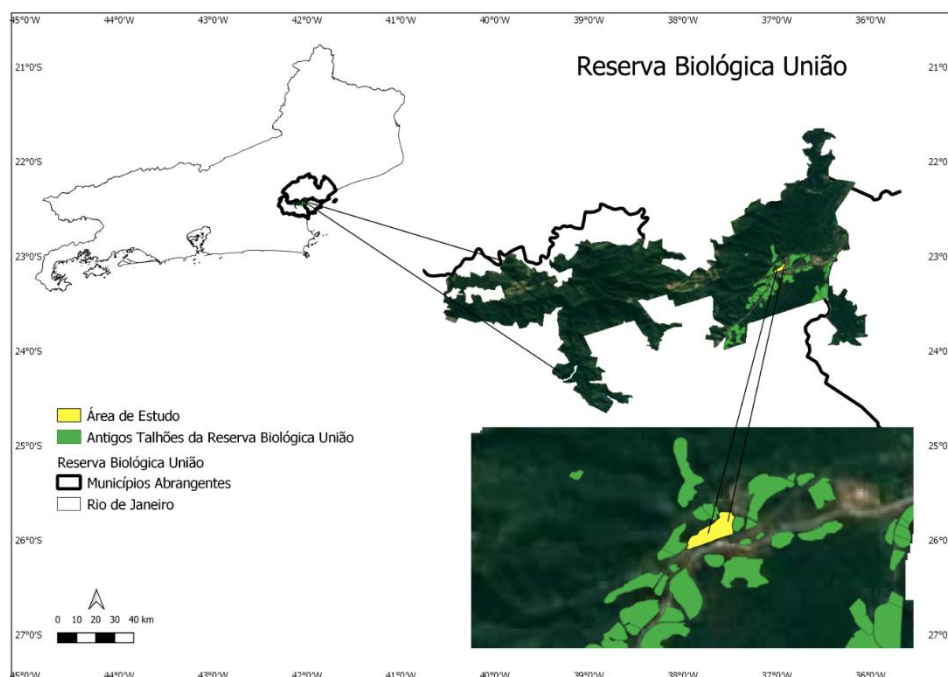
1. Haverá diferença de ganho percentual de crescimento entre as populações das espécies, com as espécies cujos indivíduos se desenvolveram preferencialmente em áreas com maior irradiância (*Citharexylum myrianthum* e *Vitex polygama*) apresentando maior crescimento em diâmetro a altura do solo e as que se desenvolveram no sub-bosque sombreado (*Cupania oblongifolia* e *Guarea guidonia*) apresentando maior crescimento em altura.

2. O curso diário da fluorescência da clorofila *a* irá variar a depender da irradiância, com plântulas de sol apresentando valores mais relacionados a condições de estresse do que plântulas de sombra, e indivíduos adultos com valores mais próximos a uma planta saudável do que as plântulas (em função do tempo de aclimatação ao qual já estiveram expostos).
3. A variação no desempenho das populações das espécies deve-se ao investimento em diferentes conjuntos de atributos que variam a depender da condição de crescimento (*Citharexylum myrianthum* e *Vitex polygama* em áreas de maior irradiância e *Cupania oblongifolia* e *Guarea guidonia* no sub-bosque sombreado) e com o estágio de desenvolvimento (plântula e adulto).

## 4. MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1 Local de estudo

Esta dissertação foi desenvolvida em uma área de restauração florestal (Talhão 18) na ReBio União, RJ. A ReBio União foi criada em 1998, e é administrada pelo Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio). A área antes de se tornar reserva pertencia a Fazenda União, propriedade da Rede Ferroviária Federal (RFFSA), onde a principal atividade era a produção de eucalipto para a manutenção das ferrovias. Os plantios de eucalipto que correspondiam a cerca de 220 ha, compreendem atualmente uma área em transição de restauração florestal baseada no plano de manejo da ReBio União (Plano de manejo ReBio União, 2007). A reserva está localizada na região de baixadas litorâneas no estado do Rio de Janeiro, região Centro – Norte Fluminense (22° 25' 35" S e 42° 02' 04" W). Sua área total de 7757,00 ha abrange três municípios: Rio das Ostras (23,34%), Casimiro de Abreu (65,32%) e Macaé (11,34 %) (Figura 1). A vegetação possui formação de planície submontana e sua formação florestal é classificada como floresta ombrófila densa (ICMBio, 2008). O clima é tropical úmido (Kottek *et al.*, 2006), com temperatura média anual de 25 °C e precipitação média anual de 1900 mm, sendo a estação chuvosa o período que compreende os meses de outubro a março e a estação seca entre julho e agosto (ICMBio, 2008; Evaristo *et al.*, 2011; Lage-Pinto *et al.*, 2012; Vieira *et al.*, 2015; Vieira *et al.*, 2021).



**Figura 1:** Mapa de localização da Reserva Biológica União (ReBio União, RJ). Parte superior esquerda: estado do Rio de Janeiro com destaque nos municípios que abrangem a ReBio União (Macaé, Rio das Ostras, Casimiro de Abreu). Parte superior direita: está a representação da ReBio União, onde os fragmentos menores estão relacionados aos antigos talhões de eucalipto (cor verde e amarela). Parte inferior direita: ampliação da área de estudo do presente trabalho (antigo talhão 18 - em amarelo).

#### 4.1.1 Seleção e plantio de espécies em área de restauração

No ano de 2014, foi iniciado na ReBio União um programa de restauração florestal pela empresa ACÁCIA AMARELA PRODUÇÃO DE MUDAS & CONSULTORIA AMBIENTAL LTDA e a Casa da Moeda do Brasil, com o objetivo de reflorestar as áreas para neutralizar as emissões de gases do efeito estufa. O antigo talhão 18 (área do presente estudo), teve o preparo da terra para o plantio e consequentemente início do reflorestamento em janeiro de 2015.

Inicialmente, devido ao período de estiagem ocorrido na ReBio União, priorizou-se as atividades de manutenção das áreas plantadas, combatendo as rebrotas de eucalipto para garantir o plantio e inserção de novas áreas reflorestadas, para que as mesmas não fossem ainda mais prejudicadas pela estiagem (Casa da

Moeda do Brasil, 2015). Iniciou-se também o preparo de novas áreas de plantio em áreas de baixada por apresentaram maior umidade no solo ao serem comparadas com os demais talhões que seriam trabalhados. Após isso, foram realizadas roçadas pré-plantio com a utilização de roçadeira lateral em aproximadamente 3,0 ha em área de baixada. A próxima etapa foram as marcações de aproximadamente 3.500 berços, número suficiente para a realização do plantio programado para o período, que não foram inicialmente coroados por conta do longo período de estiagem, o que facilitava a presença da cobertura vegetal (Casa da Moeda do Brasil, 2015). Nestes berços devido à características do solo, não se fez necessário à utilização do motocoveador para o prévio revolvimento do solo, sendo a abertura dos berços realizada manualmente com o auxílio de cavadeira articulada, com a retirada do solo para a adubação e plantio das mudas. Para a adubação de plantio utilizou-se 150 gramas do fertilizante mineral N-P-K (06-30-06) em todos os berços de plantio (Figura 2) (Casa da Moeda do Brasil, 2015).



**Figura 2:** Berço de plantio após adubação em área de restauração na ReBio União, RJ. **Fonte:** Casa da Moeda do Brasil (CMB): Relatório de atividades – janeiro de 2015.

As mudas foram obtidas em viveiros da região que trabalham em parceria com a Associação Mico Leão Dourado. Realizou-se uma pré-seleção de espécies



que poderiam ser plantadas em área de baixada de acordo com seus grupos ecológicos e também sua disponibilidade nos viveiros (Casa da Moeda do Brasil, 2015). A escolha das mudas levou em consideração também características morfológicas e fitossanitárias. As mudas foram distribuídas no campo por classes ecológicas, separando-as em espécies iniciais e tardias de sucessão (Swaine e Whitmore, 1988). Em janeiro de 2015 no antigo talhão 18, foram plantadas 2.520 mudas (Tabela 1) (Casa da Moeda do Brasil, 2015).

**Tabela 1** - Lista das espécies utilizadas no plantio de restauração florestal na ReBio União, RJ.

<b>Espécie</b>	<b>Nome vulgar</b>	<b>Total</b>
<i>Schinus terebinthifolia</i>	Aroeirinha	305
<i>Vitex polygama</i>	Azeitona do Mato	150
<i>Cupania oblongifolia</i>	Camboatá	160
<i>Guarea guidonia</i>	Carrapeta	50
<i>Cedrela fissilis</i>	Cedro Rosa	50
<i>Pseudobombax grandiflorum</i>	Embiruçu	172
<i>Albizia polycephala</i>	Farinha Seca	240
<i>Psidium guajava</i>	Goiaba vermelha	150
<i>Inga edullis</i>	Ingá Cipó	10
<i>Inga sp</i>	Ingá Feijão	220
<i>Inga laurina</i>	Ingá Mel	220
<i>Dalbergia nigra</i>	Jacarandá	50
<i>Genipa americana</i>	Jenipapo	90
<i>Mimosa bimucronata</i>	Marica	230
<i>Chorisia speciosa</i>	Paineira	103
<i>Caesalpinia ferrea</i>	Pau Ferro	50
<i>Piptadenia gonoacantha</i>	Pau Jacaré	50
<i>Citharexylum myrianthum</i>	Pau Viola/ Tarumã	220
<b>Total</b>		<b>2.520</b>

**Fonte:** Casa da Moeda do Brasil (CMB): Relatório de atividades – janeiro de 2015.

Dentre as espécies plantadas, Vieira *et al.* (2021) escolheu de forma aleatória quatro espécies arbóreas nativas da floresta Atlântica pertencentes ao grupo inicial de sucessão, para realização do monitoramento das mesmas no estágio de plântulas, que teve início em fevereiro de 2015. As espécies escolhidas foram: *Citharexylum myrianthum* Cham., (Verbenaceae); *Vitex polygama* Cham., (Lamiaceae); *Cupania oblongifolia* Mart., (Sapindaceae); *Guarea guidonia* (L.) Sleumer., (Meliaceae).

#### 4.1.1.1 Plântulas e tratamentos de irradiância

As avaliações no estágio de plântulas foram conduzidas por Vieira *et al.* (2021) no período de fevereiro a setembro de 2015. As plântulas foram submetidas experimentalmente a dois tratamentos de irradiância: 1. Irradiância total (tratamento a pleno sol), com densidade de fluxo de fótons fotossintéticos (DFFF) de aproximadamente  $2000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ; 2. Sombreamento parcial (tratamento com sombra) correspondente a uma cobertura intermediária da copa de aproximadamente 60% e uma irradiância média de  $900 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ . O sombreamento parcial foi alcançado utilizando-se sombrites sobre as plantas de forma individual (Figura 3). Os sombrites de malha polietileno reduziam a irradiância incidente a níveis semelhantes às áreas intermediárias do sub-bosque regenerante da ReBio União (Vieira *et al.*, 2021).



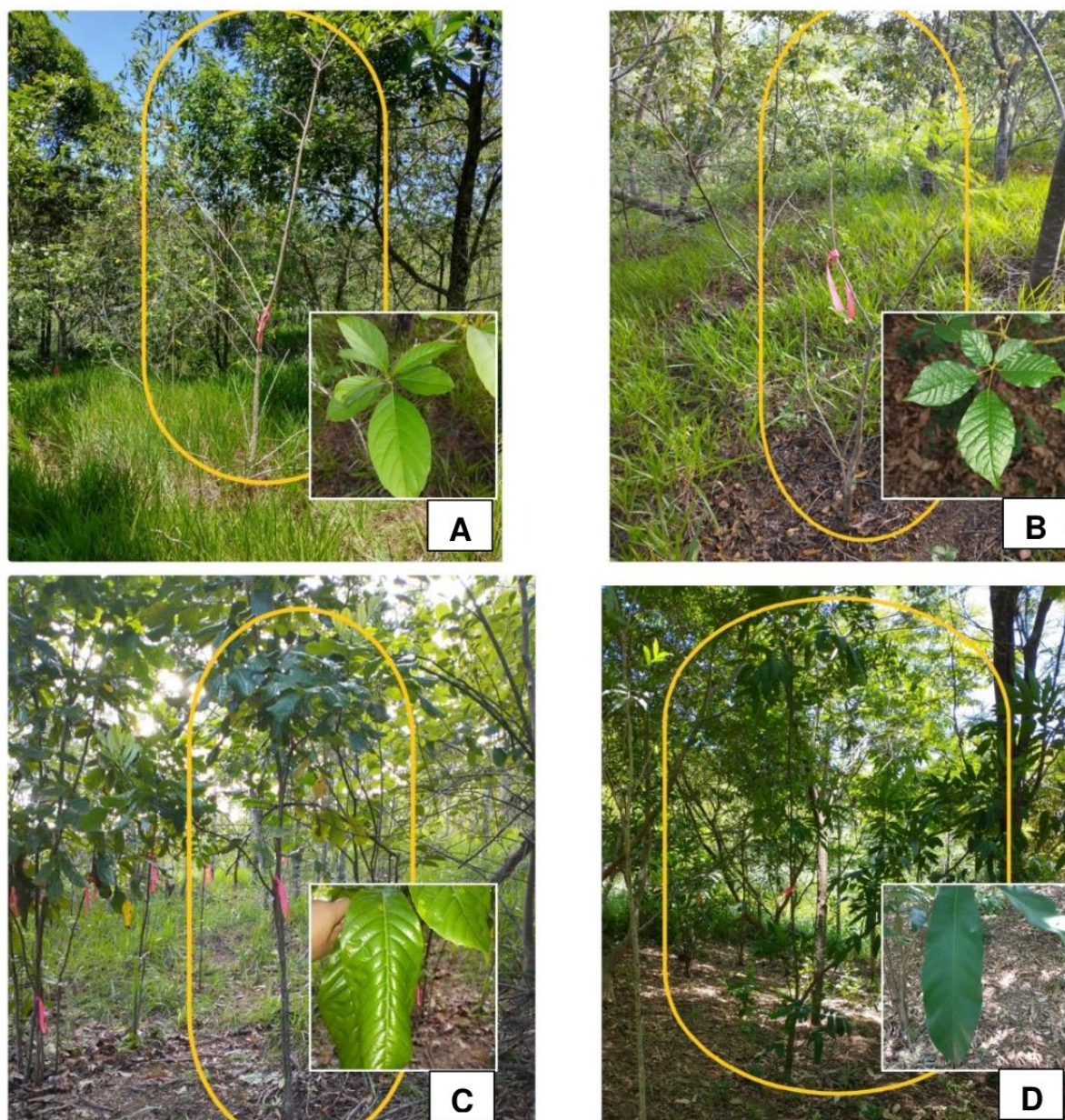
**Figura 3:** Sombrites de malha de polietileno para tratamento sombreado na ReBio União em 2015.  
**Fonte:** (Vieira *et al.*, 2021).

#### 4.1.1.2 Indivíduos adultos em área de restauração

As avaliações no estágio adulto foram conduzidas em janeiro de 2021. Não houve monitoramento dessas espécies ao longo dos anos, por isso os indivíduos avaliados na fase de plântula e adultos não foram os mesmos. Foram escolhidos somente os indivíduos que já estavam na fase reprodutiva. As espécies neste estágio estavam dispostas em diferentes condições de irradiância na área de restauração: *Citharexylum myrianthum* e *Vitex polygama* estavam presentes na área exposta à irradiância direta; *Cupania oblongifolia* e *Guarea guidonia* em sub-bosque sombreado (Tabela 2, Figura 4). Desta forma, todas as análises referentes às folhas de indivíduos adultos que serão descritos a seguir (crescimento, área foliar específica, espessura, fluorescência da clorofila a e pigmentos fotossintéticos) foram realizadas em folhas de sol para *Citharexylum myrianthum* e *Vitex polygama* e folhas de sombra para *Cupania oblongifolia* e *Guarea guidonia*. Estas condições de irradiância das amostragens refletiram as condições reais as quais a maioria da copa destas espécies estava exposta.

**Tabela 2** - Condições de sol ou sombra ao qual as espécies *Citharexylum myrianthum*, *Vitex polygama*, *Cupania oblongifolia* e *Guarea guidonia* estavam expostas na área de restauração na ReBio União em diferentes estágios de desenvolvimento.

Estádio de desenvolvimento	Ano	<i>Citharexylum myrianthum</i>	<i>Vitex polygama</i>	<i>Cupania oblongifolia</i>	<i>Guarea guidonia</i>
plântula	2015	Sol	Sol	Sol	Sol
		Sombra	Sombra	Sombra	Sombra
adulto	2021	Sol	Sol	Sombra	Sombra



**Figura 4:** Espécies selecionadas para estudo em área de restauração na Reserva Biológica União. Espécie *Citharexylum myrianthum* (A); *Vitex polygama* (B); *Cupania oblongifolia* (C); *Guarea guidonia* (D). As espécies estão inseridas dentro das elipses.

#### 4.1.1.3 Caracterização microclimática

A caracterização microclimática foi realizada em janeiro de 2021. Temperatura e umidade relativa foram monitoradas com a utilização de sensores de temperatura e umidade (Watchdog 1000 – Spectrum – a coleta ocorreu nos horários de 07h, 12h e 16h) (Tabela 3). O déficit de pressão de vapor (DPV) (Tabela 3) foi calculado a partir da fórmula:

$$DPV = \left[ 0,61137 \times \text{EXP} \left( \frac{(17,502 \times T^{\circ} \text{C})}{(240,97 + T^{\circ} \text{C})} \right) \times \left( 1 - \left( \frac{UR\%}{100} \right) \right) \right]$$

Os valores foram obtidos em KPa onde:

T° C – representa a temperatura em °C (Unwin, 1980);

UR% - representa a umidade relativa (Unwin, 1980).

A irradiância (Densidade de fluxo de fótons fotossintéticos – DFFF) foi aferida pelo sensor de luz (Radiômetro Li -250) no momento da coleta de dados e material biológico (07h, 12h, 16h) (Tabela 3).

**Tabela 3** - Caracterização da Densidade de Fluxo Fótons Fotossintéticos (DFFF -  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ), déficit de pressão de vapor (KPa), temperatura (°C) e umidade relativa (UR - %) nos entornos dos indivíduos das espécies *Citharexylum myrianthum*, *Vitex polygama*, *Cupania oblongifolia* e *Guarea guidonia* em janeiro/21 nos horários de 07h; 12h e 16h, na Reserva Biológica União. Os valores representam a média de cinco indivíduos por espécie.

Espécies	07:00h		12:00h		16:00h	
	DFFF	DPV	DFFF	DPV	DFFF	DPV
<i>Citharexylum myrianthum</i>	103,9	0,96	1925,8	2,73	1797,6	2,15
<i>Vitex polygama</i>	45,5	0,95	1880,0	2,60	1475,2	1,83
<i>Cupania oblongifolia</i>	10,2	1,06	989,9	2,98	870,0	1,87
<i>Guarea guidonia</i>	3,1	1,08	838,0	2,19	788,0	1,82
	°C	UR	°C	UR	°C	UR
<i>Citharexylum myrianthum</i>	28,9	74,8	37,1	57,2	35,2	62,4
<i>Vitex polygama</i>	28,6	75,6	36,8	55,6	33,0	62,0
<i>Cupania oblongifolia</i>	28,4	73,4	35,6	58,0	32,2	63,0
<i>Guarea guidonia</i>	28,1	72,4	34,7	60,6	32,4	62,6

#### 4.2 Avaliações morfofisiológicas e número amostral

As avaliações de crescimento (altura, diâmetro a altura do solo e diâmetro a altura do peito) e morfológicas (área foliar específica e espessura foliar) foram realizadas em dez indivíduos por espécie (n=10) distantes ao menos 5 metros entre

eles e definidos de forma aleatória no campo. As avaliações fotossintéticas (fluorescência da clorofila *a* e pigmentos fotossintéticos) foram conduzidas em cinco indivíduos por espécie (n=5) dentre os dez descritos acima.

#### 4.2.1 Avaliações de crescimento

A circunferência foi mensurada com o auxílio de fita métrica (m) em dez indivíduos (n=10) por espécie, e o diâmetro a altura do solo (DAS) foi determinado a partir do perímetro através da seguinte equação:

$$d = \frac{P}{\pi}$$

Onde:

d – representa o diâmetro;

P – representa o perímetro;

$\pi$  – representa o valor aproximado de 3,14.

O diâmetro do caule a altura do peito (DAP) foi determinado pela circunferência a 1,30 m com o auxílio de fita métrica (cm) (n=10), utilizando-se a mesma equação descrita acima.

A altura foi determinada com o auxílio de uma mira de alumínio com impressão centimetrada e estadimétrica (modelo 7 metros, Topografia - Orient) (n=10).

As avaliações de crescimento para os parâmetros altura e diâmetro à altura do solo foram calculados a partir dos dados de plântulas no tempo zero (2015) e dos indivíduos adultos (2021), com o objetivo de visualizar o crescimento da população de espécies, já que os indivíduos não eram os mesmos. Os valores considerados foram: VI (valores iniciais) = dados de fevereiro de 2015 e VF (valores finais) = dados de janeiro de 2021. A partir desse conjunto foram calculados os seguintes parâmetros:

Valor final (VF) – dados referentes às últimas avaliações feitas (indivíduos adultos - janeiro 2021);

Crescimento absoluto (CA) – Diferença entre as avaliações finais e iniciais respectivamente;

Ganho percentual de crescimento (Ganho %) – percentual relacionado ao crescimento absoluto e valor final, calculado através da seguinte fórmula:

$$Ganho (\%) = \frac{CA * 100\%}{VF}$$

#### **4.2.2 Avaliações morfológicas**

A espessura foliar foi determinada com o auxílio de um paquímetro digital (mm) em folhas completamente expandidas e saudáveis (ausência de necrose e herbivoria) em dez indivíduos por espécie (n=10).

Para a determinação da área foliar específica (AFE), foram retiradas folhas de dez indivíduos por espécie (n=10) (Figura 5A), que posteriormente foram inseridas em sacos de papel devidamente identificados (Figura 5B).



**Figura 5:** Retirada de três folhas de dez indivíduos por espécie (A) e acondicionamento em sacos de papel identificados (B) para determinação da área foliar específica.

Os valores da área foliar ( $\text{cm}^2$ ) foram obtidos a partir de fotografias digitais posteriormente analisadas no software Image J 1.46. Para as espécies de folhas compostas (*Vitex polygama*, *Cupania oblongifolia* e *Guarea guidonia*) houve uma padronização. Foi determinada a área de cada folíolo, e posteriormente foi realizado o somatório da área dos folíolos. A massa seca foliar (g) foi obtida a partir da secagem das mesmas folhas utilizadas para determinar a área foliar a  $60^\circ \text{C}$  em estufa (modelo 410, Nova Ética, Brazil) por aproximadamente 70 horas e pesadas em balança analítica de precisão (modelo AY 220, Shimadzu, Japan). A partir destes dados foi calculada a AFE, conforme a fórmula:

$$AFE = \frac{\text{área foliar}}{\text{massa foliar seca}}$$



### 4.2.3 Avaliações fotossintéticas

#### 4.2.3.1 Fluorescência da clorofila *a*

As medidas foram realizadas para plântulas e indivíduos adultos às 07:00, 12:00 e 16:00 h em uma folha saudável, madura e completamente expandida (parte adaxial) de cinco indivíduos por espécie ( $n=5$ ), com o auxílio do fluorímetro modulado portátil (modelo FMS2, Hansatech, UK). As folhas foram pré-adaptadas ao escuro por 30 minutos com a utilização de clipes foliares, que foram inicialmente expostos a luz de medição (aproximadamente  $6 \mu\text{mol m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  a 660 nm), seguida pela exposição à luz actínica (luz branca) de alta intensidade ( $10.000 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ) aplicada por 0,8 segundos de acordo com Genty *et al.* (1989) e Van Kooten e Snel (1990). As variáveis determinadas foram: o rendimento quântico máximo do FSII ( $F_v/F_m$ ), coeficiente de dissipação fotoquímico (qP) e não-fotoquímico (NPQ).

#### 4.2.3.2 Composição de pigmentos fotossintéticos

A análise da composição de pigmentos fotossintéticos foi realizada nas mesmas folhas do item 4.2.3.1, a partir da retirada de um disco foliar de 6 mm de diâmetro do limbo de uma folha em cinco indivíduos por espécie ( $n=5$ ). Os discos foram cortados em tiras e colocados individualmente em tubos plásticos envoltos em papel alumínio contendo 1 mL do solvente orgânico Dimetilsulfóxido (DMSO). Após cinco dias, todo o volume de DMSO de cada amostra foi submetida à leitura em espectrofotômetro UV/VIS (modelo UV/VIS 1800, Shimadzu, Japão) nos comprimentos de onda de 480, 649 e 665 nm. Os pigmentos fotossintéticos (clorofila *a*, clorofila *b* e carotenoides) foram calculados de acordo com Wellburn (1994) e os índices de clorofila total ( $a+b$ ), razão clorofila *a/b* e clorofila total/carotenoides foram determinados como demonstram as fórmulas:

$$[\text{Clorofila } a] (\mu\text{g} / \text{mL}) = 12,19A_{665} - 3,45A_{649}$$

$$[\text{Clorofila } b] (\mu\text{g} / \text{mL}) = 21,99A_{649} - 5,32A_{665}$$

$$[\text{Carotenoides}] (\mu\text{g} / \text{mL}) = (1000A_{480} - 2,14 [\text{Clorofila } a] - 70,16 [\text{Clorofila } b])/220$$

$$[\text{Clorofilas totais}] = \text{Clorofila } a + \text{Clorofila } b$$

$$[\text{Razão clorofila}] = \text{Clorofila } a / \text{Clorofila } b$$

$$[\text{Clorofila total/carotenoides}] = \text{Clo total}/\text{carotenoides}$$

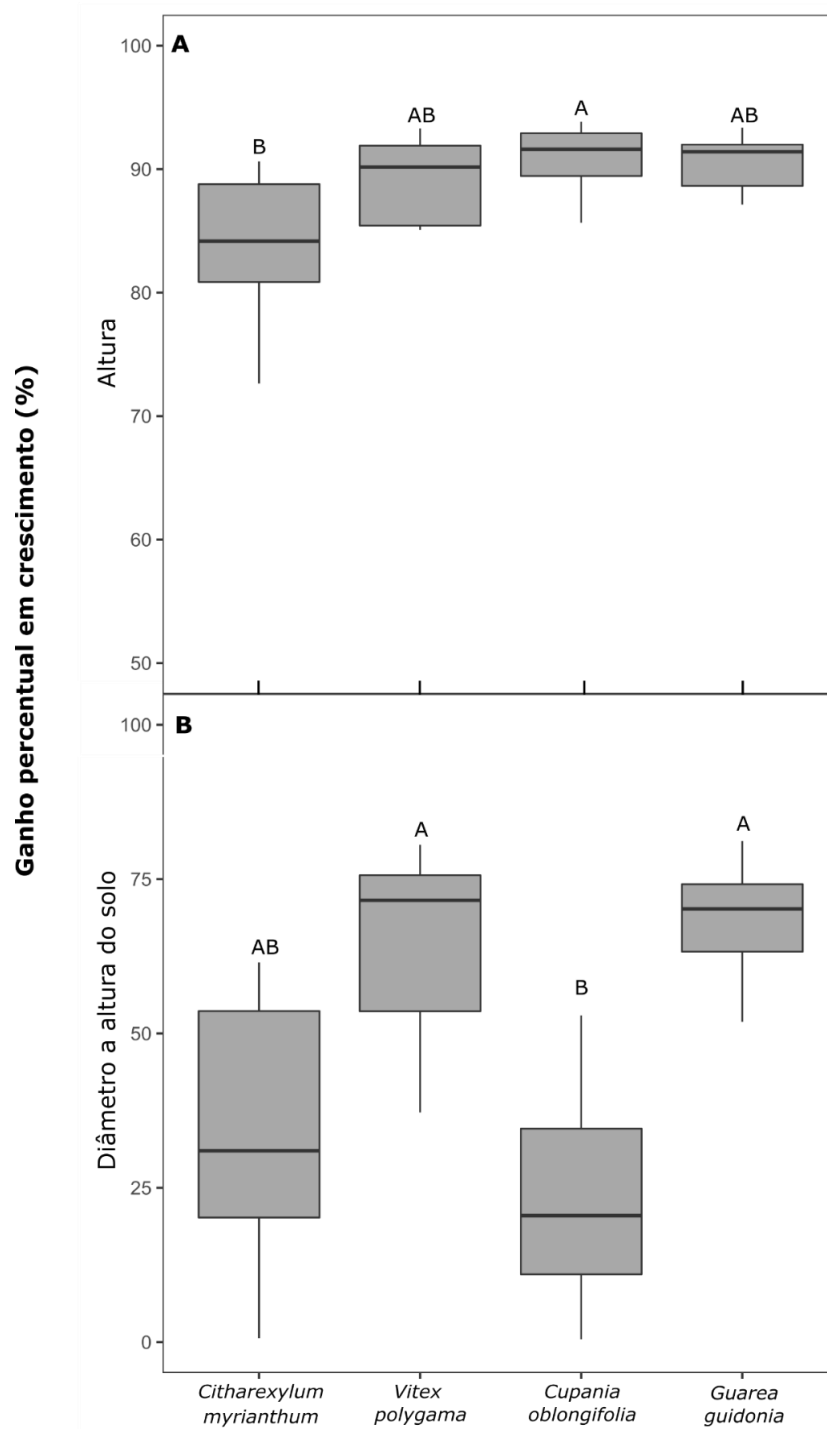
Os valores das concentrações de pigmentos foram obtidos em  $\mu\text{g.mL}^{-1}$  e posteriormente convertidos à  $\text{nmol.cm}^{-2}$ .

### 4.3 Análises Estatísticas

Para a análise e comparação dos dados (crescimento, área foliar específica e parâmetros fotossintéticos) foram realizadas estatísticas descritivas (mediana e intervalo de confiança), diferenciação entre as médias usando modelos lineares gerais (ANOVA one-way e two-way), e teste de Tukey para a comparação das médias entre as espécies e estádios de desenvolvimento, assumindo erro de 5% ( $\alpha = 0,05\%$ ) usando o RStudio (versão 4.0.5). A análise multivariada por componentes principais (PCA), foi realizada para verificar os atributos que mais influenciam na caracterização do desempenho interespecífico (*Citharexylum myrianthum*, *Vitex polygama*, *Cupania oblongifolia* e *Guarea guidonia*) e estádios de desenvolvimento (plântula e adulto). A análise foi realizada no programa Past, Versão 2.16 – Paleontological STatistics (Hammer *et al.*, 2001). Os dados foram ajustados usando uma função de verossimilhança máxima (função boxcox; Pacote MASS; Venables; Ripley, 2002) para atender as premissas da ANOVA quando necessário.

## 5. RESULTADOS

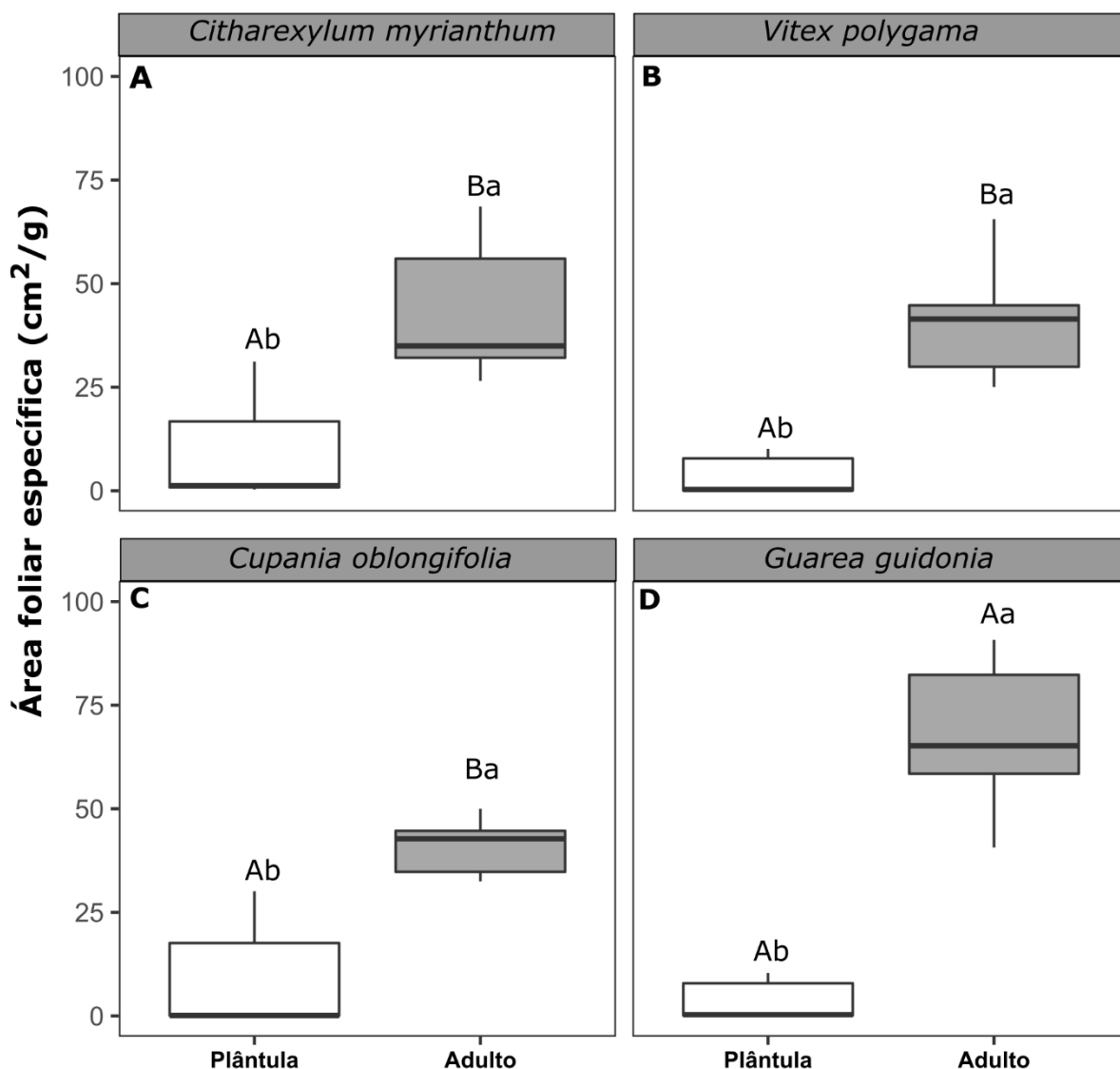
O ganho percentual em crescimento para os atributos altura e diâmetro a altura do solo considerando o intervalo entre 2015 (plântulas tempo zero) e 2021 (adultos) variou entre as populações das espécies (Figura 6). Estes dados mostram que *Cupania oblongifolia* cresceu mais no sub-bosque sombreado em altura do que em largura do caule.



**Figura 6:** Ganho percentual em crescimento (%) da altura (A) e diâmetro a altura do solo (B) para os indivíduos adultos (2021) a partir dos dados de plântulas no tempo zero (2015) em área de restauração ecológica na ReBio União, RJ. Letras maiúsculas comparam o crescimento entre a população de espécies (n=10) (Teste de Tukey,  $p \leq 0.05$ ).

O crescimento absoluto em altura entre as populações das espécies não variou significativamente (Apêndice 1), assim como o valor final do crescimento em altura (Apêndice 2). Entretanto, o crescimento absoluto em diâmetro a altura do solo variou entre as populações das espécies com *Citharexylum myrianthum*, *Vitex polygama* e *Guarea guidonia* apresentando os maiores valores de diâmetro e *Cupania oblongifolia* o menor (Apêndice 1).

Não houve diferença significativa para a área foliar específica das plântulas (Figura 7). Entretanto, indivíduos adultos de *Guarea guidonia* apresentaram os maiores valores deste atributo na comparação com as populações das outras três espécies (Figura 7D). A comparação entre os estádios de desenvolvimento evidencia que indivíduos adultos apresentam valores significativamente maiores de área foliar específica do que as plântulas, independente da espécie (Figura 7).



**Figura 7:** Valores médios da área foliar específica (AFE) nos diferentes estádios de desenvolvimento (plântula - tempo zero e adulto) para as espécies *Citharexylum myrianthum* (A), *Vitex polygama* (B), *Cupania oblongifolia* (C) e *Guarea guidonia* (D) em área de restauração ecológica na ReBio União, RJ. Letras maiúsculas comparam entre as espécies no mesmo estádio, e letras minúsculas comparam os estádios na mesma espécie (n=10) (Teste de Tukey,  $p \leq 0.05$ ).

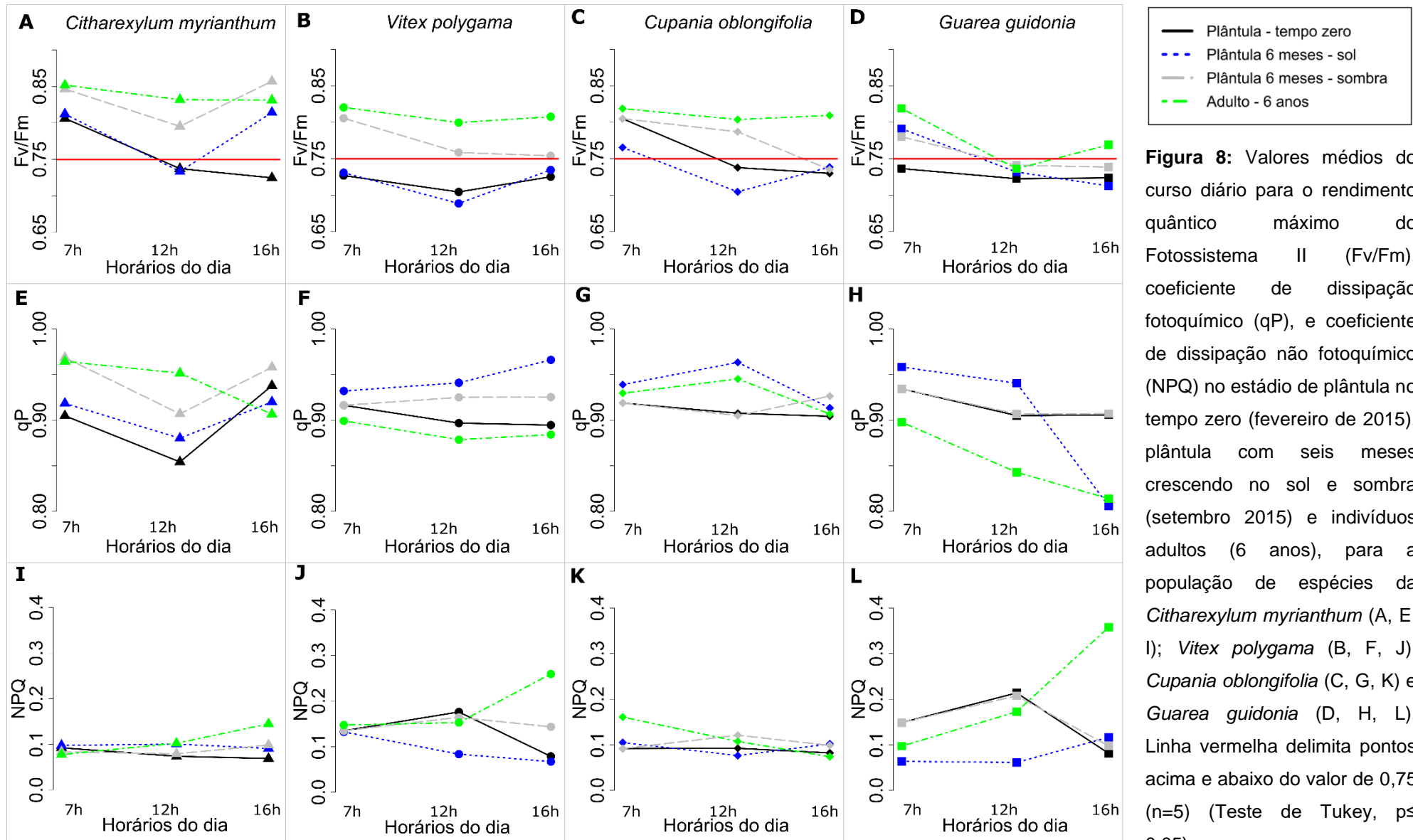
Os pigmentos fotossintéticos, área foliar específica, diâmetro a altura do solo e diâmetro a altura do peito variaram entre as populações das espécies para os indivíduos adultos (Tabela 4). Para a razão clorofila a/ clorofila b, altura e espessura foliar não houve diferença significativa. Para a maioria dos atributos analisados, a espécie *Guarea guidonia* foi a que apresentou os maiores valores, com exceção dos carotenoides e diâmetro a altura do peito, que foram maiores na espécie *Citharexylum myrianthum*.

**Tabela 4** - Valores médios  $\pm$  desvio padrão da composição de pigmentos fotossintéticos (n=5), área foliar específica, altura, diâmetro a altura do solo, diâmetro a altura do peito e espessura foliar (n=10) para a população de espécies da *Citharexylum myrianthum*, *Vitex polygama*, *Cupania oblongifolia* e *Guarea guidonia* no estágio adulto em área de restauração na Reserva Biológica União. Letras maiúsculas comparam a população de espécies para cada atributo (Teste de Tukey,  $p \leq 0.05$ ).

Atributos	Unidade de medida	<i>Citharexylum myrianthum</i>	<i>Vitex polygama</i>	<i>Cupania oblongifolia</i>	<i>Guarea guidonia</i>
Clorofila a	nmol.cm <sup>-2</sup> .	16,2 $\pm$ 5,5 <sup>B</sup>	17,9 $\pm$ 8,2 <sup>B</sup>	15,5 $\pm$ 5,9 <sup>B</sup>	33,9 $\pm$ 2,2 <sup>A</sup>
Clorofila b	nmol.cm <sup>-2</sup> .	12,0 $\pm$ 5,8 <sup>B</sup>	13,0 $\pm$ 6,7 <sup>B</sup>	11,6 $\pm$ 3,7 <sup>B</sup>	24,5 $\pm$ 2,2 <sup>A</sup>
Carotenoides	nmol.cm <sup>-2</sup> .	5,1 $\pm$ 0,8 <sup>A</sup>	3,2 $\pm$ 1,2 <sup>B</sup>	4,2 $\pm$ 0,7 <sup>AB</sup>	3,8 $\pm$ 1,4 <sup>AB</sup>
Clorofila a/ Clorofila b	nmol.cm <sup>-2</sup> .	1,40 $\pm$ 0,2 <sup>A</sup>	1,39 $\pm$ 0,1 <sup>A</sup>	1,30 $\pm$ 0,1 <sup>A</sup>	1,38 $\pm$ 0,05 <sup>A</sup>
Clorofila total	nmol.cm <sup>-2</sup> .	28,2 $\pm$ 11,2 <sup>B</sup>	30,9 $\pm$ 14,9 <sup>B</sup>	27,2 $\pm$ 9,6 <sup>B</sup>	58,4 $\pm$ 4,3 <sup>A</sup>
Clorofila total/ carotenoides	nmol.cm <sup>-2</sup> .	5,4 $\pm$ 1,5 <sup>B</sup>	12,1 $\pm$ 9,4 <sup>AB</sup>	6,7 $\pm$ 2,7 <sup>AB</sup>	17,3 $\pm$ 6,5 <sup>A</sup>
Área foliar específica	cm <sup>2</sup> /g	42,5 $\pm$ 15,4 <sup>B</sup>	39,9 $\pm$ 12,2 <sup>B</sup>	43,3 $\pm$ 11,5 <sup>B</sup>	66,9 $\pm$ 17,9 <sup>A</sup>
Altura	m	3,3 $\pm$ 1,8 <sup>A</sup>	2,6 $\pm$ 1,3 <sup>A</sup>	3,4 $\pm$ 0,7 <sup>A</sup>	3,1 $\pm$ 1,3 <sup>A</sup>
Diâmetro a altura do solo	cm	5,3 $\pm$ 3,3 <sup>AB</sup>	5,4 $\pm$ 2,6 <sup>AB</sup>	3,7 $\pm$ 0,9 <sup>B</sup>	6,0 $\pm$ 2,9 <sup>A</sup>
Diâmetro a altura do peito	cm	6,8 $\pm$ 4,5 <sup>A</sup>	3,8 $\pm$ 2,5 <sup>B</sup>	4,0 $\pm$ 2,7 <sup>B</sup>	4,9 $\pm$ 3,9 <sup>B</sup>
Espessura foliar	mm	0,207 $\pm$ 0,1 <sup>A</sup>	0,217 $\pm$ 0,1 <sup>A</sup>	0,206 $\pm$ 0,05 <sup>A</sup>	0,193 $\pm$ 0,05 <sup>A</sup>

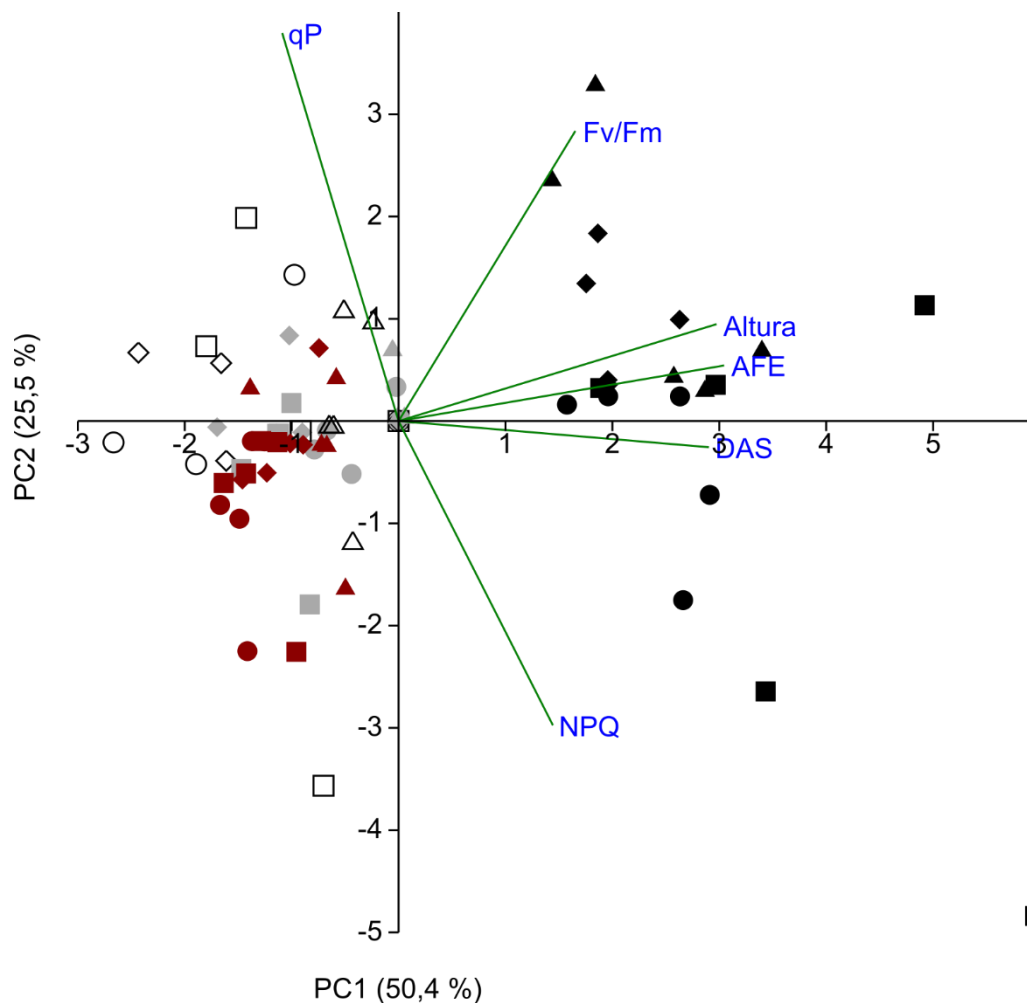
Para o rendimento quântico máximo do FSII (Fv/Fm), coeficiente de dissipação fotoquímico (qP) e não fotoquímico (NPQ) houve diferença significativa entre as populações das espécies e entre os estádios de desenvolvimento (Figura 8, Apêndice 3).

Os valores de Fv/Fm nos diferentes estádios e tratamentos de irradiância das plântulas variaram entre 0.68 e 0.86 (Figura 8A, B, C e D, Apêndice 3). No estágio adulto, apenas indivíduos de *Guarea guidonia* apresentaram valores de Fv/Fm abaixo de 0,75 (às 12h), caracterizando condição de estresse ao meio-dia (Figura 8D, Apêndice 3). Valores abaixo de 0,75 foram comuns no estágio de plântula para todas as espécies, principalmente no tempo zero e nas que cresceram sem sombreamento (Figura 8A, B, C e D). O qP sempre foi superior a 0,81 (Figura 8E, F, G e H) e o NPQ, sempre se mostrou inferior a 0,36 (Figura 8I, J, K, L) (Apêndice 3).



Uma análise multivariada por componentes principais (PCA) foi realizada com o intuito de verificar quais atributos mais influenciaram o desempenho das populações de espécies e se haveria agrupamento das amostras em função do estágio de desenvolvimento (plântulas e adultos) ou dos tratamentos de irradiância (apenas para plântulas) (Figura 9). A PCA explicou 75,9% da variância total dos dados. O primeiro componente principal (PC1) explicou 50,4% da variação das amostras, sendo coordenado principalmente pelos parâmetros área foliar específica e de crescimento (altura e diâmetro a altura do solo) (Figura 9, Tabela 5). O segundo componente principal explicou 25,5%, sendo coordenado pelos parâmetros fotoquímicos ( $F_v/F_m$ ,  $qP$  e  $NPQ$ ) (Figura 9, Tabela 5). Os atributos que mais influenciaram o desempenho das espécies foram os de crescimento e morfológicos (altura, diâmetro a altura do solo e área foliar específica). A distribuição das espécies demonstra a formação de grupos a depender do estágio de desenvolvimento, com indivíduos adultos (símbolos pretos) estando posicionados mais à direita, e plântulas no tempo zero (símbolos vermelhos), crescidas no sol (símbolos abertos) e na sombra (símbolos cinzas) mais à esquerda (Figura 9). Não foi visualizada formação de grupos a depender das condições de irradiância das plântulas.





**Figura 9:** Espaço de ordenação gerado pela análise de componentes principais (PCA) para a população da *Citharexylum myrianthum* (triângulo), *Vitex polygama* (círculo), *Cupania oblongifolia* (losango) e *Guarea guidonia* (quadrado) em área de restauração na ReBio União, RJ. Foram considerados os atributos: área foliar específica (AFE), altura, diâmetro a altura do solo (DAS), rendimento quântico máximo do fotossistema II (Fv/Fm), coeficiente de dissipação fotoquímico (qP) e não fotoquímico (NPQ). As espécies foram avaliadas em diferentes estádios de desenvolvimento (plântulas e adultos) e tratamentos de irradiância (apenas para plântulas). Plântulas no tempo zero: símbolos vermelhos. Plântulas crescidas no sol: símbolos abertos. Plântulas crescidas na sombra: símbolos cinzas. Indivíduos adultos: símbolos pretos (Teste de Tukey,  $p \leq 0.05$ ).

**Tabela 5 -** Valores da análise de componentes principais (PCA) para os atributos de crescimento, área foliar específica e fotoquímicos de *Citharexylum myrianthum*, *Vitex polygama*, *Cupania oblongifolia* e *Guarea guidonia* em área de restauração na ReBio União (Teste de Tukey,  $p \leq 0.05$ ).

Atributos	PC1 (50,4%)	PC2 (25,5%)
AFE	<b>0.53384</b>	0.095301
Altura	<b>0.52133</b>	0.16609
DAS	<b>0.50875</b>	-0.044834
Fv/Fm	0.28984	<b>0.49723</b>
qP	-0.19083	<b>0.66498</b>
NPQ	0.25303	<b>-0.52142</b>

## 6. DISCUSSÃO

### 6.1 Diferença de crescimento entre as populações de espécies

Os resultados mostram que existiram diferenças entre a população de espécies em relação aos ganhos percentuais de crescimento em área de restauração ecológica. Entretanto, nossa primeira hipótese pode ser apenas parcialmente aceita, uma vez que menores valores de diâmetro a altura do solo eram esperados para a população da *Guarea guidonia* (Figura 6). Apesar das variações de ganho percentual de crescimento em altura das espécies, não se observa diferença significativa na altura dos indivíduos adultos das espécies após seis anos de plantio (Tabela 4). Possivelmente o maior ganho percentual observado foi devido aos menores tamanhos das plântulas para as populações das espécies que mais cresceram. Apesar de pertencerem ao mesmo grupo sucessional (inicial), a variação interespecífica é esperada, porque são espécies distintas que se desenvolveram em ambientes biodiversos como as florestas tropicais úmidas (Westboy *et al.*, 2002; Wright *et al.*, 2004; Kitajima e Poorter, 2008; Calzavara *et al.*, 2019; Vieira *et al.*, 2021). O maior valor em altura e os menores valores em diâmetro a altura do solo e do peito (Tabela 4) observados para *Cupania oblongifolia* caracterizam um maior investimento dos recursos em estiolamento do que em aumento de diâmetro do tronco. Esse comportamento provavelmente está associado às condições ambientais da área onde estavam os indivíduos adultos (sub-bosque sombreado), sendo necessário o investimento em altura para aumentar a captura da luz. Essa estratégia foi observada em outras espécies sob sombreamento, como a *Bombacopsis glabra* (Scalon *et al.*, 2003); *Hymenaea parvifolia* (Silva *et al.*, 2007); *Croton urucurana* (Alvarenga *et al.*, 2003) e *Talisia subalbans* (Nery *et al.*, 2010). Desempenho semelhante foi observado ainda no estágio de plântula para os indivíduos de todas as espécies submetidas a condição sombreada (Vieira *et al.*, 2021), sugerindo alongamento como estratégia para aumentar a captura de irradiância pelos indivíduos. O maior investimento em diâmetro a altura do peito para *Citharexylum myrianthum* (Tabela 4) pode ser explicado por características da espécie, mas também por sua localização na área de maior irradiância, tendo seus indivíduos ocupado posição de destaque no dossel da área de restauração. Maior acesso à luz promove aumento da atividade fotossintética, levando a maior produção de fotoassimilados (Kitajima e Poorter, 2008; Silva *et al.*, 2010; Wright *et al.*, 2010; Lage-Pinto *et al.*, 2012; Vieira *et al.*, 2015; Kunstler *et al.*, 2016; Vitória *et al.*, 2016; Poorter *et al.*, 2018) que, neste caso, estariam sendo utilizados para dar maior crescimento

secundário ao caule (Westboy *et al.*, 2002; Nery *et al.*, 2010; Shafiq *et al.*, 2021; Vieira *et al.*, 2021; Wang *et al.*, 2021). Os indivíduos adultos de *Vitex polygama* estavam localizados na área de restauração exposta a maior irradiância do sub-bosque, o que explicaria seu grande ganho percentual em crescimento devido a maior atividade fotossintética. Entretanto, as condições estressantes da constante exposição a pleno sol quando esta espécie está no estágio de plântula parecem desfavorecer seu desempenho comparativamente às outras espécies em estudo, conforme descrito por Vieira e colaboradores (2021) e como observado pela Figura 8.

Esses distintos resultados referentes as avaliações de crescimento reforçam a capacidade de aclimação das espécies vegetais ao ambiente ao qual foram inseridas nas áreas de restauração, refletindo suas competências em termos de fracionamento de fotoassimilados entre os diferentes compartimentos da planta, bem como sua eficiência em se ajustar às variáveis ambientais.

## 6.2 Variação no curso diário da fluorescência da clorofila *a*

Nossa segunda hipótese foi totalmente aceita, uma vez que os indivíduos adultos se mostraram mais fotoquimicamente saudáveis que as plântulas, principalmente as de sol. Os parâmetros da fluorescência da clorofila *a* estão relacionados ao estágio fotoquímico da fotossíntese, e são considerados como intermediários de assimilação de carbono em árvores tropicais ao longo do perfil vertical (Santos *et al.*, 2019; Modolo *et al.*, 2021). Os resultados, no geral, mostraram que as espécies variaram em função dos estágios de desenvolvimento (Figura 8, Apêndice 3). O rendimento quântico máximo do FSII (Fv/Fm), caracteriza a eficiência fisiológica (Bolhàr-Nordenkampf *et al.*, 1989; Lüttge, 2008; Vitória *et al.*, 2016; Paula *et al.*, 2019; Vieira *et al.*, 2021) em diferentes condições abióticas, sendo usado como medidor do estresse da planta (fotoinibição), considerando os valores acima de 0,75 como o ideal para ausência de estresse no aparelho fotossintético (Bolhàr-Nordenkampf *et al.*, 1989). As espécies apresentaram condições de estresse principalmente no tempo zero e nas plântulas crescidas no sol. Esse comportamento indica um declínio na atividade fotoquímica induzida pela irradiância (Lima *et al.*, 2021), ou seja, reforça a ocorrência de padrões de resposta a variações na irradiância, que estariam relacionados a aclimação de uma determinada condição que causa alteração ao longo do desenvolvimento (Lage-Pinto *et al.*, 2012; Vieira *et al.*, 2015). Para os indivíduos sombreados, somente *Cupania oblongifolia* (16h) e *Guarea*

*guidonia* (12h e 16h) apresentaram sinais de estresse. Alguns estudos demonstram que é possível que o sombreamento possa afetar negativamente a capacidade fotossintética, reduzindo a taxa de transporte de elétrons e os valores de  $F_v/F_m$  (Feng *et al.*, 2019; Khalid *et al.*, 2019). Para os indivíduos adultos distribuídos pelo sub-bosque somente a espécie *Guarea guidonia* estava sob estresse no horário de 12h (Figura 8D). Esse resultado pode estar relacionado a características da própria espécie. Entretanto, observa-se que apesar de estar sob estresse, os indivíduos adultos da *Guarea guidonia* foram capazes de recuperar sua eficiência fotoquímica até as 16h. Isso pode ser atribuído parcialmente a sua capacidade de ajustar a dissipação de energia não fotoquímica (NPQ) e as concentrações de clorofila, que são estratégias que ajudam a mitigar os danos da irradiância no aparelho fotossintético (Dos Anjos *et al.*, 2012; Wu *et al.*, 2018), o que foi observado para esta espécie no presente estudo (Figura 8L). Logo, a recuperação da eficiência fotossintética após um período de estresse está associado a aclimação, pois envolve diferentes mecanismos que são determinados geneticamente (Dos Anjos *et al.*, 2012; Kouril *et al.*, 2013; Lavinsky *et al.*, 2014; Mishanin *et al.*, 2016; Wu *et al.*, 2018). Contudo, para as plântulas (tempo zero, sol e sombra), foi possível observar que não houve recuperação de sua eficiência fotoquímica pelo menos até o horário das 16h. Outros estudos já relataram comportamento semelhante, em que algumas espécies apesar de modular muitas variáveis fisiológicas, não conseguem recuperar sua eficiência fotoquímica após longos períodos de exposição (Einhorn *et al.*, 2004; Ribeiro *et al.*, 2005; Lopes *et al.*, 2019). O coeficiente de dissipação fotoquímico (qP), se refere a fração de centros de reação do FSII abertos, quantificando a capacidade fotoquímica do FSII (Müller *et al.*, 2001). Os resultados demonstram que, apesar das espécies apresentarem diferenças estatísticas, as mesmas tiveram capacidade de se aclimatar aos diferentes tratamentos de irradiância (plântulas), e no sub-bosque (adultos). Os elevados valores observados para esta via, podem ter resultado das altas taxas de transferência de elétrons do FSII, ou da ocorrência de redução do NPQ (Chaloub *et al.*, 2010; Teixeira *et al.*, 2018). Essa redução denota uma falha, ocasionando provavelmente dano ao aparelho fotossintético (Teixeira *et al.*, 2018), pois o estresse fotoquímico permanece (16h) principalmente no estágio de plântulas para o tempo zero e tratamento solar, em que o NPQ que tem como objetivo dissipar o excesso de energia pelo complexo antena associado ao FSII, agindo como um mecanismo de proteção contra o excesso de irradiância no aparato fotossintético, mantendo a eficiência do funcionamento fotossintético (Paula *et al.*, 2019; Vieira *et al.*, 2021) não foi desencadeado. De forma geral, qualquer flutuação na intensidade da irradiância, para mais ou para menos, pode

afetar e alterar a capacidade fotossintética da planta (Meravi e Prajapati, 2018; Khalid *et al.*, 2019). Os resultados obtidos para os atributos fisiológicos (Fv/Fm, qP e NPQ), estão associados não somente a condição ambiental (irradiância), mas também ao estágio de desenvolvimento, pois as distintas respostas observadas entre os estágios para esses atributos, principalmente em relação à condição de estresse, demonstra que as estratégias usadas se diferem, pois os danos causados pelas condições ambientais para os indivíduos adultos são mais amenos do que nas plântulas, como pode ser observado (Rosado *et al.*, 2013; Vieira *et al.*, 2021).

### 6.3 Variação de atributos a depender do estágio de desenvolvimento

Nossa terceira hipótese pode ser parcialmente aceita, uma vez que observamos variação dos atributos em função do estágio de desenvolvimento e condições de crescimento, mas não houve diferenciação no agrupamento por espécie. A ausência de diferença significativa na área foliar específica das plântulas das diferentes espécies (Figura 7) pode ser interpretada como uma consequência das condições homogêneas de alta irradiância do início do plantio. Seis anos após o seu desenvolvimento, diferentes condições de sombreamento do plantio influenciaram a população de indivíduos adultos que lá estavam, levando ao aumento da área foliar específica nos indivíduos de *Guarea guidonia*, espécie cujos indivíduos se desenvolveram no sub-bosque sombreado. Apesar de *Cupania oblongifolia* também ter se desenvolvido no sub-bosque sombreado, o mesmo ajuste não foi verificado. A área foliar específica é a razão entre a área foliar e a massa seca da folha, e indica o quanto se investe em superfície para interceptação da irradiância, sendo considerada uma importante característica funcional por também afetar a longevidade foliar (Wright *et al.*, 2004; Rozendaal *et al.*, 2006; Torrez *et al.*, 2013; Liu *et al.*, 2016). A maioria dos estudos traz a grande capacidade de ajuste na área foliar específica em resposta à variação da irradiância (Valladares e Niinemets, 2008; Vitória *et al.*, 2016; Vieira *et al.*, 2021). Nestes estudos, maiores valores são observados para os indivíduos sombreados, resultando em folhas mais finas (com menor investimento em espessura foliar) e que agem como um “modelo de equilíbrio funcional”, que contribui para maximizar a captação da irradiância, que se destaca como um importante impulsionador para o crescimento das plantas (Dias *et al.*, 2018). Mesmo não havendo diferença significativa entre os indivíduos adultos das espécies para espessura foliar, *Cupania oblongifolia* e *Guarea guidonia* apresentaram menores valores para este

atributo, o que corrobora com outros estudos em que espécies no sub-bosque fechado apresentaram folhas mais finas com altas concentrações de clorofila *b* (somente para *Guarea guidonia*) com base na área foliar (Poorter e Bongers, 2006; Rossatto *et al.*, 2018; Pireda *et al.*, 2019). Investimento preferencial em captura de luz é uma estratégia importante para prosperar sob irradiância mais baixa (Poorter e Bongers, 2006; Rossatto *et al.*, 2018). Já para *Citharexylum myrianthum* e *Vitex polygama*, uma menor área foliar específica e altos valores de carotenoides (somente para *Citharexylum myrianthum*) indicam que estas espécies estão investindo em mecanismos de proteção contra as elevadas irradiâncias, uma vez que ou fazem parte do dossel ou estão em áreas ainda abertas, resultantes do alto nível de investimento na espessura do tecido, o que foi observado no presente estudo (Pinheiro *et al.*, 2017; Rossatto *et al.*, 2018).

O gráfico de ordenação (PCA) evidenciou a influência do estágio de desenvolvimento, preponderantemente a influência da irradiância (só para as plântulas), para o arranjo espacial das amostras. A distinção de dois grandes grupos (plântulas e indivíduos adultos) caracteriza os distintos padrões de resposta em relação ao crescimento e capacidade fotossintética ao longo do desenvolvimento das espécies. Apesar de ser esperado que atributos relacionados ao crescimento possam promover a distinção de grupos em função dos estádios de desenvolvimento, o mesmo era esperado em relação aos atributos fotoquímicos e a promoção da distinção entre diferentes tratamentos de irradiância. Vieira *et al.* (2015) trabalhando com atributos anatômicos e fotossintéticos em plântulas e indivíduos jovens de *Siparuna guianensis* em gradiente de luz, observaram a formação de grupos em função das condições de irradiância preponderantemente ao estágio de desenvolvimento. Isto reforça a influência dos parâmetros de crescimento no arranjo espacial do presente trabalho. Este arranjo também não se mostrou espécie-dependente nem dentro do grupo das plântulas, nem no grupo dos indivíduos adultos. Os resultados corroboram o desempenho de espécies de estágios iniciais de sucessão na literatura, evidenciado pela capacidade de crescimento e desenvolvimento sob irradiância direta (Maciel *et al.*, 2003; Gandolfi *et al.*, 2009). A não verificação da formação de grupos interespecíficos sugere que a seleção de atributos (crescimento e fotoquímicos) na área de restauração esteja sendo coordenada pelas variáveis ambientais e ontogenéticas (Kitajima, 1994; Montgomery, 2004).

## 7. CONCLUSÃO

Conforme observado neste estudo, o estágio de desenvolvimento e a condição ambiental (tratamentos de irradiância para as plântulas; sub-bosque ou dossel para os adultos) influenciam os distintos desempenhos das espécies em área de restauração. Os indivíduos adultos apresentaram comportamentos mais próximos a uma planta saudável do que as plântulas, provavelmente pelo tempo de aclimação ao qual já estiveram expostos, demonstrando que as plântulas apesar de apresentarem grande potencial aclimatativo, são o estágio mais vulnerável e frágil do desenvolvimento.

Observamos também que na seleção de espécies, é importante levar em consideração como cada uma irá influenciar no funcionamento do ambiente ao longo dos anos, pois apesar de pertencerem ao grupo de espécies iniciais de sucessão as mesmas se desenvolveram em áreas com diferentes irradiâncias, com *Citharexylum myrianthum* e *Vitex polygama* na área de maior irradiância, e *Cupania oblongifolia* e *Guarea guidonia* no sub-bosque. Com isso, sugerimos que os atributos de crescimento, morfológicos e fisiológicos devem ser levados em consideração durante a fase inicial de plantio e também ao longo dos anos, pois os mesmos funcionaram como indicadores de estabelecimento e estratégias de aclimação de espécies na área que está sendo restaurada. Sugerimos ainda, que no período de plantio (estágio de plântulas) leve-se em consideração estudos dessas espécies em diferentes estágios de desenvolvimento em áreas de restauração, como critério para garantir o sucesso no desempenho ao longo dos anos.

## 8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Almeida, S.M.Z *et al.* Alterações morfológicas e alocação de biomassa em plantas jovens de espécies florestais sob diferentes condições de sombreamento. *Ciência Rural* 35:62–68. 2006.
- Almeida, D.S. Histórico e tendências atuais da recuperação ambiental. In: *Recuperação ambiental da Mata Atlântica* [online]. 3 ed. rev. andenl. Ilhéus, BA: Editus, p. 18-21, 2016.
- Amaral, W.A.N. *et al.* Frutification and germination ecology of *Citharexylum myrianthum* Cham (Verbenaceae). *J. Biotec. Biodivers.* v. 4, N.3, p.207-215. 2013.
- Andrade, A. C. S. *et al.* Flooding effects in seedlings of *Cytherexylum myrianthum* Cham. and *Genipa americana* L.: responses of two neotropical lowland tree species. *Revista Brasileira de Botânica*, São Paulo, V.22, n.2. p. 281-285, out. 1999.
- Alvarenga, A.A. *et al.* Effects of different light levels on the initial growth and photosynthesis of *Croton urucurana* Baill. In southeastern Brazil. *Revista Árvore*, Viçosa, v. 27, n. 1, p. 53-57, 2003.
- Aronson, J. *et al.* On the need to select an ecosystem of reference, However imperfect: A reply to Pickett e Parker. *Restoration Ecology*, v.3, n.1, p.1-3, 1995.
- Baker, N.R. Chlorophyll fluorescence: A probe of photosynthesis in vivo. *Annual Review of Plant Biology*, Palo Alto, v. 59, p. 89-113, 2008.
- Bazzaz, F. A.; Pickett, S. T. A. Physiological ecology of tropical succession: a comparative review. *Annual review of ecology and Systematics*. 11:287-310, 1980.
- Bellard, Céline *et al.* Vulnerability of biodiversity hotspots to global change. *Global Ecology And Biogeography*; v. 23, n. 12, p.1376-1386, 13 set. 2014. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1111/geb.12228>.



- Bellotto, A. *et al.* Fase 1: Restauração fundamentada no plantio de árvores, sem critérios ecológicos para a escolha e combinação das espécies. In: RODRIGUES, R.R. (Ed). Pacto pela restauração da mata atlântica: referencial dos conceitos e ações de restauração florestal. 2ª ed. São Paulo: LERF/ESALQ - Instituto BioAtlântica, p. 15-17, 2009.
- Beneragama, C.K. Goto, K. Chlorophyll a: b Ratio Increases Under Low-light in 'Shade- tolerant' *Euglena gracilis*. Tropical Agricultural Research Vol. 22 (1): 12– 25. 2010.
- Bfg. Growing knowledge: an overview of Seed Plant diversity in Brazil. Rodriguésia, v.66, n.4, p.1085-1113. 2015. (<https://doi.org/10.1590/2175-7860201566411>).
- Bfg. Brazilian Flora: Innovation and collaboration to meet Target 1 of the Global Strategy for Plant Conservation (GSPC). Rodriguésia, v.69, n.4, p.1513-1527. 2018. (<https://doi.org/10.1590/2175-7860201869402>).
- Bfg. Brazilian Flora: Leveraging the power of a collaborative scientific network. Taxon. 2021. (<https://doi.org/10.1002/tax.12640>).
- Bolhàr-nordenkampf, H.R. *et al.* Chlorophyll fluorescence as probe of the photosynthetic competence of leaves in the field: a review of current instrument. Functional Ecology. 3:497-514.1989.
- Brançalion, P.H.S. *et al.* Fase 2: plantio de árvores nativas brasileiras fundamentada na sucessão florestal. In: RODRIGUES, R.R. (Ed). Pacto pela restauração da mata atlântica: referencial dos conceitos e ações de restauração florestal. 2ª ed. São Paulo: LERF/ESALQ – Instituto Bio Atlântica, p. 18- 27, 2009.
- Brançalion, Pedro Henrique S. *et al.* Instrumentos legais podem contribuir para a restauração de florestas tropicais biodiversas. Revista árvore, viçosa, v. 34, n. 3, p.455-470, 2010.
- Brançalion, P. H. S. *et al.* Restauração Florestal. São Paulo: Oficina de Textos, 2015.
- Budowski, G. The distinction between old secondary and climax species in tropical Central American lowland forests. Tropical Ecology, n. 11, p. 44-48, 1970.

- Calzavara, A.K., *et al.* Photosynthetic light-response curves of light-demanding and shade-tolerant seedlings of neotropical tree species. – *Photosynthetica* 57: 470-474, 2019.
- Carvalho, Francisco D'albertas Gomes de. A abundância de plantas adultas reflete a abundância de plantas jovens em uma comunidade de restinga arbustiva? *Ecologia da Mata Atlântica*, São Paulo, p. 01-04, 2013.
- Casa da moeda do brasil: Relatório de atividades. Acácia amarela produção de mudas e consultoria ambiental ltda. Seropédica, Rio de Janeiro: Teste, 2015. 21 p.
- Castro, Lorena Egidio de. *et al.* Increased growth of *Araucaria angustifolia* under warm conditions is unaccompanied by increased photosynthetic performance. *Trees*, v. 31, n. 4, p. 1355-1365, 22 abr. 2017. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s00468-017-1553-3>.
- Chaloub, R.M. *et al.* Propriedades fotossintéticas de três algas marinhas brasileiras. *Rev. Brás. Botânica*, 33, pp. 371-374, 2010.
- Chaves, A.R.M. *et al.* Seasonal changes in photoprotective mechanisms of leaves from shaded and unshaded field-grown coffee (*Coffea arabica* L.) trees. *Trees*. 22: 351- 361, 2008.
- Clewell, A. F.; Aronson, J. *Ecological restoration: principles, values, and structure of an emerging profession*. Washington: Island Press, 2007.
- Cooke, S.J.; Suski, C.D. *Ecological restoration and physiology: an overdue integration*. *BioScience*, Cary, v. 58, p. 957–968, 2008.
- Costa, Naiara AraÚjo da. Respostas ecofisiológicas e bioquímicas da erva-sal (*Atriplex nummularia* Lindl.) AO ESTRESSE SALINO. 2014. 93 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Agroecossistemas, Ciências, Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão - Se, 2014.
- Demmig-adams, B. *et al.* Using chlorophyll fluorescence to access the fraction of absorbed light allocated to thermal dissipation of excess excitation. *Physiologia Plantarum*, 98, 253-264, 1996.

- Denslow, J. S. Gap portioning among tropical forest trees. *Biotropica*. 12:47-55, 1980.
- Dias, D.P.; Marengo, R.A. Fotossíntese e fotoinibição em mogno e acariquara em função da luminosidade e temperatura foliar. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. 42: 305-311, 2007.
- Dias, A.N. *et al.* Respostas de aclimação de mudas de macaúba a ambientes de luz contrastantes. *Representante Científico* 8, 15300 2018. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-33553-1>.
- Dos Anjos, L. *et al.* Fluorescence imaging of light acclimation of brazilian atlantic forest tree species. *Photosynthetica*. (Praha)JCR, v. 50, p. 10.1007/s11099, 2012.
- Ehleringer, J.R.; Sandquist, D.R. Ecophysiological constraints on plant responses in a restoration setting. In: Falk, D.A.; Palmer, M.; , J.B.(eds), *Foundations of Restoration Ecology*. New York: Island Press, p. 42–58, 2006.
- Einhorn, K.S. *et al.* Photoinhibition in seedlings of *Fraxinus* and *Fagus* under natural light conditions: implications for forest regeneration? *Oecologia*, 140, pp. 241-251, 10.1007/s00442-004-1591-6, 2014.
- Evaristo, V.T. *et al.* Atlantic Forest regeneration in abandoned plantations of eucalypt (*Corymbia citriodora*) in Rio de Janeiro, Brazil. *Interciencia*. 36: 431-436. 2011.
- Feng, L. *et al.* The influence of light intensity and leaf movement on photosynthesis characteristics and carbon balance of soybean. *Frontiers in plant science*, 9, 1952, 2019.
- Ferrucci, M.S. *et al.* *Cupania*. In: Somner, G.V. (coord.) *Sapindaceae*, 2009. São Paulo: Instituto de Botânica, Fapesp/Imprensa Oficial.
- Flores, T.B. *Meliaceae* in *Flora do Brasil*. Jardim Botânico do Rio de Janeiro, 2020. (<https://floradobrasil2020.jbrj.gov.br/FB9995>).
- França, F. *Vitex* in *Flora do Brasil 2020*. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. (<https://floradobrasil2020.jbrj.gov.br/FB8371>).
- Fundação SOS Mata Atlântica. Relatório Anual 2018. 35p.

- Galvão, Antonio Paulo Mendes; Medeiros, Antonio Carlos de Souza. Restauração da Mata Atlântica em áreas de sua primitiva ocorrência natural. Colombo, Pr: Embrapa Florestas, 134 p., 2002.
- Genty, B. *et al.* The relationship between the quantum yield of photosynthetic electron transport and quenching of chlorophyll fluorescence. *Biochim. Biophys. Acta – Gen. Subj.* 990, 87–92. 1989.
- Gogosz, A.M. *et al.* Morfoanatomia da plântula de *Campomanesia xanthocarpa* O. Berg. (Myrtaceae). *Acta Botanica Brasilica*, São Paulo, v. 24, n. 3, p. 613-623. 2010.
- Gomes, Iane Barroncas. Respostas ecofisiológicas de plantas jovens de *Bertholletia excelsa* Bonpl. submetidas à fertilização em plantio homogêneo iane. 2012. 59 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciências em Florestas Tropicais, Manejo Florestal e Silvicultura, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia Programa de Pós-graduação em Ciências de Florestas Tropicais, Manaus - Am, 2012.
- Gomes, Marcos Thiago Gaudio. Caracterização fotossintética de três espécies arbóreas da mata atlântica submetidas a diferentes intensidades lumínicas. 2017. 81 f. Tese (Doutorado) - Curso de Biologia Vegetal, Fisiologia Vegetal, Universidade Federal do Espírito Santo Centro de Ciências Humanas e Naturais Programa de Pós-graduação em Biologia Vegetal, Vitória, 2017.
- Gonçalves, J.F.C. *et al.* Energetic flux and performance index in copaiba (*Copaifera multijuga* Hayne) and mahogany (*Swietenia macrophylla* King) seedlings under two irradiance environments. *Brazilian Journal Plant Physiology.* 19:171-184, 2007.
- González-cruz, J.; Pastenes, C. Water-stress-induced thermotolerance of photosynthesis in bean (*Phaseolus vulgaris* L.) plants: The possible involvement of lipid composition and xanthophyll cycle pigments. *Environmental and experimental botany*, v. 77, n. 1, p. 127-140, 2012.
- Guerra, A. *et al.* Ecological restoration in Brazilian biomes: Identifying advances and gaps. *Forest Ecology and Management*, v. 458, 2020.

- Gurevitch, J. *et al.* The ecology of plants. Sinauer Associates Incorporation, Massachusetts, 2006.
- Hammer, Ø. PAST: Paleontological Statistics, 2001.
- Harley, R. *et al.* Lamiaceae in Lista de Espécies da Flora do Brasil. Jardim Botânico do Rio de Janeiro, 2015. (<http://floradobrasil2015.jbrj.gov.br/FB8371>).
- Hoffmann, W. A.; Franco, A. C. Comparative growth analysis of tropical forest and savanna woody plants using phylogenetically independent contrasts. *Journal of Ecology* 91:475–484, 2003.
- IBGE – Instituto Brasileiro de geografia e estatística. Manual técnico de vegetação brasileira. IBGE, v.2, n.1, p. 271, 2012.
- ICMBIO - Instituto Chico Mendes de Biodiversidade/ Ministério de Meio Ambiente ICMBio/MMA. Plano de Manejo Reserva Biológica União – Encarte 4 Planejamento. Reserva Biológica União. Rio das Ostras. 222p. 2008.
- Kageyama, P.Y *et al.* Biodiversidade e restauração da floresta tropical. In: KAGEYAMA, P.Y.; OLIVEIRA, R.E.; MORAES, L.F.D.; ENGEL, V.L.; GANDARA, F.B. (Org.) Restauração ecológica de ecossistemas naturais. Botucatu: Editora Fepaf, p.28-48, 2003.
- Kageyama, P.; GANDARA, F.B. Recuperação de áreas ciliares. In: RODRIGUES, R.R. e LEITÃO FILHO, H.F., eds. Matas ciliares: Conservação e recuperação. 2.ed. São Paulo, Universidade de São Paulo, FAPESP, p.249-269. 2004.
- Kellerman, Betina *et al.* Morfoanatomia da plântula e comparação da folha nas fases juvenis e adulta de *Piptocarpha angustifolia* (Asteraceae). *Rodriguésia, Paraná*, v. 67, n. 3, p.627-638, set. 2016. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/2175-7860201667307>.
- Kitajima, K. Relative importance of photosynthetic traits and allocation patterns as correlates of seedling shade tolerance of 13 tropical trees. *Oecologia*, 98, 419–428.1994.
- Kitajima, K.; Poorter. Functional basis for resource niche partitioning by tropical trees. *Tropical Forest Community Ecology*, Blackwell Science, Pp. 161-181.2008.

- Khalid, M. *et al.* Effect of shade treatments on morphology, photosynthetic and chlorophyll fluorescence characteristics of soybeans (*Glycine max* L. Merr.). *Applied Ecology and Environmental Research*, 17(2), 2551-2569, 2019.
- Kouril, *et al.* High-light vs. low-light: effect of light acclimation on photosystem II composition and organization in *Arabidopsis thaliana*. *Biochim. Biophys. Acta*, 1827, pp. 411-419, 10.1016/j.bbabi.2012.12.003, 2013.
- Kottek, M. *et al.* World map of the Köppen-Geiger climate classification updated. *Meteorologische Zeitschrift* 15:259–263, 2006.
- Krause, G.H.; Weis, E. Chlorophyll fluorescence and photosynthesis: The basics. *Annual Review Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, 42:313-350. 1981.
- Kunstler, G. Plant functional traits have globally consistent effects on competition. *Nature* 529: 204–207.2016.
- Lage-pinto, F. *et al.* Photosynthetic analyses of two native Atlantic Forest species in regenerative understory of eucalyptus plantation. *Braz. J. Plant Physiol.*, 24(2): 95-106, 2012.
- Lavinsky, A.O *et al.* Photosynthetic acclimation in shade-developed leaves of *Euterpe edulis* Mart (Arecaceae) after long-term exposure to high light *Photosynthetica*, 52, pp. 351-357, 10.1007/s11099-014-0038-5, 2014.
- Lima, Marllós S. de *et al.* Use of physiological attributes to select native forest species for forest restoration in the southern Atlantic Forest biome, Brazil. *Forest Ecology and Management*, v. 501, p. 119659, dez. 2021. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foreco.2021.119659>
- Liu, Yanjie *et al.* Does greater specific leaf area plasticity help plants to maintain a high performance when shaded? *Annals Of Botany*, v. 118, n. 7, p. 1329-1336, 4 set. 2016. Oxford University Press (OUP). <http://dx.doi.org/10.1093/aob/mcw180>.
- Longhi, Solon Jonas *et al.* Classificação e caracterização de estágios sucessionais em remanescentes de floresta ombrófila mista na flona de são francisco de

paula, rs, brasil. *Ciência Florestal*, Santa Maria, v. 16, n. 2, p.113-125, 16 nov. 2005.

Lopes, Jussara de Souza *et al.* Functional traits associated to photosynthetic plasticity of young Brazil nut (*Bertholletia excelsa*) plants. *Flora*, v. 258, p. 151446, set. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.flora.2019.151446>, 2019.

Lorenzi, H. *Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil*. 2. ed: Nova Odessa: Plantarum, 1992.

Lüttge, U. *Physiological Ecology of Tropical Plants*. Pp. 458. Springer-Verlag, Berlin 2008.

Martínez-Ferri, E. *et al.* Winter photoinhibition in the field involves different process in four co-occurring Mediterranean tree species. *Tree Physiology* 24: 981-990, 2004.

Meirelles, R.O. *Desenvolvimento inicial da vegetação nos sistemas de plantio de mudas e indução da regeneração natural em áreas de recuperação nambiental no projeto Ferro Carajás*. Dissertação (Mestrado Profissional Uso Sustentável de Recursos Naturais em Regiões Tropicais) - (mestrado) – Instituto Tecnológico Vale, Belém - PA, 52 f., 2016.

Meravi, N.; Prajapati, S.K. Temporal variation in chlorophyll fluorescence of different tree species. *Biological Rhythm Research*, 1-7, 2018.

Mishanin, V. *et al.* Light acclimation of shade-tolerant and light-resistant *Tradescantia* species: induction of chlorophyll *a* fluorescence and P700 photooxidation, expression of PsbS and Lhcb1 proteins *Photosynth. Res.*, 130, pp. 275-291, 10.1007/s11120-016-0252-z, 2016.

Mittermeier, R.A. *et al.* Global biodiversity conservation: the critical role of hotspots. In: Zachos, F.E., Habel, J.C. (Eds.), *Biodiversity Hotspots: Distribution and Protection of Priority Conservation Areas*. Springer-Verlag, Berlin, p. 3–22, 2011.

Modolo, Guilherme Silva; *et al.* Testing for functional significance of traits: effect of the light environment in tropical tree saplings. *Ecology And Evolution*, v. 11, n. 11, p. 6480-6492, 2 abr. 2021. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1002/ece3.7499>.

- Montgomery, R. Relative importance of photosynthetic physiology and biomass allocation for tree seedling growth across a broad light gradient. *Tree Physiology* 24, 155–167, 2004.
- Moraes, L.F.D. de *et al.* Manual técnico para a restauração de áreas degradadas no estado do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro: Jardim Botânico do Rio de Janeiro, 2013.
- Müller, P. *et al.* Non-photochemical quenching. A response to excess light energy. *Plant physiology*, 125(4), 1558-1566, 2001.
- Münzbergová, Z. *et al.* Plant Origin, but Not Phylogeny, Drive Species Ecophysiological Response to Projected Climate. *Frontiers in Plant Science*, 11. doi:10.3389/fpls. 2020.
- Myers, N. *et al.* Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature*, 403(67772): 853-845.2000.
- Naeem, S. Biodiversity and ecosystem functioning in restored ecosystems: extracting principals for a synthetic perspective. In: FALK, D.A. *et al.* (Ed.). *Foundations of restoration ecology: the science and practice of ecological restoration*. New York: Island Press, p. 210-237, 2006.
- Nery, F. C. *et al.* Initial development and gas exchange of *Talisia subalbans* (Mart.) radlk. under different shading conditions. *Revista Árvore*, v.35, n.1, p.61-67, 2011.
- O'leary, N., Thode, V.A. *Citharexylum* in Flora do Brasil 2020. Jardim Botânico do Rio de Janeiro, 2020. (<https://floradobrasil2020.jbrj.gov.br/FB15134>).
- Oliveira, Denise Maria Trombert. Morfologia de plântulas e plantas jovens de 30 espécies arbóreas de leguminosaei. *Acta. Botânica Brasileira*, Botucatu - Sp, v. 13, n. 3, p.263-269, 28 jan. 1999.
- Oliveira, Rodrigo Minici de. Desempenho ecofisiológico de mudas de *Euterpe edulis* Martius de diferentes estádios de desenvolvimento e implicações para a restauração ecológica. 2015. 98 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciência Florestal, Faculdade de Ciências Agrônômicas da Unesp, Botucatu - Sp, 2015.



- Osorio, J. *et al.* Water deficits are more important in delaying growth than in changing patterns of carbon allocation in *Eucalyptus globulus*. *Tree Physiology*, Victoria, v. 18, p. 363–373, 1998.
- Paula, Sandro Mayrink *et al.* DESEMPENHO FOTOSSINTÉTICO DE FOLHAS JOVENS E MADURAS DE *Vochysia cinnamomea* (Vochysiaceae) EM ÁREAS DE CERRADO RUPESTRE INTACTAS E PÓS-QUEIMADA. *Biosci. J.*, Uberlândia-mg, v. 31, n. 2, p. 591-600, 05 set. 2014.
- Paula, S.M. *et al.* Chlorophyll fluorescence and initial growth of two liana species, *Cuspidaria sceptrum* (Cham.) L.G. Lohmann and *Fridericia florida* (DC) L.G. Lohmann, under changes of natural light conditions. – *Photosynthetica* 57: 170-180, 2019.
- Pellizzari, Elena *et al.* Wood anatomy and carbon-isotope discrimination support long-term hydraulic deterioration as a major cause of drought-induced dieback. *Global Change Biology*, v. 22, n. 6, p. 2125-2137, 7 mar. 2016. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1111/gcb.13227>.
- Pennington, T.D; Clarkson, J.J. A revision of *Guarea* (Meliaceae). *Edinburgh Journal of Botany*, 70(2): 179-362, 2013.
- Pireda, S. *et al.* Acclimatization capacity of leaf traits of species co-occurring in restinga and seasonal semideciduous forest ecosystems. *Environmental and Experimental Botany*, 164(2019), 190-202, 2019.
- Plano de Manejo Rebio União. Plano de recuperação ambiental das áreas ocupadas por eucaliptais na Reserva Biológica União, RJ. Rio das Ostras. 2007.
- Poorter, L.; Bongers, F. Leaf traits are good predictors of plant performance across 53 rain forest species, *Ecology*, 87, pp. 1733-1743, 2006.
- Poorter, Lourens *et al.* Can traits predict individual growth performance? A test in a hyperdiverse tropical forest. *New Phytologist*, v. 219, n. 1, p. 109-121, 18 maio 2018. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1111/nph.15206>.
- Rezende, C.I. *et al.* From hotspot to hopespot: An opportunity for the Brazilian Atlantic Forest. *Perspectives In Ecology and Conservation*, Rio de Janeiro, v.

16, n. 4, p.208-214, out. Elsevier BV.  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.pecon.2018.10.002>, 2018.

Ribeiro, R.V. *et al.* Photosynthetic responses of tropical tree species from different successional groups under contrasting irradiance conditions. *Rev. Bras. Bot.*, 28, pp. 149-161, 10.1590/S0100-84042005000100012,2005.

Rodrigues, R.R.; Gandolfi, S. Conceitos, tendências e ações para recuperação de florestas ciliares. In: RODRIGUES, R. R.; LEITÃO-FILHO, H. de F. (eds.). *Matas ciliares: conservação e recuperação*. São Paulo: EDUSP. p. 235-247,2004.

Rosado, B.H.P. *et al.* Going Back to Basics: Importance of Ecophysiology when Choosing Functional Traits for Studying Communities and Ecosystems. *Natureza & Conservação* 11(1):15-22, 2013.

Rossatto, Davi Rodrigo *et al.* Photosynthetic responses of understory savanna plants: implications for plant persistence in savannas under tree encroachment. *Flora*, v. 240, p. 34-39, mar. 2018. Elsevier BV.  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.flora.2017.12.009>.

Rozendaal, D.M.A. *et al.* Plasticity in leaf traits of 38 tropical tree species in response to light; relationships with light demand and adult stature. *Functional Ecology* 20(1): p. 207–216. 2006. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2435.2006.01105.x>.

Ruban, A.V. The photoprotective molecular switch in the photosystem II antenna. *Biochimica et Biophysica Acta*, Amsterdam, v. 1817, p. 167–181, 2011.

Sano, Bruno. Relação entre características funcionais e o desempenho de espécies arbóreas nativas em um plantio de restauração. Dissertação (Mestrado em Ecologia: Ecossistemas Terrestres e Aquáticos) - Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2016. doi: 10.11606/D.41.2017.tde-13122016-094737.

Santos, Ulysses Moreira dos; *et al.* efficiency in tropical tree species planted in degraded areas in central Amazonia. *Forest Ecology and Management*, v. 226, n. 1-3, p. 299-309, maio 2006. Elsevier BV.  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.foreco.2006.01.042>.

- Santos, Victor Alexandre Hardt Ferreira dos *et al.* Fluorescence parameters among leaf photosynthesis-related traits are the best proxies for CO<sub>2</sub> assimilation in Central Amazon trees. *Brazilian Journal of Botany*, v. 42, n. 2, p. 239-247, 21 maio 2019. SpringerBO Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s40415-019-00533-2>.
- Scalon, S.P.Q. *et al.* Crescimento inicial de mudas de espécies florestais nativas sob diferentes níveis de sombreamento. *Revista Árvore*, 26(1):1-5, 2002.
- Scalon, S.P.Q. *et al.* Crescimento inicial de mudas de *Bombacopsis glabra* (Pasq.) A. Robyns sob condição de sombreamento. *Revista Árvore*, v. 27, n. 6, p. 753-758, 2003.
- Shafiq, Iram *et al.* Crop photosynthetic response to light quality and light intensity. *Journal Of Integrative Agriculture*, v. 20, n. 1, p. 4-23, jan. 2021. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/s2095-3119\(20\)63227-0](http://dx.doi.org/10.1016/s2095-3119(20)63227-0).
- Schulze, E.D. *et al.* *Plant ecology*. Ed. Springer Berlin/Heidelberg. 702p, 2005.
- Seri - Society for Ecological Restoration International Science and Policy Working Group. *The SER primer in ecological restoration*. Society for Ecological Restoration International, Tucson, v.2, pp. 1-15, 2004.
- Silva, B.M. *et al.* Efeito da luz no crescimento de mudas de *Hymenaea parvifolia* Huber. *Revista Árvore*, v. 31, n. 6, p. 1019-1026, 2007.
- Silva, A.S. *et al.* Photosynthetic performance and anatomical adaptations in *Byrsonima sericea* DC. under contrasting light conditions in a remnant of the Atlantic Forest. *Braz. J. Plant. Physiol.* 22:245-254. 2010.
- Somner, G.V. *et al.* *Cupania* in Lista de Espécies da Flora do Brasil, 2015. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. (<http://floradobrasil2015.jbrj.gov.br/FB20894>).
- Stefano, M.V. *et al.* *Meliaceae* in Lista de Espécies da Flora do Brasil, 2015. Jardim Botânico do Rio de Janeiro (<http://floradobrasil2015.jbrj.gov.br/FB9995>).
- Swaine, M.D.; whitmore, T.C. On the definition of ecological species groups in tropical rain forests. *Vegetation*, v. 75, p. 81-86, 1988.

- Taiz, L. *et al.* Fisiologia e desenvolvimento vegetal. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017. 888 p.
- Teixeira, MILENA CARVALHO *et al.* Ultrastructural and functional chloroplast changes promoting photoacclimation after forest management in a tropical secondary forest. *Forest Ecology and Management*, v. 428, p. 27-34, 2018.
- Thode, V., França, F. *Citharexylum* in Lista de Espécies da Flora do Brasil. Jardim Botânico do Rio de Janeiro, 2015. (<http://floradobrasil2015.jbrj.gov.br/FB15134>)
- Tomlinson, K.W. *et al.* Biomass partitioning and root morphology of savanna trees across a water gradient. *Journal of Ecology* 1–9, 2012.
- Torrez, V. *et al.* Specific leaf area: a predictive model using dried samples. *Australian Journal of Botany* 61: 350–357. 2013.
- Valladares, F. *et al.* Plastic phenotypic response to light of 16 congeneric shrubs from a Panamanian rainforest. *Ecology*, vol. 81, no. 7, p. 1925-1936, 2000.
- Valladares, F.; Niinemets, Ü. Shade tolerance, a key plant feature of complex nature and consequences. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics* 39, 237-257, 2008.
- Van kooten, O.; Snel, J.F.H. The use of chlorophyll fluorescence nomenclature in plant stress physiology. *Photosynth. Res.* 25, 147-150, 1990.
- Venables, W.N.; Ripley, B.D. *Modern Applied Statistics with S*, Fourth edition. Springer, New York. ISBN 0-387-95457-0, <http://www.stats.ox.ac.uk/pub/MASS>, 2002.
- Vieira, D.L.M. *et al.* Tropical dry-forest regeneration from root suckers in Central Brazil. *Journal of Tropical Ecology* 22:353–357, 2006.
- Vieira, Tatiane de Oliveira *et al.* Photoacclimation capacity in seedling and sapling of *Siparuna guianensis* (Siparunaceae): Response to irradiance gradient in tropical forest. *Photosynthetica (Praha)*, v. 53, p. pp 11-22, 2015.
- Vieira, T.O. *et al.* Species-specific performance and trade-off between growth and survival in the early-successional light-demanding group. *Photosynthetica*,

- Campos dos Goytacazes - Rj, v. 59, n. 1, p. 203-214, 18 mar. 2021. Institute of Experimental Botany. <http://dx.doi.org/10.32615/ps.2021.013>.
- Vitória, A.P. *et al.* Using leaf  $\delta^{13}\text{C}$  and photosynthetic parameters to understand acclimation to irradiance and leaf age effects during tropical forest regeneration. *Forest Ecology and Management*, Volume 379, 1 November 2016, Pages 50-60.
- Walteri, Lidiane Cristine *et al.* Mecanismos de aclimatação das plantas à elevada concentração de CO<sub>2</sub>. *Ciência Rural*, Santa Maria, Rs, v. 45, n. 9, p. 1564-1571, 24 abr. 2015.
- Wang, Haoyun *et al.* Morphological and Physiological Responses of *Pinus massoniana* Seedlings to Different Light Gradients. *Forests*, v. 12, n. 5, p. 523, 24 abr. 2021. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/f12050523>.
- Wellburn, A.R. The spectral determination of chlorophylls a and b, as well as total carotenoids, using various solvents with spectrophotometers of different resolution. *J. Plant Physiol.* 144 (3), 307-313. 1994.
- Westboy, M. *et al.* Plant ecological strategies: some leading dimensions of variaion between species. *Ann. Ver. Ecol. Syst.* 33: 125-59. 2002.
- Wright, J. *et al.* The worldwide leaf economics spectrum. *Nature*, 428, 821-827.2004.
- Wright, J. *et al.* Restoring biodiversity and ecosystem function: will an integrated approach improve results? In: NAEEM, S. *et al.* (Ed.). *Biodiversity, ecosystem functioning and human wellbeing*. Oxford: Oxford University Press, p. 167-177, 2009.
- Wright, J. *et al.* Functional traits and the growth-mortality trade-off in tropical trees. *Ecology* 91:3664–3674.2010.
- Wu, Y.S. *et al.* Shading of mature leaves systemically regulates photosynthesis and leaf area of new developing leaves via hormones. *Photosynthetica*, v. 57, n. 1, p. 303-310, 30 jan. 2019. Institute of Experimental Botany. <http://dx.doi.org/10.32615/ps.2019.021>.

**Apêndice 1.** Média  $\pm$  desvio padrão do crescimento absoluto em altura e diâmetro a altura do solo (DAS) da população da *Citharexylum myrianthum*, *Vitex polygama*, *Cupania oblongifolia* e *Guarea guidonia* para os indivíduos adultos a depender das plântulas (tempo zero). Letras maiúsculas comparam entre as espécies (n=10) (Teste de Tukey,  $p \leq 0.05$ ).

Atributo	<i>Citharexylum myrianthum</i>	<i>Vitex polygama</i>	<i>Cupania oblongifolia</i>	<i>Guarea guidonia</i>
Altura (m)	2,8 $\pm$ 1,6 <sup>A</sup>	2,3 $\pm$ 1,2 <sup>A</sup>	3,1 $\pm$ 0,7 <sup>A</sup>	2,8 $\pm$ 1,6 <sup>A</sup>
DAS (cm)	2,3 $\pm$ 1,2 <sup>AB</sup>	3,6 $\pm$ 2,0 <sup>A</sup>	1,9 $\pm$ 0,9 <sup>B</sup>	4,1 $\pm$ 2,3 <sup>A</sup>

**Apêndice 2.** Média  $\pm$  desvio padrão do valor final em altura e diâmetro a altura do solo (DAS) da população da *Citharexylum myrianthum*, *Vitex polygama*, *Cupania oblongifolia* e *Guarea guidonia* para os indivíduos adultos. Letras maiúsculas comparam as espécies entre si (n=10) (Teste de Tukey,  $p \leq 0.05$ ).

Atributo	<i>Citharexylum myrianthum</i>	<i>Vitex polygama</i>	<i>Cupania oblongifolia</i>	<i>Guarea guidonia</i>
Altura (m)	3,3 $\pm$ 1,8 <sup>A</sup>	2,6 $\pm$ 1,3 <sup>A</sup>	3,4 $\pm$ 0,7 <sup>A</sup>	3,1 $\pm$ 1,3 <sup>A</sup>
DAS (cm)	5,3 $\pm$ 3,3 <sup>AB</sup>	5,4 $\pm$ 2,6 <sup>AB</sup>	3,7 $\pm$ 0,9 <sup>B</sup>	6,0 $\pm$ 2,9 <sup>A</sup>

**Apêndice 3.** Análise de variância (ANOVA One -way). As médias foram comparadas pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ) para os valores médios do rendimento quântico máximo do Fotossistema II (Fv/Fm), coeficiente de dissipação fotoquímico (qP), e coeficiente de dissipação não fotoquímico (NPQ) no estágio de plântula no tempo zero (fevereiro de 2015), seis meses sol e sombra (setembro 2015), e estágio adulto (seis anos), para a população da *Citharexylum myrianthum*, *Vitex polygama*, *Cupania oblongifolia*, e *Guarea guidonia*. Letras maiúsculas comparam os estádios no mesmo horário do dia, e letras minúsculas comparam os horários dentro do mesmo estágio (n=5).

Estádio	Hora do dia	<i>Citharexylum myrianthum</i>			<i>Vitex polygama</i>			<i>Cupania oblongifolia</i>			<i>Guarea guidonia</i>		
		Fv/Fm	qP	NPQ	Fv/Fm	qP	NPQ	Fv/Fm	qP	NPQ	Fv/Fm	qP	NPQ
Plântula Tempo zero	7h	Ca	Bab	Aa	Ba	Aa	Aab	Aa	Aa	Aa	Ba	ABa	Aab
	12h	Bb	Bb	Aa	BCa	Aa	Aa	Bb	Aa	Aa	Aa	ABa	Aa
	16h	Cb	ABa	Ba	Ba	Aa	Bb	Bb	Aa	ABa	Aa	Aa	Bb
Plântula 6 meses sol	7h	BCa	ABa	Aa	Ba	Aa	Aa	Ba	Ab	Aa	Aa	Aa	Aa
	12h	Bb	ABa	Aa	Cb	Aa	Ba	Ba	Aa	Aa	Ab	Aa	Ba
	16h	Ba	ABa	ABa	Ba	Aa	Ba	Ba	Ac	Aa	Ab	Bb	Ba
Plântula 6 meses sombra	7h	ABab	Aa	Aa	Aa	Aa	Aa	Aa	Aa	Aa	ABa	ABa	Aab
	12h	ABb	ABa	Aa	ABa	Aa	Aa	Aa	Aa	Aa	Aa	ABa	Aa
	16h	Aa	Aa	ABa	ABa	Aa	Aa	Bb	Aa	Aa	Aa	Aa	Bb
Adulto	7h	Aa	Aa	Aa	Aa	Aa	Ab	Aa	Aa	Aa	Aa	Ba	Ab
	12h	Aa	Aa	Aa	Aa	Aa	Ab	Aa	Aa	Aa	Aa	Ba	Ab
	16h	ABa	Ba	Aa	Aa	Aa	Aa	Aa	Aa	Ba	Aa	Ba	Aa