

Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”

O manejo do ambiente luminoso em sistemas agroflorestais de usos múltiplos

Kenia Fernanda Aguiar Santos

Dissertação apresentada para obtenção do título de
Mestra em Ciências, Programa: Recursos Florestais. Opção
em: Silvicultura e Manejo Florestal

Piracicaba
2022

Kenia Fernanda Aguiar Santos
Engenheira Agrônoma

O manejo do ambiente luminoso em sistemas agroflorestais de usos múltiplos

Orientador
Prof. Dr. **CIRO ABBUD RIGHI**

Dissertação apresentada para obtenção do título de
Mestra em Ciências, Programa: Recursos Florestais.
Opção em: Silvicultura e Manejo Florestal

Piracicaba
2022

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
DIVISÃO DE BIBLIOTECA – DIBD/ESALQ/USP

Santos, Kenia Fernanda Aguiar

O manejo do ambiente luminoso em sistemas agroflorestais de usos múltiplos / Kenia Fernanda Aguiar Santos - - Piracicaba, 2022.

145 p.

Dissertação (Mestrado) - - USP / Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz".

1. Agrofloresta 2. Espécies nativas 3. Silvicultura 4. Radiação solar 5. Recomposição florestal 6. Restauração de áreas I. Título

DEDICATÓRIA

Para minha família, minha mãe Tereza, meu pai João e minha irmã Karin. Vocês são meus exemplos de integridade, honestidade e trabalho duro. Apesar de todas as dificuldades que já passamos, das que existem e das que estão por vir, sei que podemos contar uns com os outros.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente gostaria de agradecer a pessoa sem a qual não poderia ter dado nenhum passo na construção desta pesquisa, meu orientador, *Ciro Abbud Righi*. Foram muitas conversas regadas a bons cafés, mas não tantas quantas poderiam ter sido. Foram alguns muitos puxões de orelha, mas maiores foram os momentos onde me senti acolhida, incentivada e encorajada a seguir a diante. Obrigada *Ciro*, por todo esse processo de “desorientação”, onde pude questionar minhas certezas, expandir meu olhar crítico, evoluir tecnicamente, e pensar grande, pensar diferente e acreditar que meu trabalho pode ajudar a transformar os sistemas produtivos. Que nossa amizade permaneça ao longo dos anos e que possamos ter muitos dias da árvore para celebrar.

Gostaria de agradecer à coordenação do meu programa de pós-graduação, o PPG-Recursos Florestais, por todo o suporte acadêmico oferecido. Especialmente, agradeço a *Giovana*, por ter me salvado tantas vezes, que há muito tempo já perdi as contas, certamente faltaram agradecimentos e fardos de cerveja em retribuição por tamanha prontidão e disponibilidade.

Deixo meus agradecimentos a todos os funcionários, professores e a Universidade de São Paulo, por todo apoio e infraestrutura oferecida. Especialmente à *Andréia* por todo o acolhimento e apoio emocional, ao *Jefferson*, por toda a colaboração pré e pós campo; e aos funcionários da Estação Experimental de Ciências Florestais de Itatinga, *Rildo*, *Elaine*, *Lourival* e *Dorival*, por todo suporte em campo.

Agradeço à Fundação SOS Mata Atlântica, pela doação do recurso essencial ao desenvolvimento dessa pesquisa, as mais de 2400 mudas de árvores nativas, que permitiram avançarmos sobre o entendimento do comportamento ecofisiológico das 40 espécies observadas.

Ao CNPQ pela bolsa de estudos que me permitiu dedicação exclusiva ao meu trabalho de pesquisa. Que essa entidade possa em breve recuperar todo seu orçamento e prestígio. Precisamos de todo o fomento possível ao desenvolvimento da ciência em nosso país, afinal a ciência destrói mitos.

Por todo apoio e suporte no processo de construção deste desenho experimental, meu muito obrigada ao Prof. Dr. *Hilton Thadeu*, sua notória e profunda expertise no assunto foram fundamentais para a qualidade dos dados apresentados.

Agradeço aqui, a toda a equipe do Laboratório de Ecologia, Fisiologia e Silvicultura (LEFS) por proporcionarem o melhor ambiente de trabalho que poderia ter. Obrigada Fabiana, Hellen e Luiz por todas as conversas, risadas e apoio sempre necessários. Registro aqui também meu carinho e amor pelos desorientados mais SAFados que conheci, Manuela, Gabriella, Ciro e Nina, é um enorme prazer ver pessoas tão incríveis como vocês fazendo ciência de alto nível, e lutando para que as agroflorestas ganhem cada vez mais espaço e reconhecimento.

Ao grupo Mosaico, por terem me ajudado em todas as coletas de dados, capinas e eliminação de rebrota, mas principalmente por terem me ajudado no processo de me descobrir enquanto educadora popular ambiental. Que os espaços educadores sejam cada vez mais plurais e inclusivos.

Aos meus amigos, Babilton, Lepeti e Kururu por toda boa disposição e bom humor nas coletas de dados em campo. Às rainhas da compostagem, Anna Ribeiro e Mari Maciente, por todo acolhimento e ensinamento sobre resíduos sólidos. Ao amigo e colega de turma Proveta, pelo apoio e disponibilidade desde o início dessa jornada.

Para todo amigo que chegar até aqui e que talvez busque por seu nome. Sim, estou falando diretamente com você. Ao longo desses anos, a vida me foi tão generosa, que não sei ao certo por onde e como começar a agradecer a tantos e tamanhos encontros de potência e amor, e certamente esqueceria de citar alguém. Sem dúvidas foram estes encontros e caminhadas que me permitiram manter alguma sanidade mental nesse caos coletivamente vivido. Espero que seu coração possa dizer mais sobre nossa relação do que ter seu nome aqui escrito.

Por fim, foram muitas as pessoas que contribuíram com a minha trajetória acadêmica, e certamente não foi possível agradecer a cada um de vocês nominalmente, até porque muitas vezes nossos caminhos se cruzaram sem que tenhamos tido tempo para saber o nome um do outro; me refiro a vocês trabalhadoras e trabalhadores brasileiros. Homens e mulheres, da limpeza, manutenção, segurança, profissionais da saúde, educação, agricultores e agricultoras, operários, motoristas de aplicativo, empreendedores, faz tudo; vocês que tudo produzem e que detém toda a força para que esse sistema econômico se mantenha em pé, assim como para que caia. Meu muitíssimo obrigada. Sigamos na luta.

SUMÁRIO

RESUMO	8
ABSTRACT	9
1. INTRODUÇÃO	11
2. REVISÃO DE LITERATURA	15
2.1. Luz: para além da fotossíntese	15
2.1.1. Luzes e cores da floresta	16
2.1.2. As adaptações de plantas ao ambiente luminoso	17
2.1.3. Investigando a estrutura do dossel.....	20
2.2. Silvicultura de espécies nativas brasileiras	22
2.2.1. Métricas comumente utilizadas na silvicultura	24
2.3. Sistemas Agroflorestais.....	26
2.3.1. Agrofloresta, um caminho para a restauração de ambientes degradados?	27
2.4. O uso no Eucalipto em florestas de usos múltiplos	31
3. HIPÓTESES.....	37
4. OBJETIVOS.....	39
4.1. Objetivo geral.....	39
4.2. Objetivos específicos.....	39
5. MATERIAL E MÉTODOS	41
5.1. Caracterização da área de estudo.....	41
5.2. Desenho experimental.....	42
5.2.1. Manejo e condução da área	47
5.3. Avaliações do eucalipto	49
5.3.1. Área basal e Incremento médio anual	49
5.3.2. Monitoramento do dossel	50
5.4. Monitoramento da radiação solar disponível.....	51
5.5. Avaliações das espécies nativas.....	53
5.5.1. Mortalidade	53
5.5.2. Crescimento	53
5.6. Análise dos Resultados.....	54
6. RESULTADOS E DISCUSSÃO	55

6.1. Desenvolvimento vegetativo do eucalipto e o ambiente luminoso após o desbaste ..	55
6.1.1. Incrementos de DAP e Área basal	55
6.1.2. Monitoramento do dossel	58
6.1.3. Ambiente luminoso	61
6.2. Avaliações das espécies nativas	70
6.2.1. Mortalidade	70
6.2.2. Crescimento	77
6.2.3. Plasticidade	88
7. CONSIDERAÇÕES GERAIS	99
8. CONCLUSÕES	101
REFERÊNCIAS	103
APÊNDICES	119

RESUMO

O manejo do ambiente luminoso em sistemas agroflorestais de usos múltiplos

Considerando a grande diversidade de espécies arbóreas nativas e os modestos avanços da silvicultura sobre estas em sistemas produtivos, este estudo teve como objetivo verificar as respostas de diferentes espécies nativas à variação do ambiente luminoso. Para isso, talhões de eucalipto foram desbastados, de maneira sistemática e progressiva, proporcionando diferenças gradativas nas coberturas de dossel. O experimento com quatro blocos não casualizadas era composto por cinco tratamentos, com diferentes níveis de densidade florestal, T100 - 100% do eucalipto, T75 - 75% do eucalipto, T50 - 50% do eucalipto, T33 - 33% do eucalipto e T0 – sem eucalipto/pleno sol, e três subtratamentos S1 – Pioneiras (PIO), S2 – Não pioneiras (NPIO) e S3 – Plantio misto (MIX). Para a cultura do eucalipto, foram caracterizadas o incremento médio anual e a área basal como resultados dos desbastes diferenciais em cada tratamento. O tratamento T33, em função da redução da competição, proporcionou os maiores ganhos diamétricos, 2,2 cm/ano/árvore, porém apresentou a menor área basal dada a menor densidade florestal. O monitoramento do dossel do eucalipto foi feito pelo método de fotografias hemisféricas. Maiores intensidades de desbastes, ao proporcionarem maiores espaços para o crescimento das copas, resultaram em maiores ganhos no índice de cobertura do dossel. Com o auxílio de sensores luminosos, dispostos sob as diferentes condições de cobertura vegetal, foram medidas as condições de luz presente no sub-bosque de cada tratamento. A luz disponível ao longo dos tratamentos variou de 41,01% a 91,50% da luminosidade máxima possível no início do experimento, e 35,35% a 83,41% ao final das observações. As quarenta espécies de árvores nativas brasileiras (20 espécies pioneiras e 20 não pioneiras) implantadas no sistema, e que estiveram submetidas às diferentes condições de radiação, foram avaliadas em censo para mortalidade, crescimento em altura, incremento em diâmetro do coleto e observação de respostas plásticas. Para a mortalidade observou-se um continuum de respostas, com tendências de maiores mortalidades nas condições extremas opostas de radiação, estas encontradas nos tratamentos T0 (pleno sol) e T100 (ambiente mais sombreado). O grupo das espécies pioneiras apresentou a maior plasticidade para crescimento em altura, a resposta conhecida como “síndrome de evitação de sombra” foi impulsionada pelos tratamentos T75 e T50. Os maiores ganhos diamétricos para todos os subtratamentos (PIO, NPIO e MIX) foram proporcionados pelas condições de pleno sol (T0). As espécies *Schinus terebinthifolius* (Aroeira pimenteira) e *Peltophorum dubium* (Canafístula) foram individualmente analisadas. Em função dos seus diferentes usos e potenciais econômicos, que são otimizados por diferentes condições de luz, é recomendado que *S. terebinthifolius* seja cultivada a pleno sol e *P. dubium* sombreada (aproximadamente 45% de radiação solar disponível).

Palavras-chave: Agrofloresta, Espécies nativas, Silvicultura, Radiação solar, Recomposição florestal, Restauração de áreas

ABSTRACT

The management of the light ambient in multipurpose agroforestry systems

Considering the great diversity of native tree species and the modest advances of silviculture on these when in productive systems, this study aimed to verify the responses of different native species to the variation of the light environment. For this, the eucalyptus stands were thinned systematically and progressively, providing gradual differences in the canopy cover. The experiment with four non-randomized blocks consisted of five treatments with different levels of forest density, T100 - 100% of eucalyptus, T75 - 75% of eucalyptus, T50 - 50% of eucalyptus, T33 - 33% of eucalyptus and T0 - without eucalyptus/full sun, and three sub-treatments, S1 – Pioneer (PIO), S2 – Non-pioneer (NPIO) and S3 – Mixed planting (MIX). For the eucalyptus crop, the average annual increment and the basal area were characterized as results of the differential thinning in each treatment. The T33 treatment, due to the reduction in competition, provided the highest diametric gains, 2.2 cm/year/tree, but presented the lowest basal area given the lower forest density. The monitoring of the eucalyptus canopy was performed using hemispherical photographs. Higher intensities of thinning provided larger spaces for the canopy growth, resulting in more significant gains in the canopy coverage index. With light sensors arranged under different conditions of vegetation cover, the light conditions present in the understory of each treatment were measured. The available light in the treatments ranged from 41.01- to 91.50% of the maximum possible luminosity at the beginning of the experiment and from 35.35% to 83.41% at the end of the observations. The forty species of Brazilian native trees (20 pioneer species and 20 non-pioneer species) implanted in the system, which were submitted to different radiation conditions, were evaluated in a census for mortality, height growth, increase in diameter at root collar, and observation of responses plastic. For mortality, a continuum of responses was observed, with trends of higher mortality in the opposite extreme conditions of radiation found in treatments T0 (full sun) and T100 (more shaded environment). The group of pioneer species showed the highest plasticity for growth in height; the response known as “shadow avoidance syndrome” was driven by treatments T75 and T50. The highest diametric gains for all sub-treatments (PIO, NPIO, MIX) were provided by full sun conditions (T0). The species *Schinus terebinthifolius* (Aroeira pimenteira) and *Peltophorum dubium* (Canafistula) were individually analyzed. Due to their different uses and economic potential, which are optimized by different light conditions, it is recommended that *S. terebinthifolius* be cultivated in full sun and *P. dubium* in the shade (approximately 45% of available solar radiation).

Keywords: Agroforestry, Native species, Forestry, Solar radiation, Forest restoration, Land restoration

1. INTRODUÇÃO

Inerente à ocupação humana, as mudanças no uso da terra, em escalas locais e globais, impactam diretamente sobre o balanço energético, ciclos geoquímicos e da água, alteram e destroem cadeias tróficas e ecossistemas (FOLEY *et al.*, 2005). Dada a necessidade de exploração dos recursos naturais, conjunto a necessidade de conservação e preservação dos mesmos, a comunidade científica tem buscado compreender a dimensão e as consequências de tais perturbações a longo prazo (FOLEY *et al.*, 2005).

Atualmente, cerca de 40% da superfície terrestre possivelmente agricultável foi convertida em áreas de cultivo e pastagens, e estas, continuam a se expandir a fim de suprir nossas necessidades crescentes por alimentos, fibras e energia (Foley *et al.*, 2011; Johnson *et al.*, 2014). Projeções apontam que até 2030 a demanda por produtos agrícolas crescerá em 20%, papel e celulose 60% e madeira 60%, e para que seja possível suprir essas demandas, estima-se uma necessidade de mais 120 milhões de hectares produtivos, um incremento de 12,5% na área atual (HARRISON *et al.*, 2002).

Hosonouma *et al.* (2012), destacam a agricultura como a maior força motora do desmatamento. De acordo com suas estimativas, de 70% a 80% da conversão das florestas na África se deve à agricultura, na Ásia subtropical cerca de 70%, enquanto que para América Latina esse valor supera os 90%. Com isso, há um crescente reconhecimento da necessidade de incentivos ao desenvolvimento de práticas agrícolas e pecuárias sustentáveis, capazes de conciliar produção e conservação (ALBRECHT e KANDJI, 2003; FOLEY *et al.*, 2011), e embora as diretrizes e preceitos de uma agropecuária sustentável sejam claras, soluções integrativas viáveis são raras (BLASER, *et al.* 2018).

Diante desse cenário, os sistemas agroflorestais mostram-se como um conjunto de potenciais alternativas de contraposição a esta situação (FOLEY *et al.*, 2005; SMITH e MBOW, 2014). A respeito das muitas informações difundidas sobre as agroflorestas, espera-se que esses tipos de sistemas provisionem uma série de serviços e soluções que permitam a reconfiguração dos sistemas agrícolas e florestais (TSONKOVA *et al.*, 2014).

Muitos são os estudos que apontam a melhoria na qualidade e fertilidade do solo, pela ciclagem de nutrientes mais eficiente, e redução dos riscos de erosão e inundação do solo (MONTAGNINI, 2000; RIVEST *et al.*, 2013). Também, a adoção de SAFs pode contribuir na mitigação e adaptação das mudanças climáticas através do aumento das taxas de sequestro

de carbono e pelas mudanças microclimáticas (RAMACHANDRAN NAIR, MOHAN KUMAR e NAIR, 2009). Melhorias fitossanitárias de ambientes produtivos pela regulação de pragas e patógenos, reduzindo o uso de pesticidas (BIANCHI, BOOIJ e TSCHARNTKE, 2006) vem sendo apontados assim como a possibilidade de aumento produtivo e garantia de rentabilidade econômica aos produtores (KAGEYAMA e CASTRO, 1989). Isso aumentaria a possibilidade de fixação das pessoas no campo pela melhoria das condições de trabalho como apontado por Righi (2014). O que aumentaria a preservação da diversidade de espécies associadas (TORRALBA *et al.*, 2016) por estarem atreladas ao sistema produtivo (RIGHI¹, 2021). Todos esses, são benefícios discutidos como consequências à adoção e implantação de Sistemas Agroflorestais.

Apesar de amplamente defendidos como possibilidade de integração e conciliação de todas essas questões apresentadas, muitos de seus benefícios, embora intuitivos, ainda carecem de estudos que os comprovem. Assim, as contribuições dos SAFs para os futuros da agricultura e silvicultura exigem uma melhor compreensão dos seus custos e benefícios em todos os níveis (ecológicos, econômicos e sociais) (BLASER *et al.*, 2018).

Para Blaser *et al.* (2018), é preciso mais estudos e medições dos múltiplos efeitos e interações inerentes à implantação de sistemas agroflorestais. Dentre as muitas interações possíveis, os pesquisadores destacam a necessidade de compreender como essas são afetadas pelas mudanças na quantidade de sombra ofertada pelas árvores às culturas associadas, a fim de que estes sistemas sejam implantados e manejados de forma a proporcionarem níveis de sombra que maximizem os ganhos e benefícios e minimizem os custos e efeitos negativos.

Bernardes (1993), afirma que a principal interação nos SAFs é a radiação solar e o sombreamento mútuo. Portanto, o conhecimento do desenvolvimento arquitetônico dos componentes presentes é de extrema importância para a compreensão do fluxo de energia radiante existente no sistema (BERNARDES, 1993).

A ocupação no espaço por uma árvore e sua evolução ao longo do tempo, como resultado de seu desenvolvimento ontogênico, influenciam a interceptação e transmissão de luz, absorção de água e nutrientes e, competição entre plantas (DE REFFYE *ET AL.*, 1995; HALLÉ, OLDEMAN e TOMLINSON, 2012). Desta maneira, a compreensão das interações entre os componentes presentes em sistemas agrossilviculturais e o desenvolvimento arquitetônico

¹ Prof. Dr. Ciro Abbud Righi, Depto. Ciências Florestais. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo – ago/2021, *comunicação pessoal*

das árvores, aplicados à construção de novos designs e arranjos, são de grande interesse dentro de pesquisas a respeito dos sistemas agroflorestais (DE REFFYE et al., 1995).

De outro modo, ainda faltam comprovações e verificações acerca das respostas das muitas diferentes espécies às alterações do ambiente luminoso quando plantadas em consórcios mistos. As modificações em plantas provocadas por alterações na qualidade da radiação ainda são muito pouco exploradas em toda a literatura sendo raramente mencionadas. Dessa maneira, esse trabalho visou dar contribuições quanto ao entendimento das respostas ecofisiológicas induzidas em árvores pelo manejo do ambiente radiante. Espera-se com isso, ser possível desenhar sistemas que induzam a conformação de plantas adequadas à sua exploração, promovendo difusão e preservação de espécies. Dando sentido a novos arranjos e à adoção de múltiplas espécies em sistemas produtivos.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Luz: para além da fotossíntese

A energia solar, em última análise, é a força motriz essencial para todos os processos biológicos e meteorológicos, que ocorrem nos ecossistemas terrestres. Características ambientais como vento, temperatura, umidade e a fotossíntese, são expressões dessa partição da energia do sol (ANDERSON, 1964).

A intensidade e composição da radiação incidente sobre superfície terrestre, variam em função da geometria Terra-Sol, resultando em ritmos diurnos e mudanças sazonais. Assim, perceber as variações nas condições do ambiente luminoso e desencadear respostas adequadas a estas, foram fundamentais para os ajustes evolutivos e o sucesso reprodutivo dos seres autotróficos (JIAO, LAU e DENG, 2007; RUBAN, 2009). Estes, que a partir de superfícies fotossintéticas primitivas, bidimensionais, restritas a ambientes aquáticos, foram capazes de colonizar o ambiente terrestre, evoluindo para arranjos tridimensionais complexos, capazes de alterar radicalmente o ecossistema então existente, e proporcionar o desenvolvimento de outras novas formas de vida (WILLIS e MCELWAIN, 2014).

Decorrente da necessidade de extrema sensibilidade na percepção do ambiente radiante, as plantas são capazes de detectar vários parâmetros da luz ambiente, incluindo quantidade, qualidade (comprimento de onda), direção e duração (JIAO, LAU e DENG, 2007; RUBAN, 2009; WILLIS e MCELWAIN, 2014). Portanto, não é de se surpreender que a luz seja essencial em outros processos para além da fotossíntese.

Processos fisiológicos de desenvolvimento como: germinação de sementes, fotomorfogênese, fototropismo, movimento do cloroplasto, abertura estomática, evitação de sombra, biossíntese de pigmentos fotoprotetores, ritmos circadianos, indução floral e senescência, dependem da capacidade das plantas de perceberem a composição espectral circundante (GALVÃO e FANKHAUSER, 2015; JIAO, LAU e DENG, 2007; KAMI *et al.*, 2010; TAIZ *et al.*, 2017) e desse modo ajustar melhor suas respostas ao ambiente.

2.1.1. Luzes e cores da floresta

As características espectrais da radiação solar em um ambiente florestal, variam tanto nas escalas de tempo, como de espaço (vertical e horizontal), sendo afetada pela: posição do sol, condições atmosféricas e estrutura da vegetação (CHAZDON e FETCHER, 1984). Esses conjuntos de fatores interagem de inúmeras maneiras, podendo ser imaginados como filtros sucessivos, qualitativamente distintos, que operaram conjuntamente, resultando em ambientes luminosos altamente heterogêneos (PARKER, FITZJARRALD e SAMPAIO, 2019).

Conforme nos alerta Anderson (1964), descrever e compreender a dinâmica da transferência radiativa dentro de uma floresta é altamente complexo. As distintas comunidades florestais, refletem, absorvem e transmitem os diferentes comprimentos de onda da luz em uma extensão variável (ANDERSON, 1964).

Para descrever teoricamente o funcionamento da partição de energia radiante dentro da floresta, informações sobre estrutura, características geométricas e ópticas das folhas, a distribuição tridimensional e densidade volumétrica da vegetação, variação na composição e mudanças fenológicas na comunidade vegetal, condições climáticas, hora, estação e elevação solar, são fatores a serem considerados (ANDERSON, 1964; HUTCHISON e MATT, 1977; OKER-BLOM, LAPPI e SMOLANDER, 1991). Assim, não são muitos os modelos que conseguem representar as variações luminosas, quantitativas e qualitativas, que ocorrem em um sistema florestal (DE CASTRO, 2000; OKER-BLOM, LAPPI e SMOLANDER, 1991).

Ao penetrar na floresta, a intensidade da radiação solar diminui ao passar pela camada mais alta do dossel, reduzindo gradualmente até chegar ao solo (YODA, 1974), e apenas 0,1-1,9% da radiação solar que chega ao topo da floresta atinge o solo (BAZZAZ e PICKETT, 1980). Essa redução da quantidade de radiação solar coincide com mudanças drásticas no espectro da luz, resultado da absorção, reflexão e transmissão seletiva das folhas (ANDERSON, 1964).

Sobre essas mudanças espectrais na porção visível, parte do espectro azul, é substituído pelo esverdeado (ENDLER, 1993). Quanto aos comprimentos de onda ultravioleta (UV) e infravermelho (IR), estes também são fortemente reduzidos, sendo o UV quase completamente absorvido pelas plantas (ENDLER, 1993), enquanto que uma porção maior do infravermelho (IR), principalmente o infravermelho distante, é refletido e transmitido pelas folhas (GATES *et al.*, 1965).

Já em dias nublados, como o brilho das nuvens é maior do que o do céu azul, a intensidade da luz no interior da floresta aumenta, com aumento significativo da participação da luz difusa. Esta, por não ser unidirecional, consegue adentrar com mais facilidade no interior das comunidades vegetais (ENDLER, 1993), e essa luz mais abundante em fótons de comprimentos de onda UV, converge o croma verde do sub-bosque para tonalidades esbranquiçadas (ENDLER, 1993; THÉRY, 2001).

Portanto, é evidente que a radiação solar em florestas tropicais varia entre florestas, entre habitats e até mesmo dentro deste habitat. Porém, tal como Chazdon e Fetcher (1984), bem observam, é preciso que algumas generalizações sejam feitas, para avançarmos na compreensão de como a radiação afeta as dinâmicas florestais (naturais e plantadas) e os aspectos da vegetação presente.

2.1.2. As adaptações de plantas ao ambiente luminoso

Ao observarmos as plantas, especialmente árvores de vida longa, muitas vezes é desafiador distinguir estruturas geneticamente determinadas daquelas que são consequências do desenvolvimento plástico influenciado pelas condições ambientais (STERCK e BONGERS, 1998).

A plasticidade em plantas, que é a resposta diferencial de um genótipo às diferentes condições ambientes, tem três funções principais: a manutenção da homeostase, busca de recursos, e defesa. E embora a plasticidade seja uma observação comum, suas consequências ecológicas e evolutivas foram pouco exploradas. Isso se deve ao fato de que a maioria dos estudos ecológicos sobre a forma das plantas, se concentraram na especialização evolutiva adaptativa baseada em habitat, ignorando as implicações das respostas plásticas ao meio ambiente (SULTAN, 2004).

Entre os estímulos ambientais que podem resultar em alterações plásticas nas plantas, muitos estudos documentaram ajustes fisiológicos e morfológicos, orientados pela quantidade e qualidade de luz disponível. Foi demonstrado que tais ajustes funcionais e estruturais ocorrem sistemicamente em diferentes níveis, incluindo: propriedades de troca gasosa da folha (fotossíntese, respiração), propriedades ópticas da folha (absorbância, transmitância), área foliar específica (razão entre área e massa das folhas), alometria e arquitetura de copa (relação altura/diâmetro, razão de massa de tecidos de suporte e não-

suporte, razão de área foliar, padrão de ramificação, arranjo de folhas), entre outras (GIVNISH, 1988; HALLÉ, OLDEMAN E TOMLINSON, 2012; POORTER E WERGER, 1999; RIJKERS, PONS E BONGERS, 2000; RUBAN, 2009; TAIZ *ET AL.*, 2017; VALLADARES E NIINEMETS, 2008; VALLADARES, SKILLMAN e PEARCY, 2002).

Estes ajustes ao ambiente lumínico, que podem permitir uma maximização das taxas fotossintéticas e conseqüentemente o acúmulo de carbono, no geral, são esperadas e previsíveis quanto submetidas à determinadas variações da luz (STERCK *et al.*, 2013).

Folhas de sol, por não terem a luz como fator limitante, podem maximizar sua capacidade fotossintética, produzindo células paliçádicas maiores ou um maior número de camadas dessas, resultando em folhas mais grossas com maior volume de maquinaria fotossintética por unidade de área foliar (BJÖRKMAN, 1981; GULMON e CHU, 1981; TAIZ *et al.*, 2017). Já folhas de sombra, precisam aumentar a eficiência de captura de luz e reduzir a perda de carbono por respiração; para isso, as adaptações incluem maior área foliar específica, alto teor de clorofila relativa à sua massa, baixo peso específico, menos cloroplastos, mesofilo reduzido e granas mais largas (CHAZDON *et al.*, 1996; POORTER *et al.*, 2000; TAIZ *et al.*, 2017). Tais adaptações às condições de sol e sombra, ocorrem em folhas de plantas de diferentes espécies, ditas tolerantes ou intolerantes a sombra, em folhas de uma mesma espécie com exemplares diferentes cultivadas em sol e em sombra, como também entre folhas da mesma copa de uma única árvore (NIINEMETS e VALLADARES, 2004).

Contudo, o crescimento de uma planta não depende apenas da taxa fotossintética das folhas isoladamente (GIVNISH, 1988). Apesar da área foliar total ser a propriedade estrutural mais básica que afeta a quantidade de radiação solar absorvida, a distribuição, dispersão, inclinação e ramificação das folhas na copa podem modificar a eficiência de captação de luz (VALLADARES e NIINEMETS, 2007). Ou seja, copas com os mesmos valores de IAF (Índice de Área Foliar), mas com projetos arquitetônicos diferentes, podem ter eficiências diferentes na interceptação da luz (VALLADARES e NIINEMETS, 2007; VALLADARES, SKILLMAN e PEARCY, 2002).

Quanto às mudanças arquitetônicas observadas em conseqüências de um ambiente sombreado vemos: dominância apical acentuada, alongamento de entrenós e pecíolos, redução de ramificações, redução do auto sombreamento, produção de menos matéria seca, e plantas mais altas com caules mais delgados (SMITH e WHITELAM, 1997).

Assim, em uma floresta, quando a competição por luz é alta, as árvores tendem a buscar os extratos mais altos do dossel, enquanto que as árvores que crescem a céu aberto com pouca competição por luz, tendem a alturas reduzidas. Ou seja, a altura de uma árvore, está limitada ao seu potencial genético, mas também depende do ambiente e da altura das plantas vizinhas (KING, 1990).

Embora muitos estudos de plasticidade considerem espécies de diferentes ambientes (GIVNISH, 1988; POORTER e WERGER, 1999; RIJKERS, PONS e BONGERS, 2000; ROZENDAAL, HURTADO e POORTER, 2006; STERCK *et al.*, 2013; SULTAN, 2004; VALLADARES e NIINEMETS, 2007, 2008; VALLADARES, SKILLMAN e PEARCY, 2002), segundo Novoplansky (2002), pouco se sabe sobre as consequências da plasticidade para as interações em nível de população e comunidade, visto que a plasticidade pode desempenhar papéis muito diferentes ao passarmos da escala de órgãos individuais ou indivíduos para níveis organizacionais superiores.

Neste sentido, Sultan (2004) nos sobreavisa que a conservação da biodiversidade pode ser afetada tanto positiva como negativamente pela plasticidade adaptativa das plantas. Espécies com maior plasticidade podem ser mais propensas a sobreviver em ambientes criados, alterados ou manejados pelo homem, já que essas mudanças ambientais ocorrem muito rapidamente para permitir que ocorra uma resposta evolutiva ou migratória destas. Da mesma forma que, a plasticidade adaptativa pode também permitir que certas espécies colonizem rapidamente locais ambientalmente diversos, sem que a comunidade local tenha o tempo necessário para se adaptar, resultando na rápida disseminação geográfica de algumas espécies invasoras (SULTAN, 2004).

Portanto, avançarmos em estudos sobre as características de desenvolvimento e respostas ecofisiológicas plásticas de espécies florestais às condições e variações ambientais, incluindo as variações luminosas, permitirá ampliarmos a compreensão sobre os limites e as potencialidades destas, sendo de fundamental importância para que possamos implantar e manejar maciços florestais puros e mistos, com mais segurança, objetividade e rentabilidade.

2.1.3. Investigando a estrutura do dossel

Ao direcionar nossa atenção sobre o ambiente luminoso de uma floresta, a estrutura do dossel e a distribuição da folhagem acima do solo desempenham um papel fundamental na determinação da quantidade e qualidade de luz disponível (TAKASHIMA, KUME E YOSHIDA, 2006; YAMADA *et al.*, 2014). A radiação absorvida, transmitida e refletida pelo dossel influenciará diretamente a sobrevivência, crescimento, forma e reprodução das árvores existentes nesse ambiente (DENSLOW, 1987).

A copa das árvores, também influenciam interações planta-ambiente, como a interceptação da precipitação, a síntese de fotoassimilados, e a evapotranspiração (BONAN, 1993; GALVANI e DE LIMA, 2014; MURAWSKI, LOWMAN e NADKARNI, 1995), portanto aumentos de produtividade são possíveis por meio do melhor aproveitamento da água, nutrientes e radiação solar, todos diretamente relacionados ao desenvolvimento da estrutura do dossel (RIBEIRO e RIGHI, 2020). Assim, a compreensão das características do dossel é essencial para o entendimento dos processos e dinâmicas ecológicas em florestas, sendo de aplicação direta para a melhorias de modelos do crescimento de plantas (RIBEIRO e RIGHI, 2020).

O índice de área foliar, definido como a área fotossintética, de um lado da folha, projetada por unidade de superfície de solo (CHEN e BLACK, 1992), é um dos parâmetros biofísicos mais utilizados para a caracterização do dossel (CAMPOE, 2008). Trata-se de um índice adimensional que pode variar de acordo com a composição das espécies, do estágio de desenvolvimento das plantas, da sazonalidade, das condições locais e das práticas de manejo, além de ser influenciado por eventos climáticas como geadas, tempestades e seca, e a estimativa de seus valores varia ainda, conforme o método de avaliação (BRÉDA, 2003).

O IAF é uma variável biofísica de grande importância em estudos ecofisiológicos pois apresenta estreita relação com a quantidade de radiação solar interceptada (CHAZDON *et al.*, 1996; GOWER, KUCHARIK e NORMAN, 1999; GREEN, ERICKSON e KRUGER, 2003), sendo parâmetro de entrada em modelos relacionados à evapotranspiração, ciclos de carbono e de água e à produtividade florestal (Stape, Binkley e Ryan, 2004). Podendo ser considerado um elemento-chave na compreensão da dinâmica da vegetação em ecossistemas terrestres (BRÉDA, 2003).

O índice de área foliar pode ser estimado a partir de métodos diretos e indiretos, e ambos os métodos possuem vantagens e desvantagens (JONCKHEERE *et al.*, 2004).

Os métodos diretos são considerados como os de maior precisão, por evitarem problemas causados por aglomeração e distribuição angular das folhas. Tais metodologias podem ser destrutivas pelo método da “árvore modelo”, no qual há coleta de material vegetal, ou não destrutivas, utilizando coletores de serapilheira. Porém, tais métodos são extremamente trabalhosos e levam muito tempo em sua execução (JONCKHEERE *et al.*, 2004).

Já as metodologias indiretas possuem uma gama de técnicas e equipamentos que inferem o índice de área foliar a partir de medições da radiação transmitida através do dossel (JONCKHEERE *et al.*, 2004). Assim, cabe ressaltar, que os métodos indiretos não medem o IAF, pois todos os elementos do dossel que interceptam a luz (folhas, acículas, brotos, galhos, troncos, flores, frutos e folhas senescentes) são considerados, assim, os termos índice de cobertura vegetal (ICV), índice de área de vegetação (IAV) ou índice de área de superfície (IAS) são mais indicados, caso nenhuma correção seja realizada (GIUNTI NETO *et al.*, 2015; WEISS *et al.*, 2004).

Atualmente, existem diversos instrumentos que são utilizados para a avaliação do dossel, alguns tradicionais como Ceptômetro, LAI-2000, Demon e Trac, até outros mais tecnológicos como o LiDAR (varredura a laser). Entre estes temos a fotografia hemisférica, que apesar de ser uma das primeiras ferramentas para a descrição da estrutura do dossel florestal é ainda amplamente utilizada (YAN *et al.*, 2019).

As fotografias hemisféricas, em comparação aos outros métodos indiretos, além do baixo custo e fácil obtenção/acessibilidade, fornecem um registro fotográfico permanente contendo as características espectrais e espaciais de todos os elementos do dossel, como clareiras, cobertura vegetal e transmitância da luz. O que permite a validação dos resultados por terceiros e novas análises conforme o método vai sendo aprimorado (YAN *et al.*, 2019).

Nesse método, as imagens são registradas abaixo do dossel pela utilização de câmeras fotográficas com lentes “*fisheye*” (olho de peixe ou grande angular) acopladas. Estas imagens, apresentam um ângulo de visão de quase 180°, resultando em uma projeção circular do hemisfério em um plano, que mostra uma visão completa do céu em todas as direções (JONCKHEERE *et al.*, 2004).

Apesar das incertezas devido aos protocolos de aquisição de imagens (horário solar, condições atmosféricas e configurações de exposição da câmera), os avanços e o

barateamento dos equipamentos de fotografia digital, incluindo a possibilidade do uso das câmeras de celulares, combinados com o processamento de imagem por pacotes de softwares mais robustos e gratuitos, tem permitido ainda grande aplicabilidade para as fotografias hemisféricas, para o entendimento da estrutura do dossel e dinâmica da luz tanto em florestas naturais como em florestas plantadas.(CHIANUCCI, 2020).

2.2. Silvicultura de espécies nativas brasileiras

O aperfeiçoamento de tecnologias silviculturais no Brasil, com a finalidade de suprir a demanda do setor férreo, energético e da indústria de papel e celulose, impulsionado por incentivos fiscais, voltaram-se principalmente ao melhoramento de espécies exóticas, com destaque para os gêneros *Eucalyptus* e *Pinus* (BERTOLINI, BRUN e DEBASTIANI, 2015; KAGEYAMA e CASTRO, 1989).

Estima-se que a flora brasileira possua cerca 8.715 espécies de árvores, o que representa aproximadamente 14,5% de todas as espécies arbóreas conhecidas (BEECH *et al.*, 2017). E apesar de ser o país com maior diversidade de árvores no mundo (BEECH *et al.*, 2017), os usos e estudos sobre espécies nativas ainda se mostram restritos à restauração ecológica (BERTOLINI, BRUN e DEBASTIANI, 2015; MENDONÇA *et al.*, 2017; PIOTTO *et al.*, 2018; ROLIM *et al.*, 2020).

Esses estudos, em geral, apontam a importância das espécies nativas no aumento da produção de fitomassa e o consequente sequestro de carbono, na melhoria da estrutura e fertilidade do solo, no incremento da ciclagem de nutrientes e no controle de pragas e doenças, incremento da biodiversidade e promoção de serviços ecossistêmicos (BARLOW *et al.*, 2007; MONTAGNINI, 2000; PIOTTO *et al.*, 2018). Mas poucos são os trabalhos orientados para o comportamento silvicultural das espécies nativas com fins econômicos e, sob o conceito de uso múltiplo das florestas (BERTOLINI, BRUN e DEBASTIANI, 2015; KAGEYAMA e CASTRO, 1989; MENDONÇA *et al.*, 2017).

Considerando os benefícios associados às plantações de florestas com árvores nativas e a grande diversidade destas, é esperado que existam muito mais espécies com potenciais para silvicultura do que as atualmente exploradas (CONDIT, HUBBELL e FOSTER, 1993). Uma das consequências a estas poucas informações são as modestas áreas ocupadas por plantios florestais comerciais com essências nativas, nos quais apenas os plantios de

seringueira (\cong 218 mil hectares), paricá (\cong 90 mil ha) e araucária (\cong 13 mil ha) mostram-se significativos (IBÁ, 2019).

Portanto, para um melhor aproveitamento do potencial das árvores nativas, torna-se imprescindível o conhecimento a respeito do desenvolvimento silvicultural de um grande número de espécies, uma vez que possuem diferentes necessidades ecológicas e ritmos de crescimento (KAGEYAMA e CASTRO, 1989).

Mendonça *et al.* (2017), apontam a importância dos plantios experimentais voltados para os tratamentos silviculturais, os quais possibilitem programas de seleção genética, desenvolvimento de modelos de plantios, reflorestamento, e tecnologias para produção e aproveitamento dos multiprodutos da floresta.

Para Piotto *et al.* (2018), o avanço da silvicultura de espécies nativas depende do apoio e colaboração entre instituições de pesquisa públicas e privadas, sendo fundamental a construção e consolidação de bases de dados e informações sobre o desempenho das essências florestais e dos sistemas de produção silvicultural, visando diminuir riscos e perdas, aumentando o retorno econômico dessa atividade, despertando assim, o interesse dos produtores.

Já Kageyama e Castro (1989), acreditam que a maior parte dos problemas da silvicultura tropical consistem em problemas de como compreender e manejar a vegetação sucessional.

Consideramos que os conceitos relativos à tolerância e à sucessão são básicos, tanto para as atividades de manejo quanto para as de reflorestamento. A compreensão das diferentes respostas das árvores ao ambiente constitui a base para a seleção de genótipos particulares e para o estabelecimento de ambientes adequados para o desenvolvimento destes genótipos. (KAGEYAMA E CASTRO, 1989, p.90)

Neste sentido, encontramos em literatura algumas sistematizações de grupos ecológicos que buscam classificar as diferentes espécies de árvores a fim de permitir uma melhor compreensão da dinâmica de sucessão em ambientes florestais.

Para Budowski (1965), as espécies podem ser classificadas em pioneiras, secundária inicial, secundária tardia e clímax. Denslow (1980), divide em três grupos básicos, espécies de clareira grande, de clareira pequena e de sub-bosque. Swaine e Whitmore (1988) reconhecem apenas duas categorias, espécies pioneiras e clímax. Enquanto que Piña-Rodrigues *et al.* (1989) propõem uma organização dos grupos em pioneiras, oportunistas e clímax.

Apesar das diferenças que existem entre as classificações, o principal atributo para a designação de cada grupo ecológico que é comum a todas elas, diz respeito a quantidade de luz necessárias para o estabelecimento e o desenvolvimento de características estruturais e fisiológicas (BALLESTRERI, 2020; KAGEYAMA e CASTRO, 1989).

Desta forma, dada a importância que a quantidade e qualidade de luz disponível exerce sobre plantas individuais e no processo de sucessão florestal, uma das grandes limitações em trabalhos da área florestal é a carência de avaliações desta variável ambiental (GONÇALVES, 2012; VIERLING e WESSMAN, 2000). Assim, estudos que analisem a relação planta-ambiente e considerem as variações das condições luminosas disponíveis, podem nos auxiliar na compreensão dos ambientes florestais (GONÇALVES, 2012; SEBBENN *et al.*, 2009), permitindo mais assertividades tanto nos processos de exploração econômica como nos de conservação.

Qualidade de fuste, potencial de crescimento em diâmetro e altura, e a arquitetura da árvore, são características que podem ser alteradas em função da disponibilidade de luz (POORTER e BONGERS, 2006). E considerando a grande variação genética intraespecífica em espécies nativas (KAGEYAMA *et al.*, 2003; SEBBENN *et al.*, 2009), e o longo tempo necessário aos programas de melhoramento (MARTÍN-TRILLO e MARTÍNEZ-ZAPATER, 2002), o desenvolvimento de técnicas de manejo do ambiente, como o luminoso, mostram-se promissoras para o desenvolvimento de uma silvicultura de espécies nativas (DUCATTI, 2019; RIGHI¹, 2018).

2.2.1. Métricas comumente utilizadas na silvicultura

O conhecimento das respostas silviculturais de espécies arbóreas nativas, em função das variações ambientais, pode indicar se determinada espécie é ou não adequada para um determinado local e finalidade (BALLESTRERI, 2020; RORATO *et al.*, 2018; STOLARSKI *et al.*, 2018).

Em programas de florestamento o desempenho inicial de espécies nativas, tem se mostrado um desafio, visto que a combinação de diferentes espécies e grupos ecológicos bem como as relações interespecíficas inerentes ainda são pouco exploradas (BALLESTRERI, 2020; NOGUEIRA, FERREIRA e ALMEIDA MARTINS, 2015)

Para Mendonça (2017), conhecer as características de sobrevivência e crescimento inicial das espécies arbóreas é fundamental para o entendimento dos fatores que atuam no

estabelecimento e crescimento florestal. Além disso, para CAMPOE *et al.*, (2014), GONÇALVES (2012) e RORATO *et al.* (2018), estas informações são também importantes por fundamentarem práticas de manejo mais adequadas à condução das mudas em campo.

As avaliações de sobrevivência, ou taxa de mortalidades, indicam a capacidade das mudas florestais se estabelecerem em condições limitantes (MARCUIZZO, ARAÚJO e GASPARIN, 2014). De forma prática, esta informação orienta o planejamento de implantações florestais no que se refere a redução de custos com replantio derivados de altas taxas de mortalidade após o transplante em campo (SCHORN e FORMENTO, 2003).

Quanto a análise de crescimento vegetal, ou taxa de crescimento relativo, trata-se de um método bastante preciso e acessível para descrever e comparar as respostas das plantas às diferentes condições ambientais, tratos e manejos culturais, sendo as variáveis necessárias obtidas facilmente por instrumentos baratos e de simples manuseio (BENINCASA, 1988; RADFORD, 1967). Em experimentações relacionadas a diferentes condições de radiação, trata-se de uma avaliação fundamental. Visto que, aproximadamente 90% da matéria seca acumulada pelas plantas é resultado da conversão de energia radiante no processo da fotossíntese (RUBAN, 2009; TAIZ *et al.*, 2017; WILLIS e MCELWAIN, 2014)

As variáveis morfométricas comumente utilizadas na análise do crescimento de mudas submetidas a diferentes níveis de luminosidade, são a altura, o diâmetro do coleto, biomassa, o índice de área foliar, e a relação parte aérea e raiz (BALLESTRERI, 2020; FARIAS *et al.*, 1997; FELFILI *et al.*, 1999; GONÇALVES, 2012; SCHORN *et al.*, 2020). Entre estas, as avaliações da altura da parte aérea e diâmetro do coleto se destacam por serem métodos não destrutivos e nos quais os parâmetros necessários são facilmente obtidos (BENINCASA, 1988).

A altura, considerado um dos parâmetros mais antigos utilizados na avaliação de mudas (PARVIAINEN, 1981) se relaciona com a capacidade da planta em crescer rapidamente em altura quando sombreadas, sendo um mecanismo importante de adaptação das espécies que precisam de maiores quantidades de radiação (ENGEL, 1989).

Já o diâmetro de colo é um bom indicador da assimilação líquida, estando mais diretamente relacionado com a fotossíntese, uma vez que o crescimento desta região está associado à atividade cambial que é estimulada pela produção de carboidratos (ENGEL, 1989). Além disso, esta medida é também correlacionada à sobrevivência de mudas em campo, ao indicar a formação de um sistema radicular mais amplo, capaz de explorar melhor os recursos disponíveis no solo (GONÇALVES, 2002).

2.3. Sistemas Agroflorestais

Conceitualmente, ao longo das últimas quatro décadas, o termo Agrofloresta tem sido definido e entendido de várias maneiras. Uma série de definições foram criadas a fim de diferenciar e enquadrar sob um termo guarda-chuva uma diversidade de práticas e sistemas de uso da terra que possuem características e uma tipologia funcional em comum (VAN NOORDWIJK, *et al.*, 2019).

Entre as muitas definições espalhadas pela literatura, uma das mais amplamente aceitas define o Sistema Agroflorestal (SAF) como um sistema de uso de terra no qual espécies lenhosas são utilizadas deliberadamente na mesma área em associação com cultivos agrícolas, perenes ou anuais, e/ou animais de maneira simultânea ou em uma sequência temporal, utilizando práticas de manejo compatíveis com a população local (NAIR, 1989).

Apesar dos esforços de sistematização científica dos conhecimentos a respeito dos Sistemas Agroflorestais serem recentes, a agrofloresta enquanto prática de gestão da terra existe há muitos milênios, antecedendo a própria revolução agrícola (DAGAR E TEWARI, 2017; MILLER e NAIR, 2006). As estimativas sugerem que aproximadamente 1,2 bilhão de pessoas exercem algum tipo de prática agroflorestal (RAJ *et al.*, 2020 apud RAJ *et al.*, 2022).

Portanto, inerente ao seu desenvolvimento conjunto dos distintos grupos humanos presentes nas distintas tipologias florestais, as práticas agroflorestais existem em uma inumerável variedade de formas (RAJ *et al.*, 2022)

A multiplicidade de sistemas que evoluíram durante longos períodos em várias condições ecológicas, reflete a sabedoria acumulada e as estratégias de adaptação de milhões de agricultores, principalmente de pequenos produtores, para atender suas necessidades de alimentos, madeira, forragem, combustível, medicamentos, renda, (DAGAR e TEWARI, 2017) incluindo valores estético, culturais e espirituais (JOSE, 2009). E de práticas voltadas à resolução de problemas locais cotidianos. Atualmente, há a expectativa de que a agrofloresta enquanto ciência integradora multidisciplinar seja capaz de resolver muitos dos problemas ambientais, sociais e econômicos globais.

Inúmeros estudos têm descrito a agrofloresta como uma alternativa para solucionar problemas como: insegurança alimentar, degradação do solo, perda de biodiversidade, desmatamento, desabastecimento hídrico, emissões de gases de efeito estufa, efeitos das

mudanças climáticas, conflitos pela terra e êxodo rural (DAGAR E TEWARI, 2017; JOSE, 2009; OLLINAHO E KRÖGER, 2021; RAJ *ET AL.*, 2022; RAMACHANDRAN NAIR, MOHAN KUMAR E NAIR, 2009; RIGHI, 2014; SMITH e MBOW, 2014; TSONKOVA *et al.*, 2014; WILSON e LOVELL, 2016).

Apesar do amplo reconhecimento pela comunidade científica, por órgãos e instituições governamentais e não governamentais, dos potenciais de tais tipos de sistemas, Wilson e Lovell (2016) e Ollinaho e Kröger (2021), apontam que nenhuma transição ou adoção agroflorestal significativa aconteceu ou tem acontecido.

Entre alguns dos fatores considerados como barreiras à adoção em escala dos SAFs, destacam-se a inexperience do agricultor e agricultora no manejo de culturas perenes lenhosas e culturas agrícolas numa mesma área, dificuldade de acesso à materiais genéticos (sementes e mudas) adequados; ausência de créditos direcionados; dificuldades na comercialização dos múltiplos produtos e inexistência de mercados diferenciados para produtos agroflorestais; entraves legais para a obtenção de licenças para colheita das essências florestais; e instabilidade econômica, social e política que desestimulam investimentos em sistemas de uso da terra com retornos de longo prazo (DAGAR E TEWARI, 2017; GARCÍA DE JALÓN *et al.*, 2018; JACOBI, RIST e ALTIERI, 2017; JERNECK e OLSSON, 2013; SAGASTUY e KRAUSE, 2019; SHENNAN-FARPÓN *et al.*, 2022)

Nesse contexto, não existe uma saída única para a resolução de tais questões, e muitas das ações direcionadas à melhor e maior adoção dos sistemas agroflorestais precisarão ser pensadas a partir das características técnicas, econômicas e sociais locais.

Porém, diversos autores destacam a necessidade de avanços na pesquisa científica agroflorestal baseada em sólidos princípios ecológicos, para que estas, demonstrem com evidências práticas os benefícios associados à adoção desses sistemas. Isso servirá à modelagem e planejamento de sistemas mais eficientes e rentáveis, atraindo o interesse dos produtores, orientando a formulação de políticas públicas, e a estruturação de novos mercados associados à bioeconomia, agricultura de baixo carbono e pagamento por serviços ambientais (VAN NOORDWIJK, 2018; ONG, BLACK e WILSON, 2015; PLIENINGER *et al.*, 2020; RAJ *et al.*, 2022).

2.3.1. Agrofloresta, um caminho para a restauração de ambientes degradados?

Em um contexto de mudanças climáticas, a restauração florestal ganhou grande destaque quando a comunidade internacional reconheceu que, para manter o aumento da temperatura global igual ou inferior a 2°C, seria preciso catalisar um movimento global envolvendo governos, empresas, grupos e indivíduos da sociedade civil em ações de restauração (PÖRTNER *et al.*, 2022).

A restauração ecológica pode ser entendida como, intervenção humana intencional em ecossistemas degradados ou alterados a fim de reconstruir a estrutura e criar condições para que se restabeleçam também os processos ecológicos naturais de cada ecossistema (DURIGAN, 1999). E a maioria dos esforços deliberados para superar a degradação envolve o plantio intencional de árvores (LAMB, ERSKINE e PARROTTA, 2005)

Compromissos ambiciosos de restauração e plantio de árvores, assumidos por 115 países, junto ao “Bonn Challenge”, do governo Alemão e IUCN (International Union for Conservation of Nature); ao “1t.org” do Fórum Econômico Mundial, e o “Década da Restauração (2021–2030)” das Nações Unidas, perfazem aproximadamente um total de 1 bilhão de hectares a serem recuperados (ONU, 2022).

Os custos sociais globais desta recuperação, segundo a ONU, são de pelo menos US\$ 200 bilhões por ano até 2030 (ONU, 2022), valor que, de acordo com um relatório da TNC (produzido pela Paulson Institute e o Cornell Atkinson Center for Sustainability), se considerarmos além das ações de plantio, as ações de mudanças na agricultura e em modelos de negócios, que são essenciais para sucesso de fato de tais iniciativas, esse valor passaria para US\$ 722-967 bilhões por ano (DEUTZ *et al.*, 2020).

A respeito das dimensões globais das áreas degradadas, estimam-se que estas somem mais de 2 bilhões de hectares, afetando a vida de cerca de 1 bilhão de pessoas, predominantemente no Sul Global (SAHOO *et al.*, 2020). Embora existam nos trópicos, áreas agrícolas marginais que não são mais rentáveis economicamente sendo destinadas a processos de restauração florestal, sem afetar o uso produtivo da paisagem; grande parte das terras degradadas do mundo ocorrem em áreas ocupadas por famílias agricultoras pobres, que dependem da terra para sua subsistência (DE SOUZA, *et al.*, 2016). Nestes locais, provavelmente, os modelos tradicionais de restauração florestal resultarão em intervenções que não se alinham com as necessidades das populações locais (SAHOO *et al.*, 2020).

Segundo Lamb, Erskine e Parrota (2005) é difícil desenvolver métodos de restauração em um local específico que otimize os benefícios financeiros e de subsistência, e que ainda

promova melhorias na biodiversidade. Em geral, a restauração florestal orientada para diversidade tem um alto custo de implantação e produz poucos retornos econômicos diretos para os proprietários. Este tipo de sistema não chega a fornecer volumes significativos de bens comercialmente úteis, como madeira, e os mercados para os serviços ecológicos que prestam ainda estão em estruturação. Desta forma, em locais onde há a necessidade de que ambos os objetivos (preservação e geração de renda) sejam alcançados, pode ser necessário priorizar formas de reflorestamento que ao menos inicialmente, priorizem os retornos financeiros (LAMB, ERSKINE e PARROTA, 2005).

Em mapeamento sistemático organizado por Ota *et al.* (2018), na qual foi revisada a literatura relacionando “*reforestation and livelihoods in the tropics*” tendo como objetivo identificação de tendências, vieses e lacunas sobre o assunto, foram encontrados um total de 339 artigos publicados em 92 periódicos. Destes, cerca de 80% das publicações focaram em sistemas que combinavam componentes agrícolas e/ou pecuários com silvicultura.

Em vista disso, nota-se, que cada vez mais a comunidade científica tem percebido e validado os Sistemas agroflorestais como modelos multifuncionais capazes de restabelecer atributos estruturais desejados e a funcionalidade dos processos ecossistêmicos (GIUDICE BADARI *et al.*, 2020; HAGGAR *et al.*, 2019; JOSE, 2012; MICCOLIS *et al.*, 2019; VAN NOORDWIJK, 2018; VAN NOORDWIJK, *et al.*, 2019; OLIVEIRA *et al.*, 2016; PLIENINGER *et al.*, 2020; RODRIGUES *et al.*, 2007; SANTOS *et al.*, 2021; SHENNAN-FARPÓN *et al.*, 2022; VIEIRA, HOLL e PENEIREIRO, 2009).

Estudo avaliado por Pontes, Engel e Parrota (2019) no qual acompanharam por 20 anos diferentes modelos de restauração, entre eles: semeadura direta, plantios de alta diversidade, um modelo de SAF “*Taungya*” manejado de duas formas diferentes, e um sistema de plantio comercial misto também com duas formas de manejo, mostrou que, apesar de todos os sistemas apresentarem resultados positivos no que se refere ao objetivos de restaurar áreas, o sistema agroflorestal foi apontado pelos autores como o de melhor potencial para conciliar produção de alimento, produção florestal e conservação da biodiversidade.

Além de benefícios ecológicos, integrar a produção agrícola e florestal à processos de recuperação de áreas degradadas incluem outras vantagens, como: estender o período de gerenciamento da restauração; compensar os custos associados a restauração, pela possibilidade de retorno financeiros a curtos, médios e longos prazos; promover a segurança alimentar de famílias e comunidades e; envolver ativamente os agricultores no processo de

restauração, o que resulta em melhores resultados de conservação (GIUDICE BADARI *et al.*, 2020; PADOVAN *et al.*, 2022; PADOVEZI *et al.*, 2018; VIEIRA, HOLL e PENEIREIRO, 2009).

No Brasil, o atual Código Florestal (Lei nº 12.651; 2012) inclui a agrofloresta como um método aceito de restauração florestal. Isso permite que as áreas da Reserva Legal (RL) e Áreas de Preservação Permanentes (APPs), em pequenas propriedades rurais, possam ser mantidas com plantios de árvores frutíferas, ornamentais ou industriais, incluindo espécies exóticas. Desde que não excedam 50% da área, pode-se adotar sistemas intercalares ou em consórcio com espécies nativas, permitindo-se a exploração agroflorestal, contanto que não descaracterize a cobertura vegetal ou prejudique a função ambiental.

Considerando dados apresentados por Guidotti, *et al.* (2017), estima-se que o Brasil possua um déficit de cerca de 8 milhões de hectares de APPs e de 11 milhões de hectares de RL. Parte destas poderiam ser destinadas ao plantio de sistemas agroflorestais capazes de conciliar produção e restauração.

No entanto, não podemos esquecer que existem diferentes tipos de SAFs, com inúmeras possibilidades de arranjos e combinações espaciais e temporais das espécies agrícolas e florestais, desde os mais simples até os mais complexos, com diferentes intensidades de manejo (DAGAR e TEWARI, 2017; JOSE, 2009; VAN NOORDWIJK, *et al.*, 2019; OLLINAHO e KRÖGER, 2021; SMITH e MBOW, 2014), e por esse motivo, as distintas agroflorestas, podem contribuir de distintas formas com a conservação da biodiversidade e provisão de serviços ecossistêmicos, bem como serem ou não viáveis economicamente (JOSE, 2009; SANTOS, CROUZEILLES e SANSEVERO, 2019).

Exemplo disso, foi um SAF biodiverso multiestratificado sucessional implantado no município de Sooretama / ES. Esse sistema planejado para restaurar áreas, que contava com 20 espécies de árvores nativas e o cultivo associado de espécies anuais, em uma análise econômica apresentava retorno econômico apenas após 14 anos de implantação. Com base nos resultados obtidos, foi realizada a modelagem de um novo SAF, que com mudanças no arranjo, na seleção de espécies e manejo, o *payback* passou a ser de apenas 2 anos (PADOVAN *et al.*, 2022).

Portanto, para assegurar um manejo sustentável que garanta a consolidação dos processos de restauração ecológica alinhado com a sustentabilidade econômica dos SAFs, a seleção de espécies multifuncionais, com características silviculturais e agrônômicas

adequadas à estas finalidades, juntamente com um bom planejamento de arranjos e *designs* que otimizem as interações ecológicas positivas, são de fundamental importância.

2.4. O uso no Eucalipto em florestas de usos múltiplos

Originária da Austrália, o gênero *Eucalyptus* possui mais de 800 espécies, adaptadas a diferentes condições climáticas e de solo (DE OLIVEIRA e PINTO JUNIOR, 2021). Apesar de sua ocorrência natural restrita, mais de 90% da área de eucaliptos plantados está fora da Austrália (BROCKERHOFF *et al.*, 2013)

No Brasil, as primeiras pesquisas de silvicultura orientados para a eucaliptocultura começaram em 1904, no município de Jundiaí/SP, e em 1909 no município de Rio Claro/SP, estudos estes financiados pela Companhia Paulista de Ferrovias e coordenados por Edmundo Navarro de Andrade (GONÇALVES *et al.*, 2013).

Os amplos conhecimentos difundidos sobre a espécie, resultado de anos de pesquisa envolvendo diferentes materiais genéticos e a interação desses com o ambiente, juntamente com políticas de incentivos fiscais, e a facilidade na aquisição de mudas, auxiliaram na adoção e expansão do plantio de eucalipto nas propriedades rurais (GONÇALVES *et al.*, 2013; IBÁ, 2020), alcançando no ano de 2020, a marca de 7,47 milhões de hectares plantados no país (IBÁ, 2021).

O Brasil, considerado uma referência mundial, apresenta a maior produtividade, medida em volume de madeira produzida por unidade de área ao ano, e a menor rotação do mundo (IBÁ, 2020). Os investimentos em pesquisa e tecnologia fizeram com que a produtividade média alcançada pelo gênero, passasse de 10 m³/ha em 1965, para 36,8m³/ha em 2020 (IBÁ, 2021).

Graças a sua abrangência ecológica, multifuncionalidade e produtividade, o eucalipto tornou-se a árvore mais plantada no mundo (TEKETAY, 2000). Juntamente com essa rápida disseminação, os eucaliptos foram também considerados ameaças à biodiversidade de plantas e animais por reduzirem o crescimento de plantas no sub-bosque e comunidades adjacentes, em função da secreção de compostos alelos químicos e diminuir a presença de animais por sua estrutura e perda de habitat (BARGALI e BARGALI, 2000; BARLOW *et al.*, 2007; BASANTA *et al.*, 1989; BUGHIO *et al.*, 2013; HOBBS *et al.*, 2003; MARTELLO *et al.*, 2018; PROENÇA *et al.*, 2010).

Porém a literatura revisada sobre os impactos ambientais dos eucaliptos mostra que esses efeitos são complexos, mistos e dependentes das condições locais.

Embora seja comprovado o efeito inibitório do *Eucalyptus spp.* sobre diversas espécies (ESPINOSA-GARCÍA, MARTINEZ-HERNANDEZ e QUIROZ, 2007; RIZVI *et al.*, 1999) há relatos de que algumas espécies são mais tolerantes que outras aos efeitos dos alelos químicos sintetizados pelo gênero. Duarte *et al.* (2006) mostraram que *Anadenanthera peregrina* (Angico-vermelho) possui alta tolerância aos óleos de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus camaldulensis*. Assim como o *Enterolobium contortisiliquum* (Tamboril), que pode ser consorciado com *E. grandis* em reflorestamento e sistemas agroflorestais por não sofrer efeitos supressores (DUARTE *et al.*, 2012).

Algumas estratégias de manejo também podem ser adotadas para reduzir efeitos alelopáticos sobre as culturas associadas. A remoção da serrapilheira permitiu que couve-chinesa (*Brassica rapa* var. *glabra* Regel) fosse consorciada junto ao *Eucalyptus urophylla* Blake; e o pepino (*Cucumis sativus* L.) cultivado junto a espécies como *Eucalyptus urophylla* Blake, *Eucalyptus citriodora* Hook e *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh (ZHANG e FU, 2010). Distanciamento espacial ou temporal são alternativas que também que podem trazer resultados positivos (ESPINOSA-GARCÍA, MARTINEZ-HERNANDEZ e QUIROZ, 2007; ZHANG *et al.*, 2010, RIBEIRO e RIGHI, 2020)

A respeito da perda de biodiversidade muitas são as causas, e todas elas estão associadas às ações antropogênicas (SINGH *et al.*, 2021), mas sem dúvidas a introdução de espécies exóticas, o monocultivo e a perda de habitat são grandes forças impulsionadoras desse processo (PIMM e RAVEN, 2000; RAJ, JHARIYA e BARGALI, 2016; SHINWARI, GILANI e KHAN, 2012; SINGH *et al.*, 2021; SODHI, 2008).

Entre os anos de 2002 e 2021, o Brasil foi o país na região dos Trópicos que mais perdeu florestas primárias, cerca de 27,8 milhões de hectares (WRI, 2022). O desmatamento que ocorre principalmente na região amazônica está diretamente ligado ao avanço das pastagens e produção de grãos, responsáveis por 70,3% da conversão florestal, enquanto que a silvicultura representa 9,5% (Tyukavina *et al.*, 2017)(WRI,2022). Segundo a associação que representa grande parte do setor de árvores plantadas, as áreas destinadas à exploração de Pinus e principalmente Eucalipto comumente se estabelecem em terras anteriormente degradadas pela ação humana (IBÁ, 2021).

Quanto aos efeitos do eucalipto sobre os processos de sucessão florestal há um grande número de estudos orientados para melhor compreensão das interações que ocorrem entre a espécie exótica e as espécies nativas (BREMER e FARLEY, 2010; BROCKERHOFF *et al.*, 2013; CANDIANI, 2016; GELDENHUYS, 1997; ONOFRE, 2009; RONQUIM, 2021; TAVARES *et al.*, 2019; VIANI, DURIGAN e MELO, 2010; VIEIRA *et al.*, 2017). A grande maioria dos pesquisadores é unânime em afirmar que as florestas de *Eucalyptus spp.* podem ser agentes catalisadores na regeneração de espécies nativas, servindo como um reduto complementar para a conservação da biodiversidade (BREMER e FARLEY, 2010; BROCKERHOFF *et al.*, 2013; CANDIANI, 2016; GELDENHUYS, 1997; ONOFRE, 2009; RONQUIM, 2021; TAVARES *et al.*, 2019; VIANI, DURIGAN e MELO, 2010; VIEIRA *et al.*, 2017).

Dentro do contexto brasileiro, Ronquim (2021) realizou a revisão de 106 trabalhos, publicados entre os anos de 1984 e 2021, e encontrou o registro de 1.136 espécies de árvores e arbustos regenerantes nos sub-bosques de talhões de *Eucalyptus* e *Pinus*, situados principalmente na Mata Atlântica e Cerrado. Essa diversidade representa cerca de 80% de 423 espécies nativas utilizadas em 1.073 plantios de restauração florestal realizados em 350 municípios das regiões Sul e Sudeste, e cerca de 80% das 526 de espécies arbóreas ou arbustivas produzidas nos viveiros de mudas florestais do Estado de São Paulo.

Apesar da ressalva feita pelo autor, no que se refere a comparação entre trabalhos, alguns resultados interessantes são apresentados. Do total de espécies, 515 (45,4%) foram encontradas apenas sob a copa de Eucalipto, 127 (11,2%) apenas sob a copa de *Pinus*, e 494 (43,4%) ocorreram em ambos. A densidade para árvores nativas por hectare variou de 1.000 a 2.000, estando dentro das recomendações para a restauração florestal. As cinco famílias com maior incidência foram Fabaceae, Myrtaceae, Melastomataceae, Rubiaceae, Lauraceae, representatividade semelhante à encontrada em matas ciliares de formações florestais do Cerrado e Mata Atlântica. Quanto às espécies encontradas, 34 possuem alto valor madeireiro e 33 estão listadas como ameaçadas de extinção. Os sub-bosques de povoamento mais velhos proporcionam habitat mais favorável aos regenerantes que os de plantios mais jovens. Os ambientes com maior incidência de luz favoreceram a colonização de espécies de estágios sucessionais iniciais, porém, o maior número de espécies ocorreu em áreas onde o reflorestamento com a espécie exótica apresentava maior densidade, um indicativo de que sob maior sombreamento há recrutamento diferencial (RONQUIM, 2021).

Portanto, as plantações de eucalipto quando manejadas adequadamente potencializam a regeneração ao desempenhar a função de uma espécie pioneira, suprimindo espécies de gramíneas competitivas exigentes de luz, que muitas vezes são barreiras ecológicas às dinâmicas sucessionais; criando um microclima que favorece a colonização por árvores, arbustos e ervas nativas (ARANTES, 2021; BREMER e FARLEY, 2010; BROCKERHOFF *et al.*, 2013; CANDIANI, 2016; GELDENHUYS, 1997; ONOFRE, 2009; RONQUIM, 2021; TAVARES *et al.*, 2019; VIANI, DURIGAN e MELO, 2010; VIEIRA *et al.*, 2017).

Outros fatores a serem considerados nesse tipo de contexto e que influenciarão a qualidade e sucesso do processo regenerativo, se referem ao histórico de ocupação da área, natureza do ecossistema original, as condições de vizinhança e proximidade a fontes de propágulos (ARANTES, 2021; BREMER e FARLEY, 2010; BROCKERHOFF *et al.*, 2013; CANDIANI, 2016; GELDENHUYS, 1997; ONOFRE, 2009; RONQUIM, 2021; TAVARES *et al.*, 2019; VIANI, DURIGAN e MELO, 2010; VIEIRA *et al.*, 2017).

Neste sentido, como podemos ver a decisão de onde e como plantar o eucalipto, juntamente ao manejo adequado deste, pode otimizar seus valores positivos e reduzir os efeitos negativos.

SCHAITZA *et al.*, 2000 e RODIGHERI, 2000 apontam como vantagens a adoção do eucalipto como o componente arbóreo em SAF, o conjunto de conhecimentos e tecnologias acumuladas sobre o monocultivo de eucalipto, a facilidade de cultivo e manejo, a flexibilidade no planejamento e operacionalização, os baixos riscos técnicos, seu ciclo rápido comparado a outras espécies arbóreas, tolerância à seca e potencial de crescimento em solos pobres ou menos férteis, a utilização do recurso em benfeitorias da propriedade, e a facilidade no escoamento comercial do produto.

Assim, uma série de culturas têm sido testadas sob diversos espaçamentos e arranjos em sistemas agroflorestais com eucalipto, e como esperado os resultados variam amplamente (BORGES *et al.*, 2017, 2021; CECCON, 2005; JUNIOR *et al.*, 2018; MACEDO *et al.*, 2006; NARDINI *et al.*, 2019; NIERI *et al.*, 2021; PRASAD *et al.*, 2010)..

No Brasil, o emprego do eucalipto em SAFs tem-se destacado particularmente em sistemas silvipastoris (BARTRA, 2016; DUBE *et al.*, 2002; DE OLIVEIRA, *et al.*, 2007). Destacando-se o uso de *Eucalyptus camaldulensis* e seus híbridos nestes sistemas, devido a características como tolerância ao déficit hídrico, e copa rala, o que favorece a transmitância da radiação solar, beneficiando os demais componentes do sistema (OLIVEIRA, 2014).

Segundo Righi et. al. (2016), para que o eucalipto seja integrado com cada vez mais sucesso em Sistemas Agroflorestais, o adequado manejo da sombra é de fundamental importância. O conhecimento dos hábitos de crescimento das diferentes espécies consorciadas, submetidas a diferentes intensidades de radiação solar, trará a possibilidade de que formas mais perenes de manejar a terra sejam adotadas (RIBEIRO e RIGHI, 2020; RIGHI *et al.*, 2016)

Outro campo ainda pouco explorado a respeito do uso de eucalipto em sistemas agrossilviculturais, que apresenta uma grande possibilidade de aumentos de produção, se refere a respostas ecofisiológicas deste a manejos que explorem a dimensão do tempo, como plantios sequenciais e colheitas parciais (RIBEIRO e RIGHI, 2020). Esses tipos de informações são de grande valor, visto que poderão orientar a conversão dos tradicionais plantios homogêneos em muitos tipos diferentes de sistemas florestais que sejam capazes de integrar com sucesso questões sociais e ambientais com metas de produção (RIBEIRO e RIGHI, 2020).

Somam a estes campos de investigação necessários sobre o uso do *Eucalyptus* spp. em florestas de usos múltiplos, as interações que ocorrem entres as espécies do gênero e espécies florestais nativas (AMAZONAS et al., 2018; ERSKINE, LAMB e BORSCHMANN, 2005).

Assim, o presente trabalho se apresenta como inovador e desafiador ao se debruçar sobre as implicações práticas de todas essas questões apresentadas, utilizando como perspectiva integradora e central o manejo do ambiente luminoso. Espera-se que tais contribuições sirvam à avanços aplicáveis para gestão de florestas independentemente dos objetivos.

3. HIPÓTESES

Nesse estudo, hipotetizou-se que:

- I. O ambiente radiante do sub-bosque de uma floresta de eucalipto pode ser manejado, influenciando diretamente nos rendimentos da espécie exótica e na sobrevivência e crescimento de outras espécies florestais presentes no interior desse povoamento;
- II. As diferentes espécies nativas possuem diferentes condições ótimas para sua sobrevivência e crescimento no que diz respeito à disponibilidade de radiação solar;
- III. Alterações na quantidade radiação disponível provocam modificações arquitetônicas plásticas nas espécies florestais nativas.

4. OBJETIVOS

4.1. Objetivo geral

Verificar as respostas de desenvolvimento de espécies arbóreas nativas (pioneiras e não pioneiras) submetidas a diferentes condições de disponibilidade de radiação, proporcionada pela cultura do eucalipto desbastada em diferentes intensidades.

4.2. Objetivos específicos

I. Verificar o crescimento do eucalipto e, da cobertura florestal por este proporcionada às espécies nativas cultivadas em seu sub-bosque;

II. Avaliar o crescimento (altura total e diâmetro a altura do coleto) dos exemplares arbóreos nativos em diferentes níveis de cobertura de dossel;

III. Observar e registrar alterações plásticas das espécies florestais nativas em função das alterações ambientais proporcionadas em função do ambiente luminoso.

5. MATERIAL E MÉTODOS

5.1. Caracterização da área de estudo

O experimento encontra-se instalado na Estação Experimental de Ciências de Itatinga – SP (EECF-Itatinga) administrada pelo Departamento de Ciências Florestais da ESALQ – USP (Figura 1).



Figura 1. Localização do experimento dentro da Estação experimental de Ciências Florestais de Itatinga.

A Estação Experimental ocupa uma área de 2.119,6 hectares, com altitude média de 850 m. Esta, encontra-se inserida na região denominada Planalto Ocidental Paulista, com relevo variando do suavemente ondulado a plano, com predomínio de latossolos e podzólicos.

O clima local é do tipo Cwa, segundo classificação de Köppen, com verões quentes e úmidos, invernos frios e secos. A região apresenta temperatura média anual de 20°C, a precipitação média anual é de 1.350 mm (UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO).

Os dados meteorológicos de temperaturas diárias (máximas e mínimas) e precipitação, registrados durante a condução do experimento foram obtidos junto a gestão

da unidade experimental que possui uma estação automática, em um posto meteorológico, localizada a um raio de aproximadamente 1,2km da área onde o experimento se encontra.

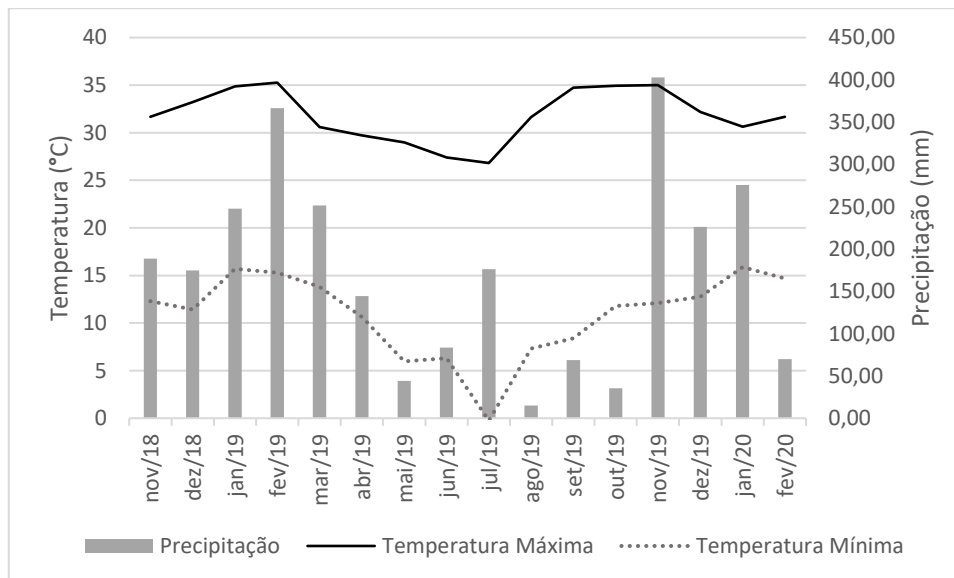


Figura 2. Dados de precipitação total, temperatura máxima média e temperatura mínima média registradas durante a condução de parte do experimento.

A fitofisionomia local se caracteriza pela transição (ecótono) entre Mata Atlântica (Floresta Estacional Semidecidual) e Cerrado. Quanto ao uso da terra, na Estação Experimental, há o predomínio de plantios monoculturais de *Eucalyptus* sp. e *Pinus* sp, implantados inicialmente para suprir a demanda da construção ferroviária e energética da FEPASA (SILVEIRA, 2005).

5.2. Desenho experimental

O experimento consistiu em uma área de 3,3 hectares, onde foram plantadas 40 (quarenta) espécies nativas, sendo 20 (vinte) espécies de classe sucessional pioneira e 20 espécies não-pioneiras, (**Tabela 1**), entre as entrelinhas dos indivíduos de *Eucalyptus grandis* em fase de rebrota conduzida já estabelecidos no local.

A dicotomia entre espécies pioneiras e clímax é comumente utilizada em literatura (KAGEYAMA e CASTRO, 1989), e para este experimento as **Espécies Pioneiras** foram consideradas aquelas classificadas como tal pela literatura e **Não Pioneiras** aquelas

usualmente enquadradas sob outras classificações sucessionais, tais como: secundárias iniciais, secundárias tardias e/ou climáticas.

As mudas de árvores nativas utilizadas foram obtidas em parceria com a Fundação S.O.S. Mata Atlântica. A seleção das espécies foi feita levando em consideração além das classificações sucessionais pioneira e não pioneira, a disponibilidade de espécies oferecidas no momento da instalação do projeto. Também se levou em consideração, para além do comum uso em projetos de restauração, os usos potenciais e múltiplos que estas espécies poderiam ter, tal como extração de madeira, frutos e compostos medicinais (**APÊNDICE A**), visando a utilização dos produtos dessas árvores e assim promover o interesse dos agricultores e a preservação pelo uso em uma maior escala.

As mudas semeadas em tubetes de 220 cm³, foram cultivadas em viveiro da fundação S.O.S. Mata Atlântica, até atingirem condições para transplântio em campo, estando adequadas a este, entre 6 a 8 meses de idade com as mudas variando de 15 a 40 centímetros de altura.

Tabela 1. Lista das espécies de árvores nativas que compõem o modelo experimental

PIONEIRAS		
Identificação	Nome Popular	Nome Científico
1	Aroeira pimenteira	<i>Schinus terebinthifolius Raddi</i>
2	Quaresmeira roxa	<i>Tibouchina granulosa Cogn.</i>
3	Canafistula	<i>Peltophorum dubium (Spreng.) Taub.</i>
4	Pau cigarra	<i>Senna multijuga (Rich.) H.S. Irwin & Barneby</i>
5	Figueira do mato	<i>Ficus luschnathiana (Miq.) Miq.</i>
6	Monjoleiro	<i>Acacia polyphylla DC.</i>
7	Ingá	<i>Inga uruguensis Hook. & Arn</i>
8	Mulungu	<i>Erythrina speciosa Andrews</i>
9	Capororoca branca	<i>Rapanea gardneriana (A. DC.) Mez</i>
10	Guarucaia	<i>Parapiptadenia rigida (Benth.) Brenan</i>
11	Escova de macaco	<i>Apeiba tibourbou Aubl.</i>
12	Capixingui	<i>Croton floribundus Spreng.</i>
13	Amendoim bravo	<i>Pterogyne nitens Tul.</i>
14	Algodoeiro	<i>Heliocarpus americanus L.</i>

15	Sangra d'agua	<i>Croton urucurana</i> Baill.
16	Trema	<i>Trema micrantha</i> (L.) Blume
17	Mutambo	<i>Guazuma ulmifolia</i> Lam.
18	Pau viola	<i>Citharexylum myrianthum</i> Cham.
19	Fedegoso	<i>Senna macranthera</i> (DC. ex Collad.) H. S. Irwin & Barneby
20	Tamboril timbaúva	<i>Enterolobium timbouva</i> Mart.
NÃO PIONEIRAS		
21	Angico preto	<i>Anadenanthera colubrina</i> (Vell.) Bren.
22	Cereja do rio grande	<i>Eugenia involucrata</i> DC.
23	Pitanga	<i>Eugenia uniflora</i> L.
24	Peroba	<i>Aspidosperma olivaceum</i> Muell. Arg.
25	Dedaleiro	<i>Lafoensia pacari</i> A. St.-Hil.
26	Cedro do brejo	<i>Cedrela odorata</i> L.
27	Coração de negro	<i>Poecilanthe parviflora</i> Benth.
28	Cedro rosa	<i>Cedrela fissilis</i> Vell.
29	Saguaraji vermelho	<i>Colubrina glandulosa</i> var. <i>reitzii</i> (M.C.Johnst.) M.C. Johnst.
30	Pau marfim	<i>Balfourodendron riedelianum</i> (Engl.) Engl.
31	Jatobá	<i>Hymenaea courbaril</i> L.
32	Ipê roxo	<i>Tabebuia heptaphylla</i> (Vell.) Toledo
33	Guaçatonga preta	<i>Casearia sylvestris</i> Sw.
34	Ipê amarelo casca grossa	<i>Tabebuia chrysotricha</i> (Mart. Ex A. DC.)
35	Amendoim do campo	<i>Platypodium elegans</i> Vogel
36	Guabiroba	<i>Campomanesia xanthocarpa</i> O. Berg
37	Angico Cerrado	<i>Anadenanthera colubrina</i> var. <i>cebil</i> (Griseb.) Altschul
38	Louro pardo	<i>Cordia trichotoma</i> (Vell.) Arrab. ex Steud.
39	Aroeira preta	<i>Myracrodruon urundeuva</i> Allemão
40	Olho de cabra	<i>Ormosia arborea</i> (Vell.) Harms

Para proporcionar as diferentes condições de luminosidade oferecidas às mudas de espécies nativas, os eucaliptos da espécie *Eucalyptus grandis* (clone EGR002045), implantados em 2000, originalmente em espaçamento 3x2 m, conduzidos em regime de talhadia (1º rotação 2000 – 2007; 2º rotação 2007 – 2014), em outubro de 2018 foram desbastados (**Figura**

2) de forma sistemática e progressiva, conforme modelo demonstrado na **Figura 3**, resultando em um gradiente florestal representados nas **Figuras 4 e 5**.

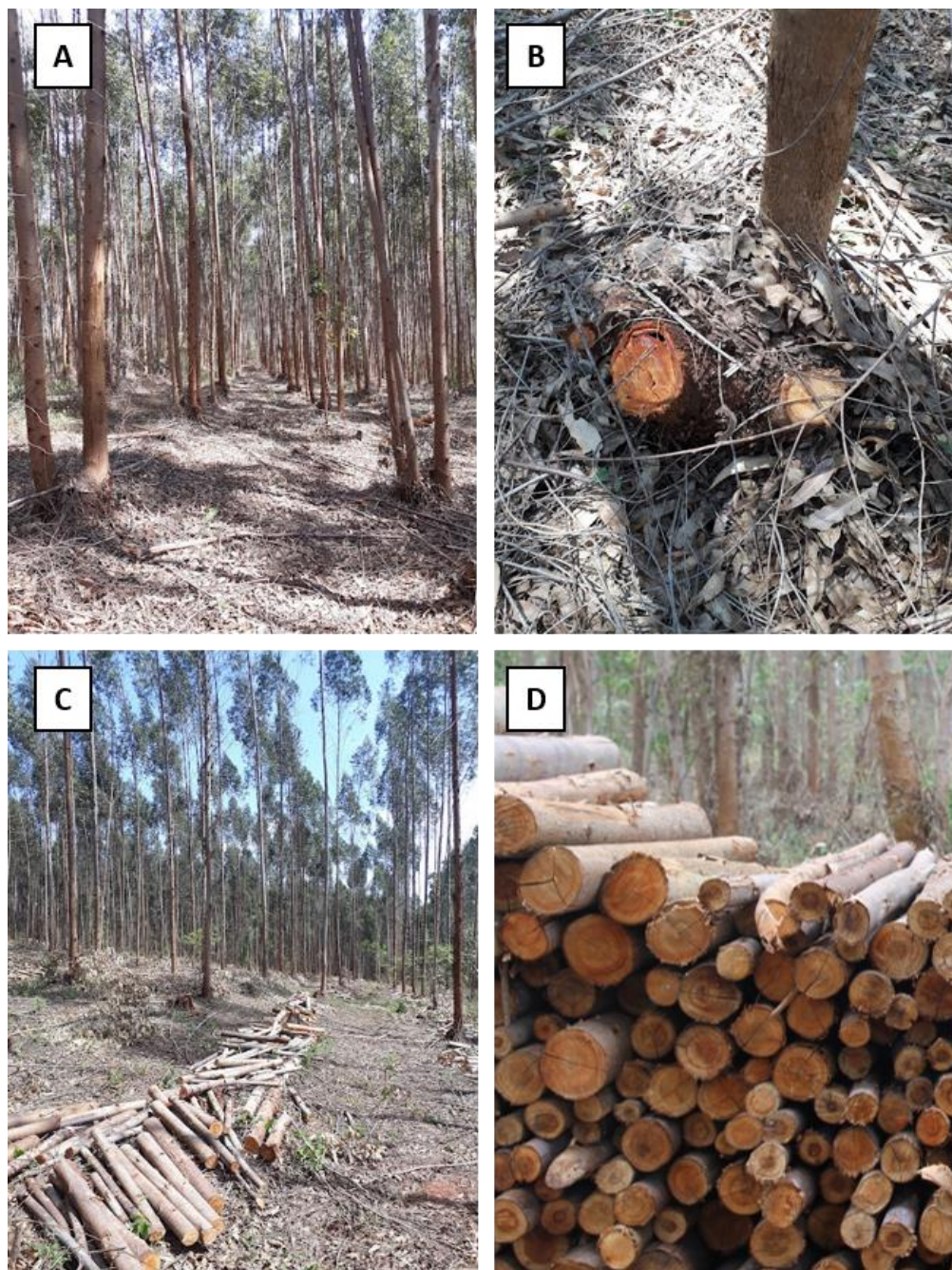


Figura 3. Condução da área de eucalipto para instalação do experimento: A) *Eucalyptus grandis* conduzidos em regime de talhadia antes dos desbastes; B) eliminação de fustes para adequação ao arranjo proposto; C) parte da área após os desbastes, D) madeira extraída da área.

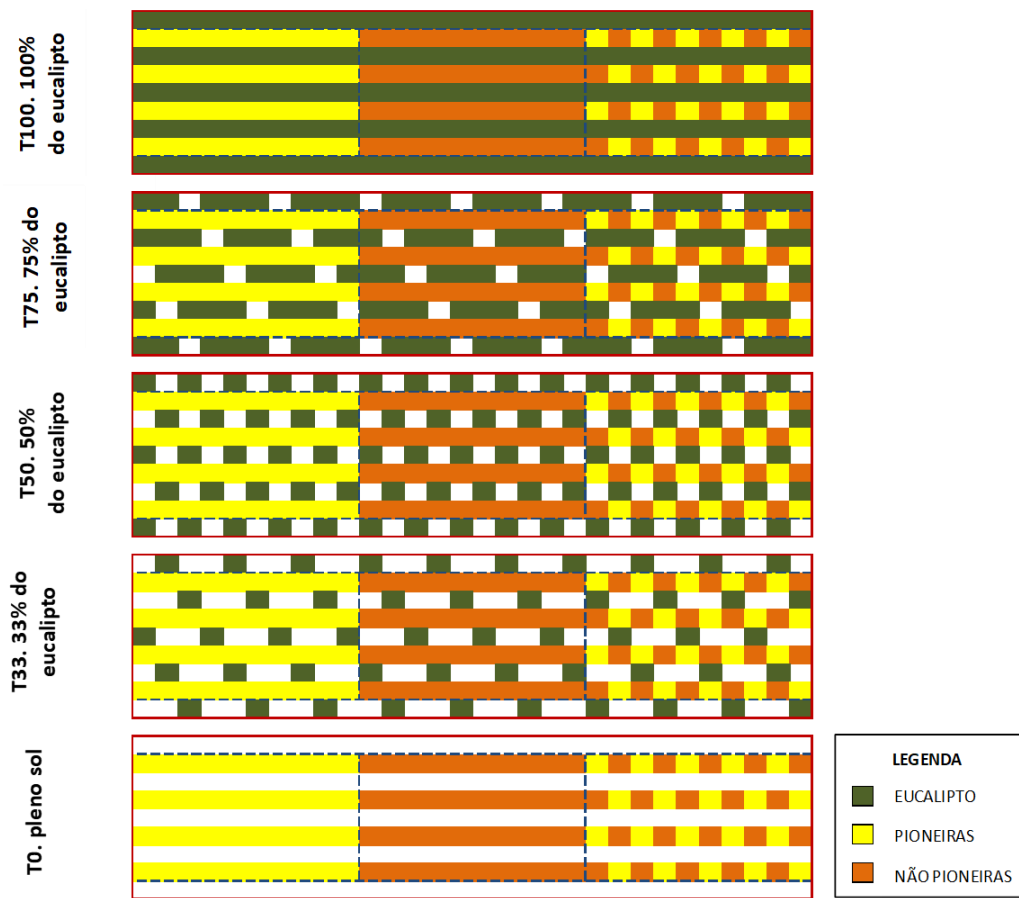


Figura 4. Croqui do desenho experimental. Representação esquemática do desbaste feito nas árvores de Eucalipto, para cada um dos 5 tratamentos, resultando em um gradiente de cobertura florestal oferecido às espécies de árvores nativas.

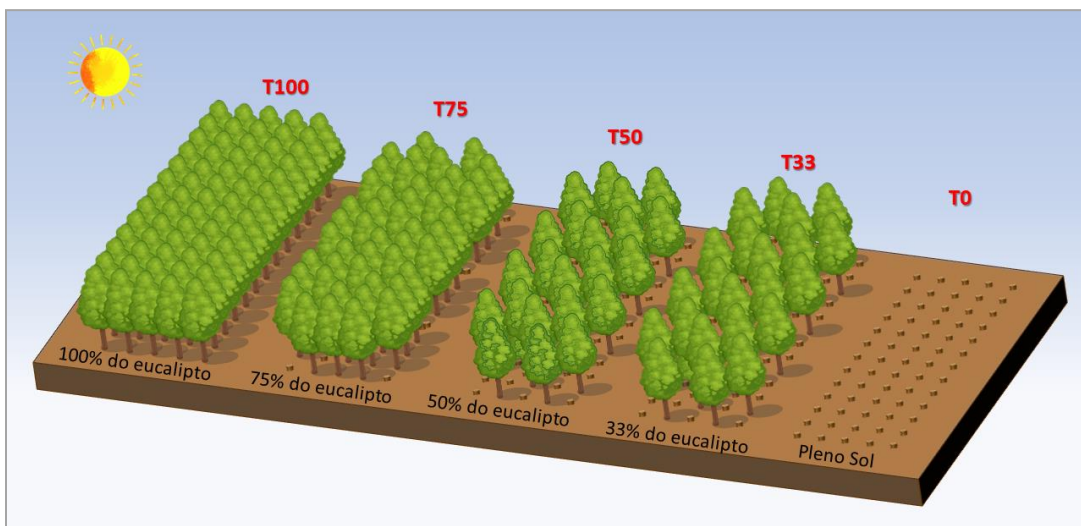


Figura 5. Representação esquemática tridimensional de cada um dos 5 (cinco) tratamentos

O delineamento experimental dispunha de 04 (quatro) blocos dispostos em faixas não casualizadas, contendo 05 (cinco) tratamentos cada. Os tratamentos são referentes a

cobertura florestal proporcionada por: **100% da população florestal de eucalipto (T100)**, considerando 1400 plantas por hectare manejadas em talhadia; **75% de população florestal de eucalipto (T75)**; **50% da população florestal de eucalipto (T50)**; **33% da população florestal de eucalipto (T33)**; **sem cobertura florestal / pleno-sol (T0)** (ver Figuras 4 e 5 acima), este considerado o tratamento de referência, visto que em geral o plantio de árvores acontece sob tais condições.

Cada tratamento foi subdividido em 3 (três) diferentes subtratamentos (*strip-plot*), onde as essências florestais foram agrupadas em: **S1. Espécies Pioneiras (PIO)**, **S2. Espécies não-pioneiras (NPIO)** e **3. Plantio misto (MIX)**.

Para controle dos efeitos de vizinhança as árvores nativas foram sistematicamente distribuídas dentro dos tratamentos (**Figura 6**). A posição de cada uma das 40 espécies dentro das parcelas no desenho experimental foi atribuída por randomização, conferindo também a cada espécie um respectivo número de identificação (conforme apresentado na **Tabela 1**).



Figura 6. Arranjo sistemático das espécies nativas, dentro das parcelas, ao longo de todos os tratamentos e subtratamentos (S1. Pioneiras; S2 Não Pioneiras e S3. Plantio Misto).

5.2.1. Manejo e condução da área

O plantio das árvores nativas foi realizado entre os dias 7, 8 e 9 de novembro de 2018, nas entrelinhas dos eucaliptos (**Figura 6 - A**) utilizando-se o mesmo espaçamento utilizado para o eucalipto (3x2 m) também comumente utilizado em plantios de restauração. A fim de

reduzir o stress hídrico, e a mortalidade em consequência deste, utilizou-se gel de plantio nas covas (**Figura 6 - B**).



Figura 7. Plantio das espécies florestais nativas: A) entrelinha do eucalipto onde foram plantadas as árvores; B) hidrogel utilizado durante o plantio.

A adubação de cobertura foi feita nos dias 20 e 21 de fevereiro de 2019 – 103 dias após o plantio. Devido à diversidade de espécies nativas, optou-se por uma adubação abrangente, utilizando 120 gramas por planta da formulação 17-06-24.



Figura 8. Adubação de cobertura realizada 103 dias após o plantio das mudas de espécies nativas

Após análise do contexto e dos recursos disponíveis, decidiu-se por um manejo de baixa intensidade no sistema. As operações realizadas para o controle de mato competidoras, incluíram a aplicação do herbicida glifosato em maio e novembro de 2019, e o coroamento de

mudas e roçagem em janeiro e abril de 2019, janeiro de 2020, outubro de 2021 e abril de 2022 (**Figura 9 – A**). O uso de iscas formicidas aconteceu apenas no primeiro ano, em maio de 2019, período de seca na região. Para manter o número de eucaliptos presente em cada um dos tratamentos, a eliminação de novas rebrotas ocorreu em janeiro e abril de 2019 e janeiro de 2020 (**Figura 9 -B**).

Em setembro de 2019, realizou-se a semeadura de uma cultura agrícola, a abóbora menina, tal como concebido no início deste projeto. Apesar de ter sido registrado taxa de germinação e florescimento desta (**Figura 9 – C**), em função da pandemia de COVID-19, na qual o acesso à Estação Experimental esteve restrito, não foi possível a realização de qualquer manejo ou medição durante este período, inviabilizando análises posteriores.



Figura 9. Manejo da área experimental: A) coroamento das mudas de espécies nativas; B) eliminação de novas rebrotas do eucalipto e C) registro da germinação e florescimento da abóbora menina plantada no sistema.

5.3. Avaliações do eucalipto

5.3.1. Área basal e Incremento médio anual

Para a verificação da resposta dos eucaliptos às diferentes intensidades de debates foram calculadas as taxas de incremento médio anual da área basal, e o incremento médio anual do diâmetro à altura do peito por árvore. Estes valores são referentes ao período de janeiro de 2019 a janeiro de 2020, tendo sido calculados pela diferença entre o valor final e inicial.

As medidas de perímetro à altura do peito (PAP) de todos os indivíduos da parcela foram feitas utilizando-se fita métrica. Os valores foram posteriormente transformados em DAP (diâmetro à altura do peito) em função do maior emprego desta métrica na literatura florestal.

5.3.2. Monitoramento do dossel

O acompanhamento do crescimento e fechamento do dossel vegetativo, foi realizado pelo método de fotografias hemisféricas. Os registros aconteceram em: janeiro de 2019 (verão), abril de 2019 (outono), julho de 2019 (inverno), novembro de 2019 (primavera), fevereiro de 2020 (verão).

As fotografias hemisféricas foram tiradas em seis pontos localizados sistematicamente no interior de cada parcela com a presença de cobertura florestal (**Figura 10**), totalizando 24 fotos por tratamento. As fotos foram tiradas à altura do solo, utilizando-se uma câmera da marca Canon, modelo EOS 7D, e lente hemisférica EF 8-15 mm f/4L “fisheye” USM.

As imagens obtidas foram analisadas utilizando-se o software Hemisfer 2.2® (**Figura 11**). No qual, as configurações utilizadas para os cálculos, foram baseados na metodologia proposta por Gonsamo *et al.* (2018).

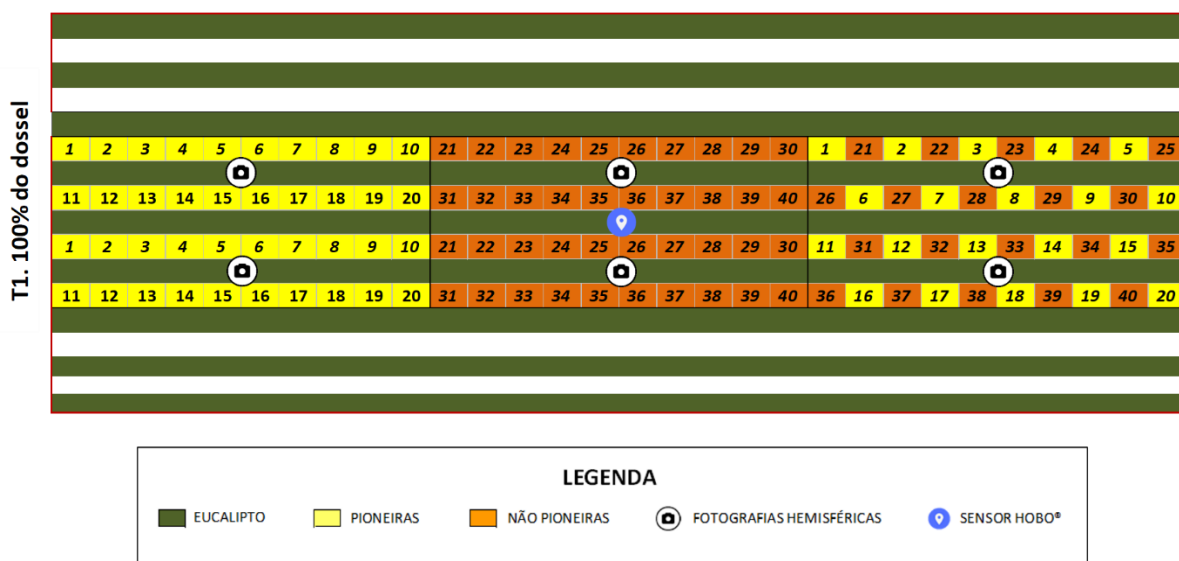


Figura 10. Detalhamento de uma parcela, com o posicionamento dos pontos de tiragem de fotografias hemisféricas e localização dos data loggers Hobo®

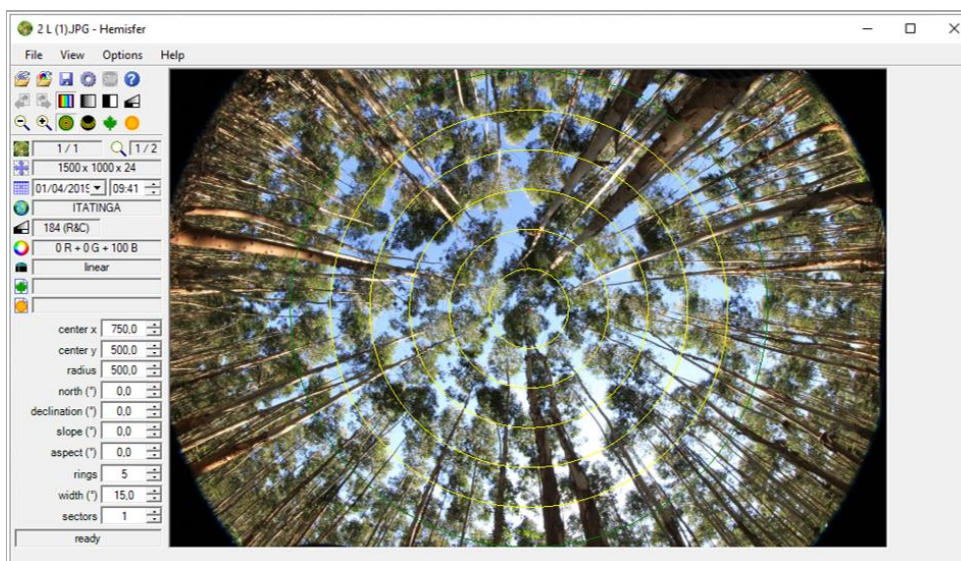


Figura 11. Interface do software Hemisfer 2.2[®] utilizado nos cálculos para determinação do Índice de Cobertura do Dossel

A adoção do termo Índice de Cobertura de Dossel (ICD) em substituição ao Índice de área foliar (IAF) foi preferida em função da metodologia empregada ser um meio indireto para a estimativa de valores de IAF. Além disso, troncos e galhos ao refletirem e transmitirem a luz que chega no interior da floresta também interferem na qualidade e quantidade de energia radiante disponível no sub-bosque, sendo por isso considerados estruturas importantes do dossel para este experimento.

5.4. Monitoramento da radiação solar disponível

Para as medições da quantidade de luz disponível no sub-bosque dos diferentes níveis de cobertura florestal (tratamentos), sensores *data loggers* Hobo Pendant[®] Temperature/Light 64K, foram dispostos sistematicamente a 1 metro de altura em posição central dentro de cada parcela, tal como pode ser visto na **Figura 10**, totalizando 4 sensores por tratamento. Um sensor adicional esteve posicionado no posto meteorológico da estação experimental, servindo como referência aos dados obtidos pelos sensores em campo.

Os sensores realizaram medições de janeiro de 2019 a fevereiro de 2020. Estes, foram programados para fazer registros instantâneos das condições de luz em intervalos de 30 minutos. Os dados coletados foram processados pelo software HOBOWare pro[®] (**Figura 12**).

As médias de intensidade luminosa mensal para cada um dos tratamentos foram feitas considerando apenas as medições realizadas entre os horários de nascer e pôr do sol.

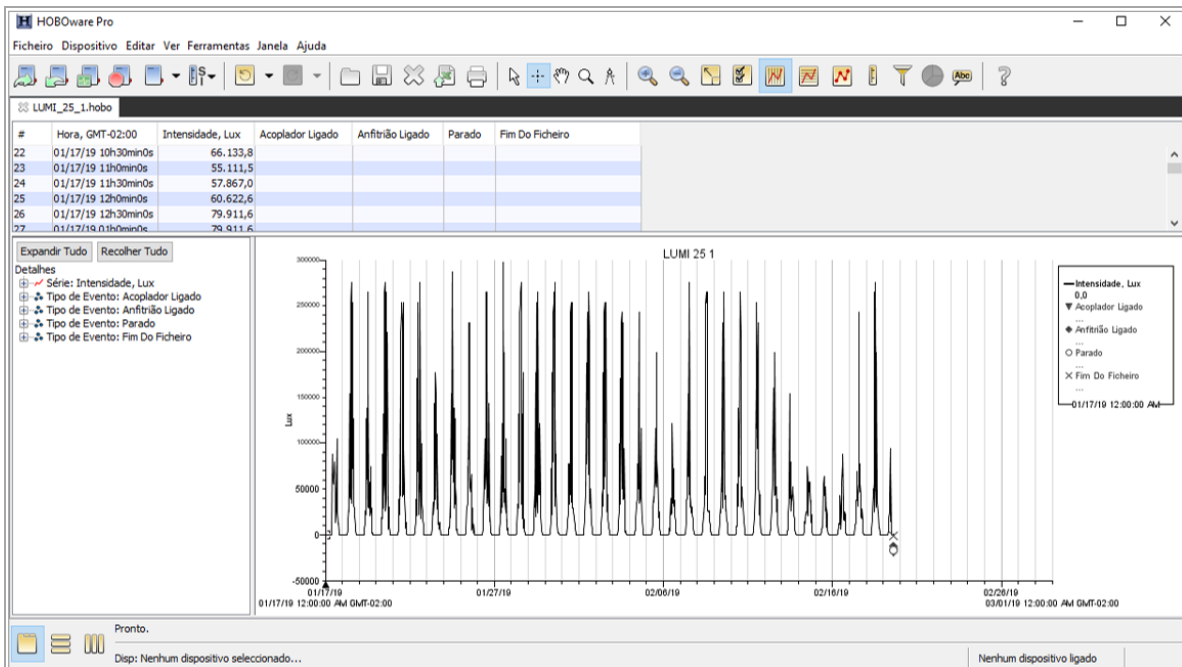


Figura 12. Saída dos resultados no software HOBOWare Pro®, onde podem ser vistos as variações diárias de luz (iluminância)

O modelo de sensor utilizado registra valores de intensidade luminosa em Lux (iluminância, em que $1 \text{ Lux} = 1 \text{ lúmen/m}^2$) e não irradiância solar (W/m^2) como um pirômetro. Ambas consideram a taxa energética por unidade de tempo por unidade de área, mas a comparação das medidas apresenta algumas limitações físicas. Enquanto que o lux é considerado uma unidade fotométrica, que leva em consideração a formação da imagem no olho humano (luz visível), o watt por metro quadrado é uma unidade radiométrica baseada na potência física (MCCLUNEY, 2014).

Sensores de radiação solar global (W/m^2), são sensíveis ao espectro de radiação entre 400 e 1100 nm, com pico de sensibilidade no infravermelho, a 950 nm; já sensores do tipo fotômetro, que mede iluminância (lux), registram os comprimentos de onda de 400 a 700 nm, com pico em 555 nm (LI-COR, 1986). Assim, para a transformação dos dados, modelos lineares foram utilizados, tendo como referência os trabalhos realizados por Michael, Johnston e Moreno (2020) e Silveira, Pai e Pai (2021).

5.5. Avaliações das espécies nativas

5.5.1. Mortalidade

O monitoramento da mortalidade das espécies nativas foi realizado periodicamente para acompanharmos a evolução da mortalidade das mudas ao longo do tempo. Os levantamentos em censo foram realizados em janeiro de 2019, julho de 2019, fevereiro de 2020 e abril de 2022. A taxa de mortalidade final foi atribuída pela razão entre o número de indivíduos mortos e o número total de indivíduos plantados.

5.5.2. Crescimento

A avaliação do crescimento dos exemplares arbóreos foi realizada medindo-se:

- I. Altura total – em função dos diferentes comportamentos arquitetônicos das espécies, medição foi realizada considerando o ponto mais alto da estrutura vegetativa viva (desconsiderando-se folhas). Para tais aferições foram utilizadas fita métrica ou trena (**Figura 13 – A**).
- II. Diâmetro do coleto – as medições do colo da muda na região de 1 cm acima do solo foram feitas pelo uso do paquímetro digital (modelo Absolute 150mm Mitutoyo®) (**Figura 13 – B**).



Figura 13. Avaliações das espécies florestais nativas: A) medição de altura total com auxílio de fita métrica; B) medição de diâmetro do coleto

5.6. Análise dos Resultados

Os dados referentes ao eucalipto: área basal, incremento do diâmetro e índice de cobertura do dossel (ICD), por se tratarem de variáveis mensuradas para a caracterização da área foram sistematizados e explorados utilizando-se o Excel®, considerando apenas as diferenças entre os tratamentos (**T100 -100% da população florestal de eucalipto, T75 - 75% da população florestal de eucalipto, T50 - 50% da população florestal de eucalipto , T33 - 33% da população florestal de eucalipto e T0 - sem cobertura florestal / pleno-sol**).

Para as espécies nativas, além de cada tratamento foram considerados os subtratamentos, **S1 – Espécies Pioneiras (PIO), S2 – Espécies não pioneiras (NPIO) e S3 – Plantio misto (MIX)**, os quais foram analisados para delineamento em parcelas subdivididas (DPS) com blocos não casualizadas pelo uso do *software* SAS® (Statistical Analysis System). As variáveis mortalidade, crescimento em altura e incrementos do diâmetro do coleto (DAC) foram analisados pelo teste Shapiro-Wilk para normalidade, e quando necessário foram feitas a transformação dos dados para controle da variância; teste Box-Plot para distribuição dos dados e Teste de Tukey para comparação entre médias.

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1. Desenvolvimento vegetativo do eucalipto e o ambiente luminoso após o desbaste

Considerando que o ambiente lumínico ao qual as espécies arbóreas nativas estiveram submetidas é consequência do desenvolvimento vegetativo da cultura do eucalipto presente na área, a seguir são apresentados alguns parâmetros observados para caracterizar a área e, compreender quais foram as respostas de desenvolvimento da estrutura arbórea que serve como cobertura vegetal após o manejo feito para construção do desenho experimental.

6.1.1. Incrementos de DAP e Área basal

O diâmetro à altura do peito (DAP) foi afetado pelo desbaste progressivo na área. Houve ganhos progressivos no incremento médio anual para os tratamentos com o aumento da intensidade de desbaste. O tratamento **T100** apresentou um incremento médio de 1,09 cm/ano/árvore; **T75** teve um incremento 1,32 cm/ano/árvore; **T50** de 1,59 cm/ano/árvore e **T33** um incremento de 2,20 cm/ano/árvore, o que representa um incremento de mais de 100% em relação ao tratamento sem desbaste (**Tabela 2**).

Tabela 2. Incremento médio anual e relativo do diâmetro à altura do peito (DAP) para cada um dos tratamentos com a presença da cultura do eucalipto (T100, T75, T50, T33).

Tratamento	DAP médio inicial (cm)	DAP médio final (cm)	Incremento médio anual (cm)	Incremento %	Incremento comparativo*
T100	13,27	14,36	1,09	8,2%	-
T75	14,43	15,75	1,32	9,2%	21,2%
T50	15,66	17,25	1,59	10,1%	45,5%
T33	16,21	18,42	2,20	13,6%	101,9%

* Incremento comparado ao tratamento de referência sem desbaste T100.

Quanto ao incremento da área basal, este, foi negativamente afetado por qualquer intensidade de desbaste, quando comparados ao tratamento de referência sem desbaste (T100) (**Tabela 3**).

Tabela 3. Incremento médio anual e relativo da área basal (AB) para cada um dos tratamentos com a presença da cultura do eucalipto (T100, T75, T50, T33).

Tratamento	Área basal inicial (m ² /ha)	Área basal final (m ² /ha)	Incremento da área basal (m ² /ha)	Incremento relativo %	Incremento comparativo *
T100	7,7482	9,15698	1,4088	18,2%	-
T75	6,4131	7,69037	1,2772	19,9%	-9,3%
T50	5,7218	6,98077	1,2590	22,0%	-10,6%
T33	3,8081	4,91827	1,1101	29,2%	-21,2%

* Incremento comparado ao tratamento de referência sem desbaste T100.

A área basal, considerado um parâmetro de densidade é de comum uso para descrição de povoamentos florestais, por sua relação matemática com o diâmetro a altura do peito (DAP) e ao número de árvores por hectare, os quais são importantes fatores no manejo, e simples de serem obtidos (GLUFKE, FINGER e SCHNEIDER, 1997).

Os tratamentos com maiores densidades de eucalipto por hectare foram também aqueles que apresentaram as maiores áreas basais por hectare. A observação está corroborada por Patiño (1995), que descreveu existir uma relação inversa entre área basal e o espaçamento e, que normalmente maiores áreas basais são registradas em plantios densos em decorrência do maior número de árvores por hectare. Porém, Glufke, Finger e Schneider (1997) afirmam que um alto valor de área basal pode ser resultado não apenas de um grande número de árvores com pequenos diâmetros, como também de um pequeno número de árvores com grandes diâmetros. Podendo o desbaste enquanto manejo silvicultural ser aplicado para promover alterações nessa relação (GLUFKE, FINGER e SCHNEIDER, 1997).

Desbastes, de forma geral, visam diminuir a competição por recursos, como luz e água, proporcionando mais espaço para as árvores remanescentes, obtendo assim fustes com maiores dimensões e melhor qualidade, agregando valor ao produto final (FINGER e SCHNEIDER, 1999).

A aplicação de desbastes mais intensos, ao proporcionarem maiores espaços para o desenvolvimento das árvores retidas e menor competição por recursos, promovem crescimentos diamétricos superiores ao de desbastes mais leves (REINSTORF, 1970 apud ELESBÃO e SCHNEIDER, 2011). Essa tendência de comportamento resposta para o *Eucalyptus grandis* pode ser observado neste estudo (**Tabela 2**), e melhor compreendidos pela leitura dos trabalhos de Kariuki (2008); Monte *et al.* (2009); Ramos *et al.* (2014) e Trevisan *et al.* (2007).

Contudo, existem limites para os ganhos em incremento em nível de população (GLENCROSS *et al.*, 2014), aberturas excessivas e desbastes de alta intensidade podem ocasionar perdas produtivas quando as árvores ainda presentes no sistema não são capazes de compensar o volume retirado, resultando em queda da produção (ELESBÃO e SCHNEIDER, 2011). A exemplo disso, no tratamento **T33**, onde houve a maior intensidade de desbaste, a retirada de aproximadamente 67% dos fustes resultou na redução de 53,7% da área basal, e quando comparado ao **T100**, teve um incremento 21,2% menor. Valores relativos próximo ao encontrado por Glufke, Finger e Schneider (1997), em que estudo de intensidade de desbastes em *Pinus elliotti*, mostraram que a eliminação de 50% da área basal em relação à testemunha não desbastada resultou em perdas de produção de 21% do incremento.

Os limites máximos de intensidade de desbastes que limitam o incremento em área basal ou volume das árvores remanescentes são variáveis e difíceis de se calcular, estando em função do desenvolvimento do povoamento (FORRESTER *et al.*, 2010) e da qualidade do sítio florestal (GLUFKE, FINGER e SCHNEIDER, 1997).

Além disso, a resposta de aceleração do crescimento pós desbaste não é imediata, e uma árvore pode levar até quatro anos ampliando sua área foliar e radicular para, a partir daí, produzir um incremento significativo em diâmetro (SCHNEIDER, 1993), sendo esse tempo de resposta mais lento em povoamentos mais velhos (FINGER e SCHNEIDER, 1999).

Tais considerações tem aplicação prática para este estudo, visto ele fora conduzido em uma área de *Eucalyptus grandis* clonal estabelecido em 2000, conduzido em regime de talhadia onde dois cortes anteriores ao desbaste foram realizados. A isso, soma-se o fato que para a implantação do desenho experimental a eliminação de fustes precisava acontecer de forma sistemática, priorizando-se a posição do indivíduo no talhão a outros critérios de seleção. Assim, parece seguro afirmar que as condições pré-existentes, a escolha do manejo feito para proporcionar um gradiente luminoso e o tempo de observação de apenas um ano, contribuíram para os baixos incrementos da área basal observados.

6.1.2. Monitoramento do dossel

Por meio de fotografias hemisféricas (**Figura 14**), observou-se a evolução do dossel ao longo de um ano, para cada um dos tratamentos. Os índices de Cobertura do Dossel (ICD) registrados são apresentados a seguir (**Tabela 4**).

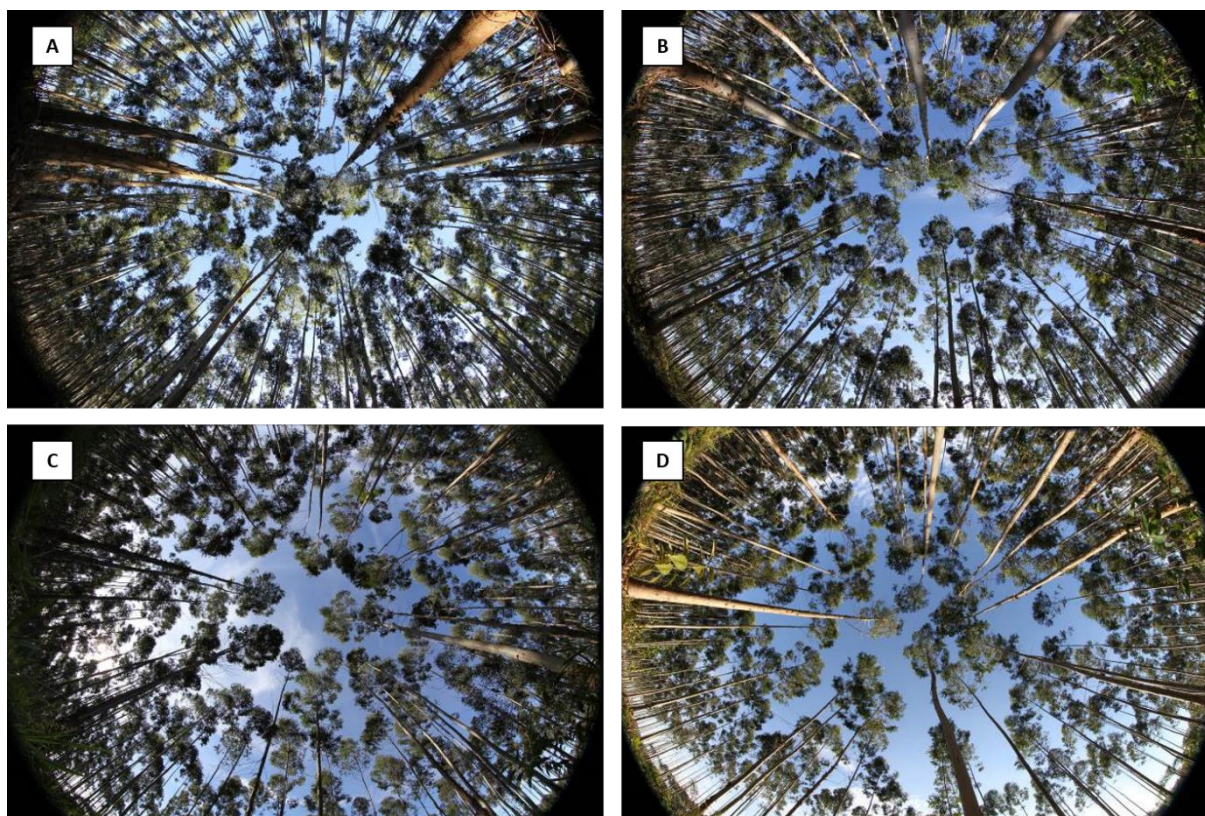


Figura 14. Fotografias hemisféricas tiradas para acompanhamento do dossel, em sequência: A) T100 -100% da população florestal de eucalipto, B) T75 -75% da população florestal de eucalipto, C) T50 - 50% da população florestal de eucalipto e D) T33 - 33% da população florestal de eucalipto.

Tabela 4. Valores do Índice de Cobertura do Dossel (ICD) medidos ao longo do tempo, para cada um dos tratamentos com a presença do eucalipto (T100, T75, T50 e T33).

Tratamento	jan/19	abr/19	jul/19	nov/19	fev/20	Incremento
T100	1,9	1,78	1,67	1,39	1,86	-2,1%
T75	1,68	1,67	1,59	1,4	1,74	3,6%
T50	1,46	1,59	1,46	1,17	1,63	11,6%
T33	1,09	1,28	1,19	0,99	1,43	31,2%

Tabela 5. Variação dos valores do Índice de Cobertura do Dossel (ICD) ao longo do tempo para cada um dos tratamentos com a presença do eucalipto (T100, T75, T50 e T33).

Tratamento	Jan/Abr	Abr/Jul	Jul/Nov	Nov/Fev
T100	- 0,12	- 0,11	- 0,28	0,47
T75	- 0,01	- 0,08	- 0,19	0,34
T50	0,13	- 0,13	- 0,29	0,46
T33	0,19	- 0,09	- 0,2	0,44

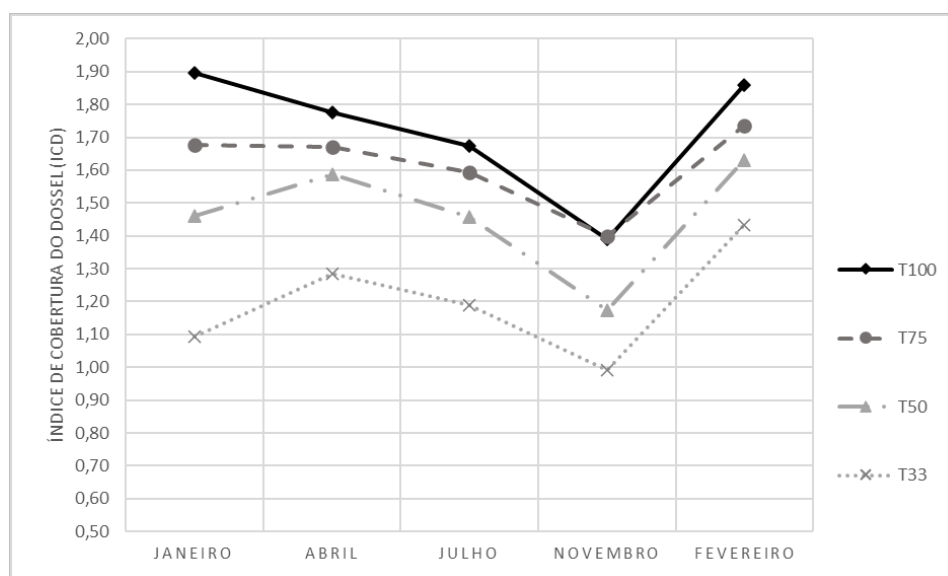


Figura 15. Representação gráfica da resposta sazonal do Índice de Cobertura do Dossel (ICD) para cada um dos tratamentos com a presença do eucalipto (T100, T75, T50 e T33).

Em janeiro, cerca de 3 meses após a remoção de árvores para instalação do desenho experimental, os tratamentos **T75**, **T50** e **T33** apresentavam um ICD 12% (1,68), 23% (1,46) e 43% (1,09) menor do que o observado no tratamento não-desbastado (T100 - 1,9).

É possível observar que todos os tratamentos apresentaram uma variação sazonal para os valores de ICD. A princípio observa-se comportamentos distintos entre tratamentos em função da redução do volume de chuvas registrados entre janeiro e abril de 2019. O tratamento **T100**, em decorrência da maior densidade de plantas por hectare e consequente competição por recursos, foi o mais sensível a esta mudança no regime hídrico; o tratamento **T75** mostrou aparente estabilidade; enquanto que os tratamentos **T50** e **T33** tiveram aumento do ICD, sendo maior para o tratamento como maior intensidade de desbaste. Nos meses de julho e novembro, observa-se uma diminuição gradual do ICD para todos os tratamentos, como resposta fenológica a intensificação da deficiência hídrica (balanço hídrico disponível no

APÊNDICE B), seguido pela recuperação da cobertura vegetal em fevereiro com o retorno do período chuvoso.

Quanto ao desenvolvimento do dossel ao longo de um ano, comparando os valores do índice em janeiro de 2019 com o de fevereiro de 2020, nota-se que os tratamentos **T100** e **T75** quase não tiveram mudanças na estrutura do dossel considerando a variável observada, podendo ser um indicativo de que a quantidade de plantas manejadas e o copado resultante dessa população estava em aparente equilíbrio. Já o **T50** e o **T33** tiveram um aumento relativo de 11,6% e 31,2% do ICD respectivamente.

Em plantações florestais, após o completo desenvolvimento da copa e fechamento do dossel, estes limitados pelo espaço disponível, verifica-se um padrão sazonal de flutuação do IAF, em que os valores máximos e mínimos acompanham as variações climáticas (LE MAIRE *et al.*, 2012) especialmente a frequência de chuvas (STAPE, BINKLEY e RYAN, 2004, 2008).

Porém o manejo do plantio por meio do desbaste, promoveu alterações na dinâmica de copa do povoamento florestal, pois altera o espaço disponível para o desenvolvimento vegetativo das plantas retidas, permitindo nova expansão da copa (WHITEHEAD e BEADLE, 2004)

A recomposição do dossel, comumente registradas por ganho no IAF pós desbaste, evidencia ainda, que as plantas investem na produção de folhas, para melhor aproveitar os recursos disponíveis, com destaque para a radiação solar (WHITEHEAD e BEADLE, 2004). O que pode ser observado pelas medições de abril de 2019, em que apesar do menor volume de chuvas na região, o maior espaço disponível e menor competição nos tratamentos **T50** e **T33**, resultados dos desbastes aplicados, permitiu que o uso dos recursos disponíveis fosse otimizado proporcionando ganhos de ICD.

Estudo conduzido por Medhurst e Beadle (2001), no qual observaram ao longo de 6 anos o desenvolvimento da estrutura de copa em plantios de *Eucalyptus nitens* submetidos a diferentes intensidades de desbastes, registraram aumentos dos IAFs para todos os tratamentos desbastados comparado ao tratamento controle, e a longo prazo as maiores taxas de incrementos em IAF foram encontradas nos povoamentos submetidos às maiores intensidades de desbaste. Segundo os autores, após 6 anos, o desbaste não alterou o ângulo dos galhos, a densidade de ramificação ou a relação entre o tamanho do galho e a área foliar relativa e este, estando o aumento da área foliar correlacionado com as mudanças no comprimento da coroa.

Chaves *et al.* (2007), em estudo sobre a dinâmica de cobertura de dossel de povoamento clonal de *Eucalyptus grandis* submetidos a desrama artificial e desbaste (com eliminação de 35% das árvores plantadas), observaram a recomposição significativa do dossel, por meio do IAF e ICD, 13 meses após o desbaste, sendo os valores de ICD subestimados em comparação ao IAF.

Os modestos valores de ICD frente ao IAF usualmente empregado é registrado em literatura (BRÉDA, 2003; CHAVES *et al.*, 2007; CHIANUCCI, 2020; GALVANI e LIMA, de, 2014; VAN GARDINGEN, *et al.*, 1999; GIUNTI NETO *et al.*, 2015; JONCKHEERE *et al.*, 2004; PAIVA *et al.*, 2009; RODY *et al.*, 2014; TONELI *et al.*, 2007; WEISS *et al.*, 2004), apesar deste fato, estudos mostram a correlação positiva entre a variável obtida por fotografias hemisféricas (neste trabalho designado como Índice de Cobertura do Dossel) com o Índice de Área Foliar real, sendo a metodologia capaz de registrar inclusive variações sazonais (CANTINHO, PONZONI e SANTOS, 2014; CHAVES *et al.*, 2007; GIUNTI NETO *et al.*, 2015; PAIVA *et al.*, 2009; TONELI *et al.*, 2007), como os observado pelos dados apresentados (**Tabela 5** e **Figura 15**).

Como já mencionado, o dossel é um dos filtros que influenciam a disponibilidade de radiação solar em um ambiente florestal (TAKASHIMA, KUME e YOSHIDA, 2006; YAMADA *et al.*, 2014), sendo de grande importância para a silvicultura compreender o impacto das mudanças no ambiente radiante para a produtividade e o crescimento do diâmetro em resposta a diferentes densidades de plantio ou após uma operação de desbaste.

Assim, essa observação descritiva do desenvolvimento do dossel nos ajuda a compreender sob quais condições e variações de luz/sombra estiveram as espécies de árvores nativas observadas durante este experimento.

6.1.3. Ambiente luminoso

O sombreamento é um fator abiótico determinante para o estabelecimento e desenvolvimento das plantas em ambientes tropicais (DENSLOW, 1987), bem como responsável por uma série de respostas plásticas no desenvolvimento da comunidade vegetal existente (STERCK, 1997). Tendo como objetivos específicos deste trabalho a observação destas respostas às diferentes condições de luminosidade disponíveis, este tópico se propõe a caracterizar os distintos ambientes lumínicos e sua relação com as estruturas anteriormente apresentadas.

Considerando as diferenças entre as grandezas físicas lúmen/m^2 e Watts/m^2 , foram realizadas a comparação entre as medidas obtidas pelo sensor Hobo de referência e o piranômetro, ambos localizados no posto meteorológico da EECF-Itatinga. Os dias em que ocorreram os Equinócios (de outono e primavera) e Solstícios (de inverno e verão) foram adotados como padrão para a aferição e calibração entre os sensores.

Como é possível observar, apesar de serem fisicamente homólogas (SILVEIRA, PAI e PAI, 2021) as unidades lúmen/m^2 e Watts/m^2 não são iguais.

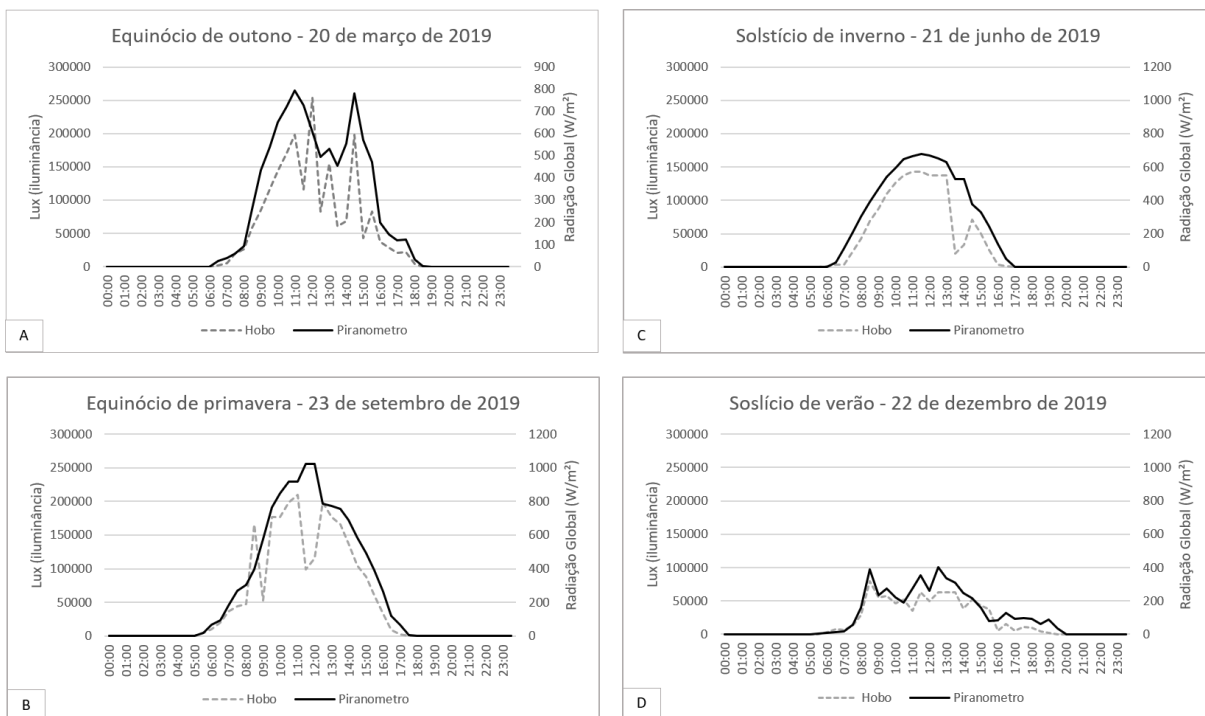


Figura 16. Comparação das medidas registradas pelo sensor Hobo de referência com as medidas do piranometro (ambos localizados no posto de estação meteorológica da EECF-Itatinga) para os dias de equinócios e solstícios do ano de 2019

Apesar de ser possível encontrar na internet uma série de fontes indicando valores de conversão entre as unidades, essas referências em geral são conflitantes e com alta variação. Segundo Michael, Johnston e Moreno (2020), a literatura científica revisada por pares também não apresenta nenhum padrão de conversão, e exibem valores de eficiência que variam de 21 a 131 lux por W/m^2 . Desta forma, os pesquisadores elaboraram um guia de calibração e conversão utilizando 3 modelos de sensores do tipo fotômetro, para os quais, sob condições de baixa irradiância, uma regressão linear mostrou-se como modelo satisfatório. O

ajuste linear, também foi considerado adequado em estudo de Silveira, Pai e Pai (2021), no qual condições de radiação sob estufa foram analisadas.

Assim, análises de regressão linear simples foram feitas para os dias adotados como padrão, sendo encontrado boas correlações entre a iluminância obtida pelo sensor Hobo e a radiação global, variando o valor de R entre 0,9174 para o equinócio de outono e 0,9541 para o solstício de verão.

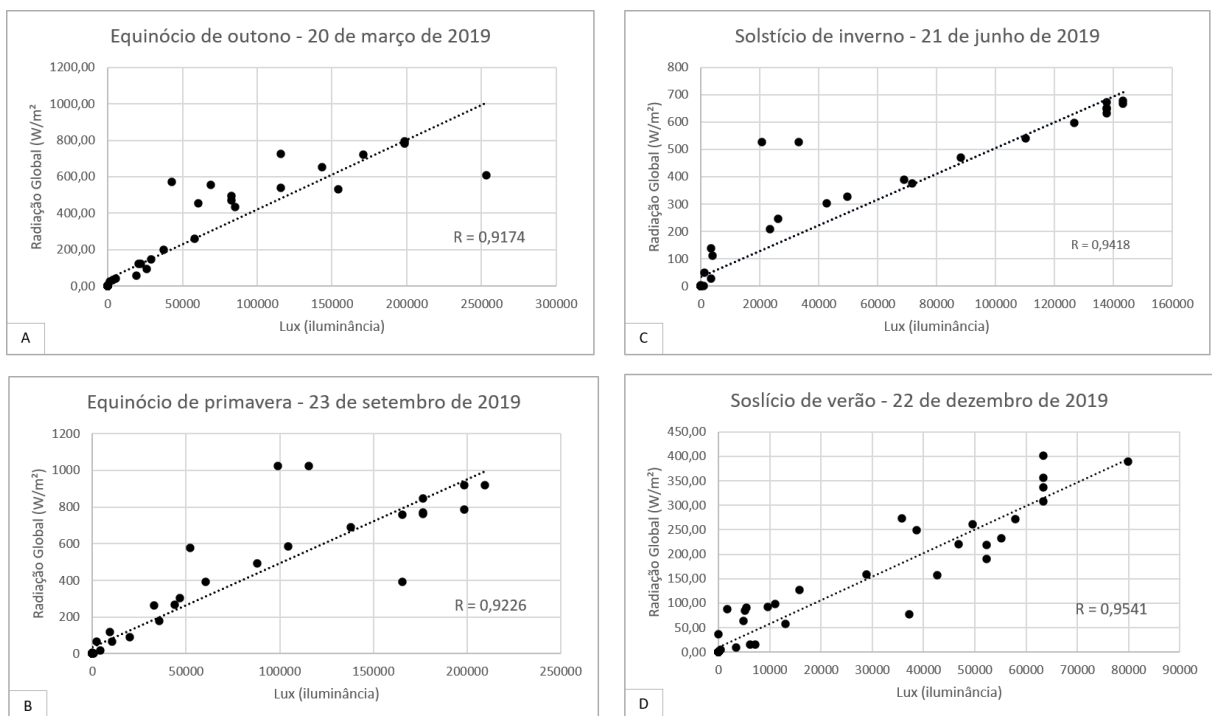


Figura 17. Análises gráficas da regressão linear entre os valores de Lux (iluminância) e Radiação Global (W/m^2) medidos pelo sensor Hobo e piranômetro de referência

Para obter-se apenas uma equação que permitisse a transformação de todos os dados, um novo modelo linear foi traçado utilizando-se os valores medidos nos quatro dias de referência (**Figura 18**), obtendo-se uma correlação de 0,9258.

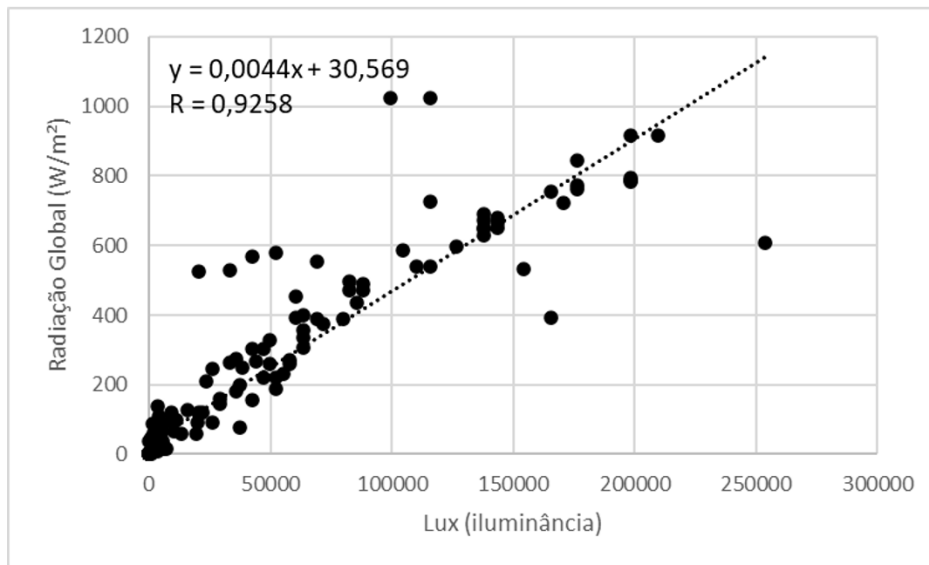


Figura 18. Análises gráfica de regressão linear e equação da reta para conversão entre os valores de Lux (iluminância) para Radiação Global (W/m^2)

Os resultados da transformação dos valores, podem ser observados pela comparação da **Figura 19**, onde são apresentados os valores médios de Intensidade luminosa medidos pelos sensores Hobo em campo, ao longo de quatorze meses (janeiro de 2019 a fevereiro de 2020), com a **Figura 20**, onde são apresentados os valores estimados de radiação global obtidos pelo uso da equação resultante do modelo linear.

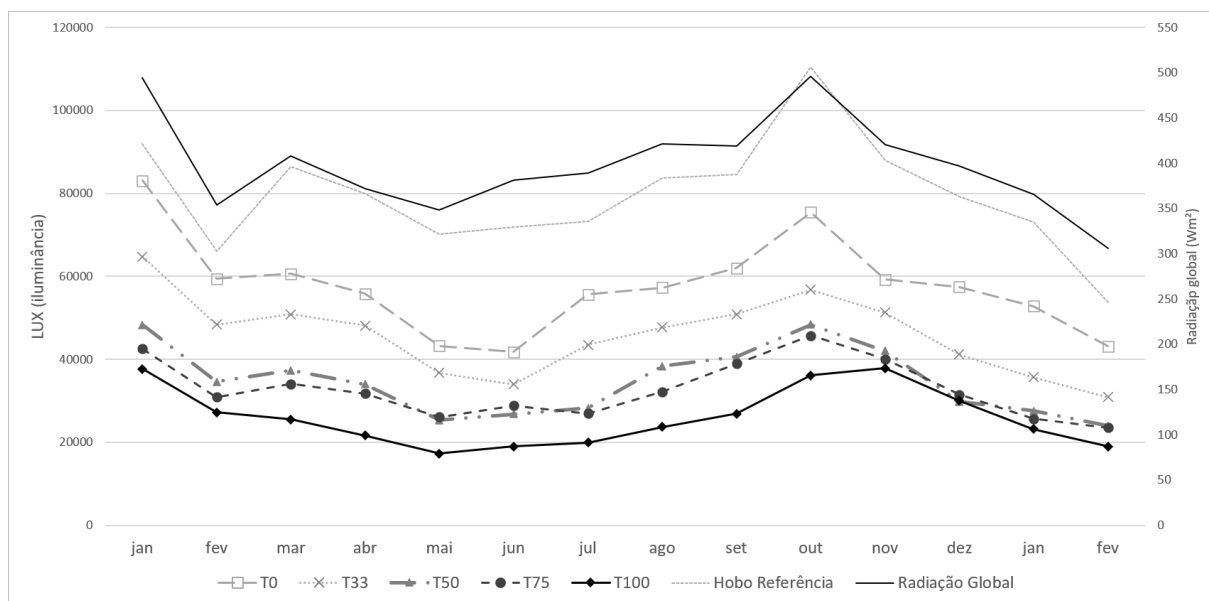


Figura 19. Intensidade luminosa médias, medidas em campo ao longo de quatorze meses, para cada um dos tratamentos (T100, T75, T50, T33, T25 e T0), comparados a luminosidade de referência medido por sensor Hobo® e radiação global medida pelo piranômetro, ambos localizados no posto meteorológica da EECF-Itatinga.

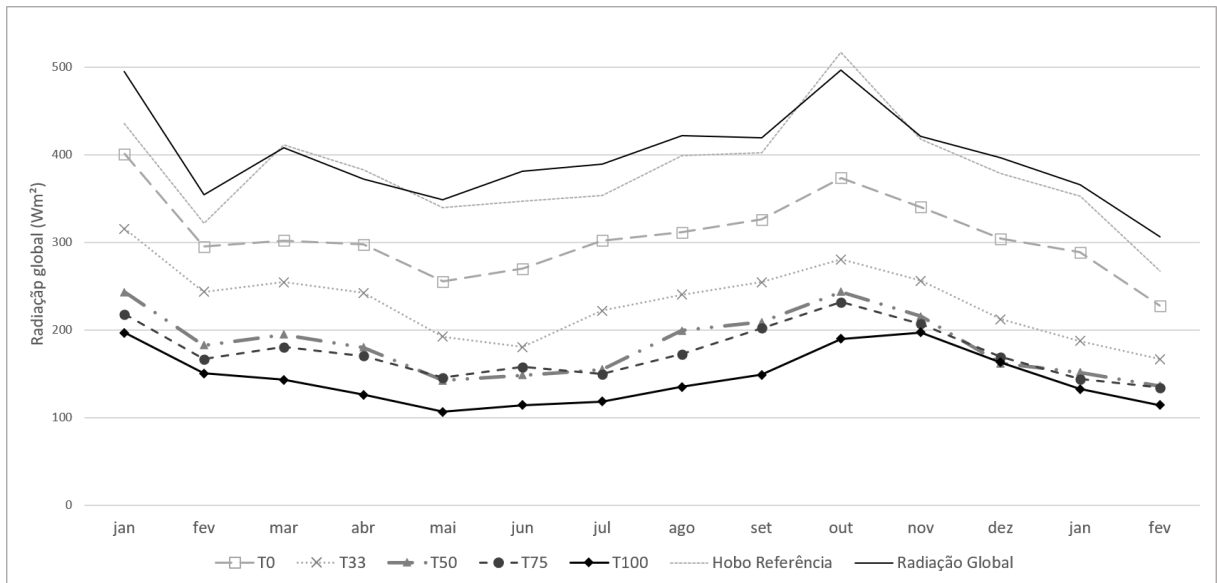


Figura 20. Radiação global média obtidas por transformação de dados (lux para W/m^2), para cada um dos tratamentos (T100, T75, T50, T33, T25 e T0), comparados a radiação global medido por piranômetro e radiação estimada para sensor Hobo de referência.

Como esperado, a variação da unidade transformada é semelhante ao da unidade medida e se mantém, visto que são homólogas, e os valores obtidos pelo sensor Hobo de referência se aproxima dos valores medidos pelo piranômetro.

Quanto ao gradiente luminoso resultante do manejo feito para construção do desenho experimental, inicialmente temos uma amplitude média de 32,71% a 79,33% de luminosidade disponível para as espécies nativas ou, 38,25% a 81,00% da radiação global (maiores detalhes presentes nos **APÊNDICES C, D, E e F**).

Uma observação importante se refere ao tratamento **T0**, o qual não apresenta 100% da radiação solar disponível para a região. Isso decorre em função da concepção teórica do experimento e a viabilidade técnica de sua instalação. Por se tratar de um experimento Strip-plot em faixas sem casualização, o tratamento sem cobertura florestal (**T0**) era vizinho ao tratamento **T33** (**Figura 21**) este, que a partir de certa elevação solar proporcionava sombra ao tratamento em pleno sol, impedindo a exposição deste tratamento às condições máximas de radiação solar. Esse é um dos principais problemas em se trabalhar com experimentação com radiação solar e de árvores que apresentam grande porte e são longevas. Um delineamento capaz de atender todo o planejado exigiria áreas muito maiores o que inviabilizaria tanto sua execução como aumentaria muito os custos.

A respeito do ambiente radiante para cada um dos tratamentos, o sub-bosque do tratamento **T100**, ao longo dos 14 meses de observação, recebeu em média cerca de 38% da radiação disponível; o sub-bosque do **T75** recebeu em média 46%, **T50** 48%, **T33** 61% e na área do tratamento a pleno sol (**T0**) registrou em média 81% da radiação global de referência.

Tabela 6. Luminosidade e radiação disponíveis para cada um dos tratamentos comparadas as medições de referência.

Período		Referência	T0	T33	T50	T75	T100
Janeiro de 2019	luminosidade (lúmen/m ²)	91959,64 (100%)	84146,53 (91,50%)	64764,92 (70,43%)	48316,45 (52,54%)	42524,01 (46,24%)	37709,66 (41,01%)
	radiação global (w/m ²)	435,19 (100%)	400,81 (92,10%)	315,53 (72,50%)	243,16 (55,87%)	217,67 (50,02%)	196,49 (45,15%)
Fevereiro de 2020	luminosidade (lúmen/m ²)	53717,68 (100%)	44804,64 (83,41%)	30915,85 (57,55%)	23973,49 (44,63%)	23550,29 (43,84%)	18989,91 (35,35%)
	radiação global (w/m ²)	266,93 (100%)	227,71 (85,31%)	166,60 (62,41%)	136,05 (50,97%)	134,19 (50,27%)	114,12 (42,76%)
Média ao longo de 14 meses	luminosidade (lúmen/m ²)	79464,88 (100%)	62757,15 (78,97%)	45759,79 (57,58%)	34639,58 (43,59%)	32779,01 (41,25%)	26082,073 (32,82%)
	radiação global (w/m ²)	380,21 (100%)	306,70 (80,67%)	231,91 (61,00%)	182,98 (48,13%)	174,80 (45,97%)	145,33 (38,22%)



Figura 21. Visão da interface dos tratamentos T0 e T33 em diferentes dias em horários: A) foto do dia 3 de outubro de 2019 às 10:30h e B) foto de 10 de agosto de 2021 às 16:30h; na qual vemos o sombreamento proporcionado pelo T33 ao T0.

O uso de sensores do tipo fotômetro, para mensuração das quantidades de radiação disponível em sistemas agroflorestais é também validada pela pesquisa conduzida por Oliveira, et al. (2007), na qual observaram o comportamento da radiação solar no sub-bosque de sistemas agrossilvipastoris com eucalipto em diferentes arranjos. No estudo, foram utilizados um piranômetro para radiação global (W/m^2), um quantômetro para a densidade de fluxo de fótons (DFF – $\mu mol/s/m^2$) e um fotômetro para iluminância (lux). Segundo os autores, o comportamento para luminosidade foi semelhante ao da DFF e radiação global (Oliveira, *et al.*, 2007).

A porcentagem da luz disponível variou em função do arranjo, idade do plantio e época do ano, sendo registrados valores semelhantes ao encontrado do sistema aqui estudado, para exemplos, o arranjo (3x4)+7, aos 27 meses, apresentavam 58,9% de iluminância na linha e 50,9% na entrelinha, valores próximos a iluminância média do tratamento T33; no arranjo (3x4)+10, também aos 27 meses, na linha era encontrado 46,5% da iluminância total, valor que se aproxima dos tratamento T50 e T75; e o arranjo (3x3)+15 no mesmo período disponibilizava 37,3% da luz na linha, o que se assemelha a luminosidade média do T100 (OLIVEIRA, *et al.*, 2007).

Para Lhotka e Loewenstein (2008), as relações entre estrutura, ambiente e crescimento ajudam a descrever as condições de estande criadas por um determinado manejo silvicultural, permitindo aos gestores florestais a capacidade de desenvolver tratamentos que modifiquem a resposta da vegetação através da manipulação estrutural.

De acordo com Kara e Topaçoğlu (2018) a capacidade de manipulação do ambiente luminoso em povoamentos florestais é tecnicamente mais simples do que o controle de outros fatores ambientais. No entanto, a execução bem-sucedida depende da capacidade de compreensão de como é possível obter-se as condições desejadas por meio de uma cobertura de dossel que pode ser estruturada pela escolha da espécie arbórea, arranjo e densidade de plantio, realização de desramas, podas, desbastes e colheitas (BUCKLEY, ISEBRANDS E SHARIK, 1999; SEQUEIRA e GHOLZ, 1991).

Desta forma, para aprofundar a compreensão sobre as respostas fisiológicas da cultura do eucalipto às diferentes intensidades de desbaste, que resultaram em diferentes condições de luz, são apresentados três quadros resumos correlacionando as variáveis discutidas até o presente momento (**Tabelas 7, 8 e 9**).

Os tratamentos com as maiores áreas basais (AB) apresentaram os maiores índices de cobertura de dossel (ICD) e conseqüentemente as menores porções de luminosidade e radiação disponíveis no sub-bosque. Enquanto que os tratamentos com menores AB ao permitirem maior entrada de luz no sistema resultaram nos maiores incrementos em ICD e DAP para a cultura do eucalipto.

A relação entre estrutura do dossel e disponibilidade de luz em sistemas agroflorestais também foi objeto de estudo de Sequeira e Gholz (1991), em análises de 6 tipos de arranjos de sistemas silvipastoris com *Pinus elliottii*, os pesquisadores encontraram maior disponibilidade de radiação fotossinteticamente ativa em arranjos com maiores espaçamentos, com registros decréscimos na penetração da luz com o crescimento das plantas associado ao aumento da área de copa.

Toneli *et al.*(2007), em análise da estrutura do dossel a partir de fotografias hemisféricas e sua relação com dados dendrométricos de inventário florestal conduzido em um povoamento de *Eucalyptus grandis*, encontraram uma correlação negativa de 0,88 entre abertura do dossel e a área basal, ou seja, quanto maior a abertura do dossel menor é a área basal média.

Segundo Espelta, Riba e Javier (1995), a relação que existe entre área basal, índice de área foliar e quantidade de luz transmitida através do dossel) decorrem do fato que com o aumento da densidade de árvores (AB) em geral há uma maior densidade de copa (ou seja, LAI) e conseqüente menos luz disponível no sub-bosque. Assim, relações inversas entre luz transmitida e LAI são geralmente observadas (ESPELTA, RIBA e JAVIER, 1995).

Tabela 7. Quadro resumo das principais variáveis observadas para a caracterização da área experimental e sua relação com o ambiente luminoso do sub-bosque de cada um dos tratamentos, logo após o desbaste, em janeiro de 2019.

Tratamento	% dos fustes remanescentes	DAP médio inicial (cm)	Área basal (m ² /ha)	% da área basal	Índice de Cobertura do Dossel (ICD)	% de ICD	Intensidade luminosa (lux)	Luminosidade relativa (%)	Radiação global (W/m ²)	Radiação relativa (%)
T100	100,00%	13,27	7,74818	100,00%	1,90	100,00%	37709,66	41,01%	196,49	45,2%
T75	73,48%	14,43	6,41315	82,77%	1,68	88,43%	42524,01	46,24%	217,67	50,0%
T50	53,91%	15,66	5,72176	73,85%	1,46	77,05%	48316,45	52,54%	243,16	55,9%
T33	36,63%	16,21	3,80814	49,15%	1,09	57,70%	64764,92	70,43%	315,53	72,5%
T0							84146,53	91,50%	400,81	92,1%

Luminosidade de referência	91959,64	100%
Radiação global de referência	435,19	100%

Tabela 8. Quadro resumo das principais variáveis observadas para a caracterização da área experimental e sua relação com o ambiente luminoso do sub-bosque de cada um dos tratamentos, ao final do período de observação, em fevereiro de 2020.

Tratamento	% dos fustes remanescentes	DAP médio final (cm)	Área basal (m ² /ha)	% da área basal	Índice de Cobertura do Dossel (ICD)	% de ICD	Intensidade luminosa (lux)	Luminosidade relativa (%)	Radiação global (W/m ²)	Radiação relativa (%)
T100	100,00%	14,36	9,15698	100,00%	1,86	100,00%	18989,91	35,35%	114,12	42,76%
T75	73,48%	15,75	7,69037	83,98%	1,74	93,39%	23550,29	43,84%	134,19	50,27%
T50	53,91%	17,25	6,98077	76,23%	1,63	87,65%	23973,49	44,63%	136,05	50,97%
T33	36,63%	18,42	4,91827	53,71%	1,43	77,06%	30915,85	57,55%	166,60	62,41%
T0							44804,64	83,41%	227,71	85,31%

Luminosidade de referência	53717,68	100%
Radiação global de referência	266,93	100%

Tabela 9. Quadro resumo dos incrementos médios para diâmetro a altura do peito (DAP), área basal (AB), índice de cobertura de dossel (ICD) e a luminosidade e radiação médias (%) disponíveis em cada um dos tratamentos, ao longo de quatorze meses

Tratamento	Incremento DAP %	Incremento AB %	Incremento ICD %	Luminosidade média disponível (%)	Radiação média disponível %
T100	8,20%	18,20%	-2,10%	32,82%	38,22%
T75	9,20%	19,90%	3,60%	41,25%	45,97%
T50	10,10%	22,00%	11,60%	43,59%	48,13%
T33	13,60%	29,20%	31,20%	57,58%	61,00%
T0				78,97%	80,67%

A caracterização do ambiente radiante deste trabalho é de extrema importância, visto que este estudo tem especial interesse pelas condições de luz presentes nos sub-bosques de cada um dos tratamentos. Este direcionamento para a melhor compreensão do manejo do ambiente luminoso, se dá por sua aplicabilidade em contextos mais amplos que o aqui abordado, já que o gradiente de luz presente no sistema agroflorestal de estudo desta pesquisa, pode ser encontrado em distintas tipologias florestais, bem como obtidas através de diversas práticas silviculturais.

No próximo tópico, será abordado como essas diferentes condições de disponibilidade de luz e radiação solar afetaram a sobrevivência, crescimento (altura e diâmetro), e arquitetura das espécies florestais nativas.

6.2. Avaliações das espécies nativas

6.2.1. Mortalidade

Ao todo foram realizados 4 momentos de avaliação de sobrevivência das espécies nativas submetidas às diferentes condições de luz. As verificações foram realizadas em janeiro de 2019, julho de 2019, fevereiro de 2020 e abril de 2022, respectivamente 2, 7, 15 e 41 meses após o plantio. É possível observar que existem dois momentos críticos para os índices de sobrevivência das árvores nativas plantadas, logo após a implantação do sistema, onde as plantas precisam se adaptar às condições de campo, e ao final das observações, onde o avanço do tempo reflete sobre as condições necessárias para que as mudas possam persistir no

sistema (**Figura 22**). Passados 2 meses da realização do transplante das mudas, as faixas contrastantes opostas de radiação (**T0 e T100**), se mostraram igualmente prejudiciais ao estabelecimento inicial da muda. Porém, 41 meses após o plantio, os tratamentos nos quais as espécies nativas estavam expostas às maiores radiações (**T0 e T33**), foram as condições nas quais registrou-se as maiores mortalidades.

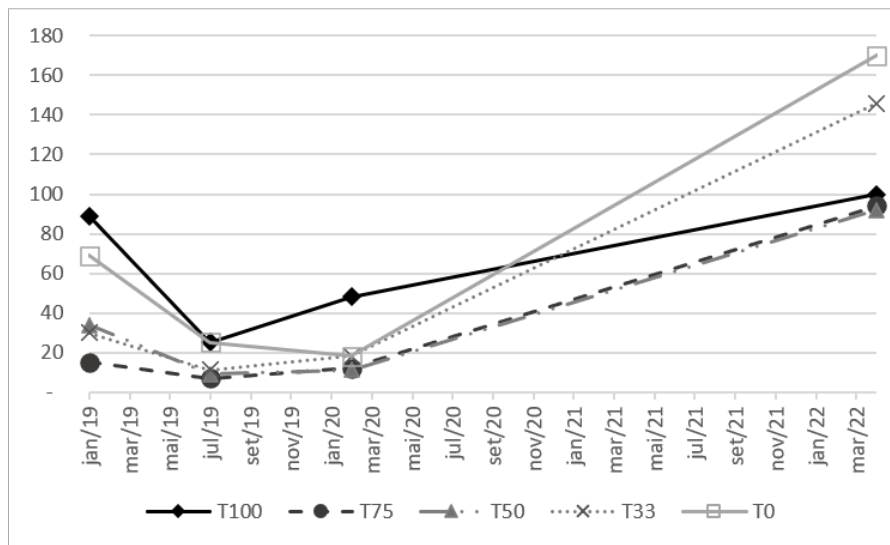


Figura 22. Mortalidade absoluta para todas as espécies nativas, registradas em cada um dos períodos (janeiro de 2019 -2 meses após o plantio, julho de 2019 – 7 meses após o plantio, fevereiro de 2020 -15 meses após o plantio e abril de 2022 -41 meses após o plantio) em cada um dos tratamentos (T100, T75, T50, T33 e T0).

No que se refere à sobrevivência e persistência das mudas em campo, as condições de luz proporcionadas pelos tratamentos **T75** e **T50** foram as que apresentaram os melhores resultados (**Figura 23**).

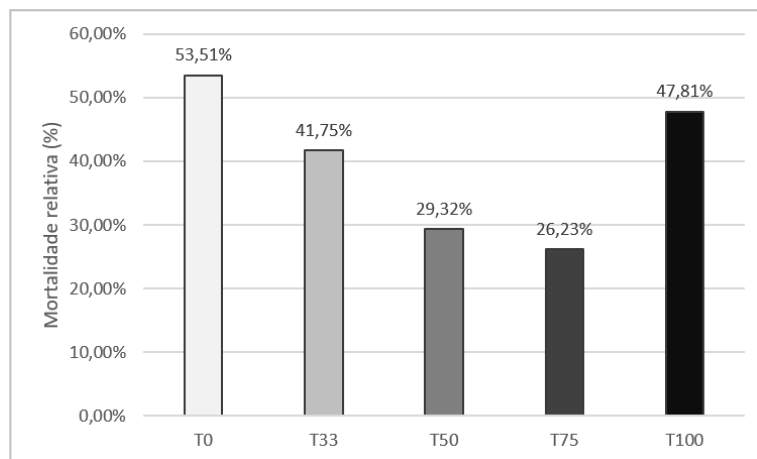


Figura 23. Mortalidade relativa total (final) para todas as espécies nativas em cada um dos tratamentos. Onde T100 - 100% da população de eucalipto, T75 - 75% da população de eucalipto, T33 - 33% da população de eucalipto, T25-25% da população de eucalipto e T0 - pleno sol.

Rüger *et al* (2011), em estudos de mortalidade de longo prazo para 284 espécies lenhosas em Barro Colorado no Panamá, constataram que 78% das espécies apresentaram mortalidade crescente com o aumento da luz, o que segundo os próprios autores desafia muitos outros relatos de maior mortalidade em sombra. Porém, as observações presente neste estudo se alinha aos resultados encontrados por Rüger *et al* (2011), e com a perspectiva de que o eucalipto, pode ser utilizada como um “abrigo” às espécies nativas de interesse, protegendo-as de fatores como amplitudes térmicas, ventos, excesso de radiação solar, mato competição, entre outros fatores que contribuem para os aumentos nas taxas de mortalidade (ARANTES, 2021; BREMER e FARLEY, 2010; BROCKERHOFF *et al.*, 2013; CANDIANI, 2016; GELDENHUYS, 1997; ONOFRE, 2009; RONQUIM, 2021; TAVARES *et al.*, 2019; VIANI, DURIGAN e MELO, 2010; VIEIRA *et al.*, 2017).

Contudo, mais do que adotar deliberadamente espécies arbóreas capazes de produzir sombra rapidamente (como o eucalipto) em sistemas que integrem espécies de árvores nativas, é preciso conhecer quais são as faixas limites para esse sombreamento (BLASER *et al.*, 2018). A exemplo disso, tem-se o tratamento **T100**, o qual mostrou-se prejudicial para as espécies nativas de forma semelhante às condições de elevada radiação solar. Desta forma, o adequado manejo do ambiente luminoso em ambientes florestais, deve ser orientado por evidências científicas práticas, o que permitirá aos silvicultores, gestores florestais, restauradores, produtores agroflorestais, adequarem espécies, arranjos e práticas silviculturais conforme os objetivos de seus empreendimentos.

Para ampliar o entendimento a respeito dos grupos sucessionais pioneiras e não pioneiras, foram realizadas análises para os subtratamentos, **S1 - Pioneiras (PIO)**, **S2 - Não Pioneiras (NPIO)** e **S3 - Plantio misto (MIX)**.

Os dados de mortalidade foram avaliados pelo teste de Tukey, ao nível de significância de 0,05. Não houve interação significativa dos blocos para os subtratamentos **PIO** e **MIX**.

Tabela 10. Análise da mortalidade relativa final para as espécies nativas em cada um dos subtratamentos, S1. Pioneiras (PIO), S2. Não pioneiras (NPIO) e S3. Plantio Misto (MIX)

Tratamento	S1. Pioneiras	S2. Não pioneiras	S3. Plantio Misto
T0	51,43% A	53,67% A	55,43% A
T33	39,63% AB	43,29% AB	42,33% AB
T50	31,71% AB	31,74% AB	24,55% B
T75	22,70% B	28,22% B	27,78% B
T100	48,95% AB	44,57% AB	49,73% AB
<hr/>			
	Pioneiras - CV 30,71	Valor de F 3,30	PR > F 0.0484
	Não Pioneiras - CV 24,41	Valor de F 4,11	PR > F 0.0267
	Plantio misto - CV 28,85	Valor de F 5,38	PR > F 0.0102

* Médias seguidas pela mesma letra na coluna, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste Tukey à 95% de probabilidade.

Para o grupo pioneiras e não pioneiras, o tratamento **T0** no qual foram encontradas as maiores taxas de mortalidade se difere estatisticamente apenas do tratamento **T75**, no qual as condições lumínicas proporcionaram a maior taxa de sobrevivências para as mudas, contudo **T0** e **T75** não se diferiram estatisticamente dos demais tratamentos. No plantio misto, **T0** também foi o tratamento com maior mortalidade, sem se diferenciar dos tratamentos **T33** e **T100**, enquanto que **T75** e **T50** foram os tratamentos com menor mortalidade, mas estatisticamente iguais ao **T33** e **T100**.

As análises do Teste de Tukey, para todos os subtratamentos (**PIO**, **NPIO** e **MIX**), indicam um *continuum* entre as respostas de mortalidade relacionadas às condições de sombreamento, o que pode estar relacionado aos diferentes níveis de tolerância à sombra entre as espécies.

De acordo com Kobe e Coates (1997), a maioria dos estudos com foco em tolerância à sombra observam as taxas de crescimento em gradientes lumínicos, ignorando a caracterização da mortalidade de mudas como um fator de tolerância. Entretanto, as

diferenças interespecíficas, a respeito da mortalidade em diferentes níveis de sombreamento, são críticas e de grande importância para a compreensão de dinâmicas florestais (KOBE *et al.*, 1995).

Assim, visto que considerar apenas as classificações sucessionais, para a adoção de uma determinada essência florestal nativa pode não ser o suficiente para garantir que esta seja empregada com sucesso em sistemas florestais de usos múltiplos, seguem considerações a sobre a resposta de mortalidade para as espécies em cada um dos tratamentos.

No tratamento **T0**, as espécies pioneiras que se destacaram pela elevada mortalidade foram Mutambo e Trema, com 100% de mortalidade, seguidas pelo Algodoeiro (92,86%) e Pau-cigarra (92,86%). A espécie não pioneira Olho de cabra, não apresentou sobreviventes em condições de pleno sol (**T0**) e as espécies Guabiroba e Saguaraji vermelho (93,33%) também mostraram baixa capacidade de sobreviverem sob altas condições de radiação. As espécies mais adaptadas às condições de luz proporcionadas pelo **T0** foram Monjoleiro (0% de mortalidade) e Canafístula (8,33%) do grupo pioneiras, e Amendoim do campo (0%), Angico preto e Ipê amarelo casca grossa (ambos com 8,33) do grupo das não pioneiras.

Em relação ao tratamento **T33**, todos os indivíduos da espécie pioneiras Trema morreram. Algodoeiro e Mutambo também tiveram altas mortalidades, ambos com 91,67%. Para o grupo não pioneiras a espécie Saguaraji vermelho (83,33%) foi a mais sensível. Positivamente se destacaram as espécies pioneiras Aroeira pimenteira e Canafístula, não sendo registrada a mortalidade de nenhuma planta. Do grupo não pioneiras Angico Preto (0%), Amendoim do campo (8,33%) e Ipê amarelo casca grossa (8,33%), foram as espécies com as menores mortalidades.

O tratamento **T50** permitiu ótimas condições de sobrevivência para as espécies pioneiras Amendoim bravo, Aroeira Pimenteira, Canafístula, Ingá, Monjoleiro e Mulungu, todas com 100% de sobrevivência, enquanto que Algodoeiro, Mutambo e Trema de forma oposta apresentaram 100% de mortalidade. Para o grupo não pioneiras, **T50** proporcionou condições para que todas as espécies apresentassem taxas de mortalidade inferiores a 60%, destacando-se Aroeira-preta com nenhuma morte.

Para o tratamento **T75**, a espécie pioneira Algodoeiro novamente se destacou como a espécie com a maior mortalidade, em que 100% dos indivíduos morreram, ao passo que Amendoim bravo, Canafístula, Ingá e Monjoleiro não apresentaram mortalidade. Quanto às espécies não pioneiras o tratamento **T75** também se apresentou como um tratamento capaz

de proporcionar boas condições de sobrevivência a todas as espécies, assim com o **T50**, em que o pior desempenho foi atribuído ao Saguaraji vermelho com mortalidade de 66,67%, e os melhores desempenhos foram obtidas pelo Amendoim do campo, Angico preto e Pitanga (0% de mortalidade)

As condições de mais baixas luminosidade proporcionadas pelo tratamento **T100**, resultaram na mortalidade de 100% das mudas de Trema e 92,31% das mudas de Mutambo, enquanto que a espécie pioneira com melhor persistência em campo para essas condições foi o Ingá com 23,08% de plantas mortas. No que se refere às espécies enquadradas como não pioneiras, Saguaraji vermelho teve a mais alta taxa de mortalidade, 83,33%, e Angico preto a menor, 8,33%.

Independente do tratamento, para as espécies classificadas como pioneiras, Trema (95,45%), Mutambo (93,55%) e Algodoeiro (89,06%), notadamente foram as espécies com as maiores mortalidades registradas; enquanto que Canafístula (8,33%), Ingá (9,52%) e Aroeira pimenteira (11,11%) com baixos índices de mortalidade, mostraram alta capacidade de sobreviverem em todas as condições. Quanto ao grupo das não pioneiras os maiores índices de mortalidades foram observados para Saguaraji vermelho (76,19%), Guabiroba (64,62%) e Olho de cabra (63,77%), enquanto que as menores para Angico preto (5%) e Amendoim do campo (8,06%).

Os resultados apresentados acima são ilustrados nas **Figuras 24 e 25**.

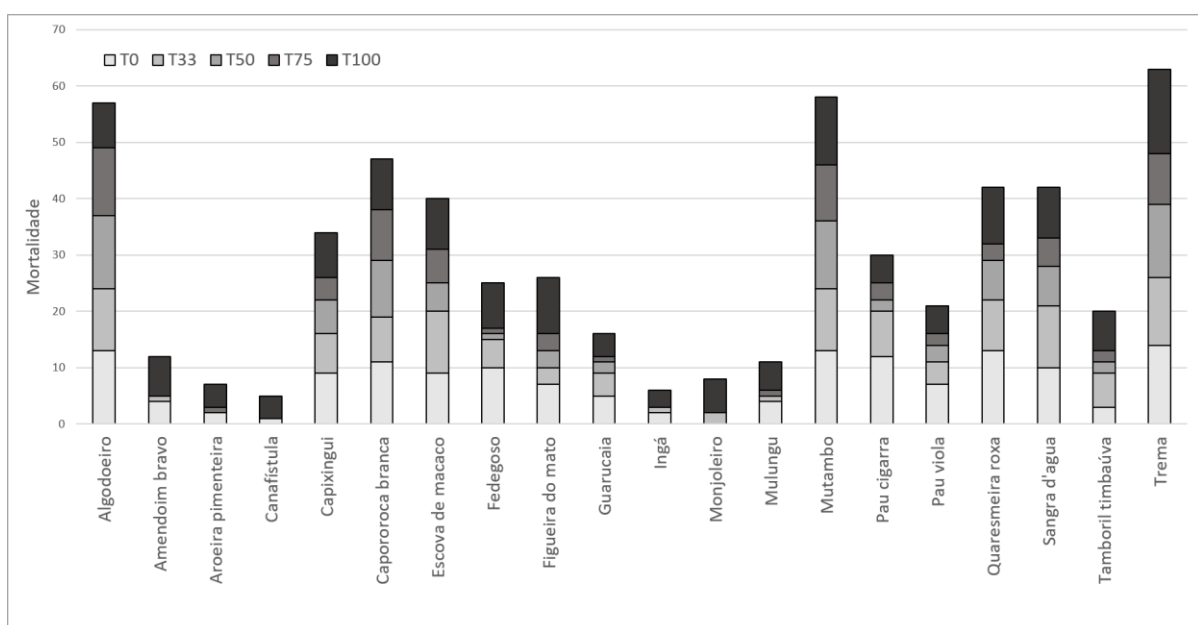


Figura 24. Mortalidade total absoluta para as espécies **pioneiras** e sua relação com os níveis de radiação proporcionados por cada um dos tratamentos.

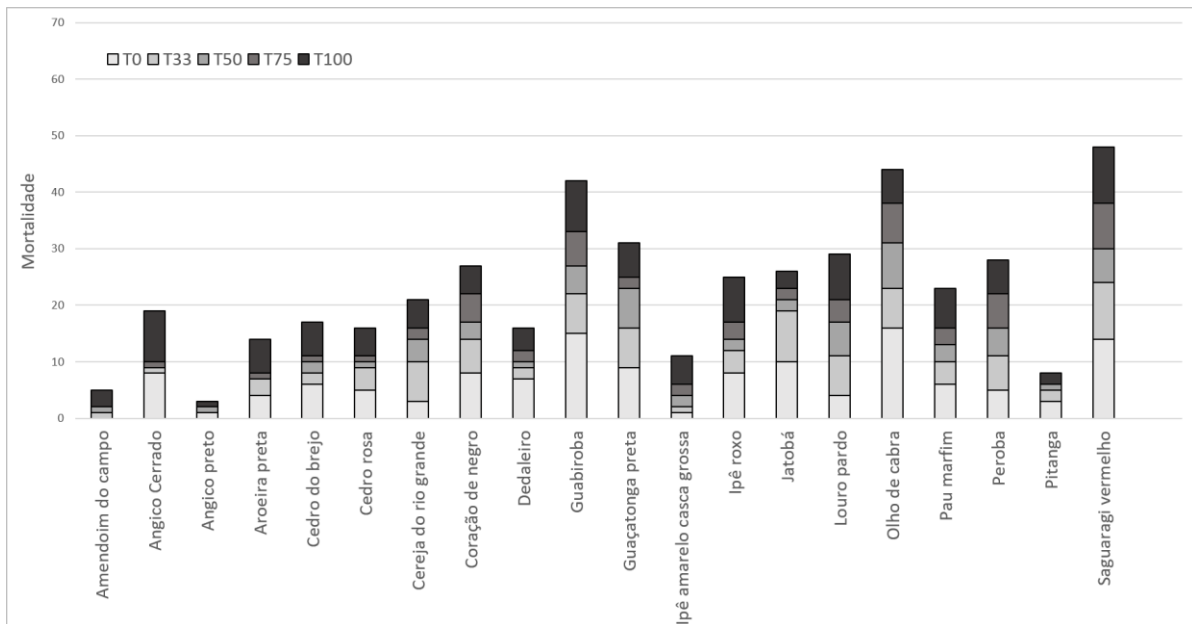


Figura 25. Mortalidade total absoluta para as espécies **não pioneiras** e sua relação com os níveis de radiação proporcionados por cada um dos tratamentos.

Ao contrário do crescimento individual de árvores, que é um processo variável, mas contínuo, a mortalidade é episódica, variando tanto temporalmente como espacialmente, tornando desafiador atribuir as causas de morte em árvores. Fatores internos (genéticos) e externos (bióticos e abióticos), podem atuar como agentes únicos ou cumulativos resultando na morte de um indivíduo arbóreo (DAS, STEPHENSON e DAVIS, 2016; STEPHENSON *et al.*, 2011)

Um dos fatores mais bem estudados a respeito de mortalidade em povoamentos florestais diz respeito a competição, que pode ser expressa por medidas de densidade, entre elas área basal. Em geral, a área basal está negativamente correlacionada à taxa de sobrevivência, ou seja, árvores com maiores AB ao aumentarem a competição aumentam as taxas de mortalidade de indivíduos menos competitivos (MONSERUD e STERBA, 1999). Observação que explicaria, ao menos parcialmente, os resultados para o tratamento **T100**, mas não explicaria a maior mortalidade observada para o **T33** (área basal final 4,918 m²/ha) frente ao tratamento **T75** (área basal final 7,690 m²/ha).

Outra explicação possível se refere ao *trade-off* crescimento-sobrevivência, no qual diz-se que entre as espécies, aquelas que tendem a crescer rápido (por exemplo, pioneiras) tendem a morrer rapidamente, enquanto que para análises de indivíduos dentro da espécie aqueles que crescem mais rapidamente tem maiores chances de sobreviver (RÜGER *et al.*,

2011). Segundo Stephenson *et al.* (2011), esse trade-off também explicaria a mortalidade entre diferentes comunidades florestais, sendo observado pelo *continuum* entre espécies competidoras e tolerantes. Isto significa que os gradientes ambientais, podem afetar as taxas de mortalidade de toda a comunidade, resultando em um equilíbrio particular entre crescimento e persistência, selecionando grupos inteiros de espécies independentemente de sua tolerância à sombra local (STEPHENSON *et al.*, 2011).

Essa concepção a respeito da mortalidade de árvores em povoamentos florestais, parece mais concordante com os resultados aqui discutidos. Ao considerar cada um dos tratamentos (T0, T33, T50, T75 e T100) como distintas comunidades vegetais, as condições proporcionadas pelos tratamentos **T75** e **T50** foram capazes de proporcionar a melhor relação de equilíbrio entre crescimento e persistência.

6.2.2. Crescimento

Além da sobrevivência, os dados de crescimento em altura e diâmetro, são parâmetros importantes para conhecermos as condições ideais para o estabelecimento das espécies arbóreas nativas ao longo de gradientes de radiação (ENGEL e POGGIANI, 1990). A partir desses parâmetros algumas observações interessantes foram realizadas.

Até fevereiro de 2020, 15 meses após o plantio, os maiores incrementos em altura para as espécies nativas eram encontrados nos tratamentos com as maiores quantidades de irradiância disponíveis. Porém, no último período, em abril de 2022 (41 meses após o plantio), vemos uma mudança no comportamento nas espécies, registradas pelas medições de altura, na qual as espécies sob os tratamentos sombreados mentem o ritmo de crescimento, enquanto o tratamento **T0** se mostra estável (**Figura 26**).

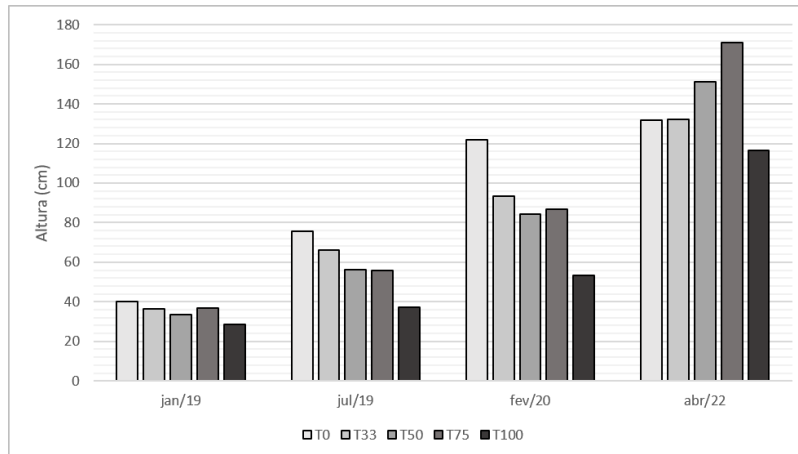


Figura 26. Altura média de todas as espécies (pioneiras e não-pioneiras) para todos os tratamentos ao longo do período avaliado.

Uma investigação mais aprofundada desses resultados foi realizada pelas análises dos subtratamentos **PIO**, **NPIO** e **MIX**. Pela análise dos gráficos box-plot nos quais temos a distribuição dos dados de altura para cada um dos subtratamentos em cada um dos momentos de aferição, é possível perceber que as espécies do grupo pioneiras são as que impulsionam esse comportamento (**Figura 27**), destacando-se as respostas para os tratamentos **T50** e **T75**. Essa análise é reforçada pela comparação junto aos gráficos dos outros dois subtratamentos. No subtratamento **NPIO**, onde há apenas espécies não pioneiras (**Figura 28**), as medições de abril de 2022 não indicam nenhum tratamento se destacando em alturas superiores; contudo no **S3.MIX**, subtratamento em que espécies pioneiras e não pioneiras são plantadas juntas, em abril de 2022 novamente vemos essa tendência de alturas médias maiores em tratamentos mais sombreados, especialmente nas condições proporcionadas pelo **T75** (**Figura 29**).

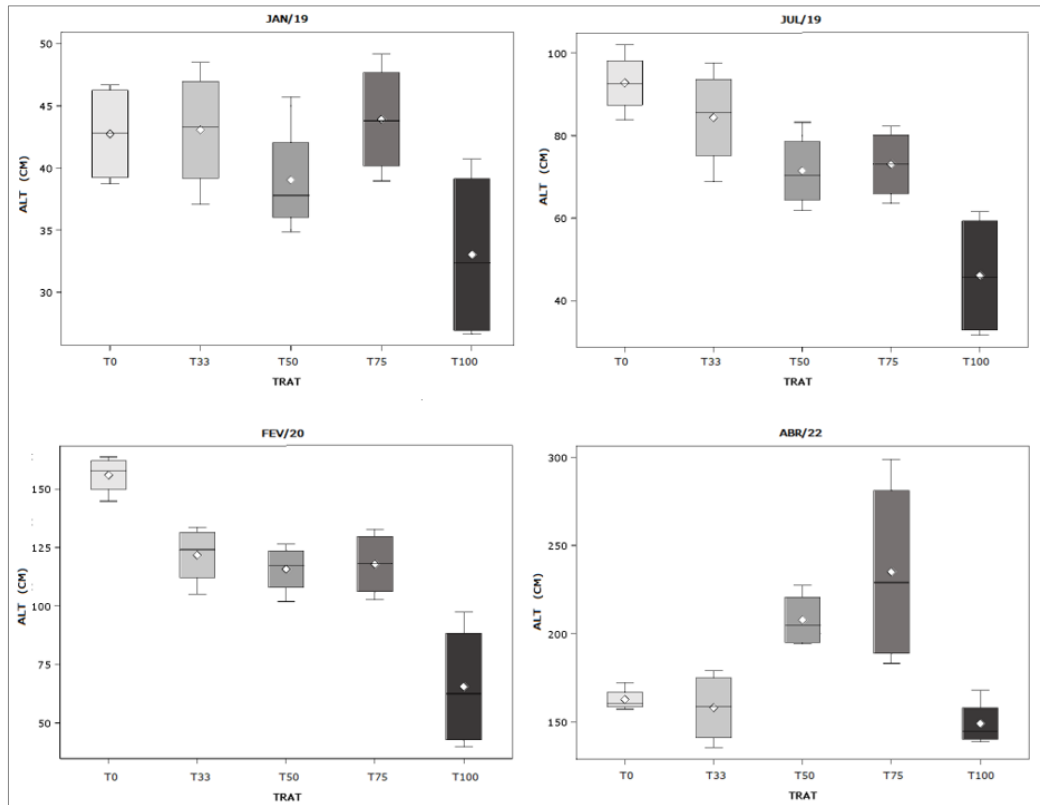


Figura 27. Análise de box-plot para os dados em altura (cm) no subtratamento **pioneiras (PIO)** ao longo das medições

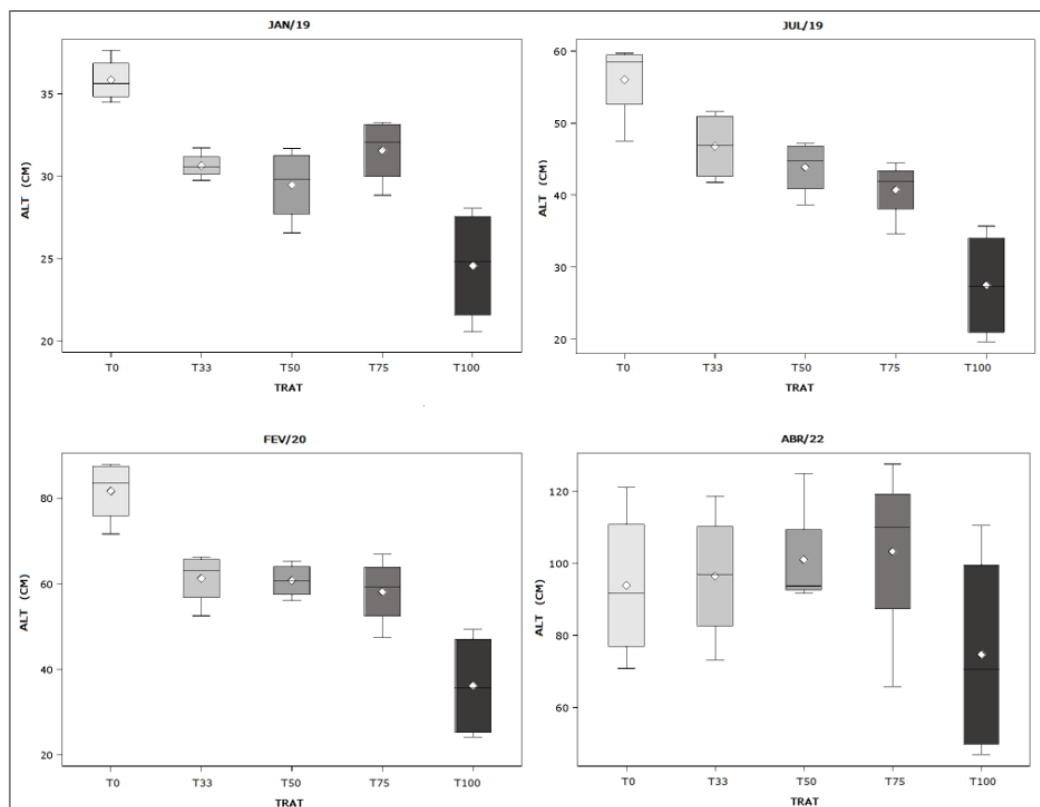


Figura 28. Análise de box-plot para os dados em altura (cm) no subtratamento **não pioneiras (NPIO)** ao longo das medições

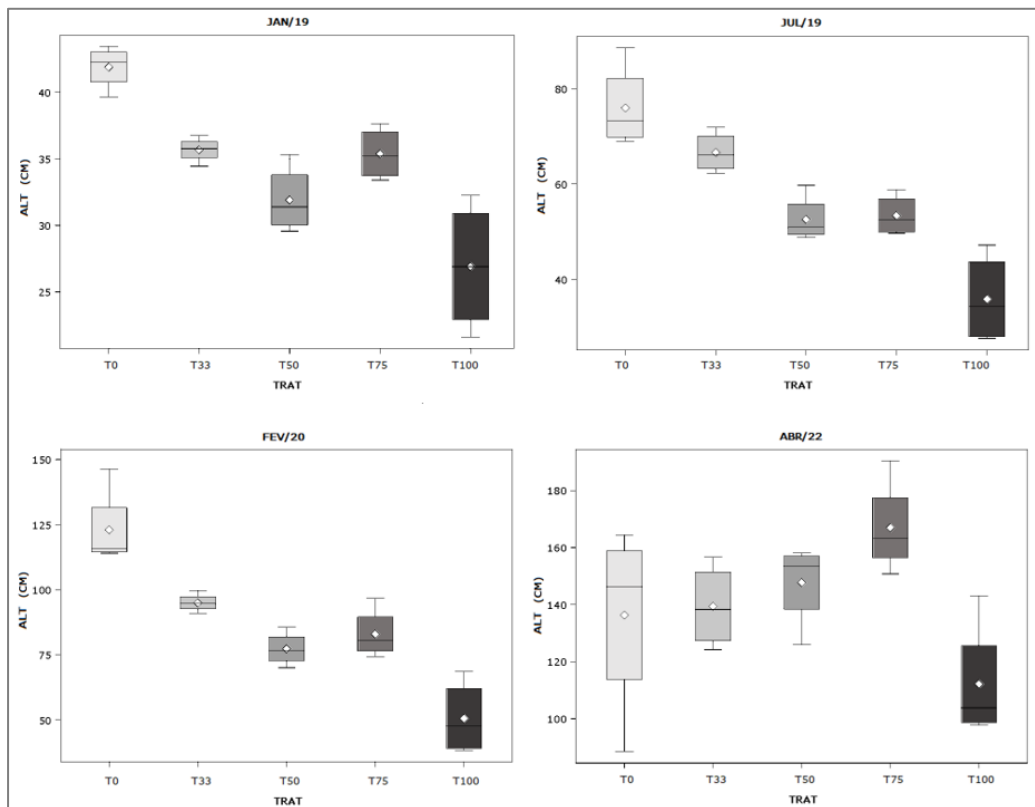


Figura 29. Análise de box-plot para os dados em altura (cm) no sub tratamento **plantio misto (MIX)** ao longo das medições

Os gráficos box-plot também indicam uma grande variação da altura, e existem alguns fatores que explicam esse comportamento dos dados. Uma das primeiras explicações possíveis, se deve a variação inerente ao grupo, que compreende 40 espécies diferentes (20 pioneiras e 20 não pioneiras), e a variação genética intraespecífica, já que as mudas utilizadas foram produzidas por sementes. Essa variação genética, é algo desejado para programas de restauração, mas pode ser considerada um empecilho quando há o interesse de exploração econômica de uma determinada espécie (AMAZONAS *et al.*, 2018).

Outra ocorrência que explica a distribuição dos dados, se refere ao fato que, aproximadamente 26,25% das mudas implantadas registraram ao longo do período de observação algum tipo de dano ao meristema apical, o que muitas vezes implicava em redução nas alturas medidas. Entre os fatores causais desse tipo de ocorrência temos a quebra por queda de galhos do eucalipto, quando este era presente, e a predação por formigas cortadeiras (**Figura 30**).



Figura 30. Árvores nativas com evidências de predação por formiga. A) Mutambo com cisalhamento em diversos locais, resultando em perda de parte aérea; B) Trema atacada por formigas, resultando em perda significativa da altura.

Ainda se relacionam a mortalidade dos meristemas apicais, os baixos índices pluviométricos de 2021 (1094 mm^2), e as ocorrências de geadas em julho de 2021, onde na EECF-Itatinga, foram registradas 4 dias de temperaturas abaixo de zero chegando a -2°C^3 . Essas condições climáticas adversas resultaram em muitos danos às espécies nativas, incluindo a morte de parte dos tecidos da estrutura aérea, estas observações foram registradas em visita a campo logo após as geadas (**Figura 31**).

² De acordo com os registros históricos dos dados meteorológicos disponibilizados pela EECF-Itatinga, 2021 foi o ano com os mais baixos volumes de chuvas desde 2002 (1024mm), configurando o segundo ano mais seco em 31 anos (considerando anos com dados completos).

³ Quanto às baixas temperaturas, considerando a mesma série histórica (1990-2021), temperaturas mais baixas ocorreram apenas em 2000, onde os registros indicam 5 dias de temperatura negativas que chegaram a até -4°C .

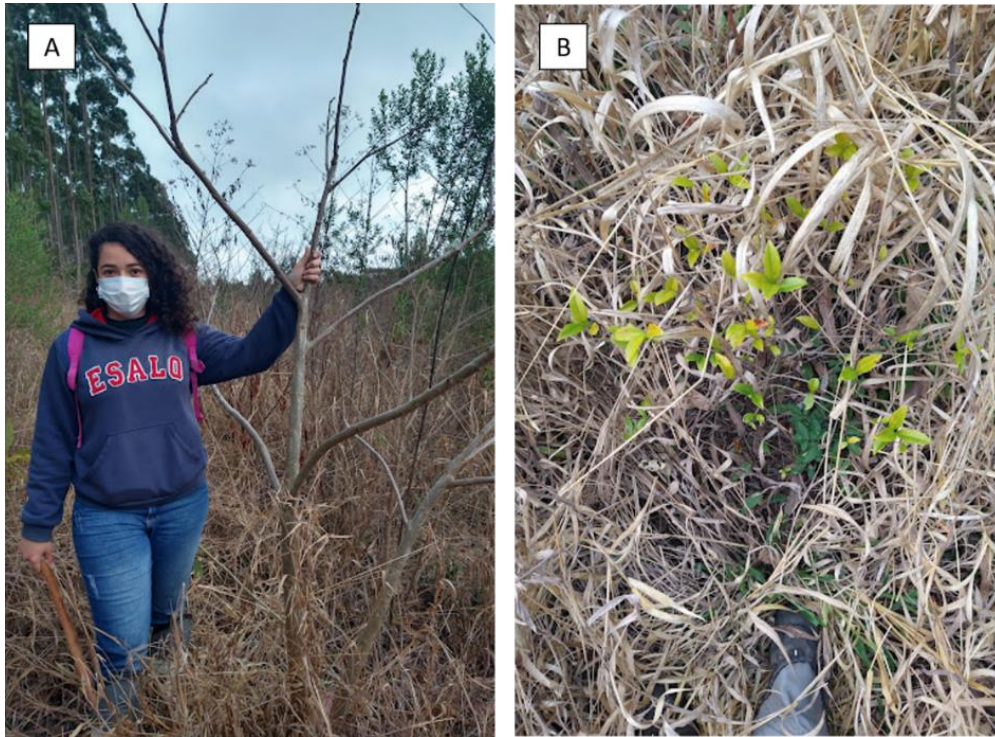


Figura 31. Efeito das geadas nas espécies de árvores nativa: A) Canafístula em condições de pleno sol, com desfolha total; B) Cereja do Rio Grande a qual ficou protegida dos efeitos do frio pela cobertura proporcionada pelas gramíneas ao redor, as quais foram grandemente afetadas.

Em abril de 2022, das árvores nativas ainda presentes no sistema, 14,19% apresentaram capacidade de rebrotar após esses estresses climáticos, porém, a completa recuperação de estrutura vegetativa acima do solo não foi possível para 30,88% destas. As fotografias abaixo (**Figura 32**) ilustram esse processo de retomada do crescimento aéreo.

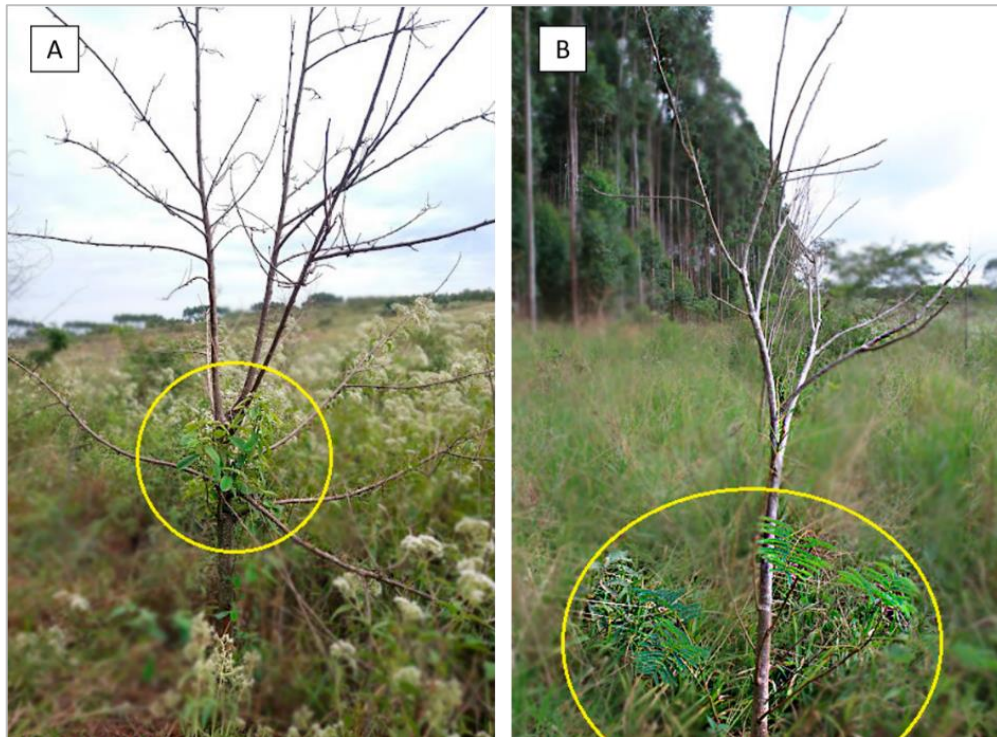


Figura 32. Rebrotas das espécies nativas em abril de 2022. Nota-se que a região da planta onde as novas folhagens nasceram, não correspondem à altura máxima que um dia essas plantas tiveram, configurando na morte do meristema apical. A) Capixingui em condições de pleno sol (T0); B) Angico vermelho em condições de pleno sol (T0)

O registro de todas essas intercorrências, são importantes não apenas para a explicação dos dados, mas também para compreender quais e como são os tipos de eventos que afetam o crescimento e desenvolvimento ontogenético das árvores.

Os resultados do teste Tukey à 5% de intervalo de confiança mostram que, 41 meses após o plantio, diferenças em alturas para as distintas condições de luminosidade ocorreram apenas para o subtratamento **S1. Pioneiras**.

Tabela 11. Análise estatística da altura final média para cada um dos subtratamentos, S1. Pioneiras, S2. Não Pioneiras e S3. Plantio misto.

Tratamento	Pioneiras	Não pioneiras	Plantio Misto
T0	162,5 BC	94,0 A	137,4 A
T33	160,3 BC	96,9 A	137,9 A
T50	207,9 AB	99,2 A	147,7 A
T75	236,4 A	102,8 A	168,3 A
T100	150,6 C	81,5 A	116,6 A

Pioneiras - CV 2,78	Valor de F 6,96	Pr > F 0,0039
Não pioneiras - CV 6,63	Valor de F 0,99	Pr > F 0,4499
Plantio Misto - CV 3,7	Valor de F 2,68	Pr > F 0,0835

* Médias seguidas pela mesma letra, na coluna, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

** Os valores das alturas médias se referem aos valores reais medidos, enquanto que o CV, Valor de F e P são referentes aos dados transformados

Para o grupo pioneiras, as condições de luminosidade disponíveis no tratamento **T75** permitiram que as espécies nativas atingissem a maior altura média, não se diferenciando estatisticamente das condições proporcionadas por **T50**, mas superior a todos os demais tratamentos. O tratamento mais sombreado **T100**, foi o tratamento com as menores médias em altura, porém não se diferenciando dos tratamentos **T0** e **T33**.

Acerca do crescimento em diâmetro do coleto, uma análise geral dos, desconsiderando os grupos pioneiras e não pioneiras, mostra que os maiores incrementos para essa variável ocorreram no tratamento com a maior quantidade de radiação disponível (**T0**) (**Figura 33**).

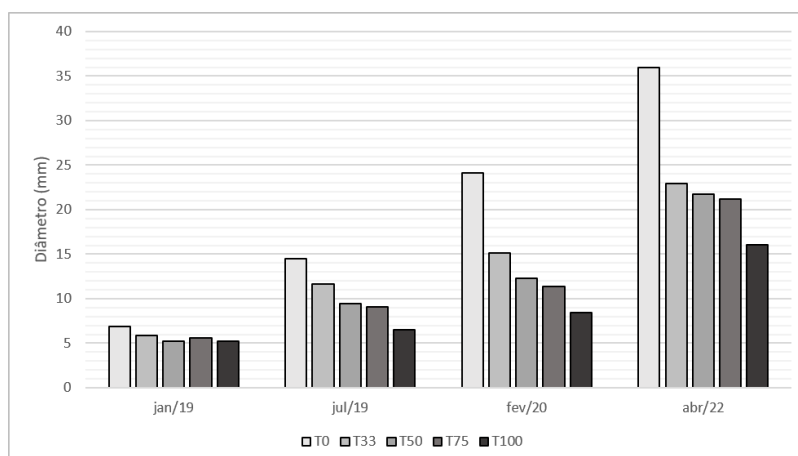


Figura 33. Diâmetro médio do coleto de todas as espécies (pioneiras e não-pioneiras) para todos os tratamentos ao longo do período avaliado.

As análises de exploração por meio dos gráficos box-plot indicam as condições do tratamento **T0** como ideais para garantir os maiores diâmetros médios à altura do coleto, para todos os subtratamentos (**Figuras 34, 35 e 36**).

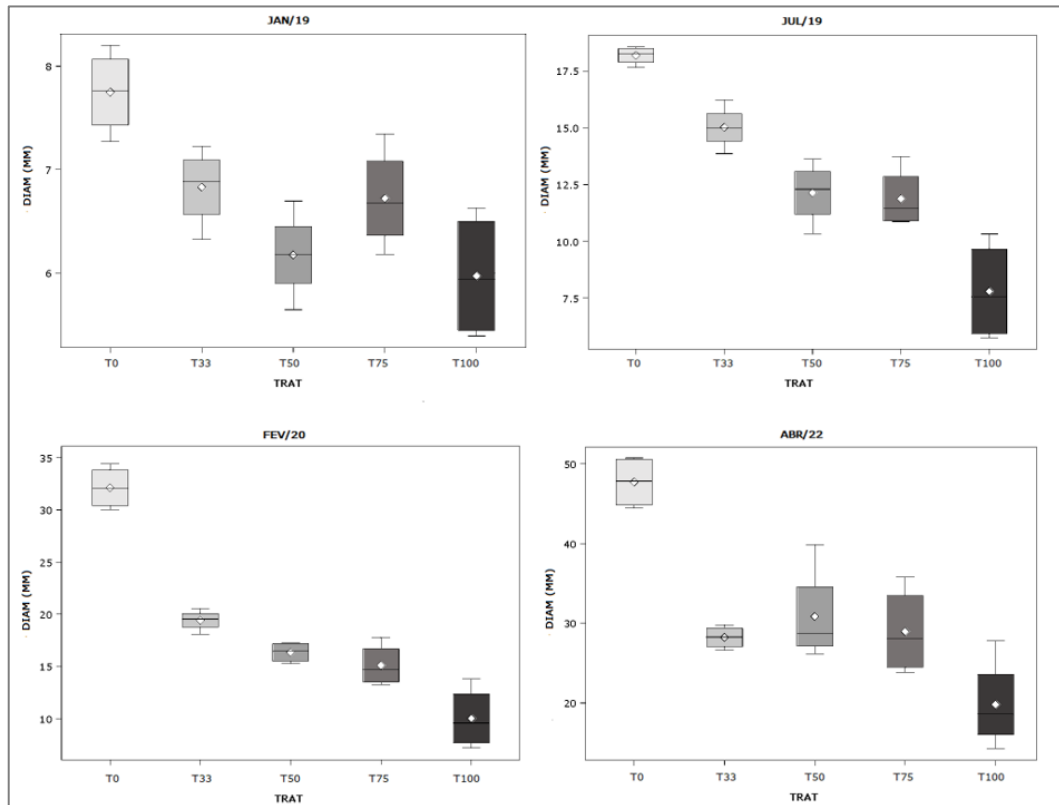


Figura 34. Análise de box-plot para os dados de diâmetro do coleto (mm) no sub tratamento **pioneiras (PIO)** ao longo das medições

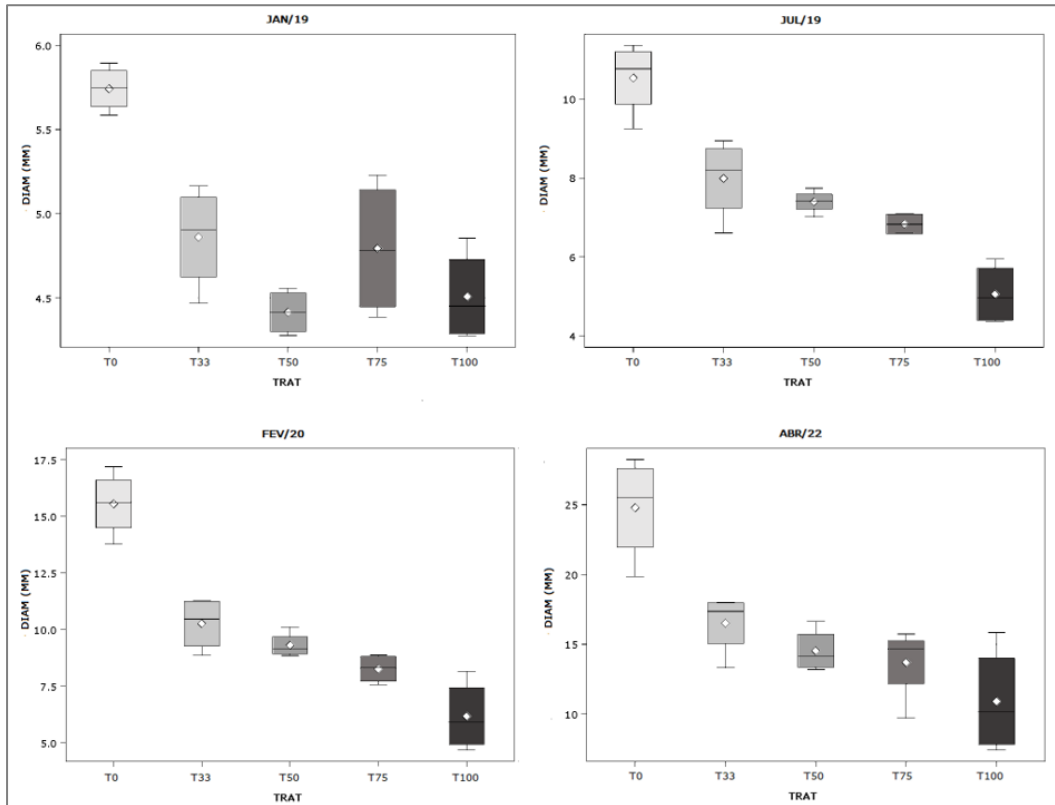


Figura 35. Análise de box-plot para os dados de diâmetro do coeto (mm) no sub tratamento **não pioneiras (NPIO)** ao longo das medições

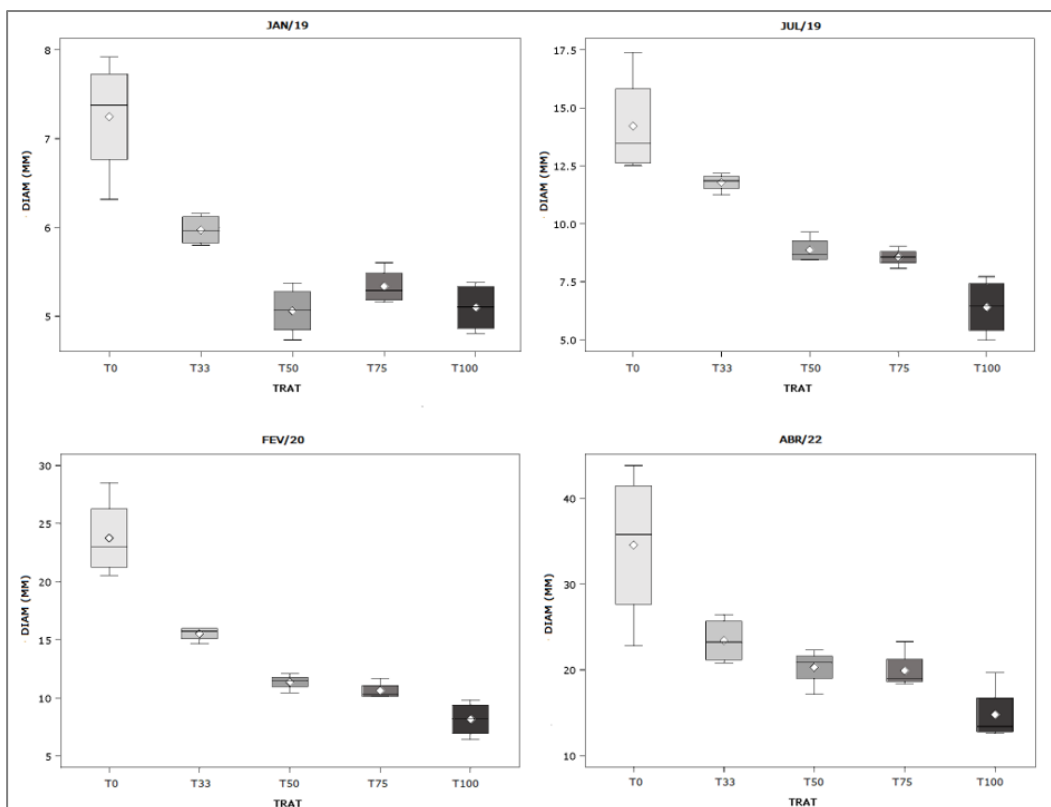


Figura 36. Análise de box-plot para os dados de diâmetro do coeto (mm) no sub tratamento **plântio misto (MIX)** ao longo das medições

Os resultados do teste de comparação de médias entre os tratamentos para todos os subtratamentos é apresentado a seguir (**Tabela 12**).

Tabela 12. Análise do diâmetro médio do coleto final para cada um dos subtratamentos S1. Pioneiras, S2. Não Pioneiras, S3. Plantio misto

Tratamento	Pioneiras	Não pioneiras	Plantio Misto
T0	47,63 A	24,75 A	35,11 A
T33	28,40 BC	16,69 AB	23,26 AB
T50	30,79 B	14,35 B	20,28 BC
T75	29,13 BC	13,66 B	20,09 BC
T100	20,64 C	11,84 B	15,41 C
<hr/>			
	Pioneiras - CV 5,70	Valor de F 11,18	Pr > F 0,0005
	Não pioneiras - CV 8,46	Valor de F 7,48	Pr > F 0,0029
	Plantio Misto - CV 6,28	Valor de F 10,00	Pr > F 0,0008

* Médias seguidas pela mesma letra, na coluna, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

** Os valores das alturas médias se referem aos valores reais medidos, enquanto que o CV, Valor de F e P são referentes aos dados transformados

O desempenho superior do tratamento **T0** para o grupo das espécies pioneiras (**S1. PIO**), corresponde com a tendência geral de que maiores acúmulos de fotoassimilados e incrementos diamétricos estão correlacionados a maior disponibilidade de radiação. Para **S2. NPIO**, as condições de pleno sol (**T0**) e com 33% do eucalipto (**T33**), foram estatisticamente superiores, ao mesmo tempo que o tratamento **T33** não diferiu dos tratamentos com maiores densidades florestais. No **S3. MIX**, **T0** e **T33**, também foram os tratamentos que apresentaram os maiores valores para diâmetro do coleto após 41 meses de plantio; os tratamentos **T33**, **T50** e **T75** não apresentaram diferenças estatísticas, e 100% do eucalipto (**T100**) proporcionaram os menores ganhos.

As variações nas respostas das diferentes espécies ao ambiente foram melhor observadas para o grupo das pioneiras tanto em seus incrementos em altura como em crescimento em diâmetro. Esse grupo de espécies apresentou respostas plásticas modificando sua forma e se ajustando melhor às condições locais. A plasticidade em plantas, que é a resposta diferencial de um genótipo às diferentes condições ambientes, tem três funções

principais: a manutenção da homeostase, busca de recursos, e defesa, ou seja, se relacionam diretamente com a capacidade de sobrevivência de uma espécie (SULTAN, 2004).

Assim, ao retomar os dados de mortalidade (vide **Tabela 10**), nota-se que as condições que proporcionaram as maiores taxas de sobrevivência (**T75** e **T50**), foram também as que resultaram em respostas plásticas diferenciadas para o crescimento em altura, este mais evidente, mas também podendo ser observado para os incrementos em diâmetro. Ou seja, conforme teorizado pelo *trade-off* crescimento-persistência (STEPHENSON et al., 2011), os referidos tratamentos proporcionaram as melhores condições para o grupo das espécies avaliadas sobreviverem e crescerem.

Ressalta-se, que apesar desse pressuposto teórico possivelmente explicar as taxas de mortalidade e crescimento observados a nível de comunidade, para este estudo não foram realizadas análises mais aprofundadas a respeito de como esse *trade-off* estaria relacionado a mortalidade inter e intra específicas. Assim, são necessários estudos futuros mais aprofundados dos dados coletados por esta pesquisa, nos quais a relação entre sombreamento, crescimento e mortalidade ao nível de espécies possam ser analisados, visto que segundo Rüger *et al.* (2011) são poucos os estudos que avaliam simultaneamente essas variáveis.

6.2.3. Plasticidade

A plasticidade de plantas é expressa em diferentes níveis, através de ajustes fisiológicos e morfológicos. Entre os fatores ambientais que influenciam esse tipo de resposta diferencial, a quantidade e qualidade de luz disponível provocam alterações sistêmicas desde níveis celulares a estruturais (GIVNISH, 1988; HALLÉ, OLDEMAN e TOMLINSON, 2012; POORTER e WERGER, 1999; RIJKERS, PONS e BONGERS, 2000; RUBAN, 2009; SULTAN, 2004; TAIZ *et al.*, 2017; VALLADARES e NIINEMETS, 2008; VALLADARES, SKILLMAN e PEARCY, 2002).

Um dos ajustes estruturais mais facilmente percebidos se referem a mudanças no tamanho das folhas. Em ambientes com maior radiação as espécies tendem a produzir folhas menores para minimizar efeitos negativos do superaquecimento e das altas taxas de transpiração. Enquanto que a expansão das folhas sob menores irradiâncias indica uma estratégia da planta para otimizar a captura da luz por meio de uma maior área de superfície sujeita à interceptação deste recurso (EVANS e POORTER, 2001).

Esse tipo de alteração, pode ser observada pela **Figura 37**, na qual têm-se o registro fotográfico de folhas representativas de diferentes indivíduos da espécie Capixingui (*Croton floribundus* Spreng.) situados ao longo do gradiente de radiação.

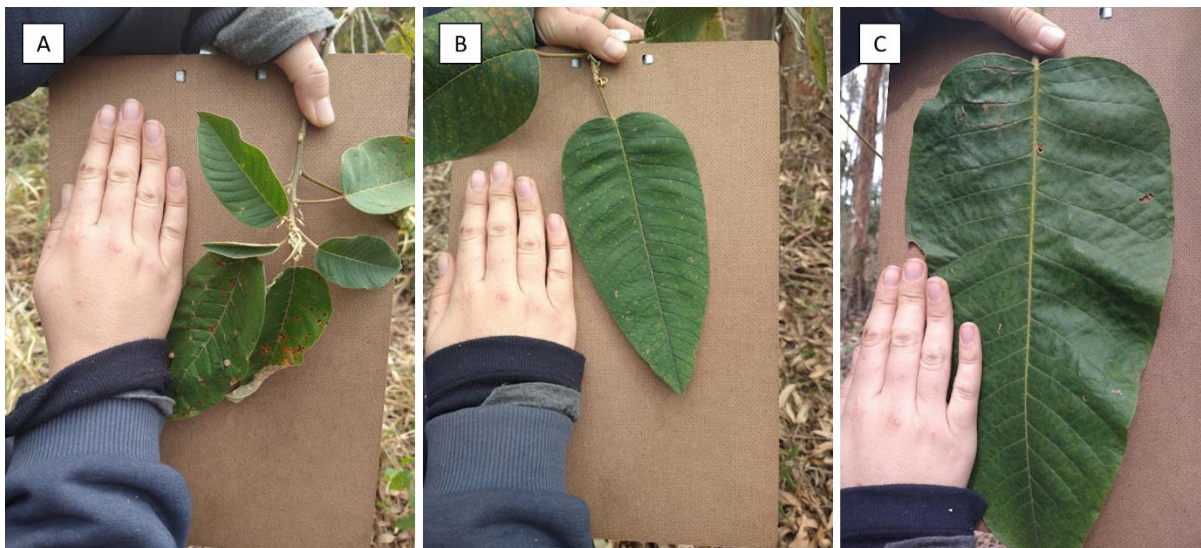


Figura 37. Alterações morfológicas de folhas da espécie *Croton floribundus* (Spreng.) - Capixingui, ao longo do gradiente de radiação proporcionado por: A) T0 -pleno sol B) T33 - 33% do eucalipto e C) T75 - 75% do eucalipto

Outras mudanças observáveis como consequências de gradiente radiativo, se referem a alterações arquitetônicas. Em ambientes sombreados, a “arquitetura ideal” é considerada aquela que minimiza a sobreposição das folhas (auto sombreamento) e na qual as superfícies das folhas são perpendiculares à fonte de luz. Podendo ocorrer dominância apical, alongamento de entrenós e pecíolos, redução de ramificações, redução na produção de matéria seca e plantas mais altas com caules mais delgados. Enquanto que em ambientes de alta radiação, ângulos foliares maiores e copas com múltiplas camadas são considerados uma vantagem ao distribuir luz disponível entre todas as folhas (PEARCY e YANG, 1996; SMITH e WHITELAM, 1997).

A sequência de fotos que compõem a **Figura 39**, mostram grande parte das alterações morfológicas plásticas acima citadas, para indivíduos da espécie Quaresmeira roxa (*Tibouchina granulosa* Cogn.) cultivados sob diferentes condições de intensidade luminosa.



Figura 38. Alterações morfológicas na arquitetura da espécie *Quaresmeira*, em diferentes condições de radiação proporcionado por: A e B) Diferentes ângulos do mesmo indivíduo em condições de pleno sol; C e D) Diferentes ângulos do mesmo indivíduo em tratamento com sombreamento proporcionado pela presença de 75% do eucalipto após o desbaste.

A sensibilidade de resposta a evitação de sombra varia entre espécies, assim como as taxas de crescimento e alongamento intrínseco, e a combinação dessas respostas é o que descreve o comportamento para altura das espécies em relação ao ambiente radiante

(GILBERT, JARVIS e SMITH, 2001). Essas respostas diferenciais entre as espécies aqui analisadas, podem ser encontradas nos **Apêndices I e J**.

Considerando que, a melhor compreensão sobre a resposta plástica de espécies arbóreas submetidas à diferentes condições de radiação podem orientar a construção e manejo de sistemas agroflorestais de múltiplos propósitos, duas espécies nativas pioneiras que se destacaram por suas respostas em sobrevivência e crescimento foram analisadas, sendo estas a Aroeira Pimenteira (*Schinus terebinthifolius Raddi*) e a Canafístula (*Peltophorum dubium (Spreng.) Taub.*). Uma avaliação mais detalhada dessas espécies pode ser encontrada abaixo.

6.2.3.1. Aroeira Pimenteira (*Schinus terebinthifolius Raddi*)

A aroeira-pimenteira é uma espécie florestal que se destaca por seus múltiplos usos, com grande potencial para exploração econômica e ecológica (LENZI e ORTH, 2004a). Comumente utilizada em projetos de restauração e arborização urbana, possui ampla abrangência ecológica e capacidade de ocupar diversos tipos de ambiente e formações vegetais (CARVALHO, 2014). Sua florada abundante pode ser explorada para a produção de mel de boa qualidade (CARVALHO, 2014; LENZI e ORTH, 2004b). Seus frutos além de atrair a avifauna, podem ser comercializados como condimento alimentar (CARVALHO, 2014; LENZI e ORTH, 2004a). Sua casca, folhas e frutos possuem ainda potencialidades medicinais e fitoquímicas (CARVALHO, 2014; VALENTINI e MACHADO, 2014). Quanto à madeira, essa é tida como de pouco valor comercial (CARVALHO, 2014).

As observações de campo, indicaram mudanças morfológicas e fisiológicas para a Aroeira Pimenteira. Enquanto que indivíduos sombreados apresentaram as características relacionadas à evitação de sombra, as plantas cultivadas com grande disponibilidade de luz além de plantas mais ramificadas e maior vigor vegetativo, apresentaram frutificação precoce e abundante (**Figura 39**).



Figura 39. Alterações morfológicas e fisiológicas para a espécie Aroeira pimenteira, em diferentes condições de radiação: A) Indivíduo sob condições de sombreamento proporcionado pelo tratamento T75; B e C) indivíduos em condições de pleno sol

A investigação das respostas de crescimento em altura e diâmetro para a espécie pioneira aroeira-pimenteira foram analisadas pela distribuição dos dados (box-plot) e diferença entre médias (teste T).

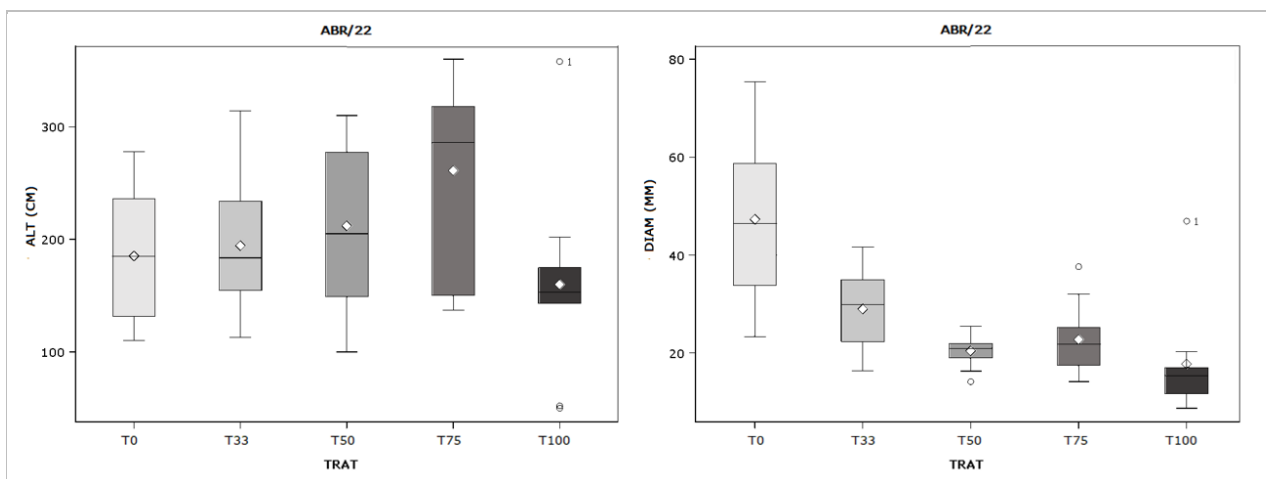


Figura 40. Análise de box-plot para o crescimento em altura (cm) e em diâmetro do coleto (mm) da espécie Aroeira-pimenteira para os tratamentos T0, T33, T50, T75 e T100.

Tabela 13. Análise estatística das diferenças entre tratamentos para altura e diâmetro médio do coleto da espécie Aroeira-pimenteira aos 41 meses após o plantio

Tratamento	Altura (cm)	Diâmetro (mm)
T0	185,2 AB	47,30 A
T33	194,4 AB	28,98 B
T50	212,0 AB	20,46 BC
T75	261,2 A	22,74 BC
T100	159,9 B	17,79 C
<hr/>		
Altura - CV 18,52	Valor de F 2,86	Pr > F 0,0326
Diâmetro - CV 17,11	Valor de F 16,11	Pr > F <0,0001

* Médias seguidas pela mesma letra, na coluna, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

** Os valores médios das duas variáveis se referem aos valores reais medidos, enquanto que o CV, Valor de F e P são referentes aos dados transformados

Os tratamentos **T0**, **T33**, **T50** e **T75** proporcionaram ganhos em altura estatisticamente equivalentes para a espécie aroeira pimenteira. Enquanto que para diâmetro, o tratamento a pleno sol (**T0**) foi o que proporcionou os maiores incrementos. Apesar de não serem encontradas diferenças estatísticas para a altura, visualmente são observadas diferenças arquitetônicas entre as árvores de aroeira pimenteira quando cultivadas em sombra ou a pleno sol (**Figura 39**). Nota-se também um estiolamento para a espécie nos tratamentos **T50** e **T75**, que apresentaram uma razão entre altura e diâmetro muito maiores (**T50** – 10,36 e **T75** – 11,48) que as plantas de pleno sol (**T0** – 3,91).

Sabbi, Ângelo e Boeger (2010), em análise da influência da luminosidade sobre aspectos morfoanatômicos e fisiológicos de folhas de *S. terebinthifolius* (Aroeira-pimenteira) verificaram que as plantas cultivadas sob condições de sombreamento, proporcionados por uma área de capoeira, apresentaram área foliar específica e altura maiores. Enquanto que espessura da cutícula, do parênquima paliçádico e espessura total do limbo foram maiores para os indivíduos da área aberta. Segundo os autores, isso mostra a plasticidade morfológica da espécie em resposta a habitats e diferentes condições lumínicas, e sua capacidade de ajustar-se a uma gama de variação ambiental.

Scalon *et al.* (2006), em pesquisa sobre o desenvolvimento de mudas de aroeira cultivadas sob sombrites de 70% e 50% de luz e sob luz plena, registraram sob exposição máxima de radiação mudas de menor altura, maior área foliar e maior peso seco total, o que indicaria o cultivo inicial dessa espécie a pleno sol.

Assim, considerando que suas potencialidades econômicas de *S. terebinthifolius* se relacionam a características potencializadas pelo vigor vegetativo (recobrimento de área, produção de folhas, flores e frutos) e não a sua forma, a interpretação conjunta dos dados aqui apresentados permite afirmar que as condições de alta radiação, são favoráveis ao cultivo da aroeira pimenteira.

6.2.3.2. Canafístula (*Peltophorum dubium* (Spreng.) Taub.).

A Canafístula é uma espécie rústica de ampla distribuição geográfica. Em função da qualidade da madeira, moderadamente pesada, dura e de longa durabilidade é uma espécie promissora para exploração madeireira. Sua madeira pode ser utilizada em indústrias madeireiras, fabricação de móveis, construção civil, produção de lenha, energia, sendo viável para a indústria de papel. A espécie tem sido comumente empregada na restauração de área degradada e projetos paisagísticos (BERTOLINI, BRUN e DEBASTIANI, 2015; CARVALHO, 2014). Em geral, possui hábito de crescimento irregular, com perda de dominância apical, bifurcação precoce e ramificação dicotômica do tipo ortotrópica. No entanto, quando sombreada em plantios, apresenta pouco ramos, boas desrama e cicatrização natural, formando fustes altos e livres de nós (CARVALHO, 2014). Características plásticas estas que são ilustradas na **Figura 41**.



Figura 41. Alterações morfológicas para a espécie *Canafístula* ao longo do gradiente de radiação: A) tratamento T0 – sem cobertura vegetal; B) tratamento T33 – 33% do eucalipto; C) tratamento T50 – 50% do eucalipto; D) tratamento T75 – 75% do eucalipto; E) tratamento T100 – 100% do eucalipto

Pelas análises dos gráficos Box-plot e teste de comparação de médias (Tukey) é possível ver como essas alterações morfológicas da espécie se expressaram ao longo do gradiente de radiação proporcionado por esta pesquisa.

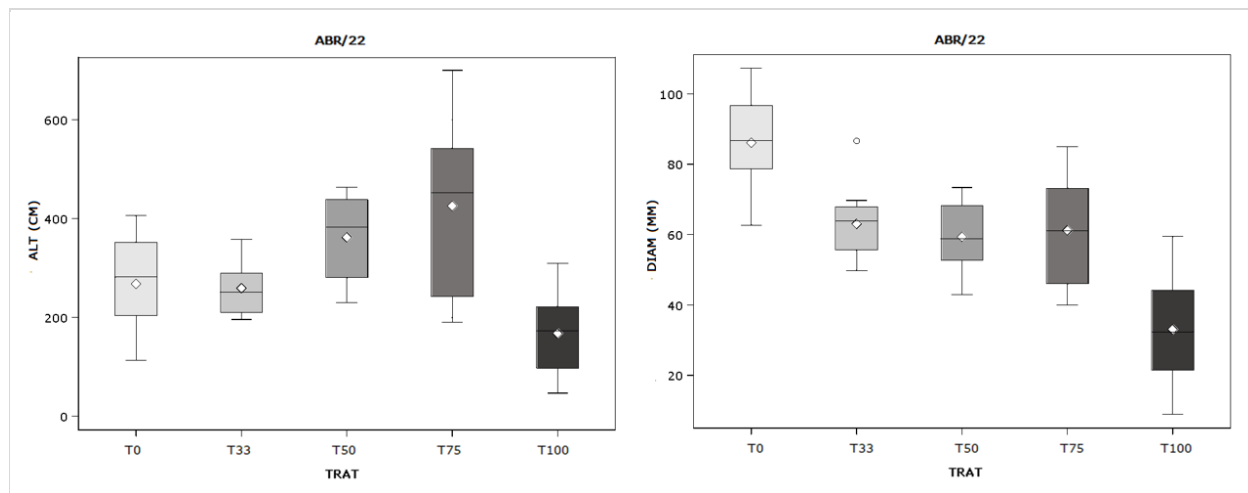


Figura 42. Análise de box-plot para o crescimento em altura (cm) e diâmetro do coleto (mm) da espécie Canafístula para os tratamentos T0, T33, T50, T75 e T100.

Tabela 14. Análise estatística das diferenças entre tratamento para altura e diâmetro médio do coleto da espécie Canafístula 41 meses após o plantio

Tratamento	Altura (cm)	Diâmetro (mm)
T0	268,2 BC	86,12 A
T33	259,3 BC	63,06 AB
T50	362,3 AB	59,36 B
T75	425,9 A	61,23 B
T100	167,8 C	33,04 C
Altura - CV 18,21 Valor de F 9,07 Pr > F < 0,0001		
Diâmetro - CV 11,93 Valor de F 18,73 Pr > F < 0,0001		

* Médias seguidas pela mesma letra, na coluna, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

** Os valores médios das duas variáveis se referem aos valores reais medidos, enquanto que o CV, Valor de F e P são referentes aos dados transformados

Os tratamentos **T50** e **T75** foram os que proporcionaram os maiores ganhos em alturas para a Canafístula. Enquanto que para diâmetro os tratamentos **T0** e **T33** resultaram em melhores desempenho.

Portela, Silva e Pinã-Rodrigues (2001) em trabalho sobre a influência do sombreamento em viveiro para mudas de *P. dubium* (Canafístula) e *Clitoria fairchildiana* (Sombreiro), observaram que até 150 dias a espécie Canafístula não pareceu ser sensível aos diferentes tratamentos de sombreamento (sol pleno, 30%, 50% e 75%) para os parâmetros incremento em altura, altura total e comprimento de raiz. Os resultados encontrados por Portela, Silva e Pinã-Rodrigues (2001), contrastam com os encontrados por esta pesquisa

apenas em função do tempo de observação. Como é possível ver na Figura 43, a resposta diferencial plástica em altura para a espécie só foi observada 41 meses após o plantio. O que evidencia a necessidade de experimentações de médio e longo prazo para a compreensão do comportamento ecofisiológico de espécies nativas.

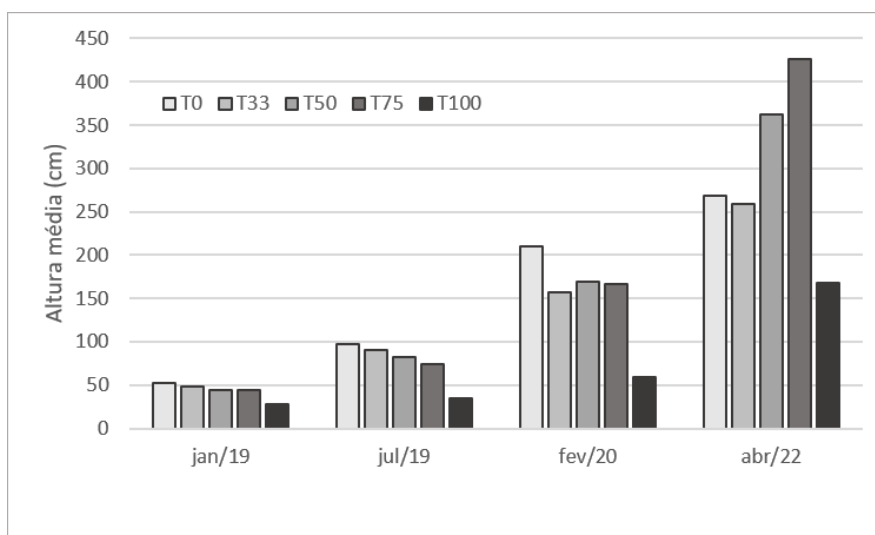


Figura 43. Desenvolvimento em altura para Canafístula ao longo do tempo em cada um dos tratamentos T0, T33, T50, T75 e T100.

A exemplo disso, apesar de ser possível encontrar experimentações para *P. dubium* sobre o comportamento silvicultural de espécie nativa para produção de mudas em viveiro (KLEIN *et al.*, 2017; PORTELA, SILVA e PINÃ-RODRIGUES, 2001), em plantios comerciais a pleno sol (HEID *et al.*, 2016), integrada a sistemas agroflorestais (LONGUI *et al.*, 2021), não foram encontrados trabalhos de médio e longo prazo para a espécie, sob diferentes condições de luminosidade medidas em campo. O que indica não apenas lacunas no conhecimento sobre a espécie como corrobora a necessidade de investimentos técnicos e científicos para toda a silvicultura de espécies nativas (BERTOLINI, BRUN e DEBASTIANI, 2015; MENDONÇA *et al.*, 2017; PIOTTO *et al.*, 2018; ROLIM *et al.*, 2020).

A respeito do plantio comercial de Canafístula, segundo (BUNGENSTAB, 2012) em plantios puros o corte pode ser feito a partir dos 9 anos, se estendendo até 32 anos, com incrementos médios de 25 m³/hectare/ano, e que apesar de seu crescimento retilíneo requer podas para eliminar galhos e aumentar a altura comercial.

A partir dos resultados observados pela presente pesquisa, as recomendações técnicas para o plantio de *P. dubium* com fins comerciais podem ser aperfeiçoadas. Visto que,

o sombreamento proporcionado à espécie resultou em árvores mais altas, retilíneas e com menos ramificações, ou seja, numa forma mais interessante para seus usos futuros, o que reduziria os custos de manejo com podas. Assim, o plantio de Canafístula no sub-bosque de Eucalipto com espaçamentos ou progênies que disponibilizam entre 45 e 50% de radiação solar no interior florestal, apresenta-se como promissor.

Outra vantagem técnica a adoção de Canafístula em sistemas agroflorestais, se referem a: possibilidade de reprodução por estaquia, o qual permitiria a seleção de plantas matrizes com características adequadas, e sua capacidade de rebrota após o corte, permitindo a formação de um novo povoamento sem o plantio de novas mudas (CARVALHO, 2014). Esses atributos contribuem para a perspectiva de construção de arranjos florestais que evoluem ao longo do tempo, conforme proposto por Ribeiro e Righ (2020).

Assim, a partir da melhor compreensão da ecofisiologia da Canafístula é possível imaginar sistemas onde a espécie poderia ser integrada a povoamentos florestais de eucalipto, otimizando a eficiência energética do sistema, pelo melhor aproveitamento da luz. A espécie, poderia ser implantada em estandes conduzidos em regime de talhadia, onde os rendimentos não justificam a manutenção da área, sendo necessário a reforma ou a conversão do sistema de monocultura para outro modelo produtivo. Os rendimentos, mesmo que menores do 3º ciclo, poderiam abater os custos da implantação da espécie nativa no sistema, a qual se beneficiaria do sombreamento proporcionado pelo eucalipto nos primeiros anos de seu desenvolvimento, e que, com a saída da espécie exótica, poderá investir em crescimentos diamétricos, já que não precisará mais competir pela luz. Quando o momento de corte da *P. dubium* chegar, seguido pela sua rebrotar, novas plantas e árvores, que irão se beneficiar com a sua sombra, poderão ser introduzidas, e desta vez os custos serão financiados pela venda da madeira da espécie nativa, que não sairá do sistema, mas ganhará um novo propósito.

7. CONSIDERAÇÕES GERAIS

O manejo do ambiente luminoso em florestas de usos múltiplos pode ser realizado de inúmeras maneiras, entre elas temos as operações de desbastes. Em florestas de eucalipto já estabelecidas, a estratégia de retirada progressiva desses indivíduos, aumentará gradativamente a quantidade de radiação solar presente no interior do sistema, o que permitirá ao longo do tempo colheitas de árvores com diferentes tamanhos que servirão para diferentes usos, como lenha e carvão (ciclo curto), celulose (ciclos médios) e madeira (ciclos longos), além disso, a maior disponibilidade de radiação solar permitirá que o sub-bosque da floresta ganhe novos usos ou impulse a comunidade vegetal ali existente.

O cultivo do eucalipto junto a árvores nativas apresenta muitos potenciais. Além dos esperados retornos financeiros associados a espécie exótica, o manejo técnico do sombreamento proporcionado por essa cultura é capaz de garantir maiores índices de sobrevivência para as espécies nativas associadas e induzir conformações arquitetônicas nas espécies nativas viabilizando que estas espécies também sejam economicamente exploradas.

Contudo, ainda há pouco entendimento sobre as respostas das plantas aos ambientes sombreados, tanto no que diz respeito à diminuição da intensidade radiativa quanto da qualidade (espectro) disponível. Assim, há necessidade de mais estudos nessa área visando promover o uso mais inteligente e intensivo de áreas produtivas.

Parece claro que os plantios monoculturais subutilizam os recursos existentes tanto acima como abaixo do solo. Há aqui um grande potencial de uso complementar dos recursos disponíveis aumentando a cobertura (e de forma mais permanente) do solo o que certamente trará melhorias em sua fertilidade dada a maior ciclagem e aumento da biomassa produzida. Inferências que necessitam de maiores investigações.

Esse estudo indica a possibilidade de desenvolvermos sistemas produtivos em que as espécies nativas podem participar ativamente desempenhando um papel econômico potencial dado seu crescimento diferencial sob diferentes condições. Isso traria a possibilidade de seu cultivo em maior escala na paisagem o que certamente trará amplos benefícios ecológicos.

A maior e melhor adoção de práticas agroflorestais nas propriedades rurais depende de sólidas comprovações científicas que darão a segurança necessária àqueles interessados em desenvolver sistemas e aprimorar sua eficiência.

Todos os pontos levantados necessitam de investigações profundas e demoradas dado o lento crescimento das plantas. Mas certamente trata-se de uma oportunidade para promover a preservação das espécies por seu uso e pelo redesenho dos sistemas produtivos. Há um longo caminho a ser trilhado.

8. CONCLUSÕES

A partir dos resultados é possível concluir que:

- I. O ambiente radiativo de uma floresta pode ser manejado de modo a condicionar ambientes específicos, proporcionando novos usos ao sub-bosque, atendendo às diferentes necessidades.
- II. O sombreamento pode reduzir as taxas de mortalidade em plantios de árvores nativas, mas é preciso o conhecimento sobre faixas limitantes, visto que o sombreamento excessivo pode ser tão danoso quanto altas irradiâncias;
- III. Independente do tratamento, as espécies *Trema* (*Trema micrantha* (L.) Blume), Mutambo (*Guazuma ulmifolia* Lam) e Algodoeiro (*Heliocarpus americanus* L.) foram as espécies com as maiores taxas de mortalidades registradas. Enquanto que Angico preto (*Anadenanthera colubrina* (Vell.) Bren), Amendoim do campo (*Platypodium elegans* Vogel), Canafístula (*Peltophorum dubium* (Spreng.) Taub), Ingá (*Inga uruguensis* Hook. & Arn) e Aroeira pimenteira (*Schinus terebinthifolius* Raddi), mostraram alta capacidade de sobreviverem em todas as condições, sendo fortemente recomendadas para plantios florestais de múltiplos propósitos, em áreas onde as condições edafoclimáticas se assemelham às da região onde se encontra o sistema agroflorestal aqui analisado.
- IV. O gênero *Eucalyptus*, pode ser utilizado para proporcionar o sombreamento ideal para espécies nativas cultivadas em seu sub-bosque, mas faz-se necessária a adoção de espécies que possuam baixa desrama natural, evitando a quebra e morte das espécies associadas;
- V. As plantas respondem de forma diferencial às diferentes condições de radiação solar disponíveis modificando-se. Estas respostas plásticas podem ser analisadas pelo crescimento diferencial em altura e diâmetro, além de alterações nas conformações arquitetônicas, tal como observadas para *S. terebinthifolius* e *P. dubium*. O entendimento destas respostas ao ambiente é a base para o desenvolvimento de sistemas mais sustentáveis e que maximizam o uso dos recursos.

- VI. Até o presente momento, as respostas plásticas foram observadas principalmente para as espécies do grupo pioneiras. Entretanto, o sistema analisado trata-se de um experimento de longo prazo, e futuras pesquisas podem trazer novos entendimentos sobre esse processo.

REFERÊNCIAS

- ALBRECHT, A.; KANDJI, S. T. Carbon sequestration in tropical agroforestry systems. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 99, n. 1–3, p. 15–27, out. 2003.
- AMAZONAS, N. T. *et al.* High diversity mixed plantations of Eucalyptus and native trees: An interface between production and restoration for the tropics. **Forest Ecology and Management**, v. 417, p. 247–256, 15 maio 2018.
- ANDERSON, M. C. Light relations of terrestrial plant communities and their measurement. **Biological Reviews**, v. 39, n. 4, p. 425–481, 1964.
- ARANTES, P. B. **Influência da presença de Eucalyptus spp. na diversidade e dinâmica de nutrientes no processo de regeneração natural da Floresta Ombrófila Densa Montana na Mata Atlântica**. Tese de doutorado. Universidade de São Paulo, 2021.
- BALLESTRERI, A. A. Silvicultura de espécies florestais arbóreas nativas em plantio puro e sob diferentes níveis de sombreamento. 2020.
- BARGALI, S.; BARGALI, K. Diversity and biomass of the under story vegetation in an age series of Eucalyptus tereticornis plantation. **International Journal of Ecology and Environmental Sciences**, v. 26, p. 173–181, 1 jan. 2000.
- BARLOW, J. *et al.* Quantifying the biodiversity value of tropical primary, secondary, and plantation forests. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 104, n. 47, p. 18555–18560, 20 nov. 2007.
- BARTRA, J. K. H. **O uso do eucalipto em sistemas silvipastoril: acúmulo de fitomassa arbórea e de pastagem**. Piracicaba: Universidade de São Paulo, 14 jul. 2016.
- BASANTA, M. *et al.* Diversity Measurements in Shrubland Communities of Galicia (NW Spain). **Vegetatio**, v. 82, n. 2, p. 105–112, 1989.
- BAZZAZ, F. A.; PICKETT, S. T. A. Physiological ecology of tropical succession: a comparative review. **Annual review of ecology and systematics**, v. 11, p. 287–310, 1980.
- BEECH, E. *et al.* GlobalTreeSearch: The first complete global database of tree species and country distributions. **Journal of Sustainable Forestry**, v. 36, n. 5, p. 454–489, 4 jul. 2017.
- BENINCASA, M. M. P. **Análise de crescimento de plantas: noções básicas**. [s.l.] Funep Jaboticabal, 1988. v. 467
- BERNARDES, M. S. Simulation of agroforestry systems: the case of rubber tree associated with other crops. **Wageningen Agricultural University, Wageningen—the Netherlands**, 1993.
- BERTOLINI, I. C.; BRUN, E. J.; DEBASTIANI, A. B. Caracterização silvicultural da canafístula (*Peltophorum dubium* (Sprengel) Taubert). **Scientia Agraria Paranaensis**, v. 14, n. 2, p. 67–76, 19 jun. 2015.
- BIANCHI, F. J. J. A.; BOOIJ, C. J. H.; TSCHARNTKE, T. Sustainable pest regulation in agricultural landscapes: a review on landscape composition, biodiversity and natural pest control. **Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 273, n. 1595, p. 1715–1727, 22 jul. 2006.
- BJÖRKMANN, O. Responses to different quantum flux densities. *Em: Physiological plant ecology I*. [s.l.] Springer, 1981. p. 57–107.

- BLASER, W. J. *et al.* Climate-smart sustainable agriculture in low-to-intermediate shade agroforests. **Nature Sustainability**, v. 1, n. 5, p. 234–239, maio 2018.
- BONAN, G. B. Importance of leaf area index and forest type when estimating photosynthesis in boreal forests. **Remote sensing of Environment**, v. 43, n. 3, p. 303–314, 1993.
- BORGES, W. *et al.* Sustainable soybean production systems in the northwest region of São Paulo state, Brazil. **Nucleus**, p. 83–92, 10 jul. 2017.
- BORGES, W. L. B. *et al.* Maize intercropped between Eucalyptus urophylla in agroforestry systems in Brazil. **African Journal of Agricultural Research**, v. 17, n. 2, p. 215–221, 28 fev. 2021.
- BRÉDA, N. J. Ground-based measurements of leaf area index: a review of methods, instruments and current controversies. **Journal of experimental botany**, v. 54, n. 392, p. 2403–2417, 2003.
- BREMER, L. L.; FARLEY, K. A. Does plantation forestry restore biodiversity or create green deserts? A synthesis of the effects of land-use transitions on plant species richness. **Biodiversity and Conservation**, v. 19, n. 14, p. 3893–3915, 1 dez. 2010.
- BROCKERHOFF, E. G. *et al.* Role of eucalypt and other planted forests in biodiversity conservation and the provision of biodiversity-related ecosystem services. **Forest Ecology and Management**, Challenges and opportunities for sustainable management of eucalypt plantations. v. 301, p. 43–50, 1 ago. 2013.
- BUCKLEY, D. S.; ISEBRANDS, J. G.; SHARIK, T. L. Practical field methods of estimating canopy cover, PAR, and LAI in Michigan oak and pine stands. **Northern Journal of Applied Forestry**, v. 16, n. 1, p. 25–32, 1999.
- BUDOWSKI, G. **Distribution of tropical American rain-forest species in the light of successional processes**. [s.l.: s.n.].
- BUGHIO, F. A. *et al.* Physio-morphological responses of native *Acacia Nilotica* to *Eucalyptus* allelopathy. p. 10, jan. 2013.
- BUNGENSTAB, D. J. **Sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta: a produção sustentável**. [s.l.] Brasília, DF: Embrapa, 2012., 2012.
- CAMPOE, O. C. **Efeito de práticas silviculturais sobre a produtividade primária líquida de madeira, o índice de área foliar e a eficiência do uso da luz em plantios de restauração da Mata Atlântica**. Dissertação de mestrado. Universidade de São Paulo, 2008.
- CAMPOE, O. C. *et al.* Atlantic forest tree species responses to silvicultural practices in a degraded pasture restoration plantation: From leaf physiology to survival and initial growth. **Forest Ecology and Management**, v. 313, p. 233–242, 2014.
- CANDIANI, G. Natural regeneration of trees species in the understory of Eucalyptus saligna Sm., Caieiras, SP. **Ambiência**, v. 12, 1 jan. 2016.
- CANTINHO, R. Z.; PONZONI, F. J.; SANTOS, S. B. DOS. Estimativas de índice de área foliar de plantios de Eucalyptus spp. segundo três alternativas metodológicas. **Cerne**, v. 20, p. 485–492, 2014.
- CARVALHO, P. E. R. Espécies arbóreas brasileiras. 2014.
- CECCON, E. Eucalyptus agroforestry system for small farms: 2-year experiment with rice and beans in Minas Gerais, Brazil. **New Forests**, v. 29, n. 3, p. 261–272, 1 maio 2005.

- CHAVES, R. DE A. *et al.* Dinâmica de cobertura de dossel de povoamento de clone de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex-Maiden submetidos a desrama artificial a desbaste. **Revista Árvore**, v. 31, p. 989–998, dez. 2007.
- CHAZDON, R. L. *et al.* Photosynthetic responses of tropical forest plants to contrasting light environments. *Em: Tropical forest plant ecophysiology*. [s.l.] Springer, 1996. p. 5–55.
- CHAZDON, R. L.; FETCHER, N. Light environments of tropical forests. *Em: Physiological ecology of plants of the wet tropics*. [s.l.] Springer, 1984. p. 27–36.
- CHEN, J. M.; BLACK, T. A. Defining leaf area index for non-flat leaves. **Plant, Cell & Environment**, v. 15, n. 4, p. 421–429, 1992.
- CHIANUCCI, F. An overview of in situ digital canopy photography in forestry. **Canadian Journal of Forest Research**, v. 50, n. 3, p. 227–242, 2020.
- CONDIT, R.; HUBBELL, S. P.; FOSTER, R. B. Identifying fast-growing native trees from the Neotropics using data from a large, permanent census plot. **Forest Ecology and Management**, v. 62, n. 1–4, p. 123–143, 1993.
- DAGAR, JAGDISH C.; TEWARI, VINDHYA P. Evolution of Agroforestry as a Modern Science. *Em: DAGAR, JAGDISH CHANDER; TEWARI, VINDHYA PRASAD (Eds.). Agroforestry*. Singapore: Springer Singapore, 2017.
- DAS, A. J.; STEPHENSON, N. L.; DAVIS, K. P. Why do trees die? Characterizing the drivers of background tree mortality. **Ecology**, v. 97, n. 10, p. 2616–2627, 2016.
- DE CASTRO, F. Light spectral composition in a tropical forest: measurements and model. **Tree physiology**, v. 20, n. 1, p. 49–56, 2000.
- DE REFFYE, P. *et al.* A model simulating above- and below-ground tree architecture with agroforestry applications. **Agroforestry Systems**, v. 30, n. 1, p. 175–197, 1995.
- DENSLOW, J. S. Gap partitioning among tropical rainforest trees. **Biotropica**, p. 47–55, 1980.
- _____. Tropical Rainforest Gaps and Tree Species Diversity. **Annual Review of Ecology and Systematics**, v. 18, n. 1, p. 431–451, 1987.
- DUARTE, N. DE F. *et al.* Tolerance of *Anadenanthera peregrina* to *Eucalyptus camaldulensis* and *Eucalyptus grandis* essential oil as condition for mixed plantation. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 55, p. 417–424, jun. 2012.
- DUARTE, N. F. *et al.* Mixed field plantation of native and exotic species in semi-arid Brazil. **Australian Journal of Botany**, v. 54, n. 8, p. 755–764, 29 nov. 2006.
- DUBE, F. *et al.* A simulation model for evaluating technical and economic aspects of an industrial eucalyptus-based agroforestry system in Minas Gerais, Brazil. **Agroforestry Systems**, v. 55, n. 1, p. 73–80, 1 jun. 2002.
- DUCATTI, M. Desempenho silvicultural de espécies nativas em plantações florestais no estado interior do estado de São Paulo. 2019.
- DURIGAN, G. Técnicas silviculturais aplicadas à restauração de ecossistemas. **Simpósio sobre Restauração Ecológica de Ecossistemas Naturais**, v. 1, 1999.
- DEUTZ, A. *et al.* **Financiando a conservação da natureza**: eliminando a lacuna no financiamento da biodiversidade global. The Paulson Institute, The Nature Conservancy e o Cornell Atkinson Center for Sustainability. 2020.

- ELESBÃO, L. E. G.; SCHNEIDER, P. R. Produção do *Pinus Taeda L.* em povoamento desbastado na região dos Campos De Cima Da Serra, Rio Grande do Sul. **Ciência Florestal**, v. 21, p. 119–124, 2011.
- ENDLER, J. A. The color of light in forests and its implications. **Ecological monographs**, v. 63, n. 1, p. 1–27, 1993.
- ENGEL, V. L. **Influência do sombreamento sobre o crescimento de mudas de essências nativas, concentração de clorofila nas folhas e aspectos de anatomia**. Dissertação de mestrado Universidade de São Paulo, 1989.
- ENGEL, V. L.; POGGIANI, F. Influência do sombreamento sobre o crescimento de mudas de algumas essências nativas e suas implicações ecológicas e silviculturais. **IPEF**, v. 43, n. 44, p. 1–10, 1990.
- ERSKINE, P. D.; LAMB, D.; BORSCHMANN, G. Growth performance and management of a mixed rainforest tree plantation. **New Forests**, v. 29, n. 2, p. 117–134, 2005.
- ESPELTA, J. M.; RIBA, M.; JAVIER, R. Patterns of seedling recruitment in West-Mediterranean *Quercus ilex* forest influenced by canopy development. **Journal of Vegetation Science**, v. 6, n. 4, p. 465–472, 1995.
- ESPINOSA-GARCÍA, F.; MARTINEZ-HERNANDEZ, E.; QUIROZ, A. Allelopathic potential of *Eucalyptus* spp plantations on germination and early growth of annual crops. **Allelopathy Journal**, v. 21, 30 nov. 2007.
- EVANS, J. R.; POORTER, H. Photosynthetic acclimation of plants to growth irradiance: the relative importance of specific leaf area and nitrogen partitioning in maximizing carbon gain. **Plant, Cell & Environment**, v. 24, n. 8, p. 755–767, 2001.
- FARIAS, V. C. C. *et al.* Análise de crescimento de mudas de cedrorana (*Cedrelinga catenaeformis* (Ducke) Ducke) cultivadas em condições de viveiro. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 19, n. 2, p. 193–200, 30 dez. 1997.
- FELFILI, J. M. *et al.* Comportamento de plântulas de *Sclerolobium paniculatum* Vog. var. *rubiginosum* (Tul.) Benth. sob diferentes níveis de sombreamento, em viveiro. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 22, 1 out. 1999.
- FINGER, C. A. G.; SCHNEIDER, P. R. Determinação do peso do desbaste para florestas de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden, com base no índice de espaçamento relativo. **Ciência Florestal**, v. 9, p. 79–87, 1999.
- FOLEY, J. A. *et al.* Global Consequences of Land Use. **Science**, v. 309, n. 5734, p. 570–574, 22 jul. 2005.
- _____. Solutions for a cultivated planet. **Nature**, v. 478, n. 7369, p. 337–342, out. 2011.
- FORRESTER, D. I. *et al.* Growth and physiological responses to silviculture for producing solid-wood products from *Eucalyptus* plantations: An Australian perspective. **Forest Ecology and Management**, v. 259, n. 9, p. 1819–1835, 2010.
- GALVANI, E.; LIMA, N. G. B. DE. Fotografias hemisféricas em estudos microclimáticos: Referencial teórico-conceitual e aplicações. **Ciência e Natura**, v. 36, p. 215–221, 2014.
- GALVÃO, V. C.; FANKHAUSER, C. Sensing the light environment in plants: photoreceptors and early signaling steps. **Current opinion in neurobiology**, v. 34, p. 46–53, 2015.
- GARCÍA DE JALÓN, S. *et al.* How is agroforestry perceived in Europe? An assessment of positive and negative aspects by stakeholders. **Agroforestry Systems**, v. 92, n. 4, p. 829–848, 2018.
- GARDINGEN, P. R. VAN *et al.* Leaf area index estimates obtained for clumped canopies using hemispherical photography. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 94, n. 3–4, p. 243–257, 1999.
- GATES, D. M. *et al.* Spectral properties of plants. **Applied optics**, v. 4, n. 1, p. 11–20, 1965.
- GELDENHUYS, C. J. Native forest regeneration in pine and eucalypt plantations in Northern Province, South Africa. **Forest Ecology and Management**, v. 99, n. 1, p. 101–115, 1997.

- GILBERT, I. R.; JARVIS, P. G.; SMITH, H. Proximity signal and shade avoidance differences between early and late successional trees. **Nature**, v. 411, n. 6839, p. 792–795, 2001.
- GIUDICE BADARI, C. *et al.* Ecological outcomes of agroforests and restoration 15 years after planting. **Restoration Ecology**, v. 28, n. 5, p. 1135–1144, 2020.
- GIUNTI NETO, C. J. *et al.* Calibração de dois métodos indiretos para estimativa do índice de área foliar em plantações de *Eucalyptus*. **Scientia Forestalis**, v. 43, n. 108, 2015.
- GIVNISH, T. J. Adaptation to sun and shade: a whole-plant perspective. **Functional Plant Biology**, v. 15, n. 2, p. 63–92, 1988.
- GLENCROSS, K. *et al.* Basal area increment is unaffected by thinning intensity in young *Eucalyptus dunnii* and *Corymbia variegata* plantations across different quality sites. **Forest Ecology and Management**, v. 318, p. 326–333, 15 abr. 2014.
- GLUFKE, C.; FINGER, C. A. G.; SCHNEIDER, P. R. Crescimento de *Pinus Elliottii* Engelm sob diferentes intensidades de desbaste. **Ciência Florestal**, v. 7, p. 11–25, dez. 1997.
- GONÇALVES, I. F. DE S. Resposta de três espécies nativas de mata atlântica a diferentes condições de luminosidade. 2012.
- GONÇALVES, J. L. DE M. Conservação do solo. **Conservação e cultivo de solos para plantações florestais**, 2002.
- _____. Integrating genetic and silvicultural strategies to minimize abiotic and biotic constraints in Brazilian eucalypt plantations. **Forest Ecology and Management**, Challenges and opportunities for sustainable management of eucalypt plantations. v. 301, p. 6–27, 1 ago. 2013.
- GONSAMO, A. *et al.* A robust leaf area index algorithm accounting for the expected errors in gap fraction observations. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 248, p. 197–204, jan. 2018.
- GOWER, S. T.; KUCHARIK, C. J.; NORMAN, J. M. Direct and indirect estimation of leaf area index, fAPAR, and net primary production of terrestrial ecosystems. **Remote sensing of environment**, v. 70, n. 1, p. 29–51, 1999.
- GREEN, D. S.; ERICKSON, J. E.; KRUGER, E. L. Foliar morphology and canopy nitrogen as predictors of light-use efficiency in terrestrial vegetation. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 115, n. 3–4, p. 163–171, 2003.
- GUIDOTTI, V. *et al.* Números detalhados do Novo Código Florestal e suas implicações para os PRAs. **Sustentabilidade em debate**, n. 5, p. 1–11, 2017.
- GULMON, S. L.; CHU, C. C. The effects of light and nitrogen on photosynthesis, leaf characteristics, and dry matter allocation in the chaparral shrub, *Diplacus aurantiacus*. **Oecologia**, v. 49, n. 2, p. 207–212, 1981.
- HAGGAR, J. *et al.* Contribution of agroforestry systems to sustaining biodiversity in fragmented forest landscapes. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 283, p. 106567, 1 nov. 2019.
- HALLÉ, F.; OLDEMAN, R. A.; TOMLINSON, P. B. **Tropical trees and forests: an architectural analysis**. [s.l.] Springer Science & Business Media, 2012.
- HARRISON, P. *et al.* World agriculture: towards 2015/2030. **Online**, <http://www.fao.org/documents>, 2002.
- HEID, D. M. *et al.* Performance of *Peltophorum dubium* under intraspecific tree competition and cardinal directions as possibility for integrated livestock-forestry systems. 2016.
- HOBBS, R. *et al.* Faunal use of bluegum (*Eucalyptus globulus*) plantations in southwestern Australia. **Agroforestry Systems**, v. 58, n. 3, p. 195–212, 1 maio 2003.

- HOSONUMA, N. *et al.* **An assessment of deforestation and forest degradation drivers in developing countries.** Disponível em: <<https://www.cifor.org/knowledge/publication/3917/>>. Acesso em: março de 2022.
- HUTCHISON, B. A.; MATT, D. R. The distribution of solar radiation within a deciduous forest. **Ecological Monographs**, v. 47, n. 2, p. 185–207, 1977.
- IBÁ Indústria Brasileira De Árvores. **Relatório anual 2019.** Disponível em: <<https://www.iba.org/datafiles/publicacoes/relatorios/relatorioiba2019-final.pdf>>. Acesso em: agosto de 2019.
- IBÁ Indústria Brasileira De Árvores. **Relatório anual 2020.** Disponível em: <<https://www.iba.org/datafiles/publicacoes/relatorios/relatorio-iba-2020.pdf>>. Acesso em: janeiro de 2022.
- IBÁ Indústria Brasileira De Árvores. **Relatório anual 2021.** Disponível em: <<https://www.iba.org/datafiles/publicacoes/relatorios/relatorioiba2021-compactado.pdf>>. Acesso em: janeiro de 2022.
- JACOBI, J.; RIST, S.; ALTIERI, M. A. Incentives and disincentives for diversified agroforestry systems from different actors' perspectives in Bolivia. **International Journal of Agricultural Sustainability**, v. 15, n. 4, p. 365–379, 4 jul. 2017.
- JERNECK, A.; OLSSON, L. More than trees! Understanding the agroforestry adoption gap in subsistence agriculture: Insights from narrative walks in Kenya. **Journal of Rural Studies**, v. 32, p. 114–125, 1 out. 2013.
- JIAO, Y.; LAU, O. S.; DENG, X. W. Light-regulated transcriptional networks in higher plants. **Nature Reviews Genetics**, v. 8, n. 3, p. 217–230, 2007.
- JOHNSON, J. A. *et al.* Global agriculture and carbon trade-offs. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 111, n. 34, p. 12342–12347, 26 ago. 2014.
- JONCKHEERE, I. *et al.* Review of methods for in situ leaf area index determination: Part I. Theories, sensors and hemispherical photography. **Agricultural and forest meteorology**, v. 121, n. 1–2, p. 19–35, 2004.
- JOSE, S. Agroforestry for ecosystem services and environmental benefits: an overview. **Agroforestry systems**, v. 76, n. 1, p. 1–10, 2009.
- _____. Agroforestry for conserving and enhancing biodiversity. **Agroforestry Systems**, v. 85, n. 1, p. 1–8, 1 maio 2012.
- JUNIOR, A. A. B. *et al.* Desempenho da cultura da soja em sistema agroflorestal com eucalipto. **Colloquium Agrariae. ISSN: 1809-8215**, v. 14, n. 3, p. 62–71, 2018.
- KAGEYAMA, P. Y. *et al.* Diversidade genética em espécies arbóreas tropicais de diferentes estágios sucessionais por marcadores genéticos. **Scientia Forestalis**, v. 64, p. 93–107, 2003.
- KAGEYAMA, P. Y.; CASTRO, C. F. DE A. Sucessão secundária, estrutura genética e plantações de espécies arbóreas nativas. **IPEF, Piracicaba**, v. 41, n. 42, p. 83–93, 1989.
- KAMI, C. *et al.* Light-regulated plant growth and development. **Current topics in developmental biology**, v. 91, p. 29–66, 2010.
- KARA, F.; TOPAÇOĞLU, O. Effects of canopy structure on growth and belowground/aboveground biomass of seedlings in uneven-aged trojan fir stands. **CERNE**, v. 24, n. 4, p. 312–322, dez. 2018.

- KARIUKI, M. Modelling the impacts of various thinning intensities on tree growth and survival in a mixed species eucalypt forest in central Gippsland, Victoria, Australia. **Forest Ecology and Management**, v. 256, n. 12, p. 2007–2017, 10 dez. 2008.
- KING, D. A. The Adaptive Significance of Tree Height. **The American Naturalist**, v. 135, n. 6, p. 809–828, jun. 1990.
- KLEIN, J. *et al.* Desenvolvimento inicial de plântulas de *Peltophorum dubium* (Spreng.) Taub. sob protetores físicos com diferentes níveis de luminosidade. **Nativa**, v. 5, n. 2, p. 92–100, 2017.
- KOBE, R. K. *et al.* Juvenile tree survivorship as a component of shade tolerance. **Ecological applications**, v. 5, n. 2, p. 517–532, 1995.
- KOBE, R. K.; COATES, K. D. Models of sapling mortality as a function of growth to characterize interspecific variation in shade tolerance of eight tree species of northwestern British Columbia. **Canadian Journal of Forest Research**, v. 27, n. 2, p. 227–236, 1997.
- LAMB, D.; ERSKINE, P. D.; PARROTTA, J. A. Restoration of Degraded Tropical Forest Landscapes. **Science**, v. 310, n. 5754, p. 1628–1632, 2005.
- LE MAIRE, G. *et al.* Calibration of a species-specific spectral vegetation index for leaf area index (LAI) monitoring: example with MODIS reflectance time-series on eucalyptus plantations. **Remote Sensing**, v. 4, n. 12, p. 3766–3780, 2012.
- LENZI, M.; ORTH, A. I. Characterization of the functional reproductive system of the pink-pepper (*Schinus terebinthifolius* Raddi), in Florianópolis, SC, Brazil. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 26, p. 198–201, 2004a.
- _____. Atividade forrageira da abelha *Apis mellifera* sobre as flores da aroeira-vermelha. **Agropecuária Catarinense**, v. 17, n. 3, p. 61–63, 2004b.
- LHOTKA, J. M.; LOEWENSTEIN, E. F. Influence of canopy structure on the survival and growth of underplanted seedlings. **New Forests**, v. 35, n. 1, p. 89–104, 1 jan. 2008.
- LI-COR. LI-COR Terrestrial Radiation Sensors, Type SB. Instruction Manual. 1986.
- LONGUI, E. L. *et al.* Comparison between growth performance in two silvopastoral systems comprising trees, short-lived perennial shrub, a forage, and livestock. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 10, p. 8, 2021.
- MACEDO, R. L. G. *et al.* Desempenho silvicultural de clones de eucalipto e características agrônômicas de milho cultivados em sistema silviagrícola. **Revista Árvore**, v. 30, p. 701–709, out. 2006.
- MARCUZZO, S. B.; ARAÚJO, M. M.; GASPARIN, E. Plantio de espécies nativas para restauração de áreas em unidades de conservação: um estudo de caso no sul do Brasil. **FLORESTA**, v. 45, n. 1, p. 129, 13 ago. 2014.
- MARTELLO, F. *et al.* Homogenization and impoverishment of taxonomic and functional diversity of ants in Eucalyptus plantations. **Scientific Reports**, v. 8, n. 1, p. 3266, 19 fev. 2018.
- MARTÍN-TRILLO, M.; MARTÍNEZ-ZAPATER, J. M. Growing up fast: manipulating the generation time of trees. **Current Opinion in Biotechnology**, v. 13, n. 2, p. 151–155, 2002.
- MCCLUNEY, W. R. **Introduction to radiometry and photometry**. [s.l.] Artech House, 2014.
- MEDHURST, J. L.; BEADLE, C. L. Crown structure and leaf area index development in thinned and unthinned Eucalyptus nitens plantations. **Tree Physiology**, v. 21, n. 12–13, p. 989–999, 1 ago. 2001.

- MENDONÇA, G. C. DE *et al.* Avaliação silvicultural de dez espécies nativas da Mata Atlântica. **Ciência Florestal**, v. 27, p. 277–290, 2017.
- MICCOLIS, A. *et al.* Restoration through agroforestry: options for reconciling livelihoods with conservation in the cerrado and caatinga biomes in Brazil. **Experimental Agriculture**, v. 55, n. S1, p. 208–225, jun. 2019.
- MICHAEL, P. R.; JOHNSTON, D. E.; MORENO, W. A conversion guide: solar irradiance and lux illuminance. **Journal of Measurements in Engineering**, v. 8, n. 4, p. 153–166, 2020.
- MILLER, R. P.; NAIR, P. R. Indigenous agroforestry systems in Amazonia: from prehistory to today. **Agroforestry systems**, v. 66, n. 2, p. 151–164, 2006.
- MONSERUD, R. A.; STERBA, H. Modeling individual tree mortality for Austrian forest species. **Forest Ecology and Management**, v. 113, n. 2, p. 109–123, 25 jan. 1999.
- MONTAGNINI, F. Accumulation in above-ground biomass and soil storage of mineral nutrients in pure and mixed plantations in a humid tropical lowland. **Forest Ecology and Management**, v. 134, n. 1, p. 257–270, 1 set. 2000.
- MONTE, M. A. *et al.* Crescimento de um clone de eucalipto submetido a desrama e desbaste. **Revista Árvore**, v. 33, p. 777–787, out. 2009.
- MURAWSKI, D. A.; LOWMAN, M. D.; NADKARNI, N. M. **Forest canopies**. 1995.
- NARDINI, C. *et al.* Growth and solar radiation use efficiency of corn cultivated in agroforestry systems. **Emirates Journal of Food and Agriculture**, p. 535–543, 27 ago. 2019.
- NIERI, E. M. *et al.* Potential agroforestry systems for semiarid regions. **Floresta**, v. 51, n. 2, p. 363–370, 16 mar. 2021.
- NIINEMETS, Ü.; VALLADARES, F. Photosynthetic acclimation to simultaneous and interacting environmental stresses along natural light gradients: optimality and constraints. **Plant Biology**, v. 6, n. 03, p. 254–268, 2004.
- NOGUEIRA, W. L. P.; FERREIRA, M. J.; ALMEIDA MARTINS, N. O. DE. Estabelecimento inicial de espécies florestais em plantio para a recuperação de área alterada no Amazonas. **Revista de Ciências Agrárias Amazonian Journal of Agricultural and Environmental Sciences**, v. 58, n. 4, p. 365–371, 2015.
- NOVOPLANSKY, A. Developmental plasticity in plants: implications of non-cognitive behavior. **Evolutionary Ecology**, v. 16, n. 3, p. 177–188, 2002.
- OKER-BLOM, P.; LAPPI, J.; SMOLANDER, H. Radiation regime and photosynthesis of coniferous stands. *Em: Photon-vegetation interactions*. [s.l.] Springer, 1991. p. 469–499.
- OLIVEIRA, C. H. R. DE. Produção de eucalipto em alto fuste e talhadia e de braquiária em sistemas silvipastoris com diferentes arranjos espaciais. 2014.
- OLIVEIRA, E. B. DE; PINTO JUNIOR, J. O eucalipto e a Embrapa: quatro décadas de pesquisa e desenvolvimento. 2021.
- OLIVEIRA, T. J. F. *et al.* CONSÓRCIO DE ESPÉCIES NATIVAS DA MATA ATLÂNTICA COM MILHO E FEIJÃO PARA REVEGETAÇÃO DE MATA CILIAR NA REGIÃO NOROESTE FLUMINENSE. **FLORESTA**, v. 46, n. 3, p. 315, 5 out. 2016.
- OLIVEIRA, T. K. DE *et al.* Radiação solar no sub-bosque de sistema agrossilvipastoril com eucalipto em diferentes arranjos estruturais. **Cerne**, v. 13, n. 1, p. 40–50, 2007.

- OLLINAHO, O. I.; KRÖGER, M. Agroforestry transitions: The good, the bad and the ugly. **Journal of Rural Studies**, v. 82, p. 210–221, 1 fev. 2021.
- ONG, C. K.; BLACK, C. R.; WILSON, J. (EDS.). **Tree-crop interactions: agroforestry in a changing climate**. 2. ed. Wallingford: CABI, 2015.
- ONOFRE, F. F. **Restauração da Mata Atlântica em antigas unidades de produção florestal com Eucalyptus saligna Smith. no Parque das Neblinas, Bertioga, SP**. Piracicaba: Universidade de São Paulo, 9 abr. 2009.
- ONU. **ONU ressalta urgência global para salvar 1 bilhão de hectares de terras**. Disponível em: <<https://news.un.org/pt/story/2022/05/1788472>>. Acesso em: 7 jun. 2022.
- OTA, L. *et al.* Smallholder reforestation and livelihoods in the humid tropics: a systematic mapping study. **Agroforestry Systems**, v. 92, n. 6, p. 1597–1609, 1 dez. 2018.
- PADOVAN, M. P. *et al.* Financial analysis of a complex agroforestry system for environmental restoration purpose in the Brazilian Rainforest. **Agroforestry Systems**, v. 96, n. 2, p. 235–248, 1 fev. 2022.
- PADOVEZI, A. *et al.* A Reserva Legal que queremos para a Mata Atlântica. 2018.
- PAIVA, Y. G. *et al.* Estimativa do Índice de Área Foliar (IAF) através de Fotografias Hemisféricas e Índices de Vegetação em plantios clonais de Eucalipto. **XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal, Brasil**, p. 25–30, 2009.
- PARKER, G. G.; FITZJARRALD, D. R.; SAMPAIO, I. C. G. Consequences of environmental heterogeneity for the photosynthetic light environment of a tropical forest. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 278, p. 107661, 2019.
- PARVIAINEN, J. V. Qualidade e avaliação de qualidade de mudas florestais. **Seminário de sementes e viveiros florestais**, v. 1, n. 1981, p. 59–90, 1981.
- PEARCY, R. W.; YANG, W. A Three-Dimensional Crown Architecture Model for Assessment of Light Capture and Carbon Gain by Understory Plants. **Oecologia**, v. 108, n. 1, p. 1–12, 1996.
- PIMM, S. L.; RAVEN, P. Extinction by numbers. **Nature**, v. 403, n. 6772, p. 843–845, fev. 2000.
- PIÑA-RODRIGUES, F. C. M.; COSTA, L.; REIS, A. **Estratégias reprodutivas de espécies arbóreas e o manejo de florestas tropicais** Congresso Florestal Brasileiro. **Anais...**1989
- PIOTTO, D. *et al.* Sistemas silviculturais com espécies nativas na Mata Atlântica: panorama, oportunidades e desafios. **Silvicultura e Tecnologia de espécies da Mata Atlântica**. Editora Rona, Belo Horizonte, p. 9–19, 2018.
- PLIENINGER, T. *et al.* Agroforestry for sustainable landscape management. **Sustainability Science**, v. 15, n. 5, p. 1255–1266, 1 set. 2020.
- PONTES, D. M. F.; ENGEL, V. L.; PARROTTA, J. A. Forest Structure, Wood Standing Stock, and Tree Biomass in Different Restoration Systems in the Brazilian Atlantic Forest. **Forests**, v. 10, n. 7, 2019.
- POORTER, L. *et al.* Leaf optical properties in Venezuelan cloud forest trees. **Tree Physiology**, v. 20, n. 8, p. 519–526, 2000.
- POORTER, L.; BONGERS, F. Leaf Traits Are Good Predictors of Plant Performance Across 53 Rain Forest Species. **Ecology**, v. 87, n. 7, p. 1733–1743, 2006.

- POORTER, L.; WERGER, M. J. Light environment, sapling architecture, and leaf display in six rain forest tree species. **American Journal of Botany**, v. 86, n. 10, p. 1464–1473, 1999.
- PORTELA, R. C.; SILVA, I. L.; PINÃ-RODRIGUES, F. Crescimento inicial de mudas de *Clitoria fairchildiana* Howard e *Peltophorum dubium* (Spreng) Taub em diferentes condições de sombreamento. **Ciência Florestal**, v. 11, p. 163–170, 2001.
- PÖRTNER, H.-O. *et al.* Climate change 2022: Impacts, adaptation and vulnerability. **IPCC Sixth Assessment Report**, 2022.
- PRASAD, J. V. N. S. *et al.* Tree row spacing affected agronomic and economic performance of Eucalyptus-based agroforestry in Andhra Pradesh, Southern India. **Agroforestry Systems**, v. 78, n. 3, p. 253–267, 1 mar. 2010.
- PROENÇA, V. M. *et al.* Plant and bird diversity in natural forests and in native and exotic plantations in NW Portugal. **Acta Oecologica**, v. 36, n. 2, p. 219–226, 1 mar. 2010.
- RADFORD, P. J. Growth analysis formulae-their use and abuse 1. **Crop science**, v. 7, n. 3, p. 171–175, 1967.
- RAJ, A. *et al.* Agroforestry a model for ecological sustainability. *Em: Natural Resources Conservation and Advances for Sustainability*. [s.l.] Elsevier, 2022. p. 289–307.
- RAJ, A.; JHARIYA, M. K.; BARGALI, S. S. Bund Based Agroforestry Using Eucalyptus Species: A Review. **Current Agriculture Research Journal**, v. 4, n. 2, p. 148–158, 20 dez. 2016.
- RAMACHANDRAN NAIR, P. K.; MOHAN KUMAR, B.; NAIR, V. D. Agroforestry as a strategy for carbon sequestration. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, v. 172, n. 1, p. 10–23, 2009.
- RAMOS, D. C. *et al.* Thinning effect on plant growth of pruned eucalypt clone. **Revista Árvore**, v. 38, p. 495–503, jun. 2014.
- RIBEIRO, G. DA S.; RIGHI, C. A. Canopy architecture of an agroforestry system: initial evaluation of a waveform system. **Agroforestry Systems**, v. 94, n. 2, p. 487–498, 1 abr. 2020.
- RIGHI, C. A. O Uso da Terra e os Sistemas Agroflorestais: uma abordagem histórica e do desenvolvimento nos trópicos. **Sustentabilidade de Sistemas de Produção Florestal: estudos de casos. Curitiba/PR**, 2014.
- _____. Effect of shade on biomass accumulation and partitioning for *Eucalyptus camaldulensis* sprouts. **Journal of Sustainable Forestry**, v. 35, n. 1, p. 75–87, 2 jan. 2016.
- _____. A árvore. In: *Ciro Abbud Righi; Marcos Silveira Bernardes. (Org.). Cadernos da Disciplina Sistemas Agroflorestais*. 1ed. Piracicaba: *Ciro Abbud Righi e Marcos Silveira Bernardes*, v. 2, p. 7-9, 2018
- RIJKERS, T.; PONS, T. L.; BONGERS, F. The effect of tree height and light availability on photosynthetic leaf traits of four neotropical species differing in shade tolerance. **Functional Ecology**, v. 14, n. 1, p. 77–86, 2000.
- RIVEST, D. *et al.* Soil biochemical properties and microbial resilience in agroforestry systems: effects on wheat growth under controlled drought and flooding conditions. **The Science of the Total Environment**, v. 463–464, p. 51–60, 1 out. 2013.
- RIZVI, S. J. H. *et al.* Allelopathic Interactions in Agroforestry Systems. **Critical Reviews in Plant Sciences**, v. 18, n. 6, p. 773–796, nov. 1999.
- RODIGHERI, H. R. Rentabilidade econômica comparativa entre plantios florestais, sistemas agroflorestais e cultivos agrícolas. **Embrapa Florestas-Capítulo em livro científico (ALICE)**, 2000.

- RODRIGUES, E. R. *et al.* Avaliação econômica de sistemas agroflorestais implantados para recuperação de reserva legal no Pontal do Paranapanema, São Paulo. **Revista Árvore**, v. 31, p. 941–948, out. 2007.
- RODY, Y. P. *et al.* Estimativas do índice de área foliar utilizando o LAI-2000 e fotografias hemisféricas em plantios de eucalipto. **Ciência Florestal**, v. 24, n. 4, p. 925–934, 26 dez. 2014.
- ROLIM, S. G. *et al.* Prioridades e lacunas de pesquisa e desenvolvimento em silvicultura de espécies nativas no Brasil. p. 44, 2020.
- RONQUIM, C. C. Diversidade de espécies florestais nativas no sub-bosque dos gêneros *Eucalyptus* e *Pinus* no Brasil: listagem de 1.136 espécies descritas em 106 trabalhos científicos. p. 61, 2021.
- RORATO, D. G. *et al.* Silvicultura com espécies florestais nativas mediante o plantio de mudas: uma experiência em áreas ripárias no Sul do Brasil. **Produção de sementes e mudas um enfoque à Silvicultura**. Editora UFSM, Santa Maria, p. 367–382, 2018.
- ROZENDAAL, D. M. A.; HURTADO, V. H.; POORTER, L. Plasticity in leaf traits of 38 tropical tree species in response to light; relationships with light demand and adult stature. **Functional Ecology**, p. 207–216, 2006.
- RUBAN, A. V. Plants in light. **Communicative & integrative biology**, v. 2, n. 1, p. 50–55, 2009.
- RÜGER, N. *et al.* Determinants of mortality across a tropical lowland rainforest community. **Oikos**, v. 120, n. 7, p. 1047–1056, 2011.
- SABBI, L. D. B. C.; ÂNGELO, A. C.; BOEGER, M. R. Influência da luminosidade nos aspectos morfoanatômicos e fisiológicos de folhas de *Schinus terebinthifolius* Raddi (Anacardiaceae) implantadas em duas áreas com diferentes graus de sucessão, nas margens do Reservatório Iraí, Paraná, Brasil. **Iheringia, Série Botânica**, v. 65, n. 2, p. 171–181, 18 nov. 2010.
- SAGASTUY, M.; KRAUSE, T. Agroforestry as a Biodiversity Conservation Tool in the Atlantic Forest? Motivations and Limitations for Small-Scale Farmers to Implement Agroforestry Systems in North-Eastern Brazil. **Sustainability**, v. 11, n. 24, p. 6932, jan. 2019.
- SAHOO, G. *et al.* Agroforestry for Forest and Landscape Restoration. p. 536–542, 19 set. 2020.
- SANTOS, F. M. *et al.* Recovering ecosystem functions through the management of regenerating community in agroforestry and plantations with *Khaya* spp. in the Atlantic Forest, Brazil. **Forest Ecology and Management**, v. 482, p. 118854, 15 fev. 2021.
- SANTOS, P. Z. F.; CROUZEILLES, R.; SANSEVERO, J. B. B. Can agroforestry systems enhance biodiversity and ecosystem service provision in agricultural landscapes? A meta-analysis for the Brazilian Atlantic Forest. **Forest ecology and management**, v. 433, p. 140–145, 2019.
- SCALON, S. DE P. Q. *et al.* Desenvolvimento de mudas de Aroeira (*Schinus terebinthifolius*) e sombreiro (*Clitoria fairchildiana*) sob condições de sombreamento. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 30, p. 166–169, fev. 2006.
- SCHNEIDER, P. R. Introdução manejo florestal. 1993.
- SCHORN, L. A. *et al.* Desempenho em viveiro de três espécies florestais nativas sob diferentes ambientes de luminosidade. **Disciplinarum Scientia - Ciências Naturais e Tecnológicas**, v. 21, n. 1, p. 15–29, 2020.
- SCHORN, L. A.; FORMENTO, S. Silvicultura II: produção de mudas florestais. **Apostila. Universidade Regional de Blumenau–Dep. de Engenharia Florestal**, 2003.

- SEBBENN, A. M. *et al.* Comportamento da variação genética entre e dentro de procedências e progênes de *Gallesia integrifolia* Vell. Moq. para caracteres quantitativos. **Revista do Instituto Florestal**, v. 21, n. 2, p. 151–163, 2009.
- SEQUEIRA, W.; GHOLZ, H. L. Canopy structure, light penetration and tree growth in a slash pine (*Pinus elliottii*) silvo-pastoral system at different stand configurations in Florida. **The Forestry Chronicle**, v. 67, n. 3, p. 263–267, 1 jun. 1991.
- SHENNAN-FARPÓN, Y. *et al.* The role of agroforestry in restoring Brazil's Atlantic Forest: Opportunities and challenges for smallholder farmers. **People and Nature**, v. 4, n. 2, p. 462–480, 2022.
- SHINWARI, Z. K.; GILANI, S. A.; KHAN, A. L. Biodiversity loss, emerging infectious diseases and impact on human and crops. **BIODIVERSITY LOSS**, p. 6, maio 2012.
- SILVEIRA, P. B. DA. **Mamíferos de médio e grande porte em florestas de Eucalyptus spp com diferentes densidades de sub-bosque no município de Itatinga, SP**. Universidade de São Paulo, 2005.
- SILVEIRA, V. B.; PAI, A. D.; PAI, E. D. Avaliação de desempenho do sensor BH1750FVI (baixo custo) na medida da radiação solar global. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 14, p. e170101421779–e170101421779, 30 out. 2021.
- SINGH, V. *et al.* The principal factors responsible for biodiversity loss. **Open Journal of Plant Science**, v. 6, n. 1, p. 011–014, 21 jan. 2021.
- SMITH, H.; WHITELAM, G. C. The shade avoidance syndrome: multiple responses mediated by multiple phytochromes. **Plant, Cell & Environment**, v. 20, n. 6, p. 840–844, 1997.
- SMITH, M. S.; MBOW, C. Editorial overview: Sustainability challenges: Agroforestry from the past into the future. **Current Opinion in Environmental Sustainability**, v. 6, p. 134–137, 2014.
- SODHI, N. S. Tropical biodiversity loss and people – A brief review. **Basic and Applied Ecology**, v. 9, n. 2, p. 93–99, 10 mar. 2008.
- SOUZA, S. E. F. DE *et al.* Ecological outcomes and livelihood benefits of community-managed agroforests and second growth forests in Southeast Brazil. **Biotropica**, v. 48, n. 6, p. 868–881, 2016.
- STAPE, J. L.; BINKLEY, D.; RYAN, M. G. Eucalyptus production and the supply, use and efficiency of use of water, light and nitrogen across a geographic gradient in Brazil. **Forest Ecology and Management**, Synthesis of the physiological, environmental, genetic and silvicultural determinants of the growth and productivity of eucalypts in plantations. v. 193, n. 1, p. 17–31, 17 maio 2004.
- STAPE, J. L.; BINKLEY, D.; RYAN, M. G. Production and carbon allocation in a clonal Eucalyptus plantation with water and nutrient manipulations. **Forest Ecology and Management**, v. 255, n. 3, p. 920–930, 20 mar. 2008.
- STEPHENSON, N. L. *et al.* Causes and implications of the correlation between forest productivity and tree mortality rates. **Ecological Monographs**, v. 81, n. 4, p. 527–555, 2011.
- STERCK, F. J. **Trees and light: tree development and morphology in relation to light availability in a tropical rain forest in French Guiana = Arbres et lumière = Bomen en licht**. [s.l.: s.n.].
- ____. Plasticity influencing the light compensation point offsets the specialization for light niches across shrub species in a tropical forest understorey. **Journal of Ecology**, v. 101, n. 4, p. 971–980, 2013.

- STERCK, F. J.; BONGERS, F. Ontogenetic changes in size, allometry, and mechanical design of tropical rain forest trees. **American journal of Botany**, v. 85, n. 2, p. 266–272, 1998.
- STOLARSKI, O. C. *et al.* *Trema micrantha* (L.) Blume. em plantações para restauração ecológica: desenvolvimento inicial na Floresta Subtropical Brasileira. **Ciência Florestal**, v. 28, n. 3, p. 1217–1229, 2018.
- SULTAN, S. E. Promising directions in plant phenotypic plasticity. **Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics**, v. 6, n. 4, p. 227–233, 2004.
- SWAINE, M. D.; WHITMORE, T. C. On the definition of ecological species groups in tropical rain forests. **Vegetatio**, v. 75, n. 1, p. 81–86, 1988.
- TAIZ, L. *et al.* **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. Artmed Editora, 2017.
- TAKASHIMA, A.; KUME, A.; YOSHIDA, S. Methods for estimating understory light conditions using crown projection maps and topographic data. **Ecological Research**, v. 21, n. 4, p. 560–569, 2006.
- TAVARES, A. *et al.* Eucalyptus plantations as hybrid ecosystems: Implications for species conservation in the Brazilian Atlantic forest. **Forest Ecology and Management**, v. 433, p. 131–139, 15 fev. 2019.
- TEKETAY, D. Facts and experiences on eucalypts in Ethiopia and elsewhere: ground for making wise and informed decision. **Walia**, v. 21, p. 25–46, 1 jan. 2000.
- THÉRY, M. Forest light and its influence on habitat selection. *Em: Tropical forest canopies: ecology and management*. [s.l.] Springer, 2001. p. 251–261.
- TONELI, C. A. Z. *et al.* Análise da relação entre a estrutura do dossel a partir de fotografias hemisféricas e dados dendrométricos de inventário florestal, conduzido em um povoamento de *Eucalyptus grandis*. 2007.
- TORRALBA, M. *et al.* Do European agroforestry systems enhance biodiversity and ecosystem services? A meta-analysis. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 230, p. 150–161, ago. 2016.
- TREVISAN, R. *et al.* Efeito da intensidade de desbaste nas características dendrométricas e tecnológicas da madeira de *Eucalyptus grandis*. **Ciência Florestal**, v. 17, n. 4, p. 377–387, 30 dez. 2007.
- TSONKOVA, P. *et al.* Ecosystem services assessment tool for agroforestry (ESAT-A): An approach to assess selected ecosystem services provided by alley cropping systems. **Ecological Indicators**, v. 45, p. 285–299, 1 out. 2014.
- TYUKAVINA, A. *et al.* Types and rates of forest disturbance in Brazilian Legal Amazon, 2000–2013. **Science Advances**, v. 3, n. 4, p. e1601047, 7 abr. 2017.
- UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO. Serviço de Estações experimentais: mapa/características. Disponível em: <<https://www.esalq.usp.br/svee/lcf-itatinga/mapa-caracteristicas>>. Acesso em: abril de 2019
- VALENTINI, S. A.; MACHADO, B. C. T. Avaliação do potencial farmacotécnico e antimicrobiano de diferentes extratos da aroeira pimenteira (*Schinus terebenthifolius* Raddi). **SaBios-Revista de Saúde e Biologia**, v. 9, n. 1, p. 34–43, 2014.
- VALERA, F. P. El espaciamiento en plantaciones forestales. **Revista Mexicana de Ciencias Forestales**, v. 20, n. 77, p. 67–99, 1995.
- VALLADARES, F.; NIINEMETS, Ü. The Architecture of Plant Crowns: From Design Rules to Light Capture and Performance. *Em: VALLADARES, F.; PUGNAIRE, F. (Eds.). . Functional Plant Ecology, Second Edition*. Books in Soils, Plants, and the Environment. [s.l.] CRC Press, 2007. v. 20073278.

- ____. Shade tolerance, a key plant feature of complex nature and consequences. **Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics**, p. 237–257, 2008.
- VALLADARES, F.; SKILLMAN, J. B.; PEARCY, R. W. Convergence in light capture efficiencies among tropical forest understory plants with contrasting crown architectures: a case of morphological compensation. **American Journal of Botany**, v. 89, n. 8, p. 1275–1284, 2002.
- VAN NOORDWIJK, M. Agroforestry as part of climate change response. **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science**, v. 200, p. 012002, 26 nov. 2018.
- VAN NOORDWIJK, M et al. Agroforestry into its fifth decade: local responses to global challenges and goals in the Anthropocene. **Sustainable Development through Trees on Farms: Agroforestry in Its Fifth Decade**, p. 397–418, 2019.
- VIANI, R. A. G.; DURIGAN, G.; MELO, A. C. G. DE. A regeneração natural sob plantações florestais: desertos verdes ou redutos de biodiversidade? **Ciência Florestal**, v. 20, n. 3, p. 533–552, 30 set. 2010.
- VIEIRA, D. A. *et al.* Cerrado natural regeneration in understory of Eucalyptus sp. stands, in the Federal District, Brazil. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias - Brazilian Journal of Agricultural Sciences**, v. 12, n. 1, p. 68–73, 30 mar. 2017.
- VIEIRA, D. L. M.; HOLL, K. D.; PENEIREIRO, F. M. Agro-Successional Restoration as a Strategy to Facilitate Tropical Forest Recovery. **Restoration Ecology**, v. 17, n. 4, p. 451–459, 2009.
- VIERLING, L. A.; WESSMAN, C. A. Photosynthetically active radiation heterogeneity within a monodominant Congolese rain forest canopy. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 103, n. 3, p. 265–278, 2000.
- WEISS, M. *et al.* Review of methods for in situ leaf area index (LAI) determination: Part II. Estimation of LAI, errors and sampling. **Agricultural and forest meteorology**, v. 121, n. 1–2, p. 37–53, 2004.
- WHITEHEAD, D.; BEADLE, C. L. Physiological regulation of productivity and water use in Eucalyptus: a review. **Forest ecology and management**, v. 193, n. 1–2, p. 113–140, 2004.
- WILLIS, K.; MCELWAIN, J. **The evolution of plants**. Oxford University Press, 2014.
- WILSON, M. H.; LOVELL, S. T. Agroforestry—The next step in sustainable and resilient agriculture. **Sustainability**, v. 8, n. 6, p. 574, 2016.
- WRI. **Top 10 Lists | World Resources Institute Research**. Disponível em: <<https://research.wri.org/gfr/top-ten-lists>>. Acesso em: 3 jul. 2022.
- YAMADA, T. *et al.* Spatial and temporal variations in the light environment in a primary and selectively logged forest long after logging in Peninsular Malaysia. **Trees**, v. 28, p. 1355–1365, 1 out. 2014.
- YAN, G. *et al.* Review of indirect optical measurements of leaf area index: Recent advances, challenges, and perspectives. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 265, p. 390–411, fev. 2019.
- YODA, K. Three-dimensional distribution of light intensity in a tropical rain forest of West Malaysia. **Japanese Journal of Ecology**, v. 24, n. 4, p. 247–254, 1974.
- ZHANG, C.; FU, S. Allelopathic effects of leaf litter and live roots exudates of Eucalyptus species on crops. **Allelopathy Journal**, v. 00, p. 91–100, 1 jul. 2010.
- ZHANG, D. *et al.* Potential allelopathic effect of Eucalyptus grandis across a range of plantation ages. **Ecological Research**, v. 25, n. 1, p. 13–23, 1 jan. 2010.

APÊNDICES

APÊNDICE A. Lista das espécies que fazem parte do Sistema Agroflorestal analisado no presente trabalho e seus usos comuns e potenciais.

PIONEIRAS				
Identificação	Nome Popular	Nome Científico	Família	Usos potenciais
1	Aroeira pimenteira	<i>Schinus terebinthifolius Raddi</i>	Anacardiaceae	Arborização de ruas, melífera, atração de avifauna, medicinal, óleo essencial, resina, lenha e carvão de boa qualidade, Planta Alimentícia Não Convencional (PANC)
2	Quaresmeira roxa	<i>Tibouchina granulosa (Desr.) Cogn.</i>	Melastomataceae	Paisagismo, Arborização de ruas
3	Canafistula	<i>Peltophorum dubium (Spreng.) Taub.</i>	Fabaceae	Paisagismo, Madeireira de alto valor, melífera, medicinal
4	Pau cigarra	<i>Senna multijuga (Rich.) H.S.Irwin & Barneby</i>	Fabaceae	Paisagismo, Arborização de ruas, extração de corante, resina e tanino
5	Figueira do mato	<i>Ficus luschnathiana (Miq.) Miq.</i>	Moraceae	Atração de avifauna, medicinal
6	Monjoleiro	<i>Senegalia polyphylla (DC.) Britton & Rose</i>	Fabaceae	Ornamental em flor, medicinal, marcenaria, melífera, uso em curtume
7	Ingá	<i>Inga uruguensis Hook. & Arn</i>	Fabaceae	Atração de avi e masto fauna, melífera, PANC, medicinal
8	Mulungu	<i>Erythrina speciosa Andrews</i>	Fabaceae	Medicinal, paisagismo, atração de avifauna
9	Capororoca branca	<i>Myrsine gardneriana A.DC</i>	Primulaceae	Atração de avifauna, arborização de ruas, lenha de boa qualidade
10	Guaruaia	<i>Parapiptadenia rigida (Benth.) Brenan</i>	Fabaceae	Madeira, melífera
11	Escova de macaco	<i>Apeiba tibourbou Aubl.</i>	Malvaceae	Confecção de cordas, construção de jangadas (pequenas)

				embarcações), arborização de praças
12	Capixingui	<i>Croton floribundus Spreng.</i>	Euphorbiaceae	Melífera e medicinal
13	Amendoim bravo	<i>Pterogyne nitens Tul.</i>	Fabaceae	Arborização de ruas, alguns usos madeireiros, lenha, corantes
14	Algodoeiro	<i>Heliocarpus americanus L.</i>	Malvaceae	Restauração florestal e Paisagístico
15	Sangra d'água	<i>Croton urucurana Baill.</i>	Euphorbiaceae	Melífera, Medicinal, Arborização, madeira
16	Trema	<i>Celtis canescens Kunth</i>	Cannabaceae	Lenha, atração de avifauna, melífera
17	Mutambo	<i>Guazuma ulmifolia Lam.</i>	Malvaceae	Atração de mastofauna, produção de cordas, carvão e pólvora, paisagismo, PANC, medicinal, melífera
18	Pau viola	<i>Citharexylum myrianthum Cham.</i>	Verbenaceae	Melífera, atração e avifauna
19	Fedegoso	<i>Senna macranthera (DC. ex Collad.) H.S.Irwin & Barneby</i>	Fabaceae	Melífera, arborização de ruas, ornamental
20	Tamboril timbaúva	<i>Enterolobium contortisiliquum (Vell.) Morong</i>	Fabaceae	Atração de masto e entomo fauna, medicinal, melífera, madeira, fabricação de canoas de tronco inteiro, forragem (alimentação animal- folhas e frutos secos), arborização de parques e praças.

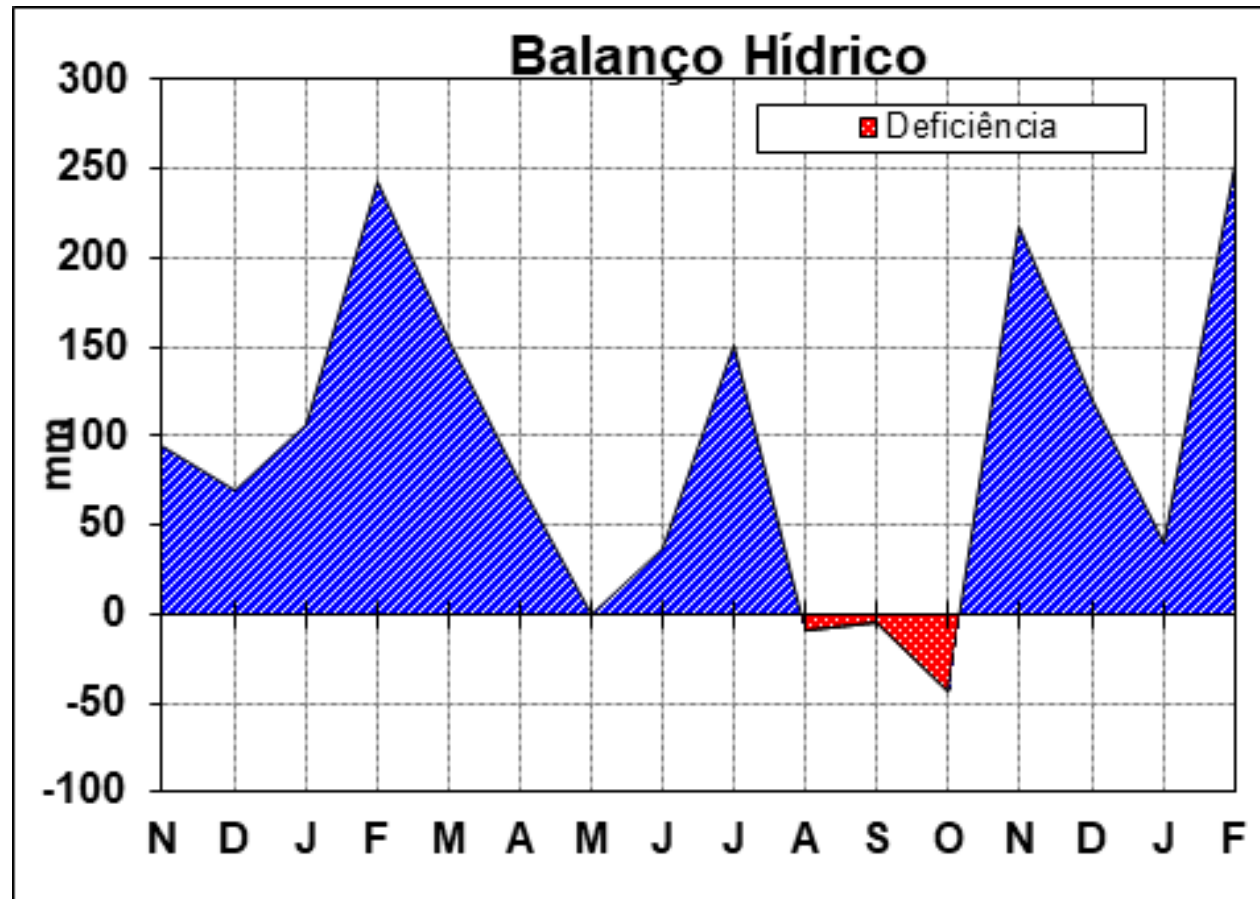
NÃO PIONEIRAS

Identificação	Nome Popular	Nome Científico	Família	Usos potenciais
21	Angico preto	<i>Anadenanthera colubrina (Vell.) Brenan</i>	Fabaceae	Madeira, melífera, paisagismo, curtir couro, medicinal, fenação (alimentação animal), lenha e

				carvão de boa qualidade, goma-resina
22	Cereja do rio grande	<i>Eugenia involucrata DC.</i>	Myrtaceae	Ornamental, atração de avifauna, PANC, arborização de ruas
23	Pitanga	<i>Eugenia uniflora L.</i>	Myrtaceae	Ornamental, atração de avifauna, PANC, arborização de ruas
24	Peroba	<i>Aspidosperma olivaceum Muell. Arg.</i>	Apocynaceae	Madeira, ornamental, medicinal
25	Dedaleiro	<i>Lafoensia pacari A.St.-Hil.</i>	Lythraceae	Medicinal, madeira, arborização de parques e ruas, lenha, atração de morcegos, tingimento de tecidos
26	Cedro do brejo	<i>Cedrela odorata L.</i>	Meliaceae	Madeira, paisagismo, medicinal, óleo essencial
27	Coração de negro	<i>Poecilanthe parviflora Benth.</i>	Fabaceae	Madeira, lenha de ótima qualidade, óleo essencial e resina, arborização urbana
28	Cedro rosa	<i>Cedrela fissilis Vell.</i>	Meliaceae	Madeira, paisagismo, medicinal, óleo essencial, melífera
29	Saguaraji vermelho	<i>Colubrina glandulosa subsp. reitzii (M.C.Johnst.) Borhidi</i>	Rhamnaceae	Arborização de parques, madeiros
30	Pau marfim	<i>Balfourodendron riedelianum (Engl.) Engl.</i>	Rutaceae	Madeira de alto valor, arborização de parques
31	Jatobá	<i>Hymenaea longifolia (Benth.) I.M. Souza, Funch & L.P. Queiroz</i>	Fabaceae	Madeira, melífera, medicinal, PANC, arborização de parques, resina
32	Ipê roxo	<i>Handroanthus heptaphyllus (Vell.) Mattos</i>	Bignoniaceae	Medicinal, Madeiros, lenha e carvão, Ornamental, Arborização de ruas
33	Guaçatonga preta	<i>Casearia sylvestris Sw.</i>	Salicaceae	Medicinal, Atração de avifauna, arborização de ruas, Melífera.

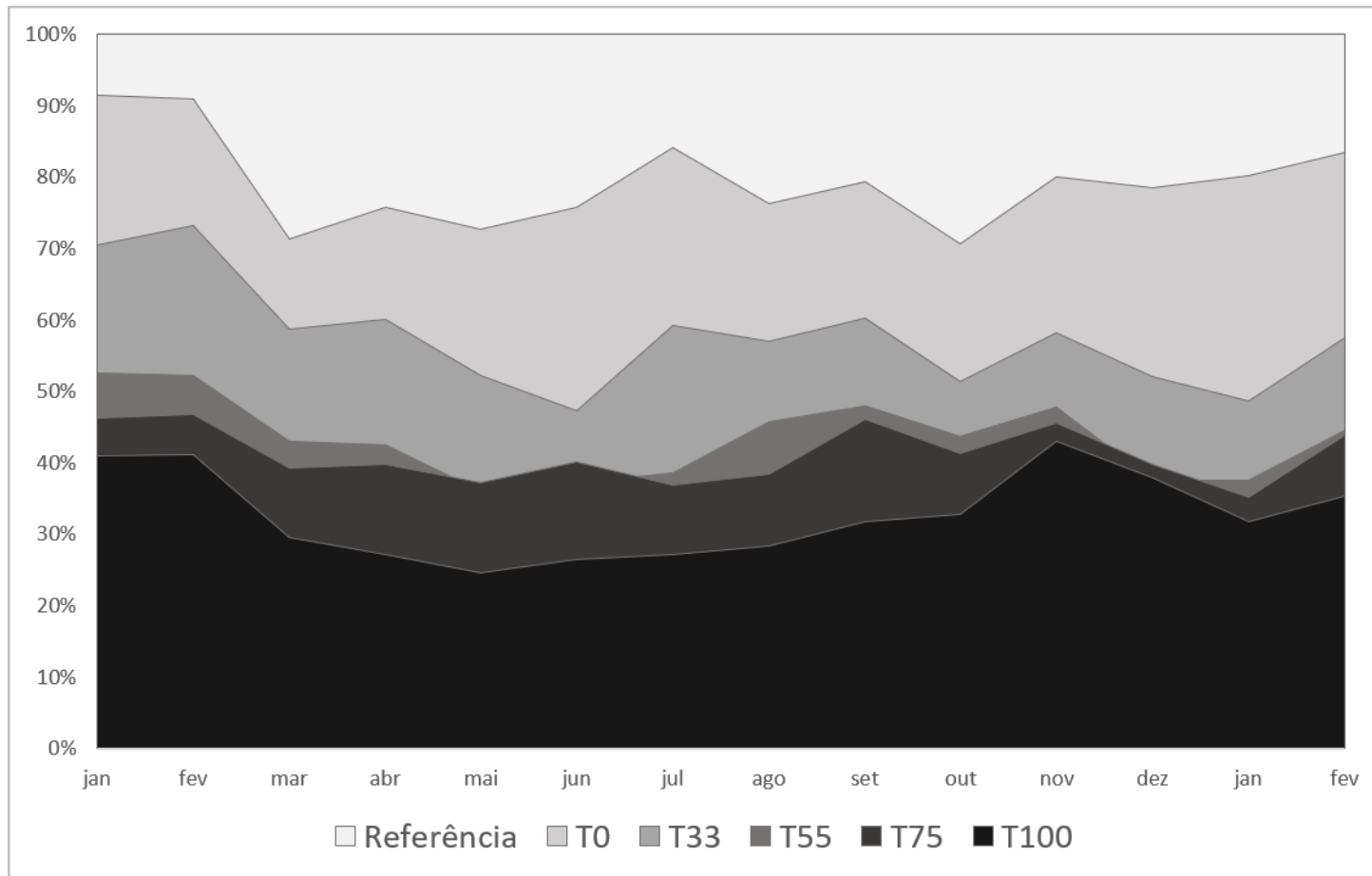
34	Ipê amarelo casca grossa	<i>Handroanthus chrysotrichus</i> (Mart. ex DC.) Mattos	Bignoniaceae	Medicinal, Madeireiros, Ornamental, Arborização de ruas, melífera, lenha, PANC
35	Amendoim do campo	<i>Platypodium elegans</i> Vogel	Fabaceae	Arborização de ruas, madeireira
36	Guabiroba	<i>Campomanesia xanthocarpa</i> (Mart.) O.Berg	Myrtaceae	PANC, medicinal, lenha e carvão de boa qualidade, melífera
37	Angico cerrado	<i>Anadenanthera colubrina</i> var. <i>cebil</i> (Griseb.) Altschul	Fabaceae	Madeireiro (muito dura), melífera, paisagismo, curtir couro, medicinal, fenação (alimentação animal), lenha e carvão de boa qualidade, goma-resina
38	Louro pardo	<i>Cordia trichotoma</i> (Vell.) Arráb. ex Steud.	Boraginaceae	Madeireiro de alto valor, ornamental, melífera
39	Aroeira preta	<i>Astronium urundeuva</i> (M.Allemão) Engl.	Anacardiaceae	Madeireira, medicinal
40	Olho de cabra	<i>Ormosia arborea</i> (Vell.) Harms	Fabaceae	Madeireiro, Artesanato, Arborização de praças

APÊNDICE B. Balanço hídrico para EECF-Itatinga, para o período de novembro de 2019 a fevereiro de 2020



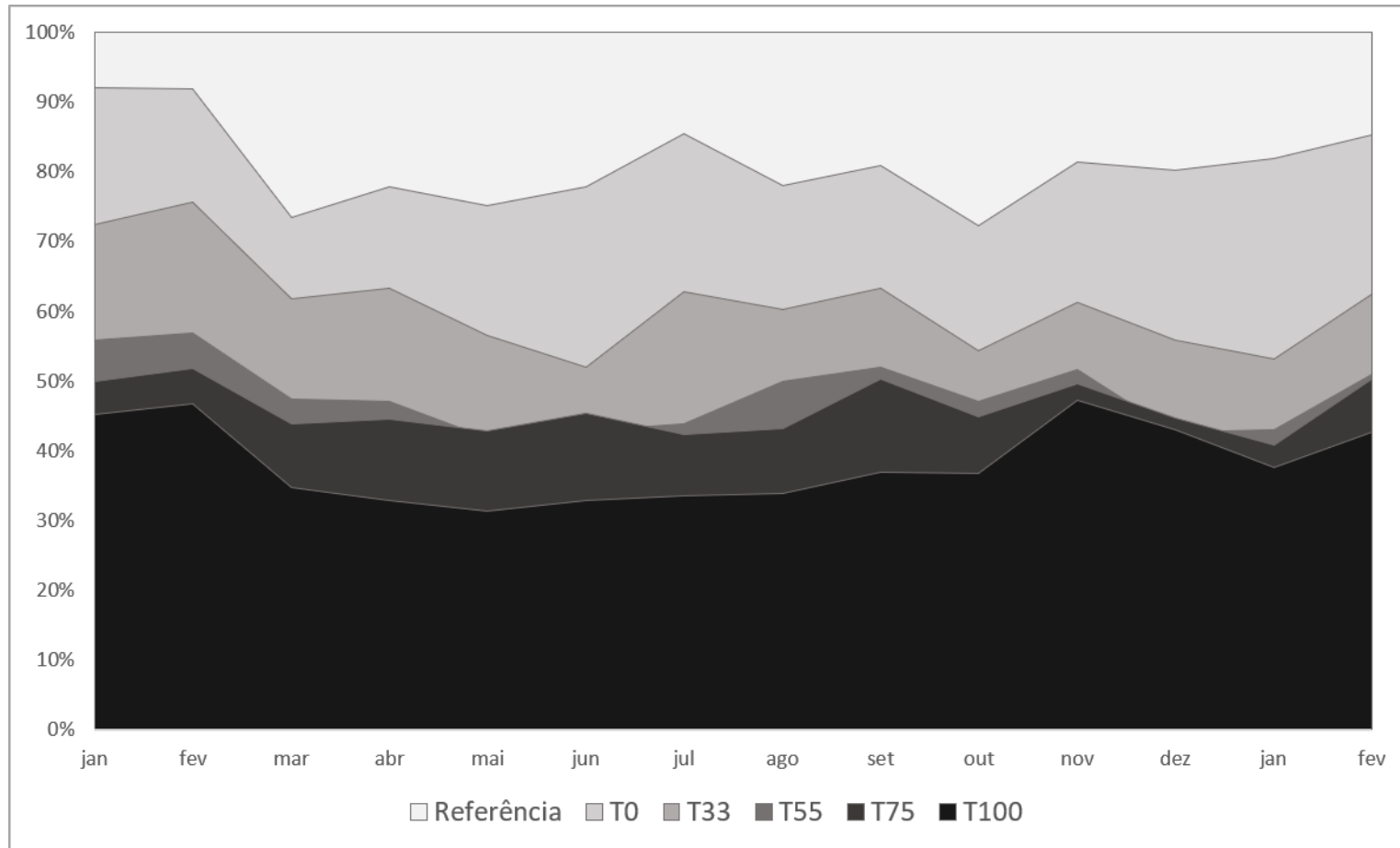
APÊNDICE C. Luminosidade média (lux) mensal, total e relativa comparada a iluminância de referência, disponível em cada um dos tratamentos

Mês	Referência	T0	T33	T55	T75	T100
Jan/19	91959,64 (100%)	84146,53 (91,50%)	64764,92 (70,43%)	48316,45 (52,54%)	42524,01 (46,24%)	37709,66 (41,01%)
Fev/19	66089,67 (100%)	60147,24 (91,01%)	48362,67 (73,18%)	34543,30 (52,27%)	30901,71 (46,76%)	27194,57 (41,15%)
Mar/19	86513,02 (100%)	61711,09 (71,33%)	50839,78 (58,77%)	37285,42 (43,10%)	34041,61 (39,35%)	25534,66 (29,52%)
Abr/19	80005,10 (100%)	60691,59 (75,86%)	48128,72 (60,16%)	33972,11 (42,46%)	31762,52 (39,70%)	21669,01 (27,08%)
Mai/19	70221,53 (100%)	51028,41 (72,67%)	36687,39 (52,25%)	25323,63 (36,06%)	26142,80 (37,23%)	17273,78 (24,60%)
Jun/19	71807,94 (100%)	54409,07 (75,77%)	34012,21 (47,37%)	26753,28 (37,26%)	28837,94 (40,16%)	18959,33 (26,40%)
Jul/19	73284,37 (100%)	61661,05 (84,14%)	43467,28 (59,31%)	28260,09 (38,56%)	26979,59 (36,81%)	19944,46 (27,22%)
Ago/19	83682,83 (100%)	63776,19 (76,21%)	47655,14 (56,95%)	38327,68 (45,80%)	32208,86 (38,49%)	23729,47 (28,36%)
Set/19	84490,12 (100%)	67090,83 (79,41%)	50871,65 (60,21%)	40545,70 (47,99%)	38968,93 (46,12%)	26884,69 (31,82%)
Out/19	110441,14 (100%)	77967,59 (70,60%)	56791,12 (51,42%)	48335,62 (43,77%)	45680,42 (41,36%)	36166,75 (32,75%)
Nov/19	87960,83 (100%)	70358,85 (79,99%)	51270,77 (58,29%)	42035,82 (47,79%)	40095,87 (45,58%)	37846,60 (43,03%)
Dez/19	79173,82 (100%)	62151,54 (78,50%)	41212,32 (52,05%)	29755,52 (37,58%)	31496,71 (39,78%)	30059,48 (37,97%)
Jan/20	73160,57 (100%)	58655,54 (80,17%)	35657,24 (48,74%)	27526,01 (37,62%)	25714,94 (35,15%)	23186,62 (31,69%)
Fev/20	53717,68 (100%)	44804,64 (83,41%)	30915,85 (57,55%)	23973,49 (44,63%)	23550,29 (43,84%)	18989,91 (35,35%)
média	79464,88	62757,15	45759,79	34639,58	32779,01	26082,07

APÊNDICE D. Representação gráfica da luminosidade média (lux) relativa disponível em cada um dos tratamentos

APÊNDICE E. Radiação global média (Watts/m²) mensal, total e relativa comparada a iluminância de referência, disponível em cada um dos tratamentos. Valores obtidos pela transformação dos dados medidos em Lux

Mês	Referência	T0	T33	T55	T75	T100
Jan/19	435,19 (100%)	400,81 (92,10%)	315,53 (72,50%)	217,67 (55,87%)	42524,01 (50,02%)	37709,66 (45,15%)
Fev/19	321,36 (100%)	295,22 (91,86%)	243,36 (75,73%)	166,54 (56,81%)	30901,71 (51,82%)	27194,57 (46,75%)
Mar/19	411,23 (100%)	302,10 (73,46%)	254,26 (61,83%)	180,35 (47,33%)	34041,61 (43,86%)	25534,66 (34,75%)
Abr/19	382,59 (100%)	297,61 (77,79%)	242,34 (63,34%)	170,32 (47,06%)	31762,52 (44,52%)	21669,01 (32,91%)
Mai/19	339,54 (100%)	255,09 (75,13%)	191,99 (56,54%)	145,60 (41,82%)	26142,80 (42,88%)	17273,78 (31,39%)
Jun/19	346,52 (100%)	269,97 (77,91%)	180,22 (52,01%)	157,46 (42,79%)	28837,94 (45,44%)	18959,33 (32,90%)
Jul/19	353,02 (100%)	301,88 (85,51%)	221,83 (62,84%)	149,28 (43,88%)	26979,59 (42,29%)	19944,46 (33,52%)
Ago/19	398,77 (100%)	311,18 (78,04%)	240,25 (60,25%)	172,29 (49,96%)	32208,86 (43,20%)	23729,47 (33,85%)
Set/19	402,33 (100%)	325,77 (80,97%)	254,40 (63,23%)	202,03 (51,94%)	38968,93 (50,22%)	26884,69 (37,00%)
Out/19	516,51 (100%)	373,63 (72,34%)	280,45 (54,30%)	231,56 (47,09%)	45680,42 (44,83%)	36166,75 (36,73%)
Nov/19	417,60 (100%)	340,15 (81,45%)	256,16 (61,34%)	206,99 (51,61%)	40095,87 (49,57%)	37846,60 (47,20%)
Dez/19	378,93 (100%)	304,04 (80,23%)	211,90 (55,92%)	169,15 (42,62%)	31496,71 (44,64%)	30059,48 (42,97%)
Jan/20	352,48 (100%)	288,65 (81,89%)	187,46 (53,18%)	143,71 (43,03%)	25714,94 (40,77%)	23186,62 (37,62%)
Fev/20	266,93 (100%)	227,71 (85,31%)	166,60 (62,41%)	134,19 (50,97%)	23550,29 (50,27%)	18989,91 (42,76%)
média	79464,88	62757,15	45759,79	34639,58	32779,01	26082,07

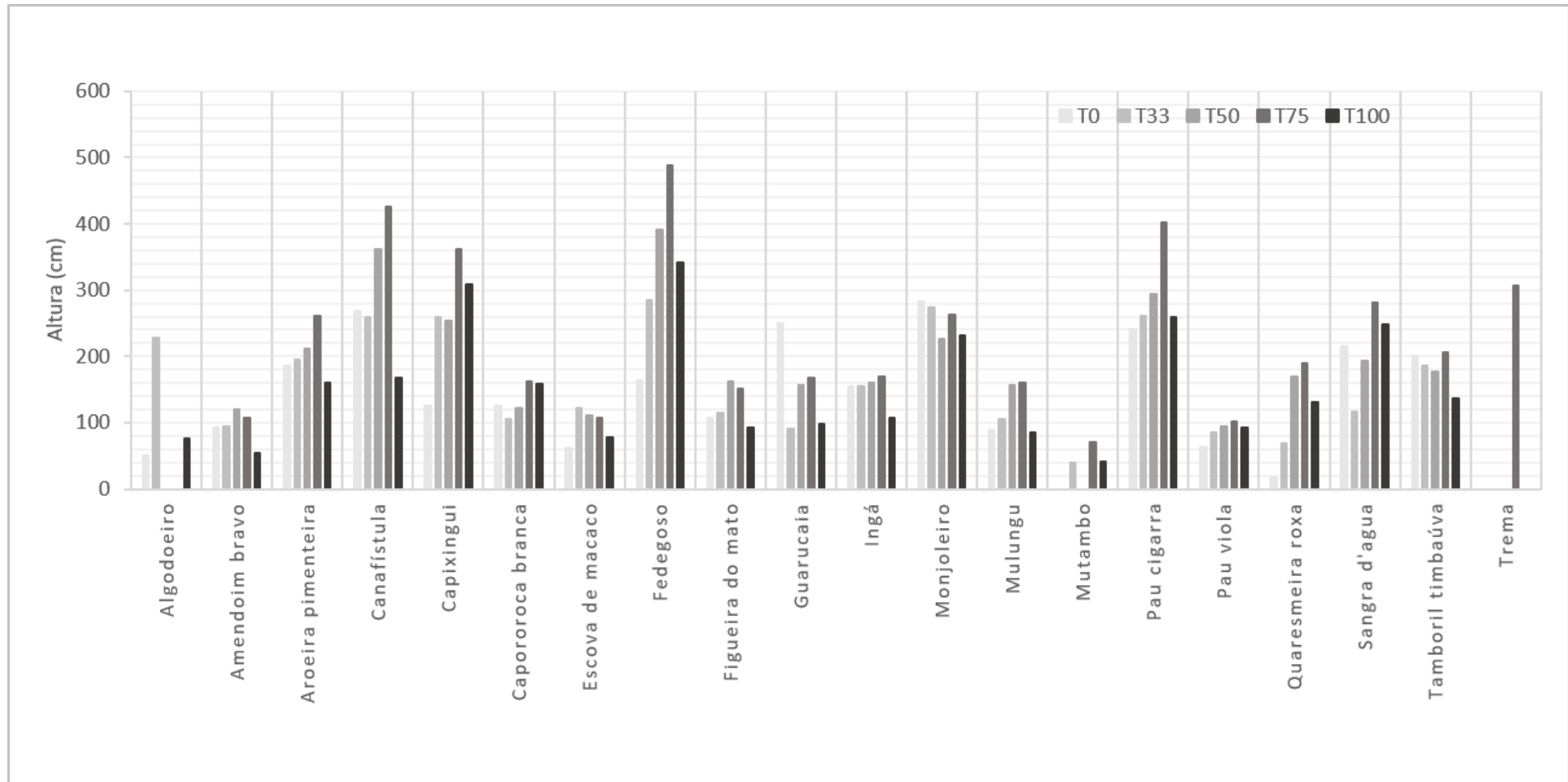
APÊNDICE F. Representação gráfica da radiação global média (lux) relativa disponível em cada um dos tratamentos

APÊNDICE G. Mortalidade relativa das **espécies pioneiras** por tratamento e total, após 41 meses de plantio.

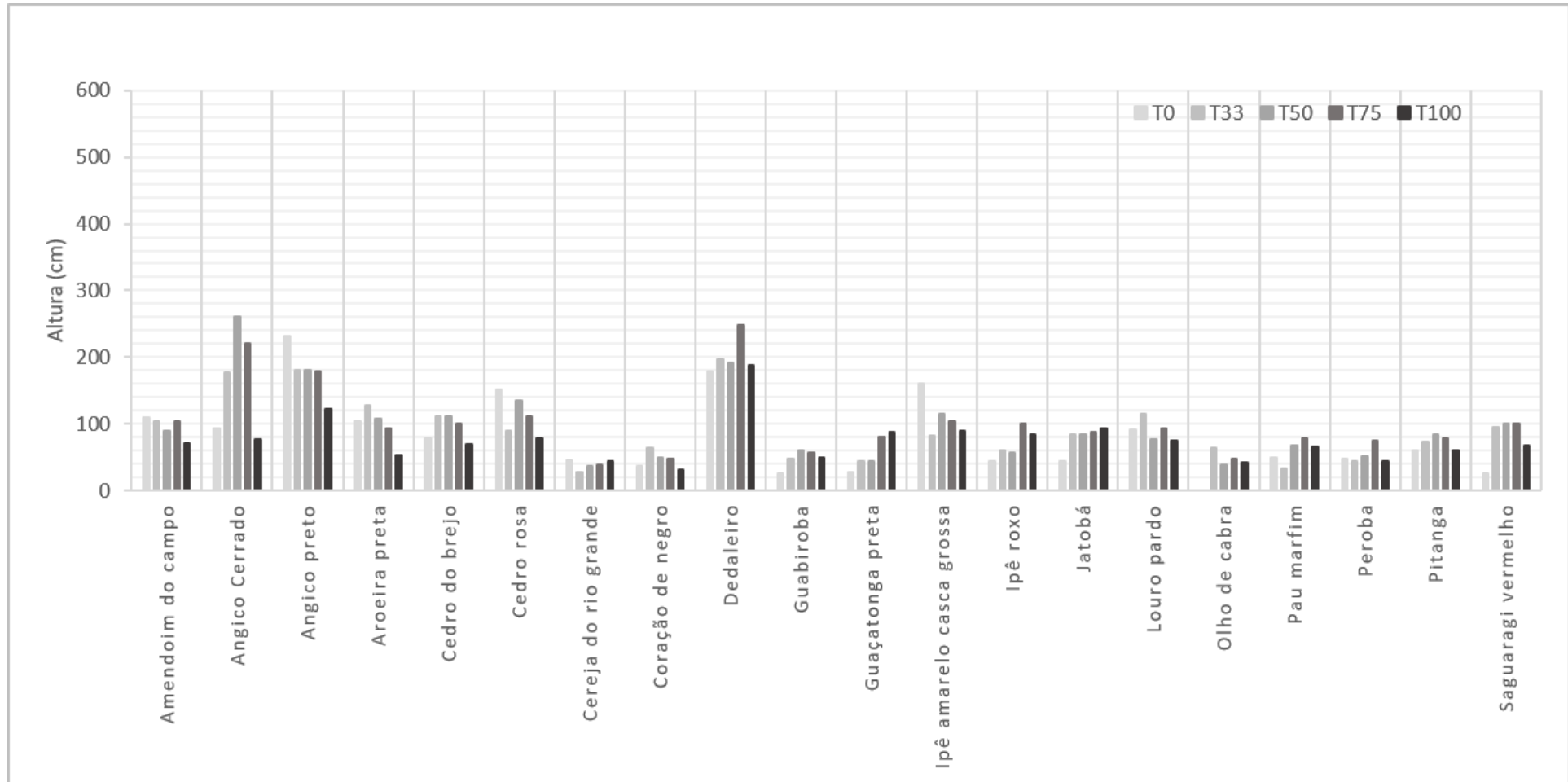
Espécies pioneiras	T0	T33	T50	T75	T100	Total
Algodoeiro	92,86%	91,67%	100,00%	100,00%	61,54%	89,06%
Amendoim bravo	28,57%	8,33%	0,00%	0,00%	46,67%	18,46%
Angico Cerrado	66,67%	7,69%	0,00%	8,33%	56,25%	29,23%
Aroeira pimenteira	14,29%	0,00%	0,00%	8,33%	30,77%	11,11%
Canafístula	8,33%	0,00%	0,00%	0,00%	33,33%	8,33%
Capixingui	69,23%	58,33%	40,00%	33,33%	47,06%	49,28%
Capororoca branca	84,62%	66,67%	83,33%	69,23%	75,00%	75,81%
Escova de macaco	60,00%	84,62%	41,67%	50,00%	60,00%	59,70%
Fedegoso	83,33%	38,46%	8,33%	7,69%	50,00%	37,88%
Figueira do mato	50,00%	25,00%	25,00%	23,08%	66,67%	39,39%
Guaçatonga preta	69,23%	58,33%	53,85%	16,67%	42,86%	48,44%
Ingá	14,29%	8,33%	0,00%	0,00%	23,08%	9,52%
Monjoleiro	0,00%	15,38%	0,00%	0,00%	42,86%	12,70%
Mulungu	28,57%	8,33%	0,00%	8,33%	38,46%	17,46%
Mutambo	100,00%	91,67%	100,00%	83,33%	92,31%	93,55%
Pau cigarra	92,31%	66,67%	16,67%	25,00%	38,46%	48,39%
Pau viola	58,33%	33,33%	25,00%	16,67%	33,33%	33,33%
Sangra d'agua	83,33%	84,62%	53,85%	38,46%	52,94%	61,76%
Tamboril timbaúva	23,08%	50,00%	16,67%	16,67%	53,85%	32,26%
Trema	100,00%	100,00%	100,00%	75,00%	100,00%	95,45%

APÊNDICE H. Mortalidade relativa das **espécies não pioneiras** por tratamento e total, após 41 meses de plantio.

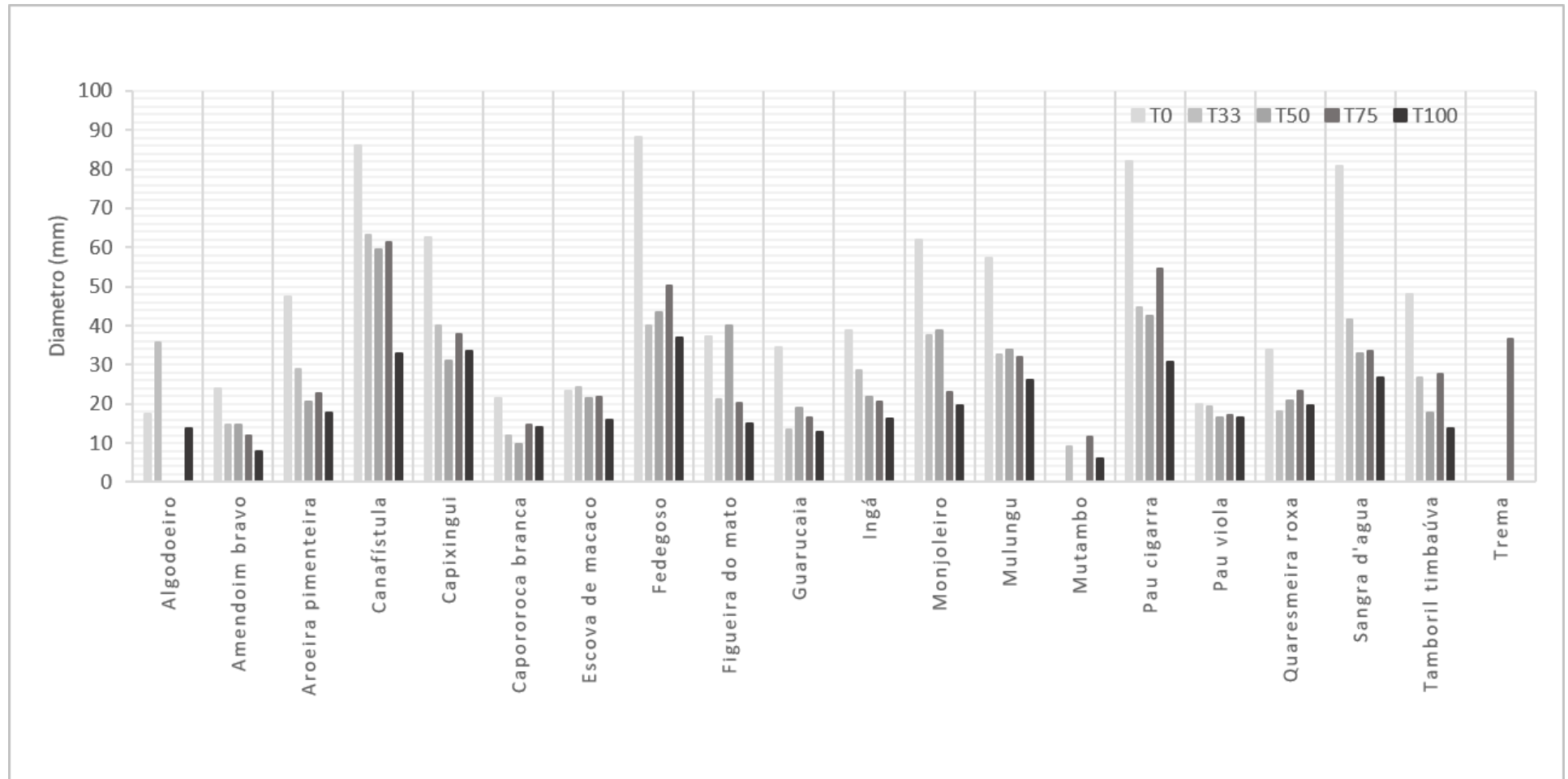
Espécies não pioneiras	T0	T33	T50	T75	T100	Total
Amendoim do campo	0,00%	8,33%	7,69%	0,00%	23,08%	8,06%
Angico preto	8,33%	0,00%	8,33%	0,00%	8,33%	5,00%
Aroeira preta	33,33%	25,00%	0,00%	8,33%	42,86%	22,58%
Cedro do brejo	40,00%	16,67%	16,67%	8,33%	50,00%	26,98%
Cedro rosa	38,46%	30,77%	8,33%	8,33%	35,71%	25,00%
Cereja do rio grande	25,00%	58,33%	33,33%	15,38%	41,67%	34,43%
Coração de negro	66,67%	50,00%	25,00%	41,67%	41,67%	45,00%
Dedaleiro	53,85%	15,38%	7,69%	15,38%	33,33%	25,00%
Guabiroba	93,75%	58,33%	41,67%	50,00%	69,23%	64,62%
Guaruaia	41,67%	30,77%	15,38%	8,33%	28,57%	25,00%
Ipê amarelo casca grossa	8,33%	8,33%	15,38%	16,67%	31,25%	16,92%
Ipê roxo	61,54%	33,33%	15,38%	25,00%	53,33%	38,46%
Jatobá	76,92%	64,29%	16,67%	16,67%	25,00%	41,27%
Louro pardo	30,77%	58,33%	42,86%	33,33%	47,06%	42,65%
Olho de cabra	100,00%	53,85%	57,14%	53,85%	46,15%	63,77%
Pau marfim	46,15%	36,36%	25,00%	25,00%	53,85%	37,70%
Peroba	38,46%	46,15%	35,71%	46,15%	50,00%	43,08%
Pitanga	25,00%	16,67%	8,33%	0,00%	16,67%	13,33%
Quaresmeira roxa	86,67%	75,00%	58,33%	25,00%	71,43%	64,62%
Saguaraji vermelho	93,33%	83,33%	50,00%	66,67%	83,33%	76,19%

APÊNDICE I. Altura média (cm) das **espécies pioneiras** por tratamento, após 41 meses de plantio.

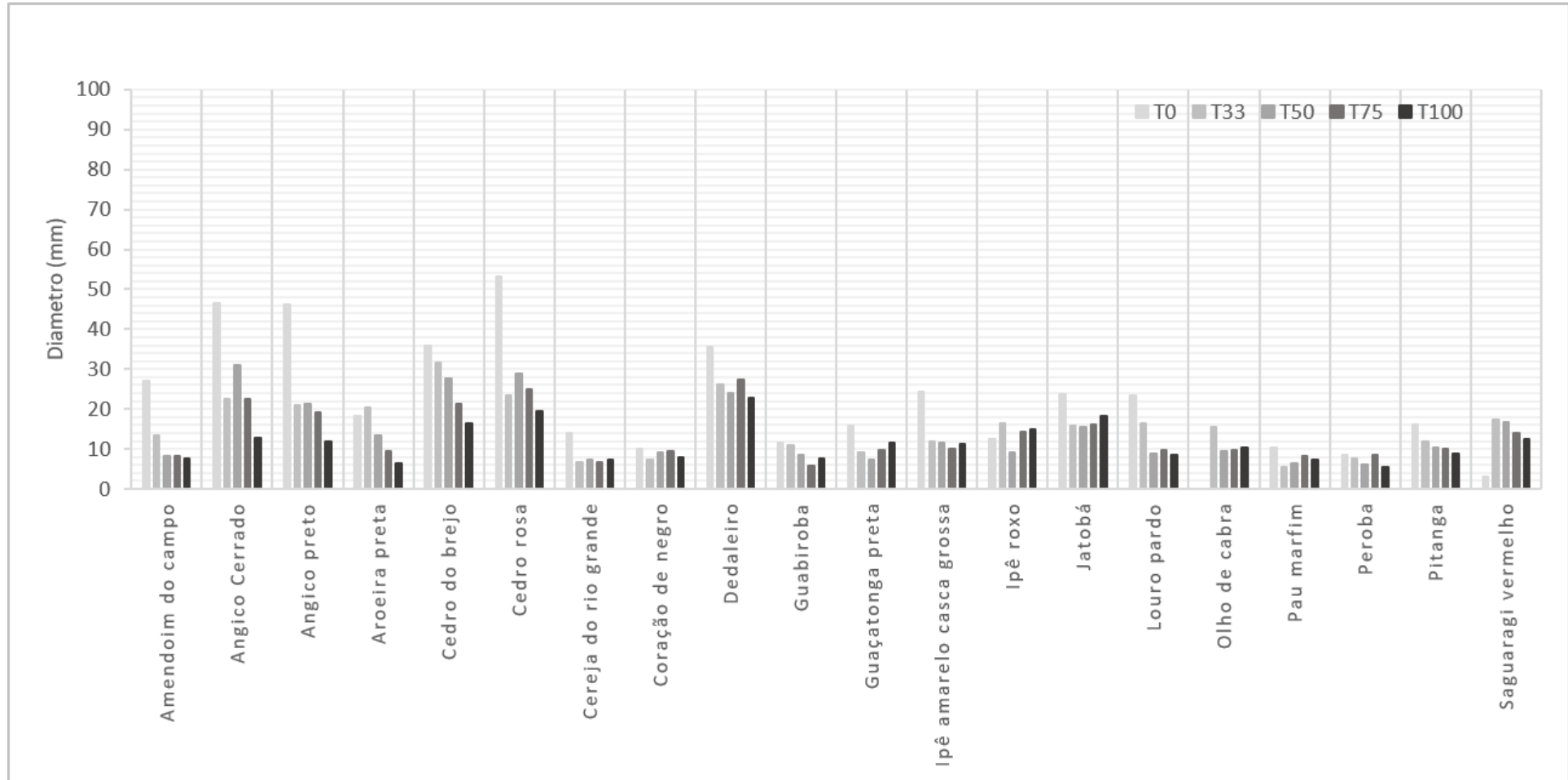
APÊNDICE J. Altura média (cm) das **espécies não pioneiras** por tratamento, após 41 meses de plantio.



APÊNDICE K. Diâmetro médio do coleto (mm) das **espécies pioneiras** por tratamento, após 41 meses de plantio.



APÊNDICE L. Diâmetro médio do coleto (mm) das **espécies não pioneiras** por tratamento, após 41 meses de plantio.



APÊNDICE M. Registros de respostas plásticas morfológicas diferenciais para algumas espécies nativas implantadas no sistema agroflorestal avaliado no presente trabalho



APÊNDICE N. Registros de respostas plásticas fisiológicas diferenciais para algumas espécies nativas implantadas no sistema agroflorestal avaliado no presente trabalho



APÊNDICE O. Registros de regeneração natural de espécies nativas presentes no sub-bosque da área de eucalipto onde foi implantado o sistema agroflorestal avaliado neste trabalho



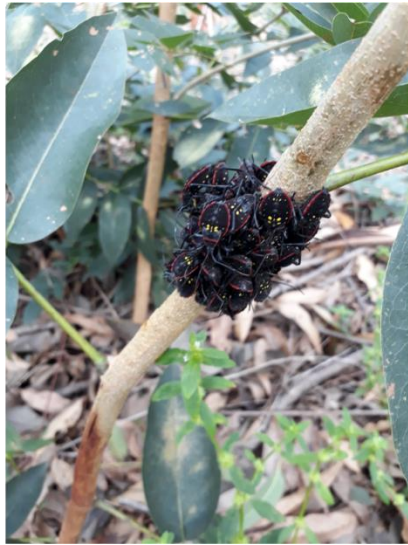
APÊNDICE P. Registros de alguns fungos presentes na área onde foi implantado o sistema agroflorestal avaliado neste trabalho



APÊNDICE Q. Registros de entomofauna (e uma espécie de aranha) presentes na área onde foi implantado o sistema agroflorestal avaliado no neste trabalho







APÊNDICE R. Registros da presença de avifauna encontrados na área onde foi implantado o sistema agroflorestal avaliado neste trabalho



APÊNDICE S. Registros da presença de mastofauna encontrados na área onde foi implantado o sistema agroflorestal avaliado neste trabalho



APÊNDICE T. Registros da presença humana, forças essenciais para o desenvolvimento deste trabalho

