



**PAULO VICTOR EVANGELISTA DE CASTILHO**

**CRESCIMENTO DE TRÊS ESPÉCIES ARBÓREAS  
FRUTÍFERAS SOB COMPETIÇÃO EM ÁREA DE  
RESTAURAÇÃO FLORESTAL**

**LAVRAS – MG  
2024**

**PAULO VICTOR EVANGELISTA DE CASTILHO**

**CRESCIMENTO DE TRÊS ESPÉCIES ARBÓREAS FRUTÍFERAS SOB  
COMPETIÇÃO EM ÁREA DE RESTAURAÇÃO FLORESTAL**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, área de concentração em Ciências Florestais, para a obtenção do título de Mestre.

Prof. Dr. Lucas Amaral de Melo  
Orientador

**LAVRAS – MG  
2024**

**Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca  
Universitária da UFLA, com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).**

Castilho, Paulo Victor Evangelista de.

Crescimento de três espécies arbóreas frutíferas sob competição  
em área de restauração florestal / Paulo Victor Evangelista de  
Castilho. - 2024.

95 p. : il.

Orientador(a): Lucas Amaral de Melo.

Dissertação (mestrado acadêmico) - Universidade Federal de  
Lavras, 2024.

Bibliografia.

1. Sombreamento. 2. Sucessão ecológica. 3. Proposta de  
plantio. I. Melo, Lucas Amaral de. II. Título.

**PAULO VICTOR EVANGELISTA DE CASTILHO**

**CRESCIMENTO DE TRÊS ESPÉCIES ARBÓREAS FRUTÍFERAS SOB  
COMPETIÇÃO EM ÁREA DE RESTAURAÇÃO FLORESTAL**

**GROWTH OF THREE FRUIT-BEARING TREE SPECIES UNDER COMPETITION  
IN A FOREST RESTORATION AREA**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, área de concentração em Ciências Florestais, para a obtenção do título de Mestre.

APROVADA em 21 de fevereiro de 2024.

Dr. Lucas Amaral de Melo UFLA

Dr. Juliano de Paulo dos Santos UFMT

Dr. Pedro Maranhã Peche UFLA

Prof. Dr. Lucas Amaral de Melo  
Orientador

**LAVRAS – MG  
2024**

*Aos meus pais e avós, que sempre foram meus  
exemplos.*

*Dedico.*

## AGRADECIMENTOS

A Deus, por prover toda a vida e nos dar a oportunidade de enxergar a beleza do universo.

Aos meus pais, Paulo e Claudia, por todo o amor e por sempre me apoiarem. Grandes responsáveis pelo meu caráter e minha educação. Nada disso seria possível sem eles.

À minha prima Maria Cecília e seu marido Leonardo Schiassi pelo apoio de sempre e pelo auxílio com as normas de formatação. Ao meu primo Weverton, pela grande ajuda com os desenhos técnicos.

À minha namorada Maria Augusta, pelo carinho e paciência.

Ao professor Dr. Lucas Amaral de Melo, pela orientação e por todo o conhecimento compartilhado ao longo da minha trajetória acadêmica. Pessoa com mente brilhante, personalidade ativa e com dedicação máxima, que me serve de exemplo para fazer a pesquisa acontecer.

Aos pesquisadores Pedro Maranha Peche, Soraya Alvarenga Botelho, Juliano de Paulo dos Santos, pelos apontamentos nas bancas de qualificação e defesa da dissertação. Além destes, em especial ao Carlos Delano Cardoso de Oliveira, pelas discussões cruciais ao trabalho e pelos ensinamentos.

À equipe do Laboratório de Silvicultura e Restauração Florestal (LASERF) responsável pela implantação do plantio de restauração florestal e ao professor Gilmar Tavares que concedeu a área para tal.

Às minhas colegas Fernanda e Isáira pelas contribuições ao trabalho e por me impulsionarem à jornada do R.

Aos membros do Núcleo de Estudos em Silvicultura (NES) e equipe de campo, Adriene, Alisson, Josiana, Lucas Rafael, Maria Kely, Pedro Augusto, Raul, Roberta e Sofia, pelas contribuições e valiosa ajuda com a coleta de dados.

À Ingá Engenharia e Consultoria, pela parceria no projeto.

À Universidade Federal de Lavras (UFLA), pela infraestrutura e referência no ensino, pesquisa e extensão.

Ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Florestal (PPGEF).

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPQ) e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG), pelo apoio financeiro em partes do projeto.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal do Nível Superior (CAPES), pelo apoio financeiro com a bolsa de mestrado.

O estudo em questão se integra aos produtos do projeto pertencente ao Programa de P&D regulado pela ANEEL, nº 00394-2103/2021, com o título: “Utilização de Inteligência Artificial no Desenvolvimento de Metodologias Inovadoras de Recuperação e Proteção de Nascentes e Áreas Degradadas em Zonas de Recargas de Aquíferos Contribuintes dos Reservatórios das UHE’s Furnas e Peixoto”. Esse projeto de P&D foi desenvolvido pela Eletrobras Furnas juntamente com a empresa Ingá Engenharia e Consultoria Ltda.

Muito obrigado!

## RESUMO

A restauração dos ecossistemas enfrenta desafios devido à falta de incentivos para os proprietários rurais no contexto da recomposição da Reserva Legal e das Áreas de Preservação Permanente, principalmente devido aos altos custos de implantação envolvidos na restauração ativa. Associado a essa falta de incentivo, há uma lacuna de conhecimento na silvicultura de espécies nativas a ser preenchida diante da extensa biodiversidade existente. Sabe-se que, para ocorrer a frutificação, a planta necessita de condições específicas, como exposição à luz solar, pouca competição por recursos e manejo adequado. Tais condições garantem que a árvore terá um crescimento vegetativo considerado normal e um conseqüente acúmulo de reservas que serão direcionadas para a frutificação. Sem acúmulo de reserva, a planta não entra no processo de frutificação ou não produz suficientemente. Logo, o presente trabalho visa estudar o padrão de crescimento de três espécies frutíferas sob competição em uma área em restauração florestal. O experimento está instalado no município de Ijaci (MG), desde 2018, e consiste em uma área de recomposição de Reserva Legal. A área tem um total de 3,19 ha, onde foram plantadas 41 espécies arbóreas de uso madeireiro ou não madeireiro, pioneiras e não pioneiras, em espaçamento de 4,5 m<sup>2</sup> (3 x 1,5 m). As espécies frutíferas de interesse são a *Bixa orellana*, *Psidium guajava* e *Schinus terebinthifolia*. O plantio foi monitorado ao longo do tempo, com quatro avaliações em área total, medindo-se o diâmetro à altura do peito (DAP) e altura (Ht) de todos os indivíduos. Também, nas primeiras três avaliações, foram mensuradas as áreas de copa de 11 espécies com maior densidade na área. Após a coleta de dados, foi realizada a estatística descritiva para as informações obtidas, a fim de confeccionar curvas de crescimento, testar e ajustar oito modelos hipsométricos e analisar a competição entre as espécies-alvo e as árvores vizinhas, por meio dos índices independentes da distância, Basal Area Larger (BAL) e Índice de Glover e Hool (IGH). Ademais, foram geradas ilustrações, a partir dos dados de copa, que simulam o fechamento do dossel e permitem influir a respeito da incidência de luz sobre as plantas. As médias de DAP (cm) e Ht (m) registradas aos cinco anos após a implantação foram, respectivamente, 4,6 cm e 4,8 m para *B. orellana*, 3,4 cm e 4,4 m para *P. guajava*, 6,4 cm e 7,5 m para *S. terebinthifolia*. O modelo hipsométrico que melhor se ajustou para prever Ht foi o modelo genérico com a inclusão da variável idade, para *B. orellana* e *P. guajava*. Nenhum modelo testado foi eficaz para estimar Ht em função do DAP e idade para *S. terebinthifolia*. Foi confirmado que as espécies estão sob o efeito da competição, especialmente ao verificar a forte correlação entre os índices BAL e IGH com o incremento corrente anual de Ht para *S. terebinthifolia*. Em conclusão, foi evidenciado que a situação da dinâmica florestal, na área em restauração, pode incidir sobre os atributos morfológicos das espécies frutíferas de interesse, que conseqüentemente terão prejuízos para o processo de frutificação.

**Palavras-chave:** sombreamento; sucessão ecológica; estratégia de adaptação; proposta de plantio.

## ABSTRACT

The restoration of ecosystems faces challenges due to the lack of incentives for rural landowners in the context of reconstituting the Legal Reserve and Permanent Preservation Areas, mainly because of the high implementation costs involved in active restoration. In addition to this lack of incentive, there is a knowledge gap in the silviculture of native species that needs to be filled given the extensive existing biodiversity. It is known that, for fruiting to occur, the plant requires specific conditions, such as sunlight exposure, minimal competition for resources, and proper management. These conditions ensure that the tree will have vegetative growth considered normal and a consequent accumulation of reserves that will be directed towards fruiting. Without the accumulation of reserves, the plant does not enter the fruiting process or does not produce sufficiently. Therefore, this study aims to analyze the growth pattern of three fruit species under competition in a forest restoration area. The experiment is located in the municipality of Ijaci (MG), since 2018, and consists of an area for reconstituting the Legal Reserve. The area covers a total of 3,19 ha, where 41 tree species for timber and non-timber use, both pioneer and non-pioneer, were planted in a spacing of 4,5 m<sup>2</sup> (3 x 1,5 m). The fruit species of interest are *Bixa orellana*, *Psidium guajava*, and *Schinus terebinthifolia*. The planting was monitored over time, with four evaluations in the total area, measuring the diameter at breast height (DBH) and height (Ht) of all individuals. Additionally, in the first three evaluations, the canopy areas of 11 species with the highest density in the area were measured. After data collection, descriptive statistics were performed on the obtained information to create growth curves, test and adjust eight hypsometric models, and analyze the competition between the target species and neighboring trees, using distance-independent indices, Basal Area Larger (BAL), and Glover and Hool Index (IGH). Moreover, illustrations were generated from the canopy data, simulating canopy closure and allowing for inferences regarding light incidence on the plants. The average DBH (cm) and Ht (m) recorded five years after implementation were 4,6 cm and 4,8 m for *B. orellana*, 3,4 cm and 4,4 m for *P. guajava*, and 6,4 cm and 7,5 m for *S. terebinthifolia*, respectively. The hypsometric model that best fit to predict Ht was the generic model with the inclusion of the age variable, for *B. orellana* and *P. guajava*. None of the tested models were effective in estimating Ht based on DBH and age for *S. terebinthifolia*. It was confirmed that the species are under the effect of competition, especially by verifying the strong correlation between the BAL and IGH indices with the current annual increment of Ht for *S. terebinthifolia*. In conclusion, it was evidenced that the forest dynamics in the restoration area can affect the morphological attributes of the fruit species of interest, which consequently will have drawbacks for the fruiting process.

**Keywords:** shading; ecological succession; adaptation strategy; forest implementation proposal.

## **INDICADORES DE IMPACTO**

A pesquisa sobre o crescimento de três espécies arbóreas frutíferas sob competição em área de restauração florestal introduz abordagens fundamentais sobre a silvicultura e manejo de florestas. Ela se integra aos produtos do projeto pertencente ao programa de P&D regulado pela ANEEL, nº 00394-2103/2021, desenvolvido pela Eletrobras Furnas juntamente com a empresa Ingá Engenharia e Consultoria Ltda. Os resultados apresentados neste estudo oferecem aprimoramento técnico em potencial ao conhecimento necessário às ciências florestais. Também, acrescenta informações que possuem impacto nas atividades de restauração florestal. Os proprietários rurais e empreendedores são beneficiados por essa pesquisa, devido ao acréscimo de informações sobre a vegetação nativa e questões voltadas ao seu manejo. A pesquisa tem impacto sobre o bem-estar social ao contemplar a área de Meio Ambiente da Política Nacional de Extensão e promover o incentivo das ações de preservação e restauração ambiental. O impacto desse incentivo está alinhado à ação contra a mudança global do clima dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Organização das Nações Unidas (ONU).

## **IMPACT INDICATORS**

The research on the growth of three fruit tree species under competition in a forest restoration area introduces fundamental approaches to silviculture and forest management. It is part of the project belonging to the R&D program regulated by ANEEL, no. 00394-2103/2021, developed by Eletrobras Furnas in conjunction with Ingá Engenharia e Consultoria Ltda. The results presented in this study offer potential technical improvements to the knowledge necessary for forest sciences. Additionally, it provides information that impacts forest restoration activities. Rural landowners and entrepreneurs benefit from this research due to the added information on native vegetation and related management issues. The research impacts social well-being by addressing the Environment area of the National Extension Policy and promoting the encouragement of environmental preservation and restoration actions. This incentive is aligned with the action against global climate change under the United Nations (UN) Sustainable Development Goals (SDGs).

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Localização da área experimental.....	42
Figura 2 - Demarcação da área em restauração florestal, localizada no Sítio Pirilampo, em Ijaci (MG). .....	43
Figura 3 - Representação da parcela de uma árvore-alvo (A) e suas árvores vizinhas competidoras (C).....	50
Figura 4 - Vista aérea da área experimental. ....	51
Figura 5 - Distribuição de frequência para as classes de DAP e Ht das populações de <i>B. orellana</i> (a), <i>P. guajava</i> (b) e <i>S. terebinthifolia</i> (c) aos cinco anos de idade na área em restauração. ....	53
Figura 6 - Tendência de crescimento em DAP e Ht para as espécies <i>B. orellana</i> , <i>P. guajava</i> e <i>S. terebinthifolia</i> , expresso pelas médias ao longo do tempo. ....	56
Figura 7 - Padrão de crescimento em altura média para as espécies de maior densidade na área em restauração florestal, incluindo as espécies <i>B. orellana</i> , <i>P. guajava</i> e <i>S. terebinthifolia</i> .....	58
Figura 8 - Áreas de copas e simulação do fechamento do dossel.....	60
Figura 9 - Cobertura vegetativa formada pela ação de restauração florestal ativa (Continua). 61	
Figura 10 - Representação gráfica dos valores observados e estimados pelo modelo, escolhidos preliminarmente.....	65
Figura 11 - Dispersão dos valores estimados para os modelos escolhidos preliminarmente. ...	65
Figura 12 - Gráficos de resíduos dos modelos escolhidos preliminarmente. ....	66
Figura 13 - Índices de competição entre <i>B. orellana</i> (a), <i>P. guajava</i> (b) ou <i>S. terebinthifolia</i> (c) e as árvores vizinhas ao longo tempo no plantio de restauração florestal. ....	68
Figura 14 - Propostas de implantação florestal, com expectativa de coleta de frutos de <i>B. orellana</i> , <i>P. guajava</i> , <i>S. terebinthifolia</i> .....	71

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Resultado da análise de solo. Amostras coletadas em profundidades de 0 a 20 e de 20 a 40 cm e encaminhadas ao Laboratório de Fertilidade e Física do Solo, do Departamento de Ciência do Solo da Universidade Federal de Lavras (UFLA). .43	
Tabela 2 - Lista de espécies implantadas na restauração florestal do Sítio Pirilampo (Continua). .....	45
Tabela 3 - Modelos hipsométricos testados para as três espécies de interesse, implantadas na área em restauração florestal. ....	48
Tabela 4 - Medidas de posição e dispersão de variáveis biométricas das três espécies arbóreas de interesse aos cinco anos após o plantio para restauração florestal, Ijaci (MG).54	
Tabela 5 - ICA e IMA para DAP e Ht das três espécies-alvo do estudo.....	56
Tabela 6 - Médias das variáveis Ht e DAP das espécies com maior densidade na área, ao longo dos cinco anos após o plantio. ....	57
Tabela 7 - Médias das áreas de copa de árvores inseridas no local de estudo.....	59
Tabela 8 - Coeficientes dos ajustes e estatísticas de precisão para os modelos testados. ....	63
Tabela 9 - Equações determinadas pelos parâmetros dos modelos ajustados para as espécies de interesse. ....	67
Tabela 10 - Médias dos índices de competição calculados para as três espécies-alvo ao longo dos cinco anos após o plantio. ....	67
Tabela 11 - Correlação de Pearson entre os índices de competição e os incrementos correntes anuais de DAP e Ht, para as três espécies-alvo. ....	69

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>14</b>
<b>2 REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>16</b>
2.1 Restauração florestal.....	16
2.2 Legislação e manejo de florestas de preservação.....	19
2.3 Variáveis que afetam o desenvolvimento de espécies florestais .....	21
2.3.1 Espaçamento de plantios florestais .....	22
2.3.2 Radiação solar incidente sobre as plantas.....	24
2.3.3 Sucessão ecológica .....	25
2.3.4 Competição.....	27
2.4 Modelos hipsométricos .....	29
2.5 <i>Bixa orellana</i> L.....	30
2.6 <i>Psidium guajava</i> L.....	32
2.7 <i>Schinus terebinthifolia</i> Raddi.....	36
2.8 Fisiologia da frutificação em sistemas florestais.....	39
<b>3 OBJETIVOS .....</b>	<b>41</b>
<b>4 MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>42</b>
4.1 Local de estudo .....	42
4.2 Restauração florestal.....	44
4.3 Coleta de dados .....	46
4.4 Análise de dados .....	47
4.5 Modelagem do crescimento para as espécies arbóreas frutíferas de interesse .....	48
4.6 Análise da competição .....	49
4.7 Propostas para plantios de restauração florestal, com base nos resultados alcançados .....	50
<b>5 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>51</b>
5.1 Crescimento e desenvolvimento das espécies frutíferas de interesse .....	51
5.2 Análise de regressão da relação hipsométrica .....	62
5.3 Competição entre os indivíduos da área em restauração florestal .....	67
5.4 Propostas para plantios de restauração florestal.....	70
<b>6 CONCLUSÃO.....</b>	<b>73</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>74</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Eventos climáticos extremos e a imprevisibilidade de fenômenos da natureza estão cada vez mais recorrentes. Segundo o Sexto Relatório de Avaliação do Painel Intergovernamental Sobre Mudanças Climáticas (IPCC), o Brasil e diversos outros países passam por severas alterações no clima, como no período de 2014 a 2016, quando uma extensa parte do sudeste brasileiro, incluindo as grandes capitais, sofreu uma notória crise hídrica. Tais alterações decorrem principalmente da utilização descontrolada de combustíveis fósseis, responsáveis pela emissão de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) e outros gases de efeito estufa (GEE), do aumento do desmatamento e das significativas emissões de GEE provenientes das atividades industriais (Castellanos *et al.*, 2022).

As crises hídricas constituem-se em um problema, tanto para a agricultura, quanto para a produção de energia elétrica, uma vez que a maior parte da geração de energia brasileira é por meio das hidrelétricas. Sendo assim, para a mitigação deste problema, a restauração florestal é crucial e indicada pelo IPCC, ao passo que o crescimento da vegetação sequestra o carbono da atmosfera e preserva as nascentes em áreas prioritárias.

Concomitantemente, a Organização das Nações Unidas (ONU) proclamou a década de 2021 a 2030 como a década da Restauração de Ecossistemas, por meio de uma resolução adotada em Assembleia Geral. Nesse contexto, diante das mudanças climáticas, esforços devem ser direcionados de diversos âmbitos, a fim de proteger e restaurar ecossistemas em todo o mundo (UN General Assembly, 2019). No Brasil, um meio ambiente ecologicamente equilibrado é defendido pela Constituição Federal de 1988, além de fazer parte dos direitos humanos de terceira dimensão (Brasil, 1988). Nesse sentido, a restauração florestal é uma ação extremamente importante para o bem-estar humano e direcionamento ao caminho da sustentabilidade. Tal ação pode ser motivada pela necessidade de regularização ambiental de propriedades rurais, promoção da compensação ambiental de empreendimentos imobiliários ou industriais e, até mesmo, por trabalhos de governos ou organizações não governamentais (Nagy *et al.*, 2022).

Na legislação brasileira, o Código Florestal, Lei 12.651 de 2012 (Brasil, 2012), trata de disposições e conceitos sobre as Áreas de Preservação Permanente (APP) e de Reserva Legal (RL). Basicamente, essas são as áreas prioritárias para restauração por envolver a regularização ambiental das propriedades rurais. As áreas de APP do território nacional chegam a um total de 103 milhões de ha, enquanto as de RL possuem um total de 254 milhões (Sparoveck *et al.*, 2012), e desse montante, havia em 2014, pelos menos 21 milhões de hectares a serem

recuperados, ao somar as áreas de APP e RL (SAE, 2013; Soares Filho *et al.*, 2014). Logo, é possível notar uma enorme demanda em aplicações florestais somente com a recomposição dessas áreas para regularização ambiental, abrangendo grandes extensões e diferentes biomas.

Apesar da elevada demanda pela restauração de ecossistemas, observa-se a falta de incentivo aos proprietários rurais quando nos referimos à atividade de recomposição de APP e RL. Nos casos em que é necessária a restauração ativa, ou seja, introdução deliberada de espécies vegetais devido ao elevado grau de degradação (Gann *et al.*, 2019), os custos de restauração são elevados (Benini *et al.*, 2017), o que dificulta a aplicação por proprietários rurais. Dessa forma, tem-se tornado recorrente a demanda por projetos que estimulem a restauração florestal por meio de plantios que permitem determinada exploração, seja madeireira ou não madeireira, como o projeto “Conservação Araucária”, no estado do Paraná (EMBRAPA, 2023). Portanto, a amortização de custos é uma grande pauta nas discussões que envolvem a restauração florestal, mas para isso é basilar o conhecimento silvicultural das espécies a serem empregadas.

O presente trabalho consistiu em avaliar o potencial de crescimento de três espécies nativas, sob competição, para fins econômicos em APP. Essas espécies têm sido utilizadas no projeto “Nascentes” desenvolvido no âmbito P&D da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) em parceria com as universidades federais de Lavras e Viçosa (Eletrobras Furnas, 2021). Para isso, um experimento já instalado como modelo de restauração de Reserva Legal serviu de apoio para extração de informações e produção de conhecimento.

Como a exploração econômica em APP, nos casos em que é permitida, deve ser de baixo impacto (Brasil, 2012), a produção de frutos é uma das melhores alternativas para conciliar a produção e manutenção da estrutura da vegetação, garantindo assim a manutenção dos serviços ambientais associados (proteção do solo, sequestro de carbono, entre outros). Nesse aspecto, para garantir a coleta de produtos florestais não madeireiros, é necessário conhecer o comportamento das espécies implantadas a fim de entender e coordenar a dinâmica florestal.

Então, as espécies-alvo que comporam o estudo são a aroeira pimenteira (*Schinus terebinthifolia* Raddi, Anacardiaceae), a goiabeira (*Psidium guajava* L., Myrtaceae) e o urucum (*Bixa orellana* L., Bixaceae), as quais passaram por uma revisão bibliográfica, a fim de apresentar as informações sobre crescimento, utilização da luz, frutificação e aspectos fisiológicos em geral. Ressalta-se que, no total, o quantitativo desses indivíduos, já plantados em APP pelo projeto da ANEEL são de 13680 indivíduos, sendo 5134 de *S. terebinthifolia*, 3491 de *P. guajava* e 5055 plantas de *B. orellana*.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 Restauração florestal

Segundo a *Society for Ecological Restoration International* - SER, a definição de restauração ecológica consiste em assistir o reestabelecimento de um ecossistema que foi degradado, danificado ou destruído (Gann *et al.*, 2019). Ela foca no redirecionamento de um ecossistema degradado à uma trajetória autossustentável, que a longo prazo se estabilizará em um ambiente muito próximo ao natural, sem necessidades de intervenção humana (Engel; Parrotta, 2008) com o desenvolvimento completo de plantas, animais e microorganismos (Kageyama; Gandara, 2006). Dessa forma, restaurar um ambiente é uma tarefa consideravelmente complexa, que envolve os mais variados métodos, baseados nos princípios de efetividade, eficiência e participação (Gann *et al.*, 2019).

Também, podemos perceber que a restauração ecológica é um campo de aplicação bem amplo, em diversos ecossistemas, desde recifes de corais até florestas tropicais (Brancaion *et al.*, 2015), com capacidade de gerar serviços ambientais e socioeconômicos para toda a sociedade (Benini *et al.*, 2017). Por conseguinte, ao trabalhar ecossistemas florestais, usa-se o termo restauração florestal, entendida como a intervenção humana intencional em ecossistemas alterados para desencadear, facilitar ou acelerar o processo natural de sucessão ecológica (Brancaion *et al.*, 2015).

No Brasil, o largo passivo ambiental, em virtude da Lei 12.651 de 2012 (Benini *et al.*, 2017), e o compromisso com a Contribuição Nacionalmente Determinada (NDC) para o país restaurar 12 milhões de ha de floresta até 2030 (Benini; Adeodato, 2017), tornam o tema da restauração ainda mais relevante. De acordo com Soares Filho *et al.* (2014), são estimados um total de 21 milhões de hectares do território nacional que se enquadram no passivo ambiental. Assim, diante desse enorme desafio, fica estabelecida uma intensa busca por mais tecnologias e modelos econômicos viáveis, considerando os conceitos sustentáveis e os diferentes métodos de restauração (Benini; Adeodato, 2017).

Ao se falar sobre a restauração florestal, podemos reiteradamente classificá-la em: restauração passiva, sem intervenção humana intencional para estabelecimento da sucessão ecológica; restauração ativa, promovida pelo homem na intenção de conduzir e direcionar os processos de sucessão ecológica quando, naturalmente, a passiva por si só não for suficiente; combinação entre ativa e passiva, ao passo que não seria eficiente isolar uma da outra (Brancaion *et al.*, 2015). Em um projeto de restauração florestal, primeiramente, devemos

sempre analisar a possibilidade de restabelecimento dos processos de sucessão ecológica através da própria regeneração natural (Di Sacco *et al.*, 2021).

A regeneração natural (RN) é definida como a recuperação natural de florestas, um fenômeno que pode se desencadear de forma espontânea após o abandono do solo ou ser facilitado por ações humanas (Di Sacco *et al.*, 2021). Ela é facilitada, em especial, quando há a presença de dispersão de sementes em áreas próximas, até 192 m para Crouzeilles *et al.* (2020), enquanto para Molin *et al.* (2018) 100 m já seria interessante, seja devido às inúmeras formas de dispersão, incluindo pássaros e animais (Di Sacco *et al.*, 2021). Além disso, o clima (Becknell *et al.*, 2012) e o estado de degradação da terra (Meli *et al.*, 2017) são outros fatores que incidem sobre o sucesso da RN. Esse método passivo, pode ser substancialmente mais barato que o plantio de mudas, alcançando uma redução de custos em 38% (Molin *et al.*, 2018) a 76% (Crouzeilles *et al.*, 2019). Contudo, caso o ambiente contenha limitações para a chegada de propágulos de espécies nativas, especialmente se a resiliência local for baixa e se não existirem fragmentos bem conservados no entorno (Souza; Batista, 2004), então a estratégia torna-se a implementação da restauração ativa e recobrimento artificial.

A aplicação da regeneração artificial para o recobrimento inicial é baseada na inserção da vegetação, seja pelo plantio de mudas, ou pela semeadura direta (Botelho *et al.*, 2015). Nesse sentido, sabe-se que uma das técnicas mais utilizadas na restauração florestal é o plantio de mudas dos diferentes grupos sucessionais (Botelho *et al.*, 2015). Essa técnica tem oferecido bons resultados, principalmente em experiências com restauração de matas ciliares (Davide *et al.*, 1996; Pereira; Botelho; Davide, 1999; Durigan; Silveira, 1999). Esses resultados, sobretudo, decorrem das vantagens proporcionadas por este método, tais como a reduzida taxa de mortalidade de mudas no campo, a determinação do espaçamento desejado para facilitar as práticas silviculturais e a oportunidade de escolher as espécies desejadas (Botelho *et al.*, 2001). Inclusive, de acordo com Chazdon (2014), o plantio de mudas tem a capacidade de acelerar o processo de sucessão ecológica e servir como um catalisador da regeneração natural. Todavia, uma grande desvantagem de projetos que utilizam a operação do plantio de mudas, é a sua elevada onerosidade, ainda mais ao considerar sua aplicação em área total, como assegurado pelo estudo de Benini *et al.* (2017), ao exibirem informações de projetos de implantação no bioma Mata Atlântica, com custos aproximados de R\$ 7.788,00 por hectare para um cenário ambiental favorável à restauração e R\$ 21.271,00 por hectare para um cenário ambiental desfavorável.

O plantio de mudas comumente segue uma distribuição sistemática pela área, obedecendo um espaçamento em um determinado arranjo (Botelho *et al.*, 2015). Uma estratégia

de plantio para atingir os objetivos da restauração voltados ao aumento da diversidade de espécies e restabelecimento dos processos de sucessão ecológica é a combinação de espécies de diferentes grupos sucessionais, pioneiras e não pioneiras (Brancalion *et al.*, 2009). Essa combinação pode ser dentro das fileiras de plantio, ou em linhas alternadas, frequentemente adota no arranjo em quincôncio, também conhecido como quadrados sobrepostos, que proporciona uma distribuição espacial das mudas, a qual beneficia o crescimento de acordo com as características do grupo sucessional ou funcional (Botelho *et al.*, 2015).

Com o objetivo de reconstruir a estrutura florestal, os especialistas em restauração, comumente recorrem ao conhecimento ecológico para terem sucesso em suas ações. Por conta da dificuldade em encontrar as informações sobre o grupo sucessional de cada espécie, na literatura, e das divergências entre os autores sobre essas informações, foram sendo moldadas as adaptações sobre o conceito de sucessão e seus grupos, através de observações de campo e experimentações científicas. Assim, estabeleceu-se a utilização dos grupos de plantio, divididos em dois, sendo o grupo de recobrimento e o grupo de diversidade (Brancalion, 2015).

O grupo de recobrimento são as espécies que possuem um rápido crescimento em altura e copa ampla, sendo desejável a máxima longevidade, a fim de manter a cobertura do solo e o sombreamento. Neste grupo, as espécies em sua maioria são pioneiras ou secundárias iniciais, mesmo que nem todas as espécies desses grupos sejam do grupo de recobrimento. O grupo de diversidade é composto pelas espécies que não se encaixam nas características do grupo de recobrimento, sendo geralmente pertencente às secundárias tardias e às climácicas, além de pioneiras que não promovem um bom sombreamento para a área, mas que exercem importante papel na dinâmica florestal. As espécies deste grupo são fundamentais para a perpetuação da floresta, onde vão substituir as do grupo de recobrimento ao entrarem em senescência gradualmente (Brancalion, 2015).

Para concluir, é importante citar sobre a escolha do modelo de restauração, que basicamente, a partir de um diagnóstico, determinará todas as etapas e ações a serem tomadas, desde o recobrimento inicial (regeneração natural ou artificial) até a manutenção do plantio (Botelho *et al.*, 2015). Há uma gama de modelos, e atualmente os esforços são direcionados àqueles que promovam algum incentivo por meio da valoração dos serviços e produtos oferecidos pela floresta, como demonstrado em alguns resultados preliminares da modelagem econômica do projeto VERENA, uma iniciativa que analisa oportunidades de negócios de plantios de espécies arbóreas nativas e sistemas agroflorestais (SAFs) (Batista *et al.*, 2017). Os SAF são modelos que contemplam culturas perenes e anuais, fruteiras, árvores de interesse local e forrageiras (Botelho *et al.*, 2015). Portanto, com vistas a ampliar a escala da restauração,

é auspicioso fortalecer uma economia florestal por meio de informações técnicas e econômicas, que demonstrem retornos aos investimentos ligados ao cultivo sustentável de espécies nativas e SAFs (Batista *et al.*, 2017).

## 2.2 Legislação e manejo de florestas de preservação

O Brasil é um dos países mais avançados quanto aos quesitos legais que tangem o ambiente e sua conservação. A Lei nº 12.651 de 25 de maio de 2012, denominada Lei de Proteção da Vegetação Nativa (Brasil, 2012) torna-se um pilar da relação do homem com a natureza ao direcionar e dispor sobre a proteção de vegetação nativa, exploração florestal, controle de produtos advindos da floresta e entre outros. Tal lei complementa e preenche lacunas de questões jurídicas estabelecidas no passado, como a Política Nacional do Meio Ambiente, a Lei de Crimes Ambientais e a Lei 9.985 de 2000 que estabelece o Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC) (EMBRAPA, 2023).

De acordo com a Lei de Proteção da Vegetação Nativa, todo proprietário rural tem a obrigação de resguardar uma parte de suas terras para proteção da vegetação nativa, referente a Reserva Legal, e nos casos necessários, referentes às Áreas de Preservação Permanente (Brasil, 2012). Somado às disposições dessa lei, é exigida dos proprietários rurais, a recuperação dos passivos dessas áreas em suas terras (Brasil, 2012). Também, um grande progresso estabelecido pela Lei 12.651 de 2012 é a inserção do Cadastro Ambiental Rural (CAR) (Brasil, 2012), uma ferramenta pública com o objetivo de coletar e armazenar informações que auxiliam na regularização ambiental das propriedades rurais. Desse modo, diante das informações coletadas sobre as áreas de proteção ambiental, é necessário registrá-las no Sistema Nacional de Cadastro Ambiental Rural (SICAR) (EMBRAPA, 2023).

Uma Área de Preservação Permanente, de acordo com a Lei de Proteção da Vegetação Nativa, é entendida por:

Área protegida, coberta ou não por vegetação nativa, com a função ambiental de preservar os recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica e a biodiversidade, facilitar o fluxo gênico de fauna e flora, proteger o solo e assegurar o bem-estar das populações humanas (Brasil, 2012).

Assim, as APP são prioritariamente voltadas à proteção da natureza e podem abranger locais como as faixas marginais de cursos d'água, o entorno de nascentes, encostas com declividade superior a 45°, topos de morro com altura mínima de cem metros e inclinação maior que 25°, mangues, restingas e outros mais específicos (Brasil, 2012).

Nesse contexto de proteção da natureza, os termos, preservação e conservação, são amplamente utilizados. Apesar de parecerem sinônimos, estes possuem significados diferentes, e precisam ser entendidos para a correta aplicação da lei. A preservação tem um viés mais restritivo, na intenção de manter o ecossistema intacto com suas características naturais, isolado do manejo e contato humano (Grisi, 2007). Em contrapartida, a conservação tem o objetivo de proteção associada ao manejo sustentável dos recursos ambientais (Grisi, 2007).

Uma área de Reserva Legal, segundo a Lei nº 12.651 de 2012, é entendida como:

Área localizada no interior de uma propriedade ou posse rural, delimitada nos termos do art. 12, com a função de assegurar o uso econômico de modo sustentável dos recursos naturais do imóvel rural, auxiliar a conservação e a reabilitação dos processos ecológicos e promover a conservação da biodiversidade, bem como o abrigo e a proteção de fauna silvestre e da flora nativa (Brasil, 2012).

A Reserva Legal abrange a conservação de uma porcentagem da área da propriedade rural que varia de acordo com o bioma de inserção (Brasil, 2012). Logo, fica evidente o uso do termo conservação para RL, justamente por se tratar de áreas com a possibilidade de manejo sustentável. Ademais, devido a tal possibilidade, quando necessária a recomposição florestal, fica estabelecida pela lei, a alternativa de plantio de até 50% da área com exóticas ou frutíferas, combinadas com espécies nativas regionais (Brasil, 2012).

Ao se tratar da intervenção em APP e RL, as condições para cada área são diferentes. O regime de proteção de áreas de Reserva Legal é mais permissível com relação à exploração econômica do que em APP, sempre mediante manejo sustentável. Para RL, a exploração econômica madeireira é possibilitada, em sua maioria, mediante um Plano de Manejo Florestal Sustentável (PFMS), que deverá seguir os fundamentos técnicos citados pelo § 1º do Art. 31 da Lei de Proteção da Vegetação Nativa, e posteriormente aprovado pelo órgão competente do Sisnama. Ficam isentos da necessidade de PFMS os casos de exploração de produtos florestais não madeireiros, tais como frutos cipós, folhas e sementes (Brasil, 2012).

Em concordância ao art. 8º da Lei nº 12.651 de 2012 (Brasil, 2012), a intervenção ou supressão de vegetação nativa em APP poderá ocorrer somente nos casos de utilidade pública, de interesse social ou de atividades de baixo impacto ambiental. Concatenado a isso, o item “j” do inciso X, art. 3º cita que uma das atividades de baixo impacto ambiental consiste em:

Exploração agroflorestal e manejo florestal sustentável, comunitário e familiar, incluindo a extração de produtos florestais não madeireiros, desde que não descaracterizem a cobertura vegetal nativa existente nem prejudiquem a função ambiental da área (Brasil, 2012).

Ressalta-se que o manejo florestal sustentável é definido como um conjunto de técnicas que visam a exploração de recursos florestais, tanto madeireiros quanto os subprodutos não madeireiros, para obtenção de benefícios econômicos, vinculados a fatores sociais e ambientais, de maneira a manter o ciclo natural das florestas e sem descaracterizar a vegetação existente (- BNDES, 2021; MMA, 2022). Portanto, o entendimento da legislação pertinente a este assunto é crucial para evitar multas, garantir a adequação ambiental e à compreensão dos direitos e deveres dos cidadãos. Então, para as propriedades rurais, um motivo plausível para intervenção em APP, se dá pela coleta de frutos, ao não se enquadrar em utilidade pública, interesse social ou outra forma que descaracterize a fitofisionomia, além de poder gerar algum benefício.

### **2.3 Variáveis que afetam o desenvolvimento de espécies florestais**

O crescimento de uma planta é entendido como o quanto esta aumenta suas variáveis biométricas, seja em altura, diâmetro e área foliar. Para Reis e Muller (1978), o crescimento é definido por um aumento irreversível de atributos físicos. Em contrapartida, o desenvolvimento está relacionado ao crescimento e mudanças na forma da planta, sejam elas caracterizadas pelas diferentes etapas a seguir: germinação; juvenilidade; maturação; reprodução; senescência; morte (Peixoto; Cruz; Peixoto, 2011). Tais mudanças são norteadas pelos processos de diferenciação e morfogênese (Peixoto; Cruz; Peixoto, 2011). O conhecimento dessa dinâmica é importante para aplicações em diversas áreas da ciência, inclusive a Silvicultura (Peixoto; Cruz; Peixoto, 2011).

De forma geral, o desenvolvimento das árvores está associado às condições genéticas, edafoclimáticas e às técnicas silviculturais (Campos, 1970). Dentre as condições edafoclimáticas, podemos citar a disponibilidade hídrica, o tipo de solo e sua fertilidade, além dos atributos relativos à localização, como relevo, altitude, temperatura, precipitação, e radiação solar incidente (Campos, 1970). A respeito das técnicas silviculturais, em especial para as áreas em restauração florestal, é notável que a definição do espaçamento a ser utilizado, o preparo do solo, a adubação, controle de formigas cortadeiras e controle de plantas daninhas são cruciais para um bom desenvolvimento da planta, além de outras técnicas para plantio e manutenção, a depender da região e finalidade do projeto (Botelho *et al.*, 2015).

Por esse e outros motivos, quando se busca moldar a composição florestal para um meio sustentável, associado ao desenvolvimento de cada espécie aplicada, a análise quantitativa do crescimento torna-se valiosa, pois é possível compreender a sua contribuição em outros processos fisiológicos (Peixoto; Cruz; Peixoto, 2011), como a frutificação. Portanto, não se

dissocia o crescimento e desenvolvimento dos vegetais da produtividade esperada (Peixoto; Cruz; Peixoto, 2011).

### 2.3.1 Espaçamento de plantios florestais

A definição do espaçamento de um povoamento florestal é de extrema importância para o planejamento e execução das práticas silviculturais, pois está alinhada aos objetivos do plantio, operacionalidade e produção. Desse modo, o espaçamento ideal afeta diretamente no uso otimizado dos recursos naturais disponíveis para o crescimento das árvores (Nardini *et al.*, 2020). Tal variável tem implicações sobre a taxa de crescimento, a qualidade da madeira, o recobrimento do solo, além do controle dos custos de implantação e manutenção (Eloy *et al.*, 2010).

O espaçamento consiste da área útil disponível para o crescimento da planta, sendo relacionado à capacidade produtiva das florestas plantadas (Rondon, 2002). Vale ressaltar que cada espécie ou material genético possui um padrão de crescimento, o qual possui um peso expressivo na decisão de qual espaçamento utilizar. Dessa forma, os espaçamentos mais comuns variam de 3 a 9 m<sup>2</sup> em área útil por planta (Gonçalves *et al.*, 2013). Na restauração florestal, devido à elevada complexidade dos sistemas e ampla diversidade de espécies, tem-se utilizado os espaçamentos 3,0 x 1,5 m (4,5m<sup>2</sup>), 2 x 2,5 m (5,0 m<sup>2</sup>), 3 x 2 m (6 m<sup>2</sup>), 3 x 3 (9 m<sup>2</sup>), até 5 x 5 (25 m<sup>2</sup>) em projetos localizados em matas ciliares, sejam de rios, reservatórios ou nascentes (Davide *et al.*, 1996; Pereira; Botelho; Davide, 1999; Durigan; Silveira, 1999; Alvarenga, 2004; Davide *et al.*, 2004). Em árvores frutíferas, esses valores são um pouco maiores, a fim de propiciar uma produção adequada, uma vez que um plantio menos adensado terá maior luminosidade e arejamento (Fachinello; Nachtigal; Kersten, 2008), além de serem adequados à formação de copa. A exemplo disso, tem-se a goiaba com 5 x 5 m (Fachinello; Nachtigal; Kersten, 2008), o abacate com 10 x 10 m (SENAR, 2010) e citros com 4 x 6 m (Fronza; Hamann, 2014).

O espaçamento é intimamente ligado ao produto final do plantio. Porém, podem ser considerados os subprodutos retirados através de desbastes, que aumentam a área útil das árvores ao longo do tempo, ou seja, alteram o espaçamento (Moulin *et al.*, 2020). Associado a ele, existem os arranjos, que são as variações para obtenção da área útil por planta, os quais são comumente encontrados os formatos quadrados ou retangulares, com áreas formadas por 3 x 3 m ou 3 x 2 m, por exemplo.

Desde o início das atividades em campo até a colheita, o espaçamento entre as plantas deve permitir a mecanização e o melhor desempenho operacional, com exceção para as situações de elevada declividade do terreno, onde o uso de máquinas se torna inviável. Por essa razão, são empregadas as distâncias de 3 m de uma linha a outra (Bernardo, 1995). Previamente, sabe-se que a bitola de um trator corresponde a medida de centro a centro dos pneus traseiros e dianteiros e, em tratores convencionais, a bitola pode variar de 1,50 m a 2,30 m, além de ser ajustável para atender às adequações do implemento, entrelinhas, terreno e tipo de cultura (SENAR, 2017). Nesse contexto de mecanização, segundo Martins (2008), o aumento do espaçamento resulta em custos de colheita menores, ressaltando que espaçamentos maiores permitem a obtenção de um maior volume individual por árvore.

Ao envolver outras técnicas silviculturais, a utilização de espaçamentos mais densos eventualmente favorecerá as operações de controle de plantas daninhas e desrama (Caron *et al.*, 2012), uma vez que a competição entre plantas é maior e o fechamento de copa é mais precoce. Em projetos de restauração florestal, frequentemente são utilizadas técnicas de regeneração artificial pelo plantio de mudas em área total para favorecer o reestabelecimento da vegetação na área degradada, onde a regeneração natural é incipiente (Andrade Netto *et al.*, 2015). Para isso, o espaçamento 3 x 2 m, em sistema de quincôncio, é o mais comum, pois torna-se capaz de promover um recobrimento eficaz do solo, ao considerar os processos de sucessão ecológica e combinar espécies tanto pioneiras quanto secundárias (IMASUL, 2016).

No contexto de múltiplas propostas, como em sistemas agroflorestais, o espaçamento é um fator decisivo, pois incide diretamente sobre a produção esperada, seja madeireira ou não madeireira. Tal variável determina a densidade de plantas em um hectare, o que consequentemente regula o padrão de crescimento, arquitetura de copa das árvores e frutificação (Khosla *et al.*, 1995; Durand, 1997). Por outro lado, as plantas respondem fisiologicamente e morfológicamente às condições ambientais, por exemplo, à disponibilidade de radiação solar (Ribeiro; Righi, 2019). Assim, a disponibilização de recursos para as espécies plantadas é um fator importante na definição do espaçamento a ser utilizado.

Cada espécie possui um padrão de crescimento distinto, da mesma forma que suas respostas aos estímulos ambientais são variáveis entre elas. Alguns autores estudaram o efeito do espaçamento sobre o crescimento e desenvolvimento de espécies nativas, definindo a opção mais adequada à utilização daquelas espécies. A exemplo disso, define-se o 3 x 3 m como o mais viável para *Ochroma pyramidale* na produção de madeira de alto valor (Behling *et al.*, 2019). Contudo, são poucos os experimentos relativos ao efeito do espaçamento em espécies nativas, principalmente quando se trata de plantios de restauração (Nascimento *et al.*, 2012), e

ainda mais em plantios mistos. Portanto, para que espécies possam ser utilizadas em projetos de restauração e gerem retorno econômico aos produtores rurais, é preciso conhecer suas características silviculturais em ambientes e espaçamentos diversos.

### 2.3.2 Radiação solar incidente sobre as plantas

No processo de fotossíntese, a radiação solar incidente sobre as plantas é crucial para a obtenção de energia e na posterior conversão de biomassa. Nesse sentido, para que ocorra um bom desenvolvimento da vegetação, é necessário que a radiação solar esteja disponível e as plantas consigam acessá-la (Binkley *et al.*, 2013). O índice de área foliar (IAF) é uma variável importante para predizer o quanto a planta absorve de luz solar (Mattos *et al.*, 2020). Ele tem sido usado em estudos relacionados a implantações de sistemas de múltiplas propostas como o silvipastoril (Giustina; Carnevalli; Carvalho, 2017) e a ecofisiologia, sobre o uso e eficiência da luz (Binkley *et al.*, 2013), além de outras aplicações. Portanto, o IAF é base para a caracterização da radiação solar incidente sobre as plantas e se constitui uma das variáveis que afetam o desenvolvimento vegetativo.

Segundo Müller *et al.* (2014), a distribuição de recursos naturais ao longo do tempo é modificada, como ocorre com a disponibilidade de luz diante do crescimento em altura, projeção de copa e o índice de área foliar. Nesse contexto de utilização da luz solar, Canham *et al.* (1994) relataram que as diferentes arquiteturas de árvores e geometria de copa geram efeitos significativos na variação espacial e nos regimes de luz do sub-bosque. Isso corrobora com a modificação que os raios de luz sofrem ao atravessar o dossel das florestas, seja na intensidade, duração e qualidade, constatada por Scalon *et al.* (2001).

A interceptação de luz tem relação direta com as características de dominância da árvore no povoamento florestal (Campoe, 2012), associadas a competição intraespecífica ou interespecífica presente. A competição ocorre quando uma planta reduz a condição ideal de desenvolvimento da sua vizinhança, ao produzir estresses devido ao compartilhamento de recursos (Begon, 2006), por exemplo, o sombreamento que reduz a quantidade de luz. Plantas que crescem em um ambiente sombreado e não são tolerantes a esta condição tendem a apresentar alterações morfológicas, a fim de aumentar a eficiência no uso da luz (Coelho *et al.*, 2014). Uma dessas alterações é um maior investimento em altura por mudas que foram expostas a um sombreamento excessivo (Da Silva; Bicca Neto; Foltran, 2007; Mazuchowski *et al.*, 2007). Esse comportamento é um fenômeno chamado SAS, do acrônimo em inglês (Shade-avoidance Syndrome), ao qual fotorreceptores provocam estímulos hormonais responsáveis

pelo crescimento em resposta ao sombreamento (Ballaré, 2014). Logo, torna-se evidente que a radiação solar incidente sobre as plantas é um fator indispensável no estudo do comportamento das plantas.

A radiação incidente é muito estudada em sistemas agroflorestais devido à necessidade de se alcançar a melhor distribuição dos indivíduos, que concilie árvores com porte maior e culturas agrícolas de porte menor e que permita intenções produtivas. Nardini *et al.* (2019) estudaram o crescimento e a eficiência deste recurso em um cultivo de milho consorciado com espécies florestais e relataram que a monocultura tem maior produtividade, embora a eficiência em utilizar a luz como recurso é aumentada quando o plantio é sombreado em consórcio. Apesar da produtividade total ser reduzida, a ideia de uma agrofloresta é diversificar o uso da terra, para garantir uma produção alternativa e otimizada por unidade de área (Santiago *et al.*, 2013; Stone *et al.*, 2015).

A exposição à luz solar é determinante para a frutificação. Assim, para a produção de frutos, recomenda-se a utilização de espaçamentos maiores, de maneira a favorecer a entrada de luz nos pomares, garantindo o manejo adequado, bem como uma produção satisfatória e frutos de melhor qualidade (Bastías; Corelli-Grapadelli, 2012). Segundo Corelli-Grapadelli (2003) a maior exposição ao sol sob condições de luz com boa qualidade gera frutos com maior teor de carboidratos, de tamanho adequado e com boa aceitação de mercado. Nesse sentido, as podas são essenciais, pois modelam a arquitetura de copa, adequando-a ao recebimento de luz uniforme pela árvore (Scarpate Filho; Medina; Da Silva, 2011). Portanto, ao se tratar de um plantio de restauração que contenha espécies frutíferas com fins produtivos, é indispensável o planejamento das condições ambientais para que a luz solar atinja adequadamente as árvores presentes, com qualidade e quantidade, mas consciente de que essa luz será limitada em um certo momento, com o crescimento dos estratos da floresta e supressão por árvores mais altas ao redor.

### **2.3.3 Sucessão ecológica**

A sucessão ecológica consiste no ciclo natural de uma floresta no qual ocorrem mudanças na comunidade e composição florística de uma determinada área onde as condições naturais se mantêm equilibradas (Finegan, 1984). Ela é um conceito chave para o estudo da ecologia, com aplicações diretas nos campos da conservação ambiental e exploração sustentável (Matthes; Martins, 1996). Segundo Odum (1969), a sucessão ecológica segue princípios que se caracterizam em um processo ordenado e previsível do desenvolvimento da

comunidade, resultado de modificações decorridas da própria comunidade, e que culmina em um clímax. Portanto, a complexidade deste tema é evidenciada por diferentes conceituações dos estudiosos ao longo do tempo, com diferentes pontos de vista, principalmente sobre os grupos funcionais que constituem os processos de sucessão.

Em síntese, são dois tipos existentes de sucessão ecológica, primária e secundária. A primária, ocorre com o estabelecimento e desenvolvimento de vegetação sobre um local originado recentemente e nunca antes ocupado, como em afloramentos rochosos e superfícies de areia com exposição recente (Ricklefs, 2010). Já na secundária, o estabelecimento de novos indivíduos ocorre após perturbação na comunidade existente (Ricklefs, 2010), por exemplo com a formação de clareiras na floresta, regiões atingidas por eventos naturais extremos ou até mesmo pelo desmatamento. Logo, a totalidade das áreas a serem restauradas, constituirão de um processo de sucessão secundária, restituindo a composição de espécies daquele local.

Relacionado à sucessão ecológica, sabe-se que a composição de espécies de uma comunidade florestal é dependente das características fisiológicas e ecofisiológicas dos indivíduos presentes, bem como o ritmo de crescimento e a utilização dos recursos naturais disponíveis (Finegan, 1984). Também, atributos como a dispersão de sementes (Vasquez-Yanes, 1980), banco de sementes (Young *et al.*, 1987) e dinâmica de clareiras (Brokaw, 1985) são determinantes nos processos de formação florestal. Assim, conhecer os ciclos de vida das espécies, é fundamental para formação de uma comunidade florestal (Matthes; Martins, 1996), e sobretudo na prática da restauração.

Diante dos recursos naturais disponíveis, há a dominância de indivíduos mais tolerantes à determinadas condições em relação a outros menos tolerantes. Dessa forma, uma das classificações de espécies distingue as espécies em tolerantes e não tolerantes à sombra (Whitmore, 1986). Certas espécies precisam de ambientes sombreados para se desenvolverem e frutificar, como é o caso do cacaueteiro (Piasentin; Saito; Sambuichi, 2014). Outras sobrevivem em ambientes sombreados até o momento que a mortalidade trará abertura de clareiras, assim terão a radiação solar suficiente para o seu completo desenvolvimento. Nesse sentido, é importante frisar o conceito de clímax, que seria a dinâmica e composição final de uma comunidade, determinada pelas características bióticas e abióticas do local (Whittaker, 1953).

Sob a linha de raciocínio do desenvolvimento da comunidade florestal, foram propostas classificações das espécies em grupos sucessionais, o que está relacionado aos estratos da floresta e todo o processo pelo qual ela é submetida. Usualmente são duas as classificações mais aceitas no meio acadêmico, lembrando que a aceitação de cada uma varia de acordo com as experiências de cada profissional com relação ao assunto (Matthes; Martins, 1996). Uma

delas é elaborada por Budowski (1963, 1965, 1970) e classifica as espécies em quatro grupos: pioneiras; secundárias iniciais; secundárias tardias; clímax. Por outro lado, para Clark e Clark (1987), a definição de grupos se baseia na abertura de clareiras, sendo as espécies classificadas em: pioneiras; não pioneiras.

Compreender os processos de sucessão ecológica é fundamental para à restauração florestal, uma vez que ela consiste na condução da sucessão secundária para reversão da degradação de uma área. Dessa forma, o sucesso das implantações florestais produtivas, com múltiplas espécies, é dependente de fatores como a escolha desses indivíduos (Aguar Júnior *et al.*, 2021) e sua densidade na área a ser recuperada, principalmente em ações de restauração florestal ativa (Holl, 2012; Silva *et al.*, 2016). Esses fatores têm diversas consequências no ecossistema a ser restaurado, como na competição entre os indivíduos plantados.

#### **2.3.4 Competição**

A competição é entendida como uma condição de efeito sobre a planta criada pelo local de inserção ao considerar a sua vizinhança (Begon *et al.*, 2006). Na condição de competição, a árvore utiliza os recursos disponíveis de maneira compartilhada com os indivíduos ao redor, ou seja, há uma limitação para estes recursos naturais que implica em determinada redução do desenvolvimento ideal (Begon *et al.*, 2006). Nessa ótica, Binkley *et al.* (2010) apresentam parâmetros e situações sobre a competição por luz em povoamentos de eucalipto, a qual suscita em diferenças na eficiência de uso deste recurso. Os autores confirmaram que árvores dominantes apresentam maior captação e eficiência no uso da luz, além de que a uniformidade do talhão pode influenciar na eficiência do uso da luz, sendo que mais estudos são necessários para entender os casos em que esse padrão não ocorre.

Diversos fatores influenciam o crescimento da planta, o que aumenta a complexidade de análise da competição (Barbosa *et al.*, 2023). Cooper (1993) expõe divergências entre linhas de pensamento e grupos de cientistas em Ecologia. Com uma visão filosófica, ligada à construção de teorias, o autor relata a dificuldade em testar matematicamente a teoria de competição, o que gera um desafio na sua aplicação em diferentes situações. Também, fatores bióticos e abióticos estão relacionados à análise do tema, além de outros conhecimentos em plano de fundo, necessários à validação das hipóteses construídas (Cooper, 1993).

Por vezes, para aplicação da teoria da competição é necessário isolar as características já conhecidas das plantas e analisar somente o efeito que a vizinhança provoca sobre o objeto de estudo. No contexto da restauração florestal, espaçamento (Nascimento *et al.*, 2012) e

desbastes (Oliveira; Durigan; Putz, 2021) são exemplos de fatores ligados à densidade de plantio, que moldam a competição entre as árvores. Assim, estudar diferentes espaçamentos em uma implantação florestal, pode estar diretamente associado à competição, a qual influi de maneira variada sobre diferentes espécies, como indicado por Nascimento *et al.* (2012). Os autores analisaram o efeito de diferentes espaçamentos (1,0 x 1,0 m; 1,5 x 1,5 m; 2,0 x 2,0 m; 3,0 x 2,0 m) sobre cinco espécies diferentes, e concluíram que as diferentes espécies tiveram comportamentos distintos para o diâmetro ao nível do solo e área de copa com relação aos espaçamentos testados.

A competição é foco de estudo por cientistas em ecologia de comunidades, que trabalham com abundância e distribuição (Cooper, 1993), além de alguns silvicultores, pois em povoamentos florestais destinados à produção ela pode fazer parte da tomada de decisão e comprometer o resultado final (Schneider *et al.*, 1992). Nesse sentido, é possível quantificar a competição por meio de modelos matemáticos e posteriormente aplicá-los na estimativa de produtividade, seja a nível árvore ou a nível de povoamento (Barbosa *et al.*, 2023). Os modelos são agrupados em quatro categorias, sendo elas: empíricos, modelos baseados em processos, modelos híbridos e modelos de lacuna. Tais modelos utilizam os índices de competição, os quais são baseados principalmente na densidade florestal, como as metodologias do índice de densidade do povoamento (SDI) (Kimsey; Shaw; Coleman 2019), o índice de espaçamento relativo (S%) (Burkhart, 2013) ou a regra de autodesbaste de Yoda (Condés *et al.*, 2017).

Os índices de competição representam uma estimativa do espaço horizontal ocupado pela árvore de interesse em relação às árvores vizinhas (Assmann, 1970). Para a aplicação dos índices de competição, é necessário definir qual modelo será utilizado, de acordo com os requisitos do mesmo, sejam modelos dependentes da distância, com necessidade de informações espaciais, ou modelos independentes da distância, os quais não necessitam dessa informação para obtenção de resultados (Vanclay, 1994). Portanto, diante desse conhecimento, um trabalho de Santos *et al.* (2012) consistiu em aplicar diferentes índices para analisar um plantio de *Ocotea porosa* aos 44 anos, e verificou que o Índice de Glover e Hool (IGH), um índice independente da distância, apresentou resultados interessantes, com  $R^2$  ajustado = 0,7939. Logo, em determinadas condições, as análises podem ser facilitadas com o uso desse tipo de índice.

Dentre os índices independentes da distância, o Basal Area Larger (BAL) e o Índice de Glover e Hool são uns dos mais utilizados. O BAL considera como competidoras somente as árvores maiores que a árvore principal, em uma tentativa de quantificar a concorrência por espaço. Por outro lado, o IGH faz uma razão entre a dimensão da árvore principal com as

vizinhas (Santos *et al.*, 2012). Assim, a árvore-alvo tem grande peso na avaliação da competição com a vizinhança, que a depender da espécie e seu padrão de crescimento, será considerada como competidora ou suprimida.

De acordo com Weiskittel *et al.* (2011), tanto os índices dependentes, quanto os independentes têm sido aplicados em florestas mistas, sendo a coleta de dados espaciais um aumento para os custos e tempo de avaliação. Lorimer (1983) e Orellana (2014) asseguram que, quando comparados, os índices independentes da distância são tão eficazes quanto os dependentes.

## 2.4 Modelos hipsométricos

A altura (Ht) é uma medida crucial para a tomada de decisão no manejo de florestas (Schneider, 1993). Contudo, a sua medição se constitui de um processo árduo e oneroso, ao levar em conta todos os indivíduos presentes. Por isso, nos inventários florestais, a prática comum é medição do DAP de todas as árvores e Ht de algumas, sendo as demais Ht estimadas (Andrade *et al.*, 2023).

A análise de regressão empregada em modelos estatísticos que descrevem o crescimento da Ht em função do DAP é conhecida como modelo hipsométrico (Andrade *et al.*, 2023). A confiabilidade da altura estimada por modelos hipsométricos são apresentadas por vários autores, como nos estudos de Mendonça *et al.* (2015), Nicoletti *et al.* (2016) e Souza *et al.* (2016). Contudo, a grande maioria desses estudos envolvem as espécies do gênero *Eucalyptus* e *Pinus*, sendo que apenas alguns trabalhos como o de Mendonça *et al.* (2018) avaliam o uso de modelos hipsométricos em espécies nativas.

Barros *et al.* (2002) mencionam que vários modelos matemáticos podem adequar-se a relação hipsométrica, mas o seu uso indiscriminado pode acarretar em vieses nas estimativas. Esses erros são ocasionados basicamente por efeitos da posição sociológica, sítio, idade, densidade e práticas silviculturais adotadas (Barros *et al.*, 2002). Portanto, vale citar sobre modelos tradicionais e modelos genéricos, também chamados de modelos locais e modelos regionais. Os modelos tradicionais se caracterizam pela relação da altura com apenas uma variável independente, geralmente o DAP. Enquanto os modelos genéricos, são aqueles que incorporam outras variáveis que expressam relação com a altura, como a idade (I), área basal (G), altura dominante (hd) e índice de sítio (S) (Andrade *et al.*, 2023).

Incorporar outras variáveis ao modelo pode aumentar as estatísticas de precisão, como observado nos estudos de Ribeiro *et al.* (2010) e Miranda *et al.* (2014). Mas, a coleta e

processamento de informações adicionais do inventário, além do DAP, pode tornar a atividade ainda mais dispendiosa, com o risco de não ter significância para o ajuste do modelo. Os testes estatísticos avaliam cada coeficiente associado a determinadas variáveis. Portanto, torna-se relevante a testagem de vários modelos, sejam eles tradicionais ou genéricos, para ajustar à relação hipsométrica de cada espécie.

## **2.5 *Bixa orellana* L.**

A *Bixa orellana*, popularmente conhecida como urucum, pertence à família Bixaceae, é uma espécie nativa do Brasil e não endêmica (Elias *et al.*, 2002), originária da América Tropical (Joly, 2002). Ela está distribuída em todos os estados do país e no Distrito Federal, com ocorrência natural nos domínios da Amazônia, Cerrado e Mata Atlântica, não limitada a outros biomas devido ao seu amplo cultivo (Antar, 2024).

A espécie tem forma de vida caracterizada em árvore ou arvoreta, pioneira e de crescimento rápido, alcançando até 5 m de altura, com intensa ramificação na base e esgalhada (Antar; Lozano; Sano, 2020; Barbieri *et al.*, 2011). Suas folhas são simples, alternas, levemente cordiformes a ovalado-lanceoladas, grandes, de coloração verde ou violácea, glabras na face adaxial e pilosa na abaxial, com pelos escamosos e adpressos, além de possuir nervação do tipo actinódromo perfeito (Falesi, 1987; Carreira *et al.*, 2022). De acordo com Kato *et al.* (1991) a sua dispersão e polinização é causada precipuamente por vento e insetos, com alto percentual de autopolinização.

O fruto do urucum é caracterizado como uma cápsula de coloração vermelha a marrom, envolta por pequenos espinhos moles, a depender do estágio de desenvolvimento (Mendes; Figueiredo; Silva, 2006), onde encontram-se em seu interior uma média de 46 sementes por fruto (Mantovani *et al.*, 2013). As sementes são recobertas por um típico arilo de pigmento vermelho, formado basicamente pelos carotenoides bixina e norbixina (Mercadante; Pfander, 1998; Jako *et al.*, 2002; Kiokias; Gordon, 2003; Soares *et al.*, 2011), muito utilizados para produção de corante (colorau) e de corantes para indústrias têxteis, farmacêuticas e alimentícias (Fabri, 2015).

A espécie possui importância nacional sob o aspecto cultural e econômico, bem como para as comunidades locais da Amazônia, cujo os indígenas, por exemplo, a utilizam como repelente, condimento e pigmento para pinturas corporais (Falesi, 1987). Também, a *B. orellana* tem ampla utilização, inclusive devido suas propriedades farmacológicas, com estudos sobre seus atributos antimicrobianos, antibacterianos e antioxidantes (Costa, 2007; Majolo;

Carvalho; Wiest, 2013). Portanto, diante de seu vasto uso e alto valor comercial, a espécie torna-se importante mundialmente (Valério *et al.*, 2015), com plantios no Peru, México, Equador, Indonésia, Quênia e outras áreas do leste da África (Elias *et al.*, 2002; Costa *et al.*, 2013).

Quando se trata de um cultivo de urucum, pode-se considerar que a espécie é destinada à produção não madeireira. Logo, ao se tratar de produtividade, o foco é voltado aos seus frutos e sementes. Nesse contexto, em uma avaliação de diferentes genótipos por meio de frutos e produtividade de sementes, Mantovani *et al.* (2013) encontraram um resultado de 41,5 a 50,6 para o número médio de sementes por fruto. De acordo com Satyanaryana *et al.* (2003), os frutos são produzidos a partir do terceiro ano do plantio e podem render de 300 a 900 quilos por hectare, a depender do ambiente. O estudo de Mantovani *et al.* (2013) caracteriza a influência do genótipo sob a produção da espécie, contudo, sabe-se que o ambiente também afeta tal condição, principalmente ao se relacionar à disponibilidade hídrica e tratos silviculturais, como poda e adubação.

Sobre o aspecto econômico, a demanda por corantes naturais é alta, o que impulsiona o Brasil a ser um grande produtor, com destaque para os estados de Minas Gerais e São Paulo, abastecendo a maior parte do mercado interno e externo com urucum (Mercadante; Steck; Pfander, 1997; Fabri, 2015). Nesse contexto, para garantir a produção, a técnica mais viável de propagação é por sementes, devido a fatores operacionais e monetários (Dias *et al.*, 2017). Porém, a propagação vegetativa também é possível através da enxertia e estaquia, sendo que este último pode alcançar resultados de até 90% de enraizamento (Mantovani *et al.*, 2010).

Os plantios de *B. orellana* não exigem solos muito férteis, mas para um aumento de produtividade, recomenda-se o cultivo em solos profundos, permeáveis e bem drenados, pois a espécie não tolera solos encharcados (Franco *et al.*, 2008). A espécie se desenvolve bem em diferentes condições climáticas, contudo, existem parâmetros hídricos e energéticos para o alcance de seu potencial máximo. De acordo com Aparecido (2018), os indivíduos de *B. orellana* têm tolerância a stress hídrico, crescem, florescem e frutificam o ano todo. Além disso, a condição ideal para seu crescimento consiste de temperatura entre 22 e 27 °C e precipitação anual maior que 1200 mm, distribuída uniformemente.

Ainda sobre as características silviculturais da espécie, o espaçamento de plantio também é um fator importante para produção. Sabe-se que a determinação de um espaçamento é baseada no tipo de solo, na cultivar e na disponibilidade hídrica. Desse modo, os espaçamentos mais utilizados são os de 6 x 5 m e 6 x 4 m, totalizando 333 e 417 plantas por hectare respectivamente (Carreira *et al.*, 2022).

Para concluir, sabe-se que o plantio de *B. orellana*, além de ser comum na agricultura (Vilares *et al.*, 1992), pode ser utilizado em projetos de restauração florestal (Santos; Agostini; Nocelli, 2013). Tal possibilidade, é impulsionada por sua atividade e intensidade da floração, subanual, que promove a disponibilidade de recursos para visitantes florais, e conseqüentemente, aumenta a reprodução dessa e outras espécies na área a ser restaurada (Santos; Agostini; Nocelli, 2013). Assim sendo, a *B. orellana* pode ser capaz de recompor a vegetação e até gerar alguma renda ao produtor.

## **2.6 *Psidium guajava* L.**

Pertencente à família Myrtaceae, a espécie *Psidium guajava*, vulgarmente conhecida como goiabeira, é uma árvore pioneira, frutífera e de pequeno porte (Koller, 1979), que pode atingir até 6 m de altura em pomares adultos. Nativa da América do Sul, foi espalhada por todas as regiões tropicais do mundo em decorrência da sua fácil dispersão, combinada às navegações e exploração europeia (Risterucci *et al.*, 2005). No Brasil, ela é considerada naturalizada com ocorrência nos domínios da Amazônia, Cerrado, Mata Atlântica e Pampa (Tuler; Costa; Proença; 2024).

As folhas da goiabeira são opostas, simples, de formato elíptico-oblongo, subcoriáceas, de 8 a 12 cm de comprimento e 3 a 6 cm de largura. Possui raízes superficiais, tronco e galhos tortuosos, com casca fina e descamante, de coloração pardo-avermelhada (Lorenzi, 2008). Segundo Medina *et al.* (1991), em regiões de clima tropical, as goiabeiras podem florescer e frutificar o ano todo, contanto que tenha água o suficiente para seu desenvolvimento. Por outro lado, em regiões com estações bem definidas, os períodos de floração e frutificação são mais atrelados a temperatura, umidade e radiação solar. Suas flores são hermafroditas e de coloração branca, podendo surgir em botões florais únicos ou em grupos de duas ou três flores (Gonzaga Neto; Soares, 1994). De acordo com Gonzaga Neto (2007), para uma produção homogênea e melhor aceitação comercial, sugere-se a manutenção de botões florais isolados. Quando há ocorrência de botões em grupos, é observado que nem sempre todos eles frutificam, além que os botões laterais tem qualidade inferior em comparação ao botão central.

A polinização de indivíduos de *Psidium guajava* é do tipo fecundação cruzada e necessita de um inseto para a sua ocorrência. Dessa forma, o principal inseto responsável pela polinização das goiabeiras é a abelha *Apis mellifera*. Entretanto, estudos demonstram que a autofecundação é preponderante na forma de fecundação da goiabeira (Gonzaga Neto *et al.*, 2001; Soubihe Sobrinho; Gurgel, 1962). Posterior a polinização e a fecundação, sabe-se que o

pegamento final dos frutos é de aproximadamente 20%, ao levar em conta a relação entre a quantidade de botões florais e o número de frutos devidamente colhidos (Pereira, 1995).

Os frutos da goiabeira são descritos como do tipo baga, sendo que a variedade é determinante na sua coloração e forma (Gonzaga Neto; Soares, 1994). Sob tal aspecto, a frutificação tem início do segundo ao terceiro ano após o plantio, com pomar estabelecido através de sementes (Gonzaga Neto *et al.*, 2001). Por outro lado, a propagação assexuada, via enxertia, é capaz de estabelecer um pomar adulto com 7 a 8 meses de idade (Gonzaga Neto *et al.*, 2001). Gonzaga Neto e Soares (1994) asseguram que é promissora a retirada da primeira florada, pois esta não apresentará ganhos comerciais e, além disso, essa operação auxiliará a condução da copa da árvore.

A colheita depende dos estágios de maturação dos frutos, os quais são: primeiro estágio (45 a 60 dias de rápido crescimento em período quente); segundo estágio (30 a 60 dias de crescimento lento em temperaturas mais amenas, com amadurecimento e endurecimento das sementes); terceiro estágio (em torno de 30 dias de crescimento exponencial em diâmetro do fruto, com mudança de coloração de verde para amarelo) (Rathore, 1976). No total, a depender da variedade e da região de plantio, a colheita do fruto em terceiro estágio pode ocorrer em torno de 130 dias (Gonzaga Neto; Soares, 1994). Um problema enfrentado na produção de goiabas é a queda dos frutos, que pode ser um tanto expressiva e geralmente ocasionado por pássaros, fatores climáticos, ataque de nematoides e distúrbios fisiológicos (ITAL, 1988).

Atualmente, a goiaba é uma fruta tropical de grande importância econômica e social, sendo insumo para produção de polpas, sucos, néctares, sorvetes, geleias e compotas. É fonte de fibras, vitaminas A, B e C, alto teor de açúcar e teores significativos de fósforo, potássio, ferro e cálcio (Da Silva *et al.*, 2010). Logo, para destacar a importância econômica da goiaba no Brasil, vale citar que a quantidade produzida em 2021 foi de 552.393 toneladas, resultando em um valor total de 973.137 mil reais (IBGE, 2021).

É de suma importância conhecer as variedades de goiabas, pois estas estão intimamente ligadas à aceitação e demanda da sociedade. Não ligadas somente às características dos frutos, essas também têm influência sobre o formato da copa, produtividade e época de produção (Barbosa; Lima, 2010). Cada destino industrial e diferentes mercados tem o seu parâmetro associado à variedade, como para produção de polpas ou até mesmo para consumo in natura. Nesse sentido, o mercado brasileiro tem preferência para as variedades de coloração avermelhada (Paluma; Pedro Sato; Rica; Sassaoka; Surubim), enquanto o mercado externo opta pela coloração branca (Kumagai; White Selection of Florida; Banaras) (Gonzaga Neto, 2007).

Sabe-se que a *P. guajava* se desenvolve em altitudes desde o nível do mar até aproximadamente 1700 m, a qual sua condição ótima é mais ligada aos fatores de solo, temperatura, umidade, precipitação e radiação solar (Gonzaga Neto; Soares, 1994). Diante disso, o solo propício ao estabelecimento das goiabeiras é um solo areno-argiloso, profundo, bem drenado, com elevado teor de matéria orgânica e pH entre 5,5 e 6 (Gonzaga Neto; Soares, 1994). *P. guajava* não tolera solos encharcados ou áreas pantanosas, os quais podem resultar em plantas propensas a doenças e subdesenvolvidas (Pereira; Martinez Junior, 1986).

Quanto ao clima, a goiabeira tolera temperaturas mais altas, com efeito limitante encontrado nas mínimas absolutas. Para Koller (1979), temperaturas abaixo de 12°C são fortemente prejudiciais ao crescimento vegetativo e produtividade. A temperatura ideal consiste do intervalo entre 25° a 28°C (Teixeira; Gonzaga Neto; Moura, 2001), sendo a média anual de 25°C considerada ótima para o cultivo. A umidade também é de grande importância para o cultivo de *P. guajava*, sendo que a faixa ideal, segundo Pereira (1995) se encontra entre 75 e 80%, e valores mais altos se associam a um maior vigor, quando não ocorrem altas temperaturas, pois a combinação de alta temperatura e umidade pode propiciar a proliferação de fungos (Gonzaga Neto, 1990). Nesse contexto, em regiões quentes, como no semi-árido nordestino, a cultura tende a ser influenciada pela umidade relativa do ar mais baixa que, de certo modo, aumenta a evapotranspiração e conseqüentemente um maior consumo de água pela planta (Gonzaga Neto; Soares, 1994).

Exigente quanto a água, a precipitação média anual mais adequada ao seu desenvolvimento é de aproximadamente 1.000 mm, sendo distribuída ao longo de todo o ano (Maranca, 1981; Koller, 1979). Em regiões com estação seca que se prolonga por mais de 5 meses, a goiabeira apresenta somente uma produção por ano. Também é importante que não haja excesso de água, tampouco precipitação que se estenda por todo o período vegetativo (Rathore, 1976).

Outro fator importante ao estabelecimento da espécie é a radiação solar. Ela está intrinsecamente ligada ao clima e ao local de inserção, com grande relevância nos processos fotossintéticos, que conseqüentemente incidem sobre a floração e frutificação das árvores (Teixeira; Gonzaga Neto; Moura, 2001). De acordo com Rathore (1976), altos níveis de radiação solar podem gerar maiores teores de ácido ascórbico e açúcar nos frutos. A intensidade solar considerada de máxima valor para fotossíntese em goiabeiras é de  $925 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ . Nesse contexto, a incidência sobre as folhas depende da sua posição. Logo, folhas mais abaixo do dossel e sombreadas recebem menos fonte luminosa, o que pode levar à aceleração do processo de maturação e a queda das folhas (Teixeira; Gonzaga Neto; Moura, 2001).

Como conhecido em plantas, em seu processo de fotossíntese, a radiação fotossinteticamente ativa é estabelecida entre 400 a 700 nm (Finch *et al.*, 2004). Pereira (1995) assegura que baixos valores de radiação solar culminam em produções inferiores, com morte de alguns ramos. Assim, associada à dinâmica de absorção de luz, a arquitetura da copa das árvores tem grande influência no desenvolvimento e produção (Teixeira; Gonzaga Neto; Moura, 2001). Ramos inferiores, por exemplo, têm produção reduzida e com frutos de baixa qualidade que acabam atuando como drenos de fotoassimilados, competindo com ramos mais produtivos e que deveriam gerar frutos de melhor qualidade (Teixeira; Gonzaga Neto; Moura, 2001). Portanto, a condução de podas é extremamente importante para o manejo das goiabeiras.

A poda é uma operação que consiste em proporcionar a planta uma arquitetura de copa adequada e funcional, de modo a favorecer a obtenção de frutos e facilitar os tratamentos fitossanitários, além de escalonar a produção e padronizar o cultivo para melhor qualidade possível (Barbosa; Lima, 2010). Essa operação pode ser dividida em poda de formação, poda de frutificação e poda de limpeza (Gonzaga Neto; Soares, 1995).

A poda de formação orientará a copa na maneira desejada (Gonzaga Neto; Soares, 1995). Dessa forma, após o plantio, quanto as plantas atingem altura de 50 a 60 cm, deve ser realizado o corte do meristema apical ou ponteiro, deixando apenas 3 a 4 ramos primários distribuídos separadamente no tronco, a partir dos seus últimos 20 a 30 cm (Gonzaga Neto; Soares, 1995). Posteriormente, esses ramos primários vão amadurecer e deverão ser cortados para ficarem com um comprimento de 50 a 60 cm. A partir dessa poda dos ramos primários, a copa pode crescer à vontade, sendo necessário cortar eventualmente alguns ramos que crescem muito próximos ao tronco (Barbosa; Lima, 2010).

Sobre a poda de frutificação, sua execução permite a colheita de frutos nas épocas planejadas pelo produtor (Gonzaga Neto; Soares, 1995). Ressalta-se que as flores de *P. guajava* surgem apenas em brotos maduros e em qualquer época do ano (Barbosa; Lima, 2010). Logo, tal poda é significativa, pois ao eliminar esses brotos com gemas aptas à produção busca-se uma concentração da produtividade na época desejada e com maior intensidade ou frutificações esparsas pelo tempo, em continuidade (Barbosa; Lima, 2010). Assim, a poda de frutificação é dividida em poda drástica ou contínua, além de variar em função da época e intensidade (Barbosa; Lima, 2010). No trabalho de Gonzaga Neto (2007), é relatado que essa prática silvicultural deve ser executada seguindo princípios fisiológicos associados ao transporte e acúmulo de seiva bruta e elaborada, bem como substâncias hormonais requeridas na floração e frutificação, descritos por Kawati (1997) e Piza Júnior (1994).

Quando houver frutificação excessiva, é auspiciosa a realização da poda de limpeza ou raleio, para se buscar uniformidade quanto ao tipo, classe e peso final dos frutos deixados na planta (Gonzaga Neto; Soares, 1995). A poda de limpeza é realizada principalmente quando a goiaba será destinada ao consumo in natura (Barbosa; Lima, 2010). Na poda de limpeza também é visada a eliminação de frutos danificados, com sinais de pragas e doenças (Barbosa; Lima; 2010).

Para concluir os aspectos silviculturais da espécie, a definição do espaçamento e da marcação do terreno são importantes fatores na produção de goiaba (Gonzaga Neto; Soares, 1995), uma vez que influi sobre toda a produção, inclusive nos tratos como a poda. Os espaçamentos mais utilizados são o 8 x 5 m ou 6 x 5 m em arranjos de retângulos, como nas áreas irrigadas do Nordeste (Gonzaga Neto; Soares, 1995), ou arranjo em quadrado com espaçamentos de 4 x 4 m ou 5 x 5 m (Gonzaga Neto *et al.*, 2001). Nesse sentido, quanto mais adensado o espaçamento, maior será a quantidade de árvores por área, porém isso pode gerar uma menor quantidade de frutos de qualidade elevada (Barbosa; Lima, 2010). Um estudo de Brar, Bal e Singh (2009), testou diferentes espaçamentos com relação à distribuição de radiação solar em pomares de goiaba e concluiu que o espaçamento 6 x 4 m foi o melhor, devido ao maior valor em absorção de radiação solar, o qual influi sobre a maior taxa de frutificação e qualidade de frutos.

Por fim, vale citar o uso promissor de *P. guajava* na restauração florestal. Campos e Martins (2016) avaliaram a regeneração natural de uma área com sete anos, em processo de restauração florestal, no município de Barroso (MG). Seus resultados apontaram que a área se apresenta heterogênea, mas com baixa diversidade de espécies, sendo que a goiabeira (*Psidium guajava*) possui grande número de indivíduos e está entre as espécies com maior valor de importância (VI) na área, o que indica o seu potencial na formação de um banco de plântulas e certa dominância no estrato regenerante. Logo, através de sua fácil dispersão, é possível recompor a vegetação, atrair a fauna, e ainda se tem a possibilidade de coleta de frutos para o benefício do proprietário rural.

## **2.7 *Schinus terebinthifolia* Raddi**

*Schinus terebinthifolia* é uma árvore nativa do Brasil, de nome popular aroeira pimenteira e pertencente à família Anacardiaceae. Ela pode ser localizada de norte a sul do país, nos domínios fitogeográficos do Cerrado, Mata Atlântica, Caatinga e Pampa (Silva-Luz *et al.*, 2024). Nesse sentido, sobre distribuição, a aroeira está presente em regiões com altitudes desde

o nível do mar até elevações de 2000 m (Carvalho, 2003). Pertencente ao grupo sucessional das pioneiras (Durigan *et al.*, 1997), sua forma de vida varia de arbusto a árvore perenifólia (Carvalho, 2003), sendo muito encontrada em vegetações secundárias, como capoeirinhas, capoeirões e floresta secundária (Carvalho, 2003).

Quanto às características morfológicas, um indivíduo adulto pode alcançar até 15 m de altura e 60 cm de DAP, porém quando jovens têm em média de 5 a 10 m de altura (Neves *et al.*, 2016) e 10 a 30 cm de diâmetro (Carvalho, 2003). Para a caracterização da aroeira pimenteira, tal árvore é descrita com um tronco tortuoso e que se ramifica intensamente na base, a qual apresenta comportamento plagiotrópico (Neves *et al.*, 2016). Sua casca é escura, rugosa, áspera, sulcada e escamosa. Suas folhas são compostas, alternas, glabras e imparipinadas com destaque para a presença de raque alada como característica marcante em sua identificação. As folhas podem conter margens lisas ou serradas, com base obtusa e ápice agudo (Carvalho, 2003). Suas flores possuem coloração branco-amareladas e branco-esverdeadas (Neves *et al.*, 2016). Em continuidade, os frutos de *S. terebinthifolia* dão origem a um produto muito desejado pelo mercado, a pimenta rosa, os quais são do tipo drupa, em formato globoso, de tamanho pequeno e com exocarpo friável, com coloração avermelhada (Neves *et al.*, 2016). Junto ao fruto, suas sementes são reniformes e únicas por fruto, as quais apresentam um envoltório liso, de coloração amarelo-clara com funículo fibroso preso ao tegumento de polpa oleosa (Neves *et al.*, 2016).

No que diz respeito à biologia reprodutiva, a *S. terebinthifolia* é caracterizada por plantas dioicas (Sá *et al.*, 1996; Neves *et al.*, 2016), e com flores díclinas (Neves *et al.*, 2016). Desse modo, as abelhas, como a *Apis mellifera*, são agentes primordiais para que a polinização aconteça (Carvalho, 2003). Quanto a sua fenologia, a floração ocorre de maneira irregular, ao qual, um estudo de Santos, Agostini e Nocelli (2013) observaram que ela pode acontecer até duas vezes ao ano, em um padrão subanual. Também, conforme exposto por Carvalho (2003), tal floração é dita precoce, podendo ocorrer a partir do primeiro ano do plantio. A frutificação também é irregular, variando muito de uma planta para outra, o que dificulta a determinação de uma época fixa para sua ocorrência. Além disso, seus frutos permanecem durante longos períodos presos à planta, o que dificulta ainda mais a determinação de uma época exata de frutificação (Carvalho, 2003). Sendo assim, sua principal forma de dispersão é a zoocórica (Carvalho, 2003).

Segundo Carvalho (2003), a aroeira-pimenteira ocorre nos mais variados tipos de solo, sem exigências quanto a fertilidade química. Por outro lado, quanto às propriedades físicas, de um solo adequado ao seu desenvolvimento, a espécie sofre com terrenos inundados, assim o

ideal são solos bem drenados ou regulares quanto a esse quesito (Neves *et al.*, 2016). Tolerante à déficit hídrico, precipitação média anual de 700 a 2700 mm é suficiente para *S. terebinthifolia* (Neves *et al.*, 2016). Para a temperatura média anual, ideal ao desenvolvimento da árvore, tem-se o intervalo de 13,2 °C a 27 °C (Carvalho, 2003). Ainda, a árvore suporta um certo número de geadas ao longo do ano, dependendo da intensidade, a qual é relatado uma superação média de zero a trinta geadas, com 100% de mortalidade para um número de 57 geadas, observado na região sul do país (Carvalho, 2003).

Por ser uma espécie heliófila (Inoue; Galvão, 1986), recomenda-se o plantio a pleno sol (Carvalho, 2003) e posterior condução como uma espécie frutífera (Neves *et al.*, 2016), já que sua madeira não é muito utilizada. Desse modo, os espaçamentos mais viáveis estão entre 4,5 m x 4,5 m a 6 m x 6 m (Neves *et al.*, 2016). Silva e Torres (1992) avaliaram as variáveis dendrométricas de espécies variadas, incluindo a *S. terebinthifolia*, plantadas ao redor de obras hidrelétricas da Companhia Paranaense de Energia (COPEL), e observaram que em espaçamentos mais adensados, como o 2,5 m x 2,5 m, muito utilizados em plantios de restauração, a *S. terebinthifolia* se desenvolveu satisfatoriamente em altura e diâmetro, além de ter uma baixa mortalidade. Também, é relatado um exemplo de sucesso do crescimento da aroeira pimenteira na restauração através do estudo de Pozzan *et al.* (2020), os quais avaliaram diferentes modelos de plantio e atributos funcionais de espécies nativas junto à floresta de araucária.

Sob o aspecto da produtividade de frutos, importante para o interesse econômico da espécie, indivíduos em fragmentos de floresta nativa de Sergipe produziram em média 2,170 Kg/planta (Souza *et al.*, 2013). No mesmo trabalho de Souza *et al.* (2013), é descrito que coletores da comunidade local alcançam cerca de 4 a 6 Kg de frutos ao ano. Além disso, segundo Neves *et al.* (2016), um plantio experimental em Sooretama, no Espírito Santo, produziu aproximadamente 0,63 Kg por planta, sob influência de adubação de NPK em cobertura.

A colheita dos frutos de *S. terebinthifolia* é dividida em três operações (Neves *et al.*, 2016): o corte de galhos, a catação dos frutos maduros; derriça dos galhos. Para o corte dos galhos, primeiramente é aparado cerca de um terço dos galhos mais finos, onde ocorrem a maior produção de frutos (Neves *et al.*, 2016). Posterior ao corte dos galhos finos, são cortados os galhos mais grossos e ambos são colocados nas entrelinhas próximo à planta, em cima de sacos (Neves *et al.*, 2016). A segunda operação é a de catação dos frutos maduros de forma manual, selecionando somente os frutos que passaram da coloração verde para róseo-vermelha-viva (Carvalho, 2003). Após a seleção detalhada dos frutos, é feita a derriça, que consiste em deslizar

a mão ao longo dos galhos cortados a fim de retirar as folhas e frutos restantes, selecionar os frutos semimaduros e colocá-los junto aos maduros (Neves *et al.*, 2016). Vale lembrar que a forma de colheita está sempre sujeita a adaptações e otimizações, sendo que a apresentada aqui é a mais comum.

No Brasil, a *S. terebinthifolia* é comumente usada em projetos de restauração ecológica (Pozzan *et al.*, 2020; Silva *et al.*, 2016). Seu emprego nessas ações é justificado pelo fato de ser uma espécie pioneira, que apresenta alta plasticidade de colonização, para o estabelecimento em solos úmidos, secos, arenosos e argilosos (Lenzi; Orth, 2004). Tem caráter agressivo, competitivo, com tolerância higromórfica, e muito atrativa à avifauna, o que contribui para dispersão de sementes e regeneração natural da área (Kageyama; Gandara, 2000). Por conseguinte, com as técnicas silviculturais adequadas, seu potencial pode ser expandido, além de garantir um meio sustentável aos produtores rurais.

## **2.8 Fisiologia da frutificação em sistemas florestais**

Inserir espécies frutíferas em meio a um componente florestal que tem o objetivo de restauração e esperar um retorno produtivo é um tanto complexo. É necessário um estudo prévio sobre as particularidades de cada espécie escolhida para a implantação com múltiplas propostas (Coelho; De Oliveira, 2009; Stahl; Pearsall, 2012; Karungi *et al.*, 2015). Tal questão envolve o ideótipo arbóreo (Aguiar Júnior *et al.*, 2021), a morfologia e fisiologia da planta, de forma a esperar uma boa produtividade, com qualidade dos produtos e serviços (Coelho; De Oliveira, 2009; Stahl; Pearsall, 2012; Karungi *et al.*, 2015). O ideótipo arbóreo é entendido como a forma de escolha da espécie para um determinado sistema, com a função de alcançar a melhor produtividade esperada naquele ambiente de inserção (Donald, 1968).

O fato é que existem diversos princípios fisiológicos envolvidos que podem acarretar em baixa produtividade ou nenhuma frutificação. Dessa forma, as interações entre as espécies que compõem o sistema devem ser muito bem compreendidas e manejadas para que os objetivos sejam alcançados.

As interações entre diferentes espécies, bem como seus efeitos sobre a fisiologia vegetal são muito estudadas no âmbito de sistemas agroflorestais (SAF). Nestes sistemas, o silvicultor deve planejar adequadamente o modelo de implantação. Nesse sentido, Aguiar Júnior *et al.* (2021) realizaram um trabalho de revisão bibliográfica com interessantes considerações sobre ideótipo arbóreo, o qual descreve características morfológicas da copa, tronco e raízes que incidem sobre o sucesso da implantação de um SAF. Logo, sem desconsiderar as questões

edáficas e climáticas (Aguiar Júnior *et al.*, 2021), é notório que as interações ecológicas entre os componentes de um SAF podem afetar de forma positiva ou negativa o desenvolvimento das plantas integrantes do sistema (Atangana *et al.*, 2014), ao levar em conta a competição por recursos como água e nutrientes.

A planta se desenvolve absorvendo água e nutrientes do solo por meio de suas raízes, resultando na seiva bruta (Pes; Arenhardt, 2015). Essa seiva é conduzida até as folhas, onde integrará o processo de fotossíntese, responsável por gerar a seiva elaborada (Pes; Arenhardt, 2015). Também, parte da água obtida pelo solo é empregada pelas folhas para realizar o processo respiratório (Pes; Arenhardt, 2015).

No processo de fotossíntese, a luz é um componente vital para que haja a transformação de glicose e água em energia e biomassa. A biomassa compõe o crescimento vegetativo da planta em ramos e folhas, conseqüentemente, quanto mais folhas houver, maior será a maquinaria de produção de fotoassimilados (Scarpate Filho; Medina; Silva, 2011). Quando há o acúmulo de fotoassimilados, a planta floresce e, posteriormente, frutifica, direcionando suas energias do crescimento vegetativo para a produção de frutos (Scarpate Filho; Medina; Silva, 2011).

Características como espaçamentos inadequados, idade, porte das árvores e arquitetura de copa são capazes de comprometer o desenvolvimento de espécies agrícolas e a produção de frutos, pois podem aumentar o sombreamento (Aguiar Júnior *et al.*, 2021) o que incide na maior competição por recursos e torna o sistema incapaz de produzir frutos ao decorrer do tempo (Aguiar Júnior *et al.*, 2021). Uma maior competição por recursos faz com que a planta invista suas reservas em crescimento vegetativo, não restando acúmulos para a frutificação (Scarpate Filho; Medina; Silva, 2011). Diante disso, devem ser planejadas as podas, sejam elas de formação, frutificação ou limpeza (Scarpate Filho; Medina; Silva, 2011).

Finalmente, é relevante citar alguns princípios fisiológicos interligados à frutificação, os quais são: I) excesso de crescimento vegetativo reduz a quantidade de frutos; II) existe uma relação direta entre o desenvolvimento da copa e o sistema radicular; III) as condições de clima e solo afetam o vigor e a fertilidade das gemas de frutificação; IV) ramos que recebem mais luz são mais produtivos e apresentam maior circulação de seiva (Fachinello; Nachtigal; Kersten, 2008).

### 3 OBJETIVOS

Objetivou-se avaliar o padrão de crescimento de três espécies frutíferas em um plantio sob processo de restauração florestal. Além disso, são objetivos específicos:

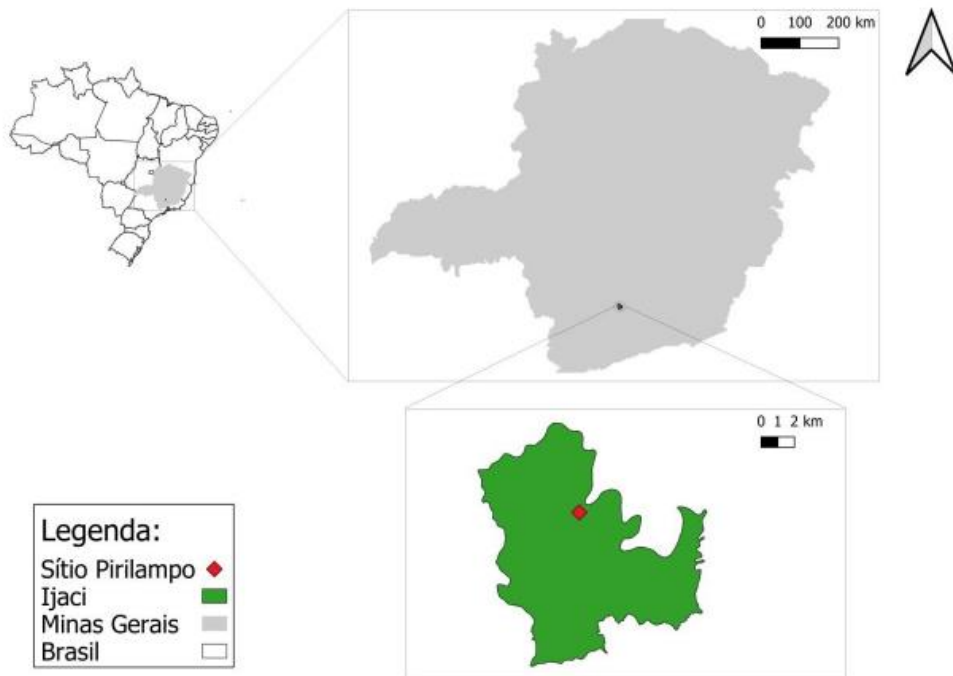
- (i) descrever o crescimento de *B. orellana*, *P. guajava* e *S. terebinthifolia* ao longo do tempo de análise e avaliar o desenvolvimento dessas espécies, ligado à expectativa de frutificação;
- (ii) testar e ajustar modelos hipsométricos que melhor descrevam a relação da altura em função do diâmetro para as espécies de interesse.
- (iii) analisar a competição presente entre as espécies-alvo e outras espécies utilizadas no plantio de restauração florestal e assim elaborar propostas para que se obtenha uma implantação favorável à frutificação, com vistas a aumentar o incentivo à restauração.

## 4 MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1 Local de estudo

A pesquisa foi conduzida em um plantio de recomposição florestal de Reserva Legal de uma propriedade rural denominada Sítio Pirilampo, localizada no município de Ijaci (MG) ( $21^{\circ} 09' 26.60''\text{S}$  e  $44^{\circ} 56' 07.15''\text{O}$ ) (Figuras 1 e 2). O clima da região é tido como *Cwa*, de acordo com classificação de Koeppen, além de ser temperado úmido com verão chuvoso e inverno seco (Alvares *et al.*, 2013). A temperatura média anual é de  $20,4^{\circ}\text{C}$  e a precipitação total anual é de 1460 mm, conforme Dantas, Carvalho e Ferreira (2007), com dados observados no período de 1991 a 2004. Dentro do perímetro do Sítio Pirilampo o relevo é ondulado, com cotas altimétricas que variam de 852 a 905 metros. O tipo de solo do local é um Latossolo Vermelho Escuro, ligeiramente ácido, consideravelmente fértil, com alta disponibilidade de K, Ca e Mg, além de uma adequada saturação por bases ( $V = 64,48\%$ ) (Tabela 1). A região está localizada em uma zona de transição entre Cerrado e Mata Atlântica (Myers *et al.*, 2000), com predominância de ocorrência da Floresta Estacional Semidecidual (IBGE, 2004).

Figura 1 - Localização da área experimental.



Fonte: Torres (2022).

Figura 2 - Demarcação da área em restauração florestal, localizada no Sítio Pirlampo, em Ijaci (MG).



Fonte: Do autor (2024).

Tabela 1 - Resultado da análise de solo. Amostras coletadas em profundidades de 0 a 20 e de 20 a 40 cm e encaminhadas ao Laboratório de Fertilidade e Física do Solo, do Departamento de Ciência do Solo da Universidade Federal de Lavras (UFLA).

Parâmetros	Unidades	Amostras	
		0-20	20-40
pH	-	6,4	6,2
K	mg/dm <sup>3</sup>	127,7	89,29
P		2,63	1,77
Ca	cmol/dm <sup>3</sup>	3,54	2,91
Mg		1,52	1,3
Al		0,04	0,07
H+Al		3	4,13
SB	cmolc/dm <sup>3</sup>	5,39	4,44
t		5,43	4,51
T		8,39	8,57
V	%	64,48	53,04
m		0,8	1,56
P-Rem	mg/L	23,17	18,69
Zn	mg/dm <sup>3</sup>	2,62	-
Cu		1,23	-
B		0,08	-

Fonte: Torres (2022).

Em períodos anteriores à implantação de restauração florestal, a utilização da área era focada na cultura cafeeira. Após esse uso, o local ficou em um período de repouso, com posterior cultivo de nabo forrageiro (*Raphanus sativus* L.) para proteção do solo e adubação

verde. Assim, o histórico do solo da área onde foi feito o plantio consiste em boas práticas de manejo e conservação de suas capacidades físicas e químicas.

## 4.2 Restauração florestal

A área total destinada à restauração florestal tem 3,19 ha. Para início do processo, foi feito o controle de formigas cortadeiras em área total usando iscas formicidas à base de sulfuramida. Em seguida, foi feita a gradagem do solo em área total com uso de grade acoplada a um trator. Além disso, foi feita a subsolagem até 60 cm de profundidade para o preparo das linhas de plantio e melhora das qualidades físicas do solo. Junto ao uso do subsolador no preparo do solo, foram aplicados  $300 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$  de fosfato natural, sendo incorporado 90 g por metro linear, concomitante à subsolagem. Preparados os berços de plantio, foram aplicados 150 g de superfosfato simples em cada um deles e distribuídas as mudas.

As mudas utilizadas no plantio foram produzidas no Viveiro Florestal da Universidade Federal de Lavras (Lavras, MG), em um total de 40 espécies, sendo possível destacar algumas que possuem potencial econômico, como: *Guazuma ulmifolia* (Silva; Rodrigues; Oliveira Junior, 2020); *Cordia trichotoma* (Wille *et al.*, 2017); *Astronium urundeuva* (Medrado; Carvalho, 1998); *Schizolobium parahyba* (Bortoletto Junior; Belini, 2002); *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (Maneschy; Santana; Veiga, 2010); *Zeyheria tuberculosa*; *Hymenaea courbaril*; *Peltophorum dubium*; *Anadenanthera colubrina*; *Lecythis pisonis*; *Cedrela fissilis*; *Araucaria angustifolia* (Campos Filho; Sartorelli, 2015). Além das citadas que possuem potencial econômico voltado principalmente para a produção madeireira, também existem algumas frutíferas com interesse econômico, na composição do plantio, que serão o foco deste estudo, sendo elas *Bixa orellana*, *Psidium guajava* e *Schinus terebinthifolia*. No momento do plantio, as mudas apresentavam, em média, de 3 a 5 mm de diâmetro do coleto e 15 a 30 cm de altura, a depender da espécie. A Tabela 2 apresenta a lista de todas as espécies utilizadas no plantio, que ocorreu em janeiro de 2018.

Tabela 2 - Lista de espécies implantadas na restauração florestal do Sítio Pirilampo (Continua).

<b>Família</b>	<b>Nome científico</b>	<b>Nome popular</b>	<b>Grupo sucessional</b>	<b>Interesse</b>
Anacardiaceae	<i>Astronium urundeuva</i>	aroeira-do-sertão	pioneira	P/E
Anacardiaceae	<i>Schinus terebinthifolia</i>	aroeira-pimenteira	pioneira	P/E
Apocynaceae	<i>Aspidosperma parvifolium</i>	guatambu	pioneira	P
Araucariaceae	<i>Araucaria angustifolia</i>	araucária	pioneira	P/E
Bignoniaceae	<i>Handroanthus impetiginosus</i>	ipê-roxo	não pioneira	P
Bignoniaceae	<i>Jacaranda mimosifolia</i>	jacaranda-mimoso	não pioneira	P
Bignoniaceae	<i>Zeyheria tuberculosa</i>	ipê-felpudo	não pioneira	P/E
Bixaceae	<i>Bixa orellana</i>	urucum	pioneira	P/E
Cannabaceae	<i>Trema micranthum</i>	trema	pioneira	P
Cordiaceae	<i>Cordia trichotoma</i>	louro-pardo	pioneira	P/E
Euphorbiaceae	<i>Croton urucurana</i>	sangra-d'água	pioneira	P
Euphorbiaceae	<i>Croton floribundus</i>	capixingui	pioneira	P
Euphorbiaceae	<i>Joannesia princeps</i>	cotieira	pioneira	P
Fabaceae	<i>Anadenanthera colubrina</i>	angico-vermelho	pioneira	P/E
Fabaceae	<i>Enterolobium contortisiliquum</i>	tamboril	pioneira	P
Fabaceae	<i>Inga sp.</i>	ingá/ingazeiro	pioneira	P
Fabaceae	<i>Machaerium nyctitans</i>	bico-de-pato	pioneira	P
Fabaceae	<i>Peltophorum dubium</i>	angico-amarelo	pioneira	P/E
Fabaceae	<i>Piptadenia gonoacantha</i>	pau-jacaré	pioneira	P
Fabaceae	<i>Hymenaea courbaril</i>	jatobá	não pioneira	P/E
Fabaceae	<i>Schizolobium parahyba</i>	guapuruvu	pioneira	P/E
Fabaceae	<i>Schizolobium parahyba</i> var. <i>amazonicum</i>	paricá	pioneira	P/E
Fabaceae	<i>Senegalia polyphylla</i>	monjoleiro	pioneira	P
Fabaceae	<i>Senna multijuga</i>	cassia-verrugosa	pioneira	P
Lecythidaceae	<i>Lecythis pisonis</i>	sapucaia	não pioneira	P/E
Lythraceae	<i>Lafoensia pacari</i>	dedaleiro	não pioneira	P
Malvaceae	<i>Ceiba speciosa</i>	paineira	não pioneira	P
Malvaceae	<i>Guazuma ulmifolia</i>	mutamba	pioneira	P/E
Malvaceae	<i>Luehea divaricata</i>	açoita-cavalo	não pioneira	P
Meliaceae	<i>Cedrela fissilis</i>	cedro-rosa	não pioneira	P/E
Moraceae	<i>Ficus sp.</i>	figueira	não pioneira	P
Myrtaceae	<i>Eugenia uniflora</i>	pitanga	não pioneira	P/E
Myrtaceae	<i>Psidium cattleianum</i>	araçá	não pioneira	P
Myrtaceae	<i>Psidium guajava</i>	goiabeira	pioneira	P/E

Tabela 2 - Lista de espécies implantadas na restauração florestal do Sítio Pirilampo (Conclusão).

Família	Nome científico	Nome popular	Grupo sucessional	Interesse
Phytolaccaceae	<i>Gallesia integrifolia</i>	pau-d'alho	não pioneira	P
Polygonaceae	<i>Triplaris americana</i>	pau-formiga	pioneira	P
Salicaceae	<i>Casearia sp.</i>	espeto	pioneira	P
Solanaceae	<i>Solanum granulosoleprosum</i>	gravitinga	pioneira	P
Urticaceae	<i>Cecropia sp.</i>	embaúba	pioneira	P
Verbenaceae	<i>Citharexylum myrianthum</i>	pau-viola	pioneira	P

Legenda: P – espécie destinada à preservação; P/E – espécie voltada à preservação, mas também com interesse econômico.

Fonte: Do autor (2024).

O espaçamento utilizado foi de 3 x 1,5 m (área útil de 4,5 m<sup>2</sup> por planta), o que resultou em um total de 2222 árvores por hectare. A manutenção da área de plantio foi realizada por meio do controle de formigas cortadeiras e de plantas daninhas, principalmente as herbáceas, como as do gênero *Urochloa*. O controle de formigas cortadeiras continua sendo realizado por meio da aplicação de iscas formicidas. Enquanto isso, o controle de plantas daninhas foi feito principalmente até o fechamento do dossel, de forma mecânica através de roçadas, capinas e coroamentos sempre que necessário.

### 4.3 Coleta de dados

A coleta de dados foi realizada ao final do 1º, 2º, 3º e 5º ano de idade. Foram mensurados o diâmetro à altura do peito (DAP, medido a 1,3 m acima do nível do solo), com uso de suta, e a altura total (Ht) de todos os indivíduos de todas as espécies presentes na área. No plantio, a população de cada espécie-alvo foi: 56 indivíduos de *Bixa orellana*; 148 de *Psidium guajava*; 154 de *Schinus terebinthifolia*.

Nos dois primeiros anos, a mensuração da altura foi feita com régua graduada e nos demais anos, com régua telescópica. Além disso, em cada coleta de dados em campo, foi identificado se a espécie estava em período de frutificação ou não, para as três espécies de interesse.

Nos três primeiros anos de coleta de dados, também foram mensuradas as áreas de copa de 11 espécies que apresentam maior densidade na área, com uma intensidade amostral de 12

indivíduos por espécie. Esses dados de copa foram importantes para o presente estudo para a simulação da projeção de copa nas linhas de plantio e sombreamento de árvores vizinhas, o que caracteriza o aumento da competição por luz solar. A medição de área de copa foi feita diretamente no campo, com auxílio de uma bússola, trena e um gabarito quadrado. Foram mensurados os comprimentos de oito raios de cada árvore selecionada, na direção dos pontos cardeais e colaterais. Entre um raio e outro era disposto um ângulo de 45°. A fórmula 1 descreve a maneira de calcular a área de copa através dos dados obtidos em campo.

$$AC = \frac{[(X_1 \cdot X_2) \cdot \text{sen}(45^\circ) + (X_2 \cdot X_3) \cdot \text{sen}(45^\circ) + \dots + (X_8 \cdot X_1) \cdot \text{sen}(45^\circ)]}{2} \quad (1)$$

Sendo: AC = área de copa em metros quadrados; X<sub>1</sub> = comprimento (m) do raio da árvore na direção norte; X<sub>2</sub> = comprimento (m) do raio da árvore na direção nordeste; X<sub>3</sub> = comprimento (m) do raio da árvore na direção leste; X<sub>8</sub> = comprimento (m) do raio da árvore na direção noroeste.

#### 4.4 Análise de dados

Os dados de crescimento em DAP e Ht das três espécies de interesse foram organizados, tratados e apresentados por valores de máximo, mínimo, média, variância, desvio padrão e coeficiente de variação. Foram construídos gráficos de distribuição de frequência para as classes diamétricas e de altura. Os dados de DAP foram utilizados para extrair a informação da área seccional (g) de todos os indivíduos presentes. Também, foi calculado o incremento médio anual (IMA) aos cinco anos e o incremento corrente anual (ICA) para cada intervalo de medição, sendo o último ICA dividido por dois, já que aos quatro anos do plantio não foi realizada a coleta de dados.

Para as espécies com maior densidade na área foram apresentados apenas as médias de DAP e Ht, a título de comparação com as espécies-alvo. Seus dados de copa foram apresentados por médias e utilizados em simulação com ilustração. A simulação de área de copas e sombreamento se deu por meio de planta baixa projetada com auxílio do software AutoCad.

#### 4.5 Modelagem do crescimento para as espécies arbóreas frutíferas de interesse

Foi realizada a análise de regressão da relação hipsométrica, usando o software R (R Core Team, 2024), com o teste de oito modelos, sendo sete modelos tradicionais e um genérico com a inclusão da variável idade (I) (Tabela 3). Foi verificada a normalidade dos dados através do teste Shapiro Wilk, e quando não atendida a normalidade, realizou-se a transformação da variável predita por meio do método Box-Cox, a fim de tentar alcançar esse requisito estatístico.

Tabela 3 - Modelos hipsométricos testados para as três espécies de interesse, implantadas na área em restauração florestal.

(1)	Genérico – Barros <i>et al.</i> (2002)	$\ln Ht_i = \beta_0 + \beta_1(1/DAP) + \beta_2(1/I) + \beta_3 \frac{1}{DAP * I} + \varepsilon_i$
(2)	Linear	$Ht_i = \beta_0 + \beta_1(DAP) + \varepsilon_i$
(3)	Assmann	$Ht_i = \beta_0 + \beta_1 \frac{1}{DAP^2} + \varepsilon_i$
(4)	Henriksen	$Ht_i = \beta_0 + \beta_1 \ln(DAP) + \varepsilon_i$
(5)	Parabólico	$Ht_i = \beta_0 + \beta_1(DAP) + \beta_2(DAP^2) + \varepsilon_i$
(6)	Curtis	$\ln Ht_i = \beta_0 + \beta_1 \frac{1}{DAP} + \varepsilon_i$
(7)	Stoffels	$\ln Ht_i = \beta_0 + \beta_1 \ln(DAP) + \varepsilon_i$
(8)	Silva (1980)	$\ln Ht_i = \beta_0 + \beta_1 \ln(DAP) + \beta_2 \left(\frac{1}{DAP}\right) + \varepsilon_i$

Legenda: DAP - diâmetro (cm) a 1,30 m de altura ao nível do solo; Ht - altura total em metros; I – idade das árvores; ln: logaritmo neperiano.

Fonte: Do autor (2024).

Para o ajuste do modelo 1, com inclusão da variável idade, foram utilizadas todas as observações do mesmo conjunto de árvores em diferentes idades. Isso significa que há dependência entre as observações das mesmas árvores ao longo do tempo, o que pode introduzir vieses nas estimativas devido à correlação entre as observações de um mesmo indivíduo. Essa condição pode gerar subestimação dos erros padrão e dependência temporal que torna os coeficientes de regressão viesados.

A abordagem utilizada para contornar o fato da dependência entre as observações das mesmas árvores ao longo do tempo no modelo 1 foi agrupar os erros padrão em clusters (clustered standard errors), levando em consideração a correlação entre DAP e Ht das mesmas árvores em diferentes idades. A função “vcovCL” do pacote “sandwich” em combinação com a função “coefTest” do pacote “lmtest” em linguagem R, transforma os erros padrão em dados

mais precisos com inferências estatísticas mais confiáveis a respeito da significância dos parâmetros do modelo. Os demais modelos utilizaram apenas os dados referentes ao quinto ano do plantio.

Após a análise, foram destacados os modelos que se ajustaram adequadamente para cada espécie, seguindo todos os pressupostos estatísticos estabelecidos. Os pressupostos para validação dos modelos devem ser todos atendidos e em ordem de relevância foram: os parâmetros foram significativos; os resíduos do modelo para a variável  $y$  apresentaram distribuição normal pelo teste de Shapiro Wilk ( $p$  valor  $> 0,05$ ); menor erro quadrático médio relativo (RMSE); menor erro padrão residual (Syx %); maior coeficiente de determinação ajustado ( $R^2$  aj.).

Por último, além da avaliação preliminar das estatísticas de precisão dos modelos, foi feita a análise gráfica da dispersão dos valores estimados e a análise gráfica dos erros, para definir qual modelo realmente foi considerado o melhor.

#### 4.6 Análise da competição

Para avaliar o efeito de árvores vizinhas sobre o crescimento das espécies arbóreas frutíferas de interesse, foram calculados índices de competição. Tais índices demonstram quantitativamente a influência da competição por recursos naturais sobre as três espécies. Foram utilizados dois índices de competição independentes da distância, o Basal Area Larger (BAL) (Stage, 1973) e o Índice de Glover e Hool (IGH) (Glover; Hool, 1979). As fórmulas 2 e 3 demonstram a maneira de calcular tais índices.

$$BAL = \sum_{j=1}^{n_j} g_j \quad (2)$$

Sendo:  $n_j$  - número de árvores com circunferência à altura do peito maior que a árvore principal;  
 $g_j$  - área seccional em  $m^2$ .

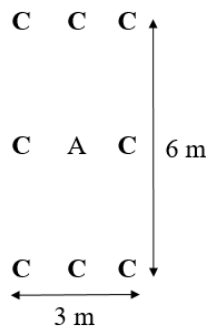
$$IGH = \frac{d_i^2}{\bar{d}^2} \quad (3)$$

Sendo:  $d_i^2$  - diâmetro da árvore-alvo, em centímetros, elevado ao quadrado -  $\bar{d}$ : diâmetro médio das árvores vizinhas, em centímetros, elevado ao quadrado,.

Para essa análise foi realizada uma amostragem aleatória estratificada, com intensidade amostral de 21 indivíduos para *B. orellana*, 37 indivíduos para *P. guajava*, e 19 indivíduos para *S. terebinthifolia*, controlando a posição sociológica de árvores com menor DAP, DAP médio e DAP alto dentro da população de cada espécie.

Cada árvore-alvo está contida em uma parcela de 6 x 3 m. Dessa forma, as árvores competidoras são todas aquelas presentes dentro da área dessas parcelas, ao redor da árvore-alvo, conforme ilustra a Figura 3.

Figura 3 - Representação da parcela de uma árvore-alvo (A) e suas árvores vizinhas competidoras (C).



Fonte: Do autor (2024).

Após calcular os índices, os valores encontrados foram submetidos à análise de correlação de Pearson, a fim de verificar como o DAP se comporta em relação à competição e medir o grau dessa relação.

#### 4.7 Propostas para plantios de restauração florestal, com base nos resultados alcançados

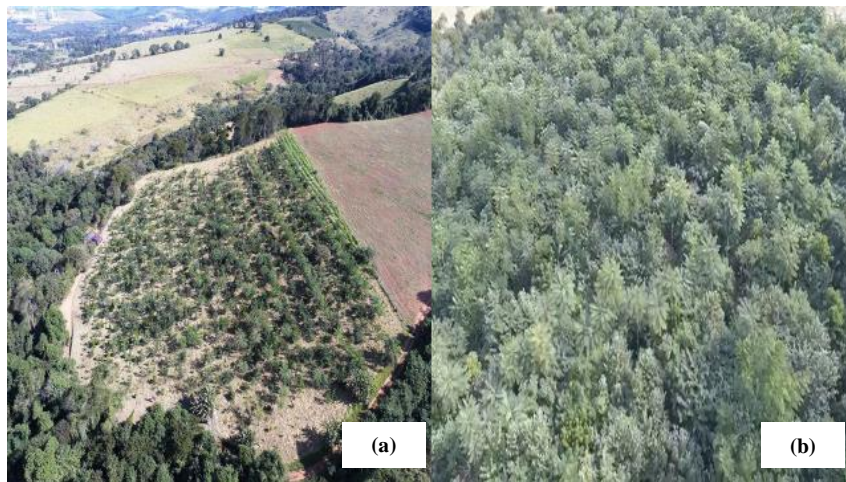
Por fim, de posse de todas as informações e análises realizadas, foram propostos modelos de plantio de restauração florestal, tendo as espécies *B. orellana*; *P. guajava* e *S. terebinthifolia* como componentes do sistema, com intuito de facilitar a produção de frutos.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 Crescimento e desenvolvimento das espécies frutíferas de interesse

Após cinco anos da realização do plantio, as espécies *B. orellana*, *P. guajava* e *S. terebinthifolia*, juntamente com as outras espécies implantadas, cumpriram com o objetivo principal de recobrir o solo e recompor a vegetação da área, conforme pode ser observado na Figura 4, com fechamento do dossel sendo observado já aos três anos.

Figura 4 - Vista aérea da área experimental.



Legenda: (a) Vista aérea da cobertura vegetal do plantio de restauração florestal em Ijaci aos dois anos. (b) Vista aérea da cobertura vegetal do plantio de restauração florestal em Ijaci aos três anos.

Fonte: Do autor (2024).

O bom desenvolvimento das espécies implantadas pode estar atrelado às práticas silviculturais adotadas, ao histórico de uso da área e às características relacionadas ao solo. A adubação verde com nabo forrageiro, por exemplo, pode ter influenciado no crescimento das espécies no plantio.

Sobre o uso de nabo forrageiro, Krenchinski *et al.* (2018), estudaram o seu efeito sob sistema de plantio direto. Os autores concluíram que o plantio de nabo forrageiro em consórcio com aveia preta proporcionou uma cobertura à camada superficial do solo e apresentou potencial para aumentar a produtividade de soja, principalmente após o segundo ano no sistema de plantio direto. Tais plantas de cobertura de inverno possuem raízes capazes de prover melhorias físicas do solo enquanto crescem (Müller *et al.*, 2001; Silva; Rosolem, 2002; Cardoso *et al.*, 2014). Somado às melhorias físicas do solo, existem os resíduos deixados, que gradualmente liberam nutrientes como N, P, Ca e S (Crusciol *et al.*, 2008), os quais favorecerão o crescimento das plantas, seja em diâmetro, altura e biomassa.

Recobrir o solo, evitar a aceleração de processos erosivos, aumentar a biodiversidade e restabelecer a resiliência do ambiente são questões precípuas da restauração florestal, evidenciados através de monitoramentos (Mantovani *et al.*, 2011). Para isso, são fundamentais, a escolha das espécies a serem utilizadas (Chazdon, 2014) e a forma de as dispor na área em restauração (Rodrigues; Brancalion; Isernhagen, 2009; Trentin *et al.*, 2018).

Algumas características como o crescimento em altura, diâmetro e área de copa são interessantes para os objetivos do plantio estudado, pois indicam a potencialidade de uso das espécies empregadas, assim como exposto por Pilon e Durigan (2013). De forma geral, os atributos desejáveis foram encontrados nas espécies utilizadas referentes à Tabela 2, e podem ser observados com o fechamento do dossel apresentado na Figura 4b. Portanto, pode-se dizer que até o momento, o plantio foi efetivo para o primeiro estágio da restauração ecológica. Os demais objetivos da ação podem ser realmente confirmados por monitoramentos futuros, que permitirão indicar a ocorrência da sucessão ecológica, informações sobre biodiversidade de fauna e flora, além de confirmar a resiliência do ambiente.

A partir de uma visão da ecologia funcional, as espécies frutíferas de interesse cumpriram o papel das pioneiras no processo de sucessão ecológica. Até o momento, são poucos os estudos que analisam pontualmente essas espécies, em especial sobre suas características ligadas ao setor florestal. Essas espécies são mais empregadas na fruticultura e por isso o foco sobre elas é mais voltado à produção não madeireira, sempre com manejo que as diferencia do crescimento natural em uma área nativa ou sem manejo. Dessa forma, torna-se importante analisar seu desenvolvimento em área de restauração florestal, devido ao potencial de produção de frutos, que pode incentivar a ação.

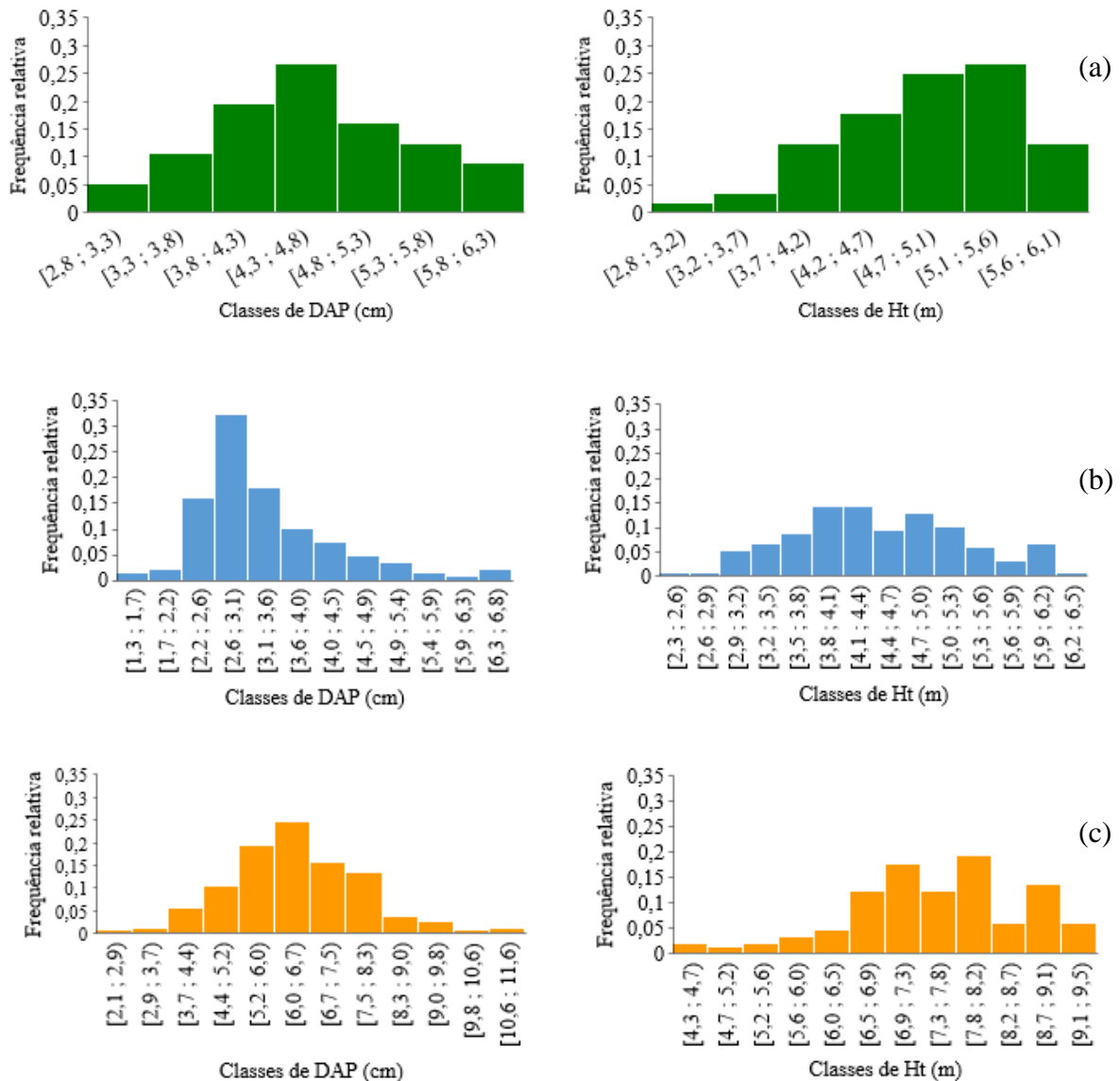
Em um estudo que envolve a *P. guajava*, Lourenço (2016) a descreve como uma espécie indicada para a restauração, devido à atração da fauna por seus frutos (Colmanetti *et al.*, 2013), o que promove a dispersão da própria espécie e, possivelmente, das demais ao seu redor. A espécie *S. terebinthifolia* apresenta cerca de 87% de atributos desejáveis em projetos de restauração, os quais incluem uma alta taxa de sobrevivência e crescimento, seja em altura ou diâmetro de copa (Pozzan *et al.*, 2020). Souza e Piña-Rodrigues (2013), utilizaram a *B. orellana* como uma espécie renovadora de fertilidade em um SAF, em um plantio com duas mudas por cova. Seus resultados apontam para a complexidade de um sistema com múltiplas espécies, mas ao mesmo tempo, concluem que a *B. orellana* pode auxiliar no crescimento das árvores ao redor.

Contudo, conduzir ou plantar uma grande quantidade de espécies pioneiras, como as frutíferas de interesse, pode comprometer o futuro da restauração. Isso porque as espécies desse

grupo sucessional podem chegar ao estágio de senescência mais precocemente e reduzir a população (Rodrigues; Monteiro; Cullen Júnior, 2010), prejudicando o equilíbrio local. Essas também têm a possibilidade de apresentar características de invasoras, com dominância no estrato florestal, conforme indicado por Campos e Martins (2016) sobre a *P. guajava*, ou caráter agressivo, conforme exposto por Kageyama e Gandara (2000) a respeito da *S. terebinthifolia*, impedindo o crescimento de plântulas de outras espécies.

Referente ao presente estudo em Ijaci, a população das espécies de interesse aos cinco anos após plantio e os seus dados em classes de DAP e Ht, são apresentados pela Figura 5.

Figura 5 - Distribuição de frequência para as classes de DAP e Ht das populações de *B. orellana* (a), *P. guajava* (b) e *S. terebinthifolia* (c) aos cinco anos de idade na área em restauração.



Fonte: Do autor (2024).

A partir da Figura 5, tem-se uma percepção sobre os resultados de DAP e Ht mais registrados no plantio aos cinco anos. Essa informação, juntamente com a média, é relevante para inferir sobre o comportamento das espécies com o efeito do ambiente em questão. Para *B. orellana*, os dados de DAP observados com maior frequência estão na classe de 4,3 a 4,8 cm, enquanto para a Ht a classe com maior frequência foi a de 5,1 a 5,6 m. Para *P. guajava*, a classe de DAP com maior frequência foi de 2,6 a 3,1 cm, enquanto para a Ht, os dados observados mais frequentes estão entre 3,8 a 4,4 m. A *S. terebinthifolia* apresentou maior frequência de DAP para a classe de 6,0 a 6,7 cm e maior frequência de Ht para a classe de 7,8 a 8,2 m.

A princípio, sabe-se que naturalmente a *B. orellana* e *P. guajava* são espécies de pequeno a médio porte, enquanto a *S. terebinthifolia* pode alcançar porte mais elevado em indivíduos adultos e isolados. Porém, é válido relatar como se dá o crescimento dessas espécies em um ambiente em restauração florestal. As medidas de posição e dispersão das variáveis biométricas, pertencentes à *B. orellana*, *P. guajava* e *S. terebinthifolia* aos cinco anos após o plantio são apresentadas na Tabela 4. O baixo coeficiente de variação (CV%) indica homogeneidade do crescimento das populações no plantio. Cabe destacar as médias registradas de DAP, de 4,6 cm para *B. orellana*, 3,4 cm para *P. guajava* e 6,4 cm para *S. terebinthifolia*.

Tabela 4 - Medidas de posição e dispersão de variáveis biométricas das três espécies arbóreas de interesse aos cinco anos após o plantio para restauração florestal, Ijaci (MG).

<b>Espécie</b>	<b>Variável</b>	<b>Máx.</b>	<b>Mín.</b>	<b><math>\bar{y}</math></b>	<b>S<sup>2</sup></b>	<b>S</b>	<b>CV (%)</b>
<i>B. orellana</i>	DAP (cm)	6,0	3,1	4,6	0,64	0,8	17,3
	Ht (m)	5,8	3,0	4,8	0,44	0,7	14,4
<i>P. guajava</i>	DAP (cm)	12,7	1,5	3,4	1,44	1,2	35,7
	Ht (m)	6,2	2,5	4,4	0,72	0,8	18,1
<i>S. terebinthifolia</i>	DAP (cm)	11,0	2,5	6,4	2,22	1,5	23,3
	Ht (m)	9,3	4,5	7,5	1,21	1,1	14,6

Legenda: Máx.: valor máximo para a variável; Mín.: valor mínimo para a variável;  $\bar{y}$ : valor médio para a variável; S<sup>2</sup>: variância; S: desvio padrão; CV (%): coeficiente de variação.

Fonte: Do autor (2024).

De maneira comparativa, Souza e Piña-Rodrigues (2013), observaram em um Sistema Agroflorestal, indivíduos de *B. orellana* com uma média de 3,6 m de Ht e 4,13 cm de DAP aos quatro anos. Em comparação com plantios comerciais, tem-se que a *B. orellana* avaliada no presente estudo obteve a média de altura dentro do intervalo encontrado na literatura, de 2 a 4 m (Carreira *et al.*, 2022), e o seu DAP geralmente não é avaliado em plantios comerciais, pois a espécie apresenta um comportamento arbustivo em grande parte de sua vida e, além disso não é destinada para fins madeiros. Vale lembrar, que em plantios comerciais, a ideia é manter a altura das plantas reduzida, para facilitar a coleta de frutos.

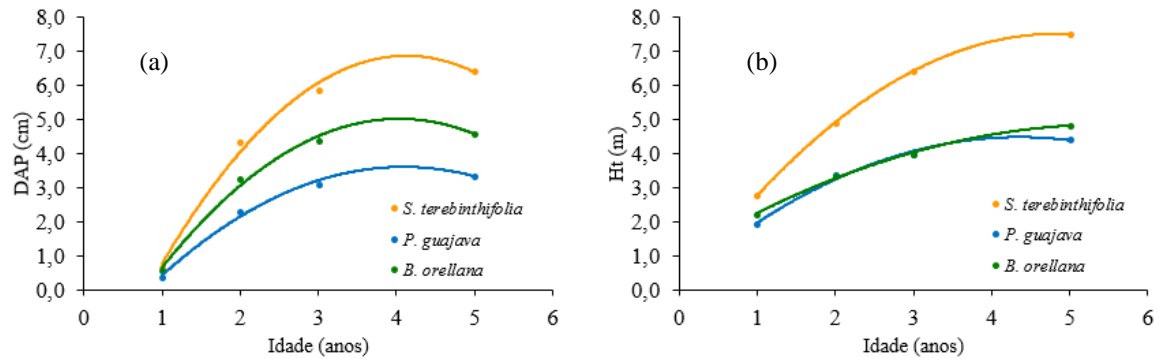
Para *P. guajava*, por ser comumente empregada na fruticultura, são poucos os trabalhos que citam sobre o diâmetro da árvore, sendo a altura uma variável biométrica mais utilizada devido a sua influência na operação de manejo e coleta de frutos. Gonzaga Neto *et al.* (2001) citam que em pomares adultos a goiabeira pode atingir de 3 a 6 m de altura. Sobre o DAP, Vendruscolo *et al.* (2022) encontraram valores de 4,9 cm a 22,4 cm para árvores isoladas em calçadas de áreas urbanas. Em comparação com plantios comerciais, observou-se, neste estudo, que os indivíduos de *P. guajava* obtiveram altura dentro do intervalo citado por Gonzaga Neto *et al.* (2001), mas com baixos valores de DAP, indicando um certo estiolamento das árvores.

Sobre a *S. terebinthifolia*, ao comparar com plantios comerciais, descritos por Neves *et al.* (2016), as árvores do presente estudo apresentaram altura dentro do intervalo de 5 a 10 m para indivíduos jovens, porém o seu DAP se mostrou abaixo do esperado, que seria de 10 a 30 cm (Carvalho, 2003). Esse resultado indica um estiolamento das plantas em busca de luz, com pausa no crescimento em diâmetro e investimento em altura para buscar a altura do dossel. Esse comportamento não ocorre em plantios comerciais, ou em árvores isoladas, porque não existem árvores competidoras de outras espécies na mesma área, que crescem mais rapidamente e fecham o dossel, colocando a *S. terebinthifolia* em condição de sombra.

Para as espécies analisadas, os menores valores de DAP podem ser explicados por um elevado sombreamento, forçando as espécies presentes no sub-bosque, que não toleram sombra, a investirem no crescimento em altura em detrimento de outras variáveis. Nesse sentido, sabe-se que o diâmetro é fortemente influenciado pela competição (Swaine, 1994), ao passo que a altura responde mais à entrada vertical de luz solar (Baker; Swayne; Burslem, 2003).

Também é possível analisar o padrão de crescimento das espécies-alvo, ao longo do tempo, por meio da representação gráfica das médias das variáveis biométricas, conforme apresentado pela Figura 6. Nesta figura, verifica-se uma redução na taxa de crescimento onde a inclinação das linhas de tendência começa a reduzir, que pode ser ocasionada principalmente por fatores do ambiente de inserção da planta, além das características naturais de crescimento dessas espécies.

Figura 6 - Tendência de crescimento em DAP e Ht para as espécies *B. orellana*, *P. guajava* e *S. terebinthifolia*, expresso pelas médias ao longo do tempo.



Fonte: Do autor (2024).

Ao analisar as linhas de tendência das Figuras 6(a) e 6(b), nota-se que a partir dos três anos o crescimento do DAP das três espécies tende a reduzir, enquanto a Ht continua a aumentar. Essa condição revela influências externas agindo sobre o crescimento normal dessas árvores. Em geral, por se tratar de um plantio de restauração, as espécies-alvo tiveram a sua Ht bem próximas ao encontrado na literatura, mas com ênfase para plantios comerciais. Por outro lado, para o DAP foi detectado que seu crescimento foi um pouco comprometido, essencialmente a partir do terceiro ano.

Outra forma de avaliar essa redução do crescimento influenciada pelo ambiente é através dos incrementos correntes anuais (ICA), que representam a diferença dos valores de um ano para o outro. O incremento médio anual (IMA) também é relevante para as discussões do ramo florestal, mas neste contexto ele pode mascarar determinadas inferências em questões pontuais. A Tabela 5 apresenta os valores de ICA e IMA para DAP e Ht das três espécies-alvo.

Tabela 5 - ICA e IMA para DAP e Ht das três espécies-alvo do estudo.

Espécie	Variável	ICA 1	ICA 2	ICA 3	ICA 4	IMA
<i>B. orellana</i>	DAP (cm)	0,6	2,7	1,1	0,1	0,9
	Ht (m)	2,2	1,1	0,7	0,4	1,0
<i>P. guajava</i>	DAP (cm)	0,4	1,9	0,8	0,1	0,7
	Ht (m)	1,9	1,5	0,6	0,2	0,9
<i>S. terebinthifolia</i>	DAP (cm)	0,7	3,7	1,5	0,3	1,3
	Ht (m)	2,8	2,1	1,5	0,5	1,5

Fonte: Do autor (2024).

Dos incrementos registrados, vale destacar os IMA de *S. terebinthifolia* que são os maiores dentre as três espécies estudadas, crescendo em média 1,3 cm de diâmetro e 1,5 m de altura por ano, até os cinco anos. Para essa mesma espécie, é possível observar que o período

de maior crescimento em Ht foi até o primeiro ano com ICA 1 de Ht igual a 2,8 m, e para o DAP entre os anos dois e um, com ICA 2 de DAP igual a 3,7 cm. Para deduzir sobre o efeito da condição ambiental imposta sobre as árvores frutíferas, basta verificar o ICA 4 das três espécies, os quais apresentam redução do incremento em comparação aos outros períodos.

Com intuito de complementar os resultados anteriores, a Tabela 6 apresenta as médias de Ht e DAP encontradas para as demais espécies, que possuem maior densidade de indivíduos no plantio, incluindo as frutíferas de interesse.

Tabela 6 - Médias das variáveis Ht e DAP das espécies com maior densidade na área, ao longo dos cinco anos após o plantio.

Espécies	Ht (m)				DAP (cm)			
	.....Ano.....				.....Ano.....			
	1	2	3	5	1	2	3	5
<i>Anadenanthera colubrina</i>	2,4	5,2	7,9	11,5	0,7	7,2	10,8	14,4
<i>Astronium urundeuva</i>	3,1	5,1	6,3	7,8	0,6	4,2	5,6	6,2
<i>Bixa orellana</i>	2,2	3,3	4,0	4,8	0,6	3,3	4,4	4,6
<i>Cordia trichotoma</i>	2,4	5,0	6,6	8,0	0,8	5,9	8,0	8,2
<i>Enterolobium contortisiliquum</i>	1,9	2,6	3,1	3,6	0,6	3,4	4,2	4,2
<i>Guazuma ulmifolia</i>	4,2	6,9	9,2	11,5	1,9	11,3	15,0	17,9
<i>Hymenaea courbaril</i>	1,5	3,1	4,2	5,5	0,3	2,6	3,3	4,2
<i>Joanesia princeps</i>	3,0	5,4	7,5	10,1	1,3	8,0	11,0	13,4
<i>Peltophorum dubium</i>	3,1	5,6	7,6	9,3	1,3	7,4	9,5	10,9
<i>Psidium guajava</i>	1,9	3,4	4,0	4,4	0,4	2,3	3,1	3,4
<i>Schinus terebinthifolia</i>	2,8	4,9	6,4	7,5	0,7	4,4	5,9	6,4
<i>S. parahyba var. amazonicum</i>	5,0	9,8	12,2	14,4	3,6	16,3	20,3	25,5
<i>Schizolobium parahyba</i>	4,7	7,7	10,7	13,9	2,3	12,9	17,8	25,7
<i>Zeyheria tuberculosa</i>	1,4	3,4	4,8	6,7	0,7	4,5	6,1	6,9

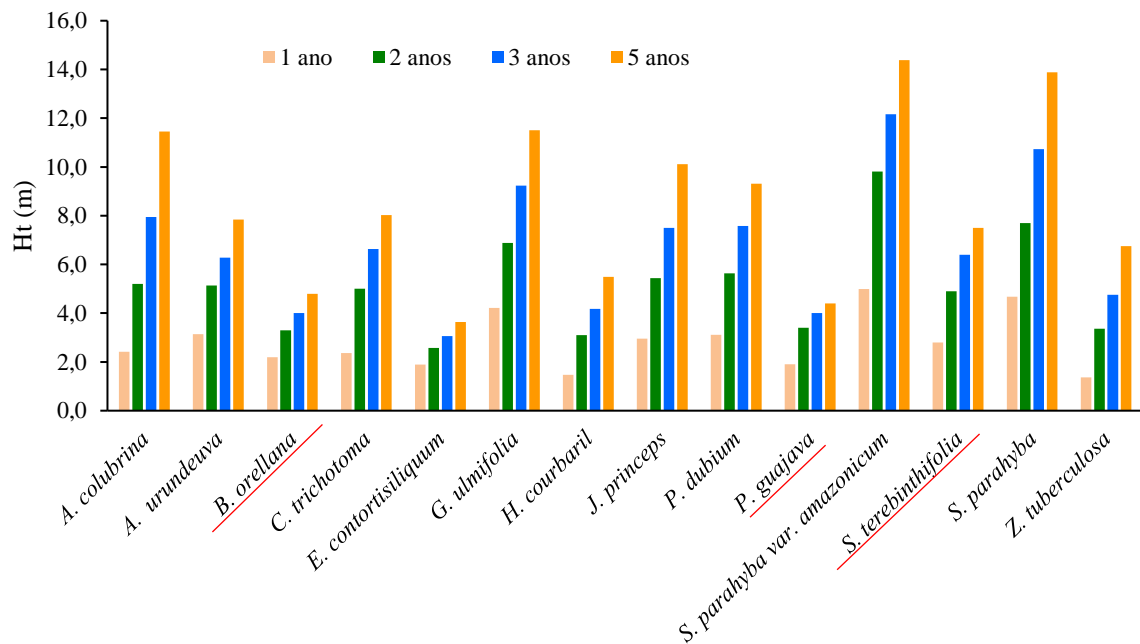
Fonte: Do autor (2024).

Cabe destacar os expressivos valores médios de Ht, aos cinco anos de idade, encontrados para *Anadenanthera colubrina* (11,5 m), *Guazuma ulmifolia* (11,5 m), *Joanesia princeps* (10,1 m), *S. parahyba var. amazonicum* (14,4 m) e *Schizolobium parahyba* (13,9 m). Enquanto isso, para valores médios de DAP, os maiores valores são pertencentes às mesmas espécies com maior altura, o que demonstra a conhecida relação de crescimento entre as duas variáveis, assim como mencionado por Roman, Bressan e Durlo (2009).

Também, para uma análise gráfica, a Figura 7 demonstra as médias de Ht das espécies de maior densidade no plantio ao longo dos cinco anos. A partir dessas observações, fica evidente que as espécies frutíferas de interesse possuem menor porte em comparação com as outras árvores plantadas. Portanto, com o espaçamento utilizado de 4,5 m<sup>2</sup> por planta, a grande

maioria dos indivíduos de *S. terebinthifolia*, *P. guajava* e *B. orellana* serão sombreados logo no terceiro ano após a implantação.

Figura 7 - Padrão de crescimento em altura média para as espécies de maior densidade na área em restauração florestal, incluindo as espécies *B. orellana*, *P. guajava* e *S. terebinthifolia*.



Fonte: Do autor (2024).

Todas as espécies com elevada densidade na área de estudo, com exceção de *E. contortisiliquum* e *H. courbaril* são mais altas que as frutíferas. Estas árvores mais altas reduzem a chegada de luz solar para as espécies de menor porte, comprometendo o seu desenvolvimento e forçando-as a tomar estratégias de adaptação, como o fenômeno SAS, mencionado por Ballaré (2014), situação em que a planta ativa fotorreceptores que a direcionam para um investimento em altura em busca de luz solar.

Com objetivo de relacionar o desenvolvimento das espécies de interesse ao fechamento do dossel, a análise isolada das alturas das árvores implantadas não é suficiente para comprovações mais precisas. Por isso, as áreas de copa das árvores com maior densidade no plantio foram mensuradas nos três primeiros anos e os resultados encontrados estão dispostos na Tabela 7. Vale destacar as espécies com as médias mais altas para as áreas de copa, logo ao terceiro ano após o plantio, tais como: *Anadenanthera colubrina* (43,33 m<sup>2</sup>), *Guazuma ulmifolia* (42,43 m<sup>2</sup>) e *Schizolobium parahyba var. amazonicum* (40,63 m<sup>2</sup>).

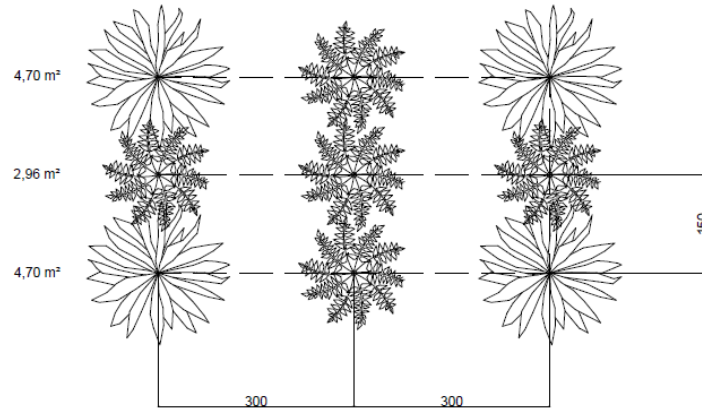
Tabela 7 - Médias das áreas de copa de árvores inseridas no local de estudo.

Espécies	Copa (m <sup>2</sup> )		
	Idade (anos)		
	1	2	3
<i>Anadenanthera colubrina</i>	2,85	21,96	43,33
<i>Astronium urundeuva</i>	4,64	6,11	13,04
<i>Cordia trichotoma</i>	2,96	4,99	10,38
<i>Enterolobium contortisiliquum</i>	0,73	4,27	6,40
<i>Guazuma ulmifolia</i>	7,97	23,84	42,43
<i>Hymenaea courbaril</i>	3,13	6,30	12,28
<i>Joannesia princeps</i>	4,50	13,74	26,10
<i>Peltophorum dubium</i>	3,07	9,58	27,55
<i>Schizolobium parahyba</i>	4,70	8,66	19,66
<i>Schizolobium parahyba var. amazonicum</i>	4,46	9,27	40,63
<i>Zeyheria tuberculosa</i>	0,88	1,36	5,44

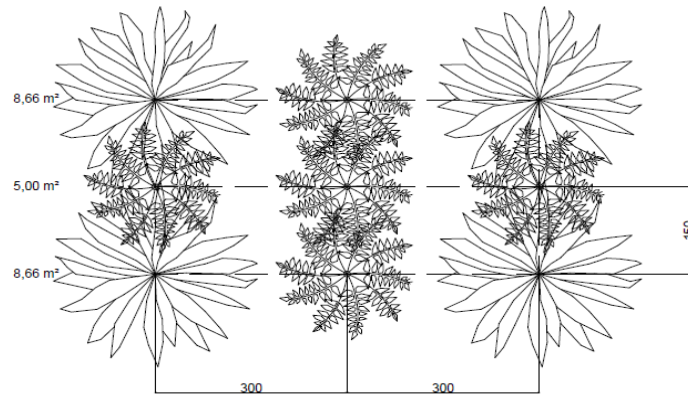
Fonte: Do autor (2024).

A partir dos dados da Tabela 7, foi possível elaborar uma simulação do crescimento de copa e fechamento do dossel com algumas das espécies empregadas na ação de restauração ativa. A Figura 8 ilustra o fechamento do dossel com o passar dos anos, com o exemplo das espécies *Cordia trichotoma* representada pela árvore com menor área de copa e *Schizolobium parahyba* representada pela árvore com maior área de copa, dispostas no arranjo de 3 x 1,5 m. O arranjo da figura está representado em centímetros.

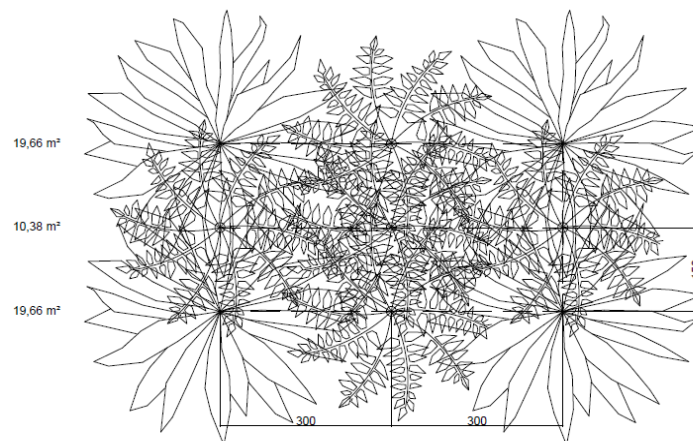
Figura 8 - Áreas de copas e simulação do fechamento do dossel.



PLANTA BAIXA – ÁREAS DE COPAS ANO 1  
ESCALA N/A



PLANTA BAIXA – ÁREAS DE COPAS ANO 2  
ESCALA N/A



PLANTA BAIXA – ÁREAS DE COPAS ANO 3  
ESCALA N/A

Fonte: Do autor (2024).

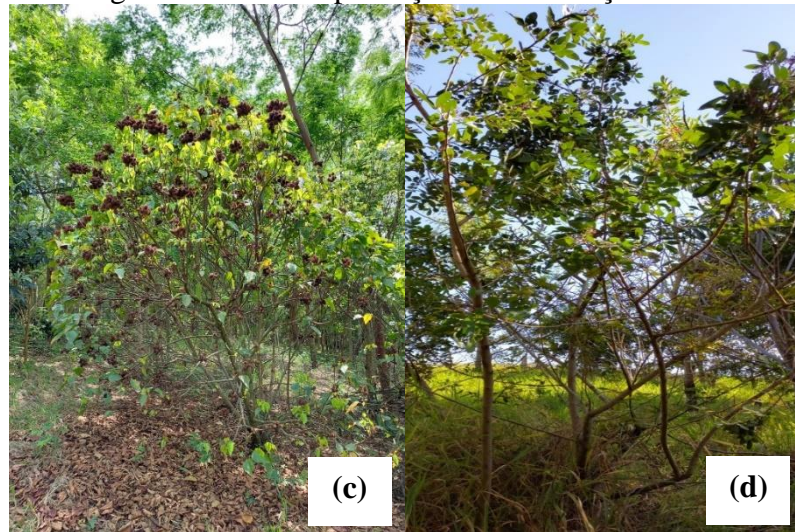
A Figura 8 apresentada, demonstra a ocupação e projeção da área de copas para duas espécies mais altas que as frutíferas-alvo e que tiveram grande influência sobre o fechamento do dossel logo aos três anos, reduzindo a entrada de luz no estrato inferior, onde estão as copas das espécies-alvo do estudo. Detalhes como este, entram no somatório de fatores que podem explicar a ausência ou baixa ocorrência de frutificação das espécies-alvo, conforme abordado na sequência, principalmente por conta do subdesenvolvimento, que não permite a sobra e acúmulo de fotoassimilados que seriam destinados à fase de frutificação da planta (Scarpate Filho; Medina; Silva, 2011).

Com relação à produção de frutos, houve frutificação de *S. terebinthifolia* logo no fim do primeiro ano e também ao longo do segundo ano. *P. guajava* e *B. orellana* produziram no fim do segundo ano. Depois disso, observou-se que apenas a *S. terebinthifolia* e *B. orellana* entraram no processo de frutificação, porém com redução na quantidade de indivíduos se comparada aos anos anteriores, sendo estes mais localizados na borda do experimento. A Figura 9 apresenta um pouco da situação da vegetação na área de plantio, em 2023, com cinco anos de idade, podendo inferir qualitativamente sobre o desenvolvimento, competição e produção de frutos das espécies-alvo do estudo.

Figura 9 - Cobertura vegetativa formada pela ação de restauração florestal ativa (Continua).



Figura 9 - Cobertura vegetativa formada pela ação de restauração florestal ativa (Conclusão).



Legenda: (a) *B. orellana* localizada mais ao centro da área (b) *P. guajava* sob o efeito da competição entre árvores vizinhas ao centro da área. (c) *B. orellana* encontrada mais próxima à borda do experimento em fase de frutificação; (d) *S. terebinthifolia* encontrada mais próxima à borda do experimento com liberação de frutos.

Fonte: Do autor (2024).

Detalhes do efeito da competição sobre a *B. orellana* e *P. guajava* são observados nas Figuras 8a e 8b, os quais podem ser atribuídos a um grande número de indivíduos da área. Com as árvores localizadas ao centro da imagem, nota-se o baixo crescimento, combinado à intensa queda foliar, o que foi comumente encontrado na maioria dos indivíduos dessas espécies. Também, a *P. guajava* apresentou pouco crescimento em diâmetro e maior investimento em altura, com baixa liberação de galhos ao redor de seu raio. As figuras 8c e 8d evidenciam a ocorrência de frutificação em *B. orellana* e *S. terebinthifolia*, condicionada a maior disponibilidade de luz solar e, por isso, os indivíduos situados na borda do plantio ainda possuem o potencial de frutificação.

## 5.2 Análise de regressão da relação hipsométrica

Conhecer a relação hipsométrica das árvores é fundamental ao inventário florestal, uma vez que é possível estimar a Ht através dos valores de DAP. Assim, estimar a Ht das árvores torna-se uma atividade corriqueira, pois se considera que a sua medição de fato é um trabalho mais árduo e quase inviável de se realizar em grande número de indivíduos.

Não foram encontrados trabalhos que lidam diretamente com modelos hipsométricos para as espécies-alvo. O mais comum de se encontrar são metodologias e estudos com espécies dos gêneros *Eucalyptus* ou *Pinus*, além de algumas nativas com potencial madeireiro. O ponto

que merece destaque é que os modelos lineares nem sempre se ajustam adequadamente para todas as espécies nativas, isto é, por vezes não são capazes de gerar valores estimados de Ht que sejam precisos e confiáveis. Logo, fica evidente uma lacuna a ser preenchida nesse quesito, ainda mais por se tratar da vasta biodiversidade brasileira.

A Tabela 8 apresenta os resultados alcançados para o teste dos modelos tradicionais (modelos 2 a 7) e do modelo genérico (modelo 1) utilizado por Barros *et al.* (2002) com incorporação da variável idade, anteriormente apresentados na Tabela 3.

Tabela 8 - Coeficientes dos ajustes e estatísticas de precisão para os modelos testados.

Esp.	Mod.	$\beta_0$	$\beta_1$	$\beta_2$	$\beta_3$	Teste $\beta_0$	Teste $\beta_1$	Teste $\beta_2$	Teste $\beta_3$	Syx %	RMSE	R <sup>2</sup> aj.
A	1	2,06085	-1,75390	-1,09499	1,65832	***	**	***	**	12,1	2,2	0,79
A	2	3,99390	0,18450	-	-	***	ns	-	-	13,6	4,8	0,03
A	3	5,30090	-8,83510	-	-	***	.	-	-	13,5	4,8	0,05
A	4	3,50330	0,88580	-	-	***	.	-	-	13,6	4,8	0,04
A	5	1,92210	1,10840	-0,10000	-	ns	ns	ns	-	13,7	4,8	0,02
A	6	0,79252	-0,43506	-	-	***	*	-	-	9,1	1,0	0,05
A	7	0,61432	0,12208	-	-	***	.	-	-	9,1	1,0	0,04
A	8	4,27600	-1,00500	-5,31000	-	ns	ns	ns	-	9,1	1,0	0,05
B	1	2,11720	-1,36810	-1,29560	1,32060	***	***	***	***	13,4	3,8	0,81
B	2	1,25310	0,45990	-	-	***	***	-	-	18,1	5,8	0,31
B	3	5,33700	-8,11900	-	-	***	***	-	-	16,1	8,4	0,30
B	4	0,99070	1,52440	-	-	***	***	-	-	17,7	5,7	0,34
B	5	- 0,51077	1,55400	-0,16130	-	ns	***	*	-	17,7	5,6	0,34
B	6	1,98907	-1,59717	-	-	***	***	-	-	10,5	0,8	0,35
B	7	0,87380	0,51742	-	-	***	***	-	-	10,6	1,0	0,34
B	8	0,80770	0,05490	-0,60370	-	**	ns	.	-	10,6	1,8	0,35
C	1	2,64841	-2,76383	-1,39419	2,61345	***	***	***	***	10,1	25,3	0,86
C	2	5,98458	0,24876	-	-	***	***	-	-	12,0	10,9	0,11
C	3	8,28590	- 26,92050	-	-	***	***	-	-	13,2	12,3	0,17
C	4	4,43130	1,73180	-	-	***	***	-	-	11,5	10,9	0,14
C	5	4,88295	0,60100	-0,02700	-	***	ns	ns	-	12,0	10,9	0,11
C	6	2,25603	-1,43687	-	-	***	***	-	-	5,7	1,4	0,15
C	7	0,65747	0,30012	-	-	***	***	-	-	5,7	1,4	0,15
C	8	2,03186	0,07891	-0,95081	-	*	ns	ns	-	5,7	1,4	0,14

Legenda: Esp. A – *B. orellana*; Esp. B – *P. guajava*; Esp. C – *S. terebinthifolia*; \*\*\* indica um coeficiente extremamente significativo ( $p < 0,001$ ); \*\* indica um coeficiente muito significativo ( $p < 0,01$ ); \* indica um coeficiente significativo ( $p < 0,05$ ); . indica um coeficiente marginalmente significativo; ns indica que o coeficiente foi não significativo; Syx % - erro padrão residual; RMSE – erro quadrático médio relativo; R<sup>2</sup> aj. – coeficiente de determinação ajustado.

Fonte: Do autor (2024).

Na Tabela 8, é possível notar altos coeficientes de determinação (R<sup>2</sup> aj.), principalmente para o modelo genérico, em comparação aos modelos tradicionais (modelos 2 a 8). O R<sup>2</sup>

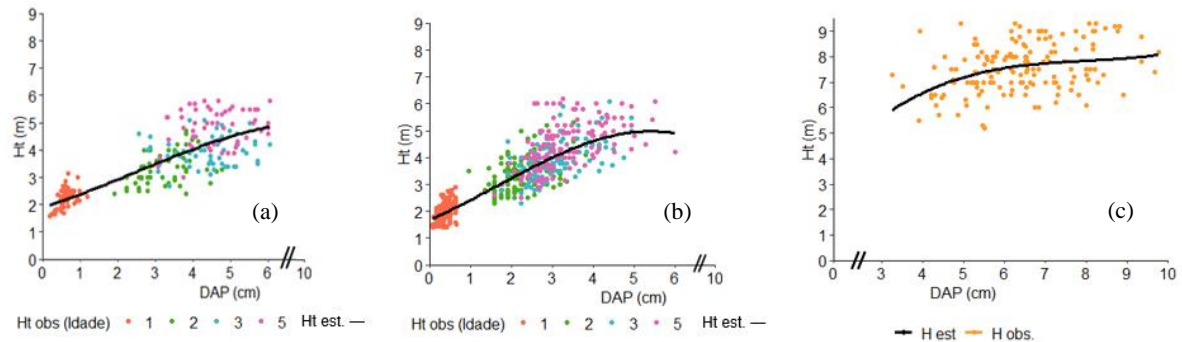
ajustado do modelo genérico para *B. orellana* foi de 0,79, para *P. guajava* foi 0,81 e para *S. terebinthifolia* foi 0,86. Contudo, o modelo genérico para *S. terebinthifolia* não obteve distribuição normal dos resíduos (p valor < 0,05 no teste Shapiro Wilk), descartando a possibilidade de sua utilização por não cumprir tal pressuposto estatístico. Desse modo, para a espécie *S. terebinthifolia*, o modelo que apresentou maior coeficiente de determinação ajustado foi o modelo de Assmann (modelo 3), com  $R^2$  aj. igual a 0,17. Ademais, para estes modelos citados, as outras estatísticas de precisão também atenderam aos pressupostos estabelecidos.

Barros *et al.* (2002) estudaram o comportamento de modelos hipsométricos tradicionais e genéricos para plantações de *Pinus oocarpa* em diferentes tratamentos. Seus resultados apontam que os modelos tradicionais apresentam bom desempenho para estimativa da altura, com  $R^2$  aj. variando de 0,54 a 0,66 e erro padrão residual (Syx%) inferior a 7%. Cinco dos modelos tradicionais testados por Barros *et al.* (2002) também foram utilizados no presente estudo, mas para as espécies nativas de interesse esses modelos apresentaram baixo  $R^2$  aj. Isso pode ser explicado devido à variação do crescimento em espécies nativas, bem como pela influência do manejo e ambiente. Atrelado a essa interpretação, Barros *et al.* (2002) concluíram que ao aumentar o número de desbastes a relação entre altura e diâmetro é descaracterizada, com redução do  $R^2$  aj.

A superioridade de algumas das estatísticas de precisão para o modelo genérico em relação aos tradicionais pode ser elucidada devido à incorporação da variável idade. Esse apontamento também é descrito por Ribeiro *et al.* (2010) e Miranda *et al.* (2014) que além do DAP, também relacionaram a Ht com altura dominante e idade.

De maneira preliminar, assumiu-se que os melhores modelos foram o genérico para *B. orellana*, genérico para *P. guajava* e o modelo de Assmann para *S. terebinthifolia*. Na figura 10 são exibidas as representações gráficas dos valores reais observados e dos valores estimados pelos modelos. A partir dela, verificar-se a forte expressão da altura em função do diâmetro e idade para *B. orellana* e *P. guajava* (Figuras 10a e 10b).

Figura 10 - Representação gráfica dos valores observados e estimados pelo modelo, escolhidos preliminarmente.

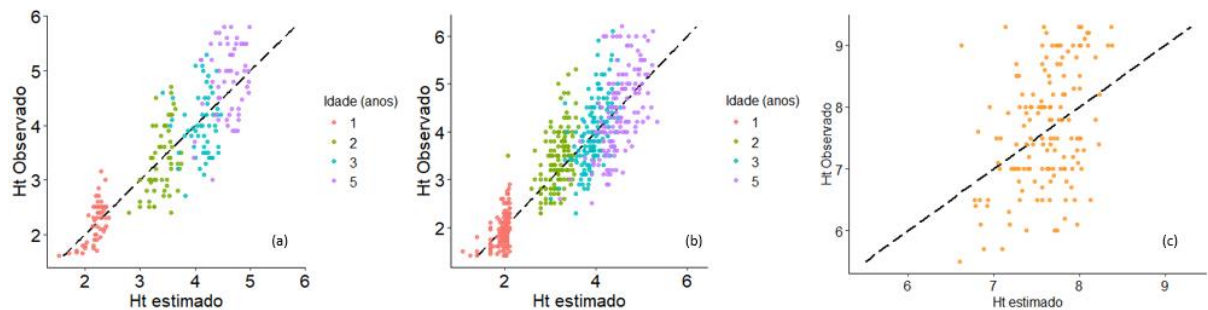


Legenda: (a) – Modelo genérico (Barros *et al.*, 2002) ajustado para *B. orellana*, com observações das árvores em todas as idades; (b) – Modelo genérico (Barros *et al.*, 2002) ajustado para *P. guajava*, com observações das árvores em todas as idades; (c) – Modelo de Assmann, ajustado para *S. terebinthifolia*, com observações apenas do quinto ano do plantio.

Fonte: Do autor (2024).

Em continuidade à avaliação dos modelos, a Figura 11 apresenta a dispersão dos valores estimados em torno de uma reta ideal, que seria quando os valores estimados são iguais aos reais observados.

Figura 11 - Dispersão dos valores estimados para os modelos escolhidos preliminarmente.



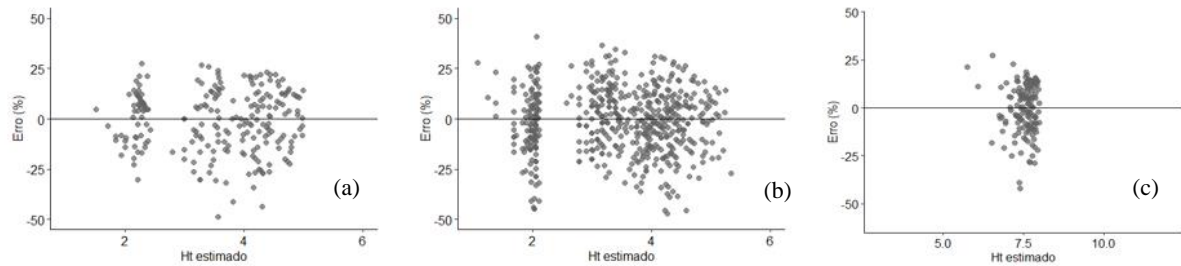
Legenda: (a) - Dispersão de Ht estimado para *B. orellana*; (b) Dispersão de Ht estimado para *P. guajava*; (c) Dispersão de Ht estimado para *S. terebinthifolia* aos cinco anos.

Fonte: Do autor (2024).

A Figura 11c evidencia uma alta dispersão dos valores estimados em relação à reta de 45°. Essa análise gráfica determina uma certa inadequação do modelo 3 (modelo de Assmann) para *S. terebinthifolia*. Vale lembrar que nenhum outro modelo testado para essa espécie atendeu bem aos pressupostos estatísticos, logo, podemos inferir que o seu padrão de crescimento na área em restauração não apresenta forte relação da Ht com o DAP. Nesse ambiente, as árvores de *S. terebinthifolia* não aumentam sua altura necessariamente quando o diâmetro aumenta, portanto existem outras variáveis aleatórias que geram efeito sobre a Ht, por exemplo, a competição por luz solar.

Para validar por completo o ajuste do modelo e escolher aquele que melhor representa a relação hipsométrica da espécie, é necessário avaliar o gráfico de resíduos de cada um. Na Figura 12 encontram-se os resíduos dos modelos aplicados para as três espécies, que são o percentual de erro entre cada valor estimado e observado.

Figura 12 - Gráficos de resíduos dos modelos escolhidos preliminarmente.



Legenda: (a) – Resíduos do modelo ajustado para *B. orellana*; (b) Resíduos do modelo ajustado para *P. guajava*; (c) Resíduos do modelo ajustado para *S. terebinthifolia*.

Fonte: Do autor (2024).

Pela Figura 12, tem-se que os modelos apresentaram a maioria dos erros em até  $\pm 25\%$ , com poucas observações acima desse percentual, as quais levam à tendenciosidades. Por exemplo, ao adotar o modelo genérico com um erro máximo em torno de  $25\%$ , para a *B. orellana* com Ht média de 4,8 m, o modelo estimará a sua altura com um erro de no máximo 1,2 m e essa mesma lógica segue para a *P. guajava*, com Ht média de 4,4 m e o modelo obtendo um erro de no máximo 1,1 m. Nesse momento, fica dispensada a análise da Figura 12c, uma vez que já foram descartados os modelos testados para a *S. terebinthifolia* devido à dispersão dos valores estimados.

Diante dessas informações, os modelos genéricos selecionados preliminarmente para *B. orellana* e *P. guajava* se encaixam como os melhores para a análise de regressão da relação hipsométrica dessas espécies. Isso demonstra que elas apresentam forte relação da Ht com o DAP, de modo que quanto maior o diâmetro, maior será a altura da árvore. Além disso, a idade também entra como um efeito fixo sobre a variável predita, proporcionando melhorias nas estatísticas de precisão se comparadas aos modelos tradicionais.

Nenhum dos modelos testados foi adequado estatisticamente para prever a altura da espécie *S. terebinthifolia*. Nesse caso, outras variáveis, além do DAP, estão relacionadas ao seu crescimento em altura. Portanto uma abordagem que pode ser estudada futuramente para contornar essa situação é a utilização de modelos mistos ou a inclusão de índices de competição em modelos genéricos.

Enfim, torna-se possível estimar a altura de árvores de *B. orellana* e *P. guajava* em um ambiente de restauração florestal, dispondo apenas dos dados de DAP e Idade através das seguintes equações determinadas pelos parâmetros dos modelos ajustados (Tabela 9).

Tabela 9 - Equações determinadas pelos parâmetros dos modelos ajustados para as espécies de interesse.

<b>Espécie</b>	<b>Modelo</b>	<b>Equação</b>
<i>B. orellana</i>	1	$\ln(Ht) = 2,0685 + (-1,75390*(DAP)) + (1,09499*(1/I)) + (1,65832*(1/DAP*I))$
<i>P. guajava</i>	1	$\ln(Ht) = 2,11720 + (-1,36810*(DAP)) + (-1,29560*(1/I)) + (1,32060*(1/DAP*I))$

Legenda: Modelo 1 – modelo genérico (Barros *et al.*, 2002);

Fonte: Do autor (2024).

### 5.3 Competição entre os indivíduos da área em restauração florestal

A princípio, somente com as observações do crescimento e pelas inferências da análise de regressão da relação hipsométrica, verifica-se que existe a presença de alguma condição de efeito sobre as espécies frutíferas. A principal suposição é a competição, mas principalmente a competição por luz. Para verificação dessa circunstância, foram calculados dois índices de competição independentes da distância para uma amostra da população de cada espécie-alvo. Dessa forma, os valores médios de competição ao longo dos anos de avaliação são apresentados na Tabela 10.

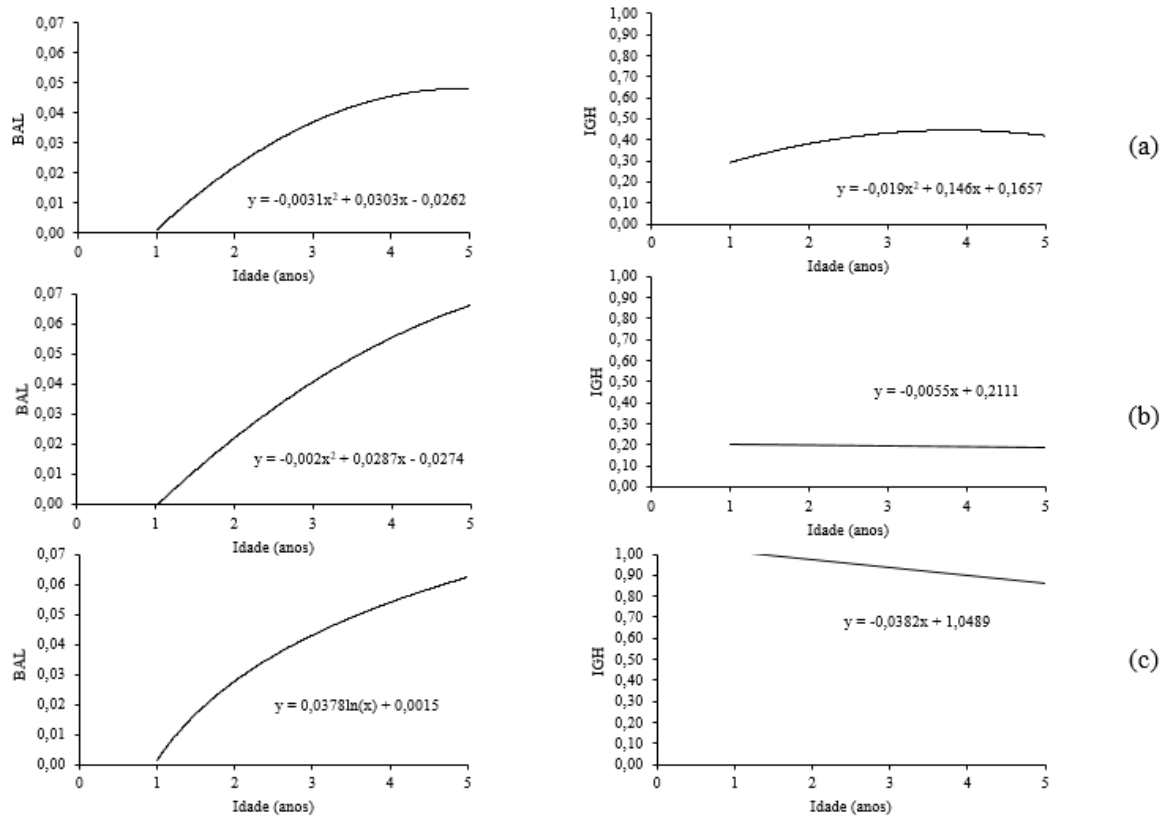
Tabela 10 - Médias dos índices de competição calculados para as três espécies-alvo ao longo dos cinco anos após o plantio.

<b>Espécie</b>	<b>Índices</b>	<b>Idade (anos)</b>			
		<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>5</b>
<i>B. orellana</i>	BAL	0,00	0,02	0,04	0,05
	IGH	0,31	0,34	0,46	0,42
<i>P. guajava</i>	BAL	0,00	0,02	0,04	0,07
	IGH	0,21	0,19	0,21	0,18
<i>S. terebinthifolia</i>	BAL	0,00	0,03	0,04	0,06
	IGH	1,00	1,00	0,91	0,86

Fonte: Do autor (2024).

A Figura 13 apresenta o comportamento desses índices para as três espécies ao longo do tempo.

Figura 13 - Índices de competição entre *B. orellana* (a), *P. guajava* (b) ou *S. terebinthifolia* (c) e as árvores vizinhas ao longo tempo no plantio de restauração florestal.



Fonte: Do autor (2024).

Para todas as espécies-alvo é nítido um aumento da competição em função da idade. Castro *et al.* (2014) também utilizaram esses índices e asseguram que para o IGH, quanto menor o crescimento em diâmetro e altura menor será o valor do índice, sendo inverso para o BAL, em que menores valores de crescimento resultam em índices mais altos. A Figura 13 apresenta um aumento da competição ao longo do tempo, o que é comum de se esperar, devido ao crescimento de árvores vizinhas em relação à espécie-alvo, porém os valores dos índices podem variar para mais ou para menos, ao passar dos anos, acompanhando a dinâmica florestal, conforme descrito por Curto (2015).

A visualização do gráfico para o índice BAL aponta para um aumento de seus valores em função do tempo para as três espécies (Figura 13). Enquanto isso, tendo como base apenas a análise do IGH, notamos que as espécies *B. orellana* e *P. guajava* não apresentam aumento da competição ao longo do tempo e seus baixos valores de IGH podem não refletir a competição em si (Figuras 13a e 13b). Isso pode acontecer porque este índice é derivado da razão entre o DAP da árvore-alvo em relação às árvores vizinhas (Castro *et al.*, 2014). Em outras palavras, neste caso, o IGH baixo é devido ao menor diâmetro das espécies *B. orellana* e *P. guajava* em

relação à média das vizinhas desde os primeiros anos do plantio, em uma condição de espaço livre para o crescimento, sem competição por recursos naturais.

O índice IGH, para *S. terebinthifolia*, assim como o BAL, aparenta aumentar ao longo do tempo (Figura 13c). Os valores de competição são baixos para essa espécie nos primeiros anos, indicando um crescimento acelerado ou de igual para igual com as espécies ao redor. Conhecendo a área e de posse das informações de crescimento, a competição parece surtir efeito sobre ela somente após o terceiro ano.

Com os dados da Tabela 10 foi realizada a correlação de Pearson entre os índices e os incrementos correntes anuais de DAP e Ht, com os resultados dispostos na Tabela 11.

Tabela 11 - Correlação de Pearson entre os índices de competição e os incrementos correntes anuais de DAP e Ht, para as três espécies-alvo.

Espécie		Correlação	
		BAL	IGH
<i>B. orellana</i>	ICA DAP	-0,21	-0,25
	ICA Ht	-0,98	-0,86
<i>P. guajava</i>	ICA DAP	-0,35	-0,10
	ICA Ht	-0,99	0,32
<i>S. Terebinthifolia</i>	ICA DAP	-0,16	0,57
	ICA Ht	-0,98	0,96

Fonte: Do autor (2024).

Os resultados expressos pela Tabela 11 indicam divergências entre os significados da relação entre os índices de competição e os incrementos em diâmetro e altura para as espécies *B. orellana* e *P. guajava*. Para essas, a correlação entre o incremento e o IGH aparece negativa, a qual deveria ser positiva, enquanto o BAL segue o seu padrão de correlação negativa. A correlação expressa o grau de relação entre o índice de competição e o incremento corrente anual, sendo que: valores situados entre -1 e 0 correspondem a uma correlação negativa; entre 0 e 1 (correlação positiva); correlação de 0 a 0,3 (desprezível); correlação de 0,3 a 0,5 (fraca); correlação de 0,5 a 0,7 (moderada); correlação de 0,7 a 0,9 (forte); correlação acima de 0,9 (muito forte). Somente a correlação entre os índices e o ICA Ht para *P. guajava* manifesta algum indício que a espécie está sob efeito de competição, com forte correlação para BAL, mas com correlação fraca para o IGH, tornando inconclusivo qual índice expressa melhor a real condição sobre a planta.

Oliveira *et al.* (2022) estudaram a competição de *Ocotea odorifera* em Floresta Ombrófila Mista e constataram que o índice de Glover e Hool foi capaz de refletir a condição da espécie, situação em que os indivíduos com menor DAP estavam sob maior competição.

Segundo Schons *et al.* (2020), o efeito da competição sobre o crescimento pode variar entre diferentes espécies, o que corrobora com o indicado por Tonini (2007), sendo necessária a testagem de diferentes índices (Schons *et al.*, 2020).

Vale ressaltar os resultados particularmente interessantes sobre a Tabela 11 para *S. terebinthifolia*. A espécie apresentou magnitudes de correlação diferentes entre os dois índices para o ICA DAP, sendo uma correlação negativa fraca (BAL) e a outra positiva moderada (IGH). Mas ao analisar o ICA Ht, nota-se que os dois índices apresentaram correlações muito fortes sobre o incremento, sendo negativa para BAL (-0,98) e positiva para IGH (0,96). Essa semelhança indica influência da competição sobre o incremento em altura da espécie, podendo ser relacionada às observações de crescimento e análise de regressão anteriormente apresentadas. Portanto, há competição no ambiente que reduz o crescimento e força a espécie à adaptação, além de descaracterizar a relação hipsométrica.

Castro *et al.* (2014) avaliaram a correlação entre o BAL e a mortalidade em um fragmento de Floresta Estacional Semidecidual Montana em estágio médio de sucessão ecológica. Ao considerar a relação entre mortalidade, o BAL estabelece correlação positiva como padrão, contrária ao incremento, em que o aumento do índice aumenta a mortalidade. Os autores registraram correlações significativas que variaram entre 0,24 e 0,55, com maiores correlações para as espécies *Piptadenia gonocantha* e *Prunus sellowii*.

O presente trabalho evidenciou alguns resultados diferentes entre os dois índices testados, que ora apresentam correlação forte, ora fraca. De maneira similar, Castro *et al.* (2014) não observaram superioridade de algum índice e mencionaram haver um índice de competição mais eficiente para cada variável e para cada espécie.

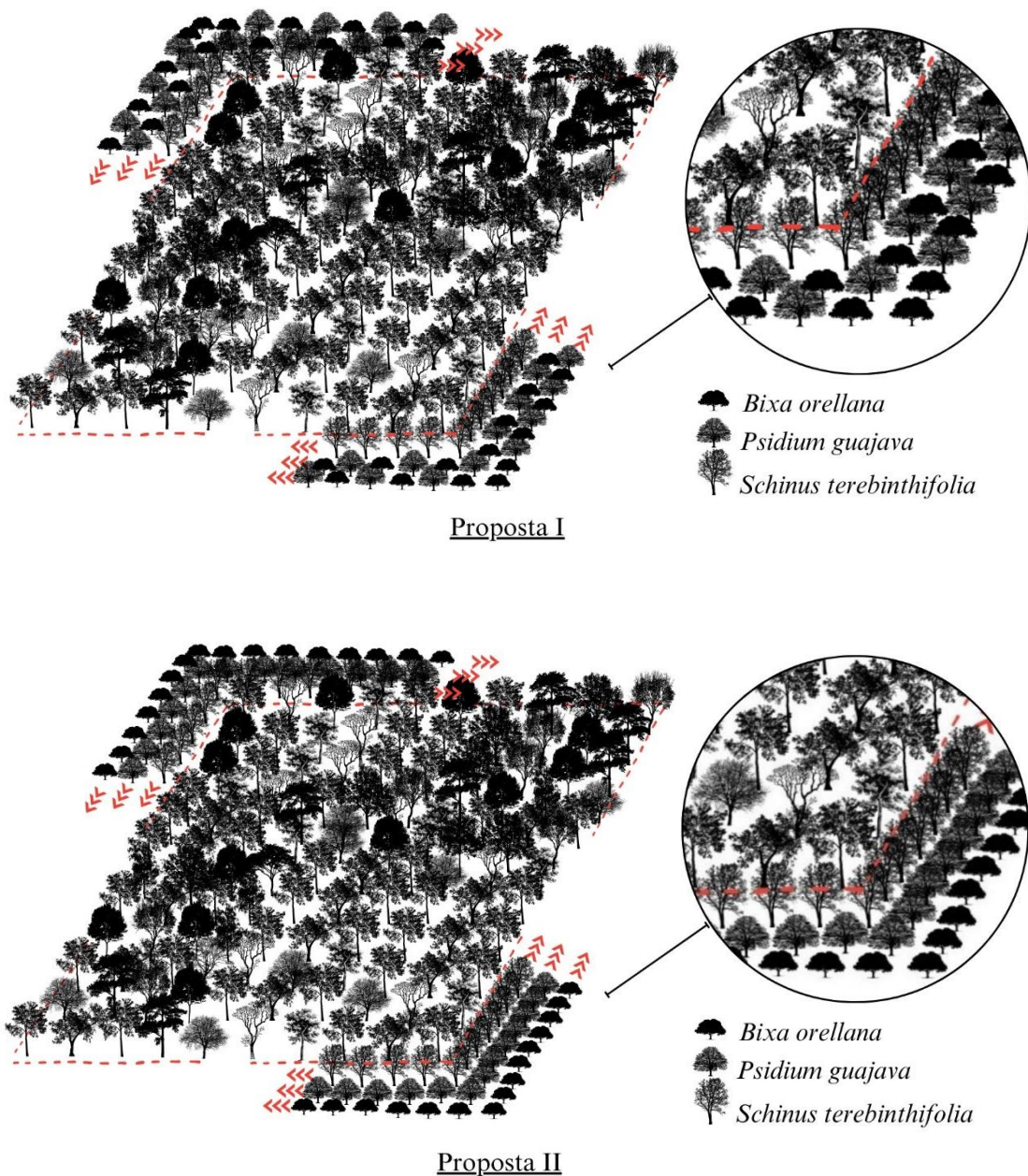
Tanto o índice BAL, quanto o IGH expressaram forte correlação com o ICA Ht para *S. terebinthifolia*, podendo ser adequados para utilização em modelos de regressão. A inclusão dos índices de competição aos modelos apresenta capacidade de aumentar a precisão da estimativa, uma vez comprovada a existência de outras variáveis aleatórias que incidem sobre a Ht, além do efeito fixo do DAP. Por fim, pode-se dizer que haverá efeitos diretos sobre o crescimento, com consequência sobre a produção de frutos, se a competição estiver presente como visto para *S. terebinthifolia*.

#### **5.4 Propostas para plantios de restauração florestal**

A amortização de custos da restauração florestal gerada pelas espécies frutíferas de interesse é uma tarefa complexa, mas possível. Nos dois primeiros anos, foi verificada a

frutificação de algumas delas, portanto, seria auspiciosa a busca pelo aumento dessa janela de tempo em que tais espécies se demonstram aptas à produção, ou seja, maior tempo em condição de pleno sol. Como proposta, uma alternativa seria a implantação de uma maior densidade desses indivíduos nas bordas dos plantios, por serem espécies exigentes de luz solar (Figura 14).

Figura 14 - Propostas de implantação florestal, com expectativa de coleta de frutos de *B. orellana*, *P. guajava*, *S. terebinthifolia*.



A proposta I da Figura 14 é plantar as duas linhas de borda com a alternagem entre *B. orellana* e *P. guajava*, por serem espécies com menor porte em altura. A terceira linha das bordas da proposta I seria uma linha inteira com *S. terebinthifolia*, por ter maior porte em altura que as outras duas espécies. A proposta II utiliza as três primeiras linhas preenchidas inteiramente com uma única espécie frutífera em cada linha, de forma a obedecer a um gradiente de altura para diminuir o bloqueio da luz solar.

A alta diversidade na área, não pode ser negligenciada, já que os objetivos da restauração permanecem no projeto. Outra proposta, quando envolver as frutíferas, seria aumentar o espaçamento utilizado e plantar espécies com menor área de copa ao redor dessas, com intuito de permitir entrada de luz por mais tempo. Um exemplo de espécie que pode ser plantada ao redor de espécies frutíferas é a *Zeyheria tuberculosa*, apresentada na Tabela 8, pois apresenta crescimento lento e com uma pequena área de copa.

Vale salientar, que quando se espera a produção de frutos, deve haver um manejo adequado, o qual envolve investimentos maiores. Práticas silviculturais como a poda, controle de pragas, doenças e controle de plantas daninhas são indispensáveis. Portanto são necessários estudos futuros com maior enfoque na testagem de modelos de plantio com frutíferas, a fim de avaliar a produtividade e confirmar a viabilidade de toda essa operação.

## 6 CONCLUSÃO

As espécies arbóreas frutíferas apresentaram crescimento semelhante aos registros da literatura, principalmente até o terceiro ano após o plantio. A partir do terceiro ano, o ICA dessas espécies sofreu reduções, ocasionado principalmente pelo fechamento do dossel e sombreamento. Aos cinco anos, grande número de indivíduos de *B. orellana* e *P. guajava* foi suprimido pelas árvores vizinhas, enquanto a *S. terebinthifolia* adotou estratégias de adaptação, mesmo com incremento reduzido sob efeito da competição.

Dos modelos hipsométricos testados, somente o modelo genérico com a inclusão da variável idade foi capaz de gerar estimativas mais precisas para as alturas das árvores de *B. orellana* e *P. guajava*, caracterizando a relação entre Ht e DAP para essas espécies. Nenhum modelo testado se ajustou adequadamente para *S. terebinthifolia*, o que indica que essa espécie teve sua relação entre Ht e DAP descaracterizada pelo ambiente. Somado a isso, existem fortes correlações entre os índices de competição testados e os incrementos correntes anuais, em especial para os incrementos em Ht de *S. terebinthifolia*. Há competição por luz solar na área em restauração estudada, pronunciada pelo fechamento do dossel de maneira a incidir sobre o desenvolvimento de espécies de menor porte e, conseqüentemente, sobre a frutificação.

## REFERÊNCIAS

- AGUIAR JÚNIOR, Adenio Louzeiro de *et al.* Ideótipo arbóreo para Sistemas Agroflorestais. **Advances in Forestry Science**, Cuiabá, v.8, n. 1, p. 1349-1362, jul. 2021. Disponível em: <https://periodicoscientificos.ufmt.br/ojs/index.php/afor/article/view/10913>. Acesso em: 19 nov. 2023.
- ALVARENGA, Auwdréia Pereira. **Avaliação inicial da recuperação de matas ciliares em nascentes**. 2004. 175 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2004.
- ALVARES, Clayton Alcarde *et al.* Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, Stuttgart, v. 22, n. 6, p. 711-728, Dec. 2013. Disponível em: [https://www.schweizerbart.de/papers/metz/detail/22/82078/Koppen\\_s\\_climate\\_classification\\_map\\_for\\_Brazil](https://www.schweizerbart.de/papers/metz/detail/22/82078/Koppen_s_climate_classification_map_for_Brazil). Acesso em: 13 dez. 2023.
- ANDRADE, Valdir Carlos de Lima *et al.* Modelos regionais de relação hipsométrica avaliados para plantio clonal de eucalipto em área de Cerrado. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 33, n. 2, p. 1-20, abr./jun. 2023. Disponível em: <https://periodicos.ufsm.br/cienciaflorestal/article/view/67995>. Acesso em: 29 maio 2024.
- ANDRADE NETTO, Dilson Sena de. **Cartilha de restauração florestal de Áreas de Preservação Permanente, Alto Teles Pires, MT**. Alto Teles Pires: The Nature Conservancy, 2015. 76 p. Disponível em: [http://www.lerf.eco.br/img/publicacoes/TNC\\_Cartilha\\_MT\\_INTERATIVO\\_17-9-2015.pdf](http://www.lerf.eco.br/img/publicacoes/TNC_Cartilha_MT_INTERATIVO_17-9-2015.pdf). Acesso em: 13 nov. 2023.
- ANTAR, Guilherme Medeiros. **Bixaceae in Flora do Brasil 2020 em construção**. Jardim Botânico do Rio de Janeiro, 2024. Disponível em: <http://floradobrasil.jbrj.gov.br/reflora/floradobrasil/FB5745>. Acesso em: 9 jan. 2024.
- ANTAR, Guilherme Medeiros; LOZANO, Eduardo Damasceno; SANO, Paulo Takeo. Bixaceae do Estado do Paraná, Brasil. **Hoehnea**, São Paulo, v. 47, p. 1-8, 2020. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/hoehnea/a/xtrpXZwyMkHdfQw6tdxfkMt/>. Acesso em: 11 ago. 2023.
- APARECIDO, Lucas Eduardo de Oliveira *et al.* Agroclimatic zoning for urucum crops in the state of Minas Gerais, Brazil. **Bragantia**, Campinas, v. 77, n. 1, p. 193–200, jan./mar. 2018. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/brag/a/4q6XTg9RFDsGfPqtYhd3QfJ/?lang=en>. Acesso em: 12 fev. 2024.
- ASSMANN, Ernst. **The principles of forest yield study: studies in the organic production, structure, increment and yield of forest stands**. Oxford: Pergamon Press, 1970. p. 506.
- ATANGANA, Alain *et al.* Ecological interactions and productivity in agroforestry systems. *In: Tropical Agroforestry*. Dordrecht: Springer, 2014. p. 151-172.

BAKER, Timothy R.; SWAINE, Michael D.; BURSLEM, David F. R. P. Variation in tropical forest growth rates: combined effects of functional group composition and resource availability. **Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics**, [s.l.], v. 6, n. 1.2, p. 21-36, 2003. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1433831904700657>. Acesso em: 12 fev. 2024.

BALLARÉ, Carlos L. Light regulation of plant defense. **Annual Review of Plant Biology**, Palo Alto, v. 65, p. 335-363, Jan. 2014. Disponível em:

<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/24471835/>. Acesso em: 1 out. 2023.

BANCO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL. **Agência BNDES Notícias**. BNDES, 2021. Disponível em:

<https://agenciadenoticias.bndes.gov.br/blogdodesenvolvimento/detalhe/Infografico-como-funciona-o-manejo-florestal-sustentavel/>. Acesso em: 21 mar. 2024.

BARBIERI, D. J. *et al.* Análise de crescimento de *Bixa orellana* L. sob efeito da inoculação micorrízica e adubação fosfatada. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, Botucatu, v. 13, n. 2, p. 129-138, mar. 2011. Disponível em:

<https://www.scielo.br/j/rbpm/a/cpSwn3zPBjkb7JTkGmdBjnD/?lang=pt>. Acesso em: 16 ago. 2023.

BARBOSA, Flávia Rabelo; LIMA, Mirtes Freitas. **A cultura da goiaba**. 2. ed. Brasília: EMBRAPA Informação Tecnológica, 2010. 180 p.

BARBOSA, Lorena Oliveira. *et al.* Competition in forest plantations: Empirical and process-based modelling in pine and eucalypt plantations. **Ecological Modelling**, [Netherlands], v. 483, Sept. 2023. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0304380023001412>. Acesso em: 14 nov. 2023.

BARROS, Dalmo Arantes *et al.* Comportamento de Modelos Hipsométricos Tradicionais e Genéricos para Plantações de *Pinus oocarpa* em Diferentes Tratamentos. **Pesquisa Florestal Brasileira**, [s.l.], n. 45, p. 3-28, jul./dez. 2002. Disponível em:

<https://pfb.cnpf.embrapa.br/pfb/index.php/pfb/article/view/1747>. Acesso em: 29 maio 2024.

BASTÍAS, Richard M.; CORELLI-GRAPPADELLI, Luca. Light quality management in fruit orchards: physiological and technological aspects. **Chilean Journal of Agricultural Research**, [Chile], v. 72, n. 4, p. 574-581, Oct./Dec. 2012. Disponível em:

<https://www.scielo.cl/pdf/chiljar/v72n4/at18.pdf>. Acesso em: 14 nov. 2023.

BATISTA, Alan *et al.* Reflorestamento com espécies nativas para fins econômicos. *In*:

BENINI, Rubens de Miranda; ADEODATO, Sérgio. **Economia da restauração florestal**. São Paulo: The Nature Conservancy, 2017. p. 74–91.

BECKNELL, Justin M., KUCEK, Lisa Kissing; POWERS, Jennifer S. Aboveground biomass in mature and secondary seasonally dry tropical forests: A literature review and global synthesis. **Forest Ecology and Management**, [Netherlands], v. 276, p. 88-95, July 2012.

Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378112712002009>. Acesso em: 25 jan. 2024.

BEGON, Michael; TOWNSEND, Colin R.; HARPER, John L. **Ecology from individuals to ecosystems**. 4th ed. Malden: Blackwell Publishing Ltd., 2006. 759 p.

BEHLING, M. *et al.* Crescimento de pau-de-balsa sob diferentes níveis de adubação e espaçamento, em Guarantã do Norte, MT. *In:* FARIAS NETO, A. L. de *et al.* (eds.). **EMBRAPA Agrossilvipastoril: primeiras contribuições para o desenvolvimento de uma Agropecuária Sustentável**. Brasília: EMBRAPA, 2019. 825 p.

BENINI, Rubens de Miranda; ADEODATO, Sérgio. O desafio econômico de recobrir o Brasil. *In:* BENINI, Rubens de Miranda; ADEODATO, Sérgio. (orgs.). **Economia da restauração florestal**. São Paulo: The Nature Conservancy, 2017. p. 8 -19.

BENINI, Rubens de Miranda *et al.* Custos de restauração da vegetação nativa no Brasil. *In:* BENINI, Rubens de Miranda; ADEODATO, Sérgio. (orgs.). **Economia da restauração florestal**. São Paulo: The Nature Conservancy, 2017. p. 20–37.

BERNARDO, Alberto Luiz. **Crescimento e eficiência nutricional de *Eucalyptus* spp. sob diferentes espaçamentos na região de cerrado de Minas Gerais**. 1995. 102 p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1995.

BINKLEY, Dan *et al.* Explaining growth of individual trees: light interception and efficiency of light use by *Eucalyptus* at four sites in Brazil. **Forest Ecology and Management**, [Netherlands], v. 259, n. 9, p. 1704–1713, Apr. 2010. Disponível em: <https://www.fs.usda.gov/research/treesearch/34792>. Acesso em: 28 set. 2023.

BINKLEY, Dan *et al.* Light absorption and use efficiency in forests: Why patterns differ for trees and stands. **Forest Ecology and Management**, [Netherlands], v. 288, p. 5-13, Jan. 2013. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378112711006761>. Acesso em: 14 nov. 2023.

BORTOLETTO JUNIOR, Geraldo; BELINI, Ugo Leandro. Produção de lâminas e manufatura de compensados a partir da madeira de Guapuruvu (*Schizolobium parahyba* Blake) proveniente de um plantio misto de espécies nativas. **Cerne**, Lavras, v. 8, n. 2, p. 1-16, 2002. Disponível em: <https://www.redalyc.org/pdf/744/74409102.pdf>. Acesso em: 19 nov. 2023.

BOTELHO, Soraya Alvarenga *et al.* Restauração de matas ciliares. *In:* DAVIDE, Antônio Claudio; BOTELHO, Soraya Alvarenga. **Fundamentos e métodos de restauração de ecossistemas florestais: 25 anos de experiência em matas ciliares**. Lavras: UFLA, 2015. p. 433–475.

BOTELHO, Soraya Alvarenga *et al.* **Implantação de florestas de proteção**. 2001. (Desenvolvimento de material didático ou instrucional – Material didático para curso de especialização).

BRANCALION, Pedro H. S. *et al.* Plantio de árvores nativas brasileiras fundamentada na sucessão florestal. In: RODRIGUES, Ricardo Ribeiro; BRANCALION, Pedro H. S.; ISERNHAGEN, Ingo (orgs.). **Pacto pela restauração da Mata Atlântica**: referencial dos conceitos e ações de restauração florestal. 1 ed. São Paulo: Instituto BioAtlântica, 2009. v. 1, p. 14-23.

BRANCALION, Pedro H. S.; RODRIGUES, Ricardo Ribeiro; GANDOLFI, Sergius. **Restauração florestal**. 1. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2015. *E-book*. Disponível em: <https://plataforma.bvirtual.com.br>. Acesso em: 24 jan. 2024.

BRAR, Jaswinder S.; BAL, J. S.; SINGH, Som Pal. Radiant energy distribution in guava (*Psidium guajava* L.) plants at different spacings. **Journal of Agrometeorology**, [Índia], v.11, n. 2, p. 135-139, Dec. 2009. Disponível em: <https://journal.agrimetassociation.org/index.php/jam/article/view/1239>. Acesso em: 14 jan. 2024.

BRASIL. Constituição da República Federativa do Brasil de 1988. Promulgada em 5 de outubro de 1988. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 5 out. 1988. Disponível em: [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/constituicao/constituicao.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm). Acesso em: 13 nov. 2023.

BRASIL. Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nos 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nos 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória no 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 28 maio 2012. Disponível em: [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2011-2014/2012/lei/112651.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/112651.htm). Acesso em: 13 nov. 2023.

BROKAW, Nicholas V. L. Treefalls, regrowth and community structure in tropical forests. In: PICKETT, S. T. A.; WHITE, P. S. (eds.). **The ecology of natural disturbance and patch dynamics**. New York: Academic Press, 1985. p. 53-69.

BUDOWSKI, Gerardo. Distribution of tropical American rain forest species in the light of successional processes. **Turrialba**, Turrialba, v. 15, p. 40-42, 1965. Disponível em: <https://www.worldcat.org/pt/title/distribution-of-tropical-american-rain-forest-species-in-the-light-of-successional-processes/oclc/708884645>. Acesso em: 16 out. 2023.

BUDOWSKI, Gerardo. Forest succession in tropical lowlands. **Turrialba**, Turrialba, v. 13, p. 1-3, Oct. 1963. Disponível em: <https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/9222>. Acesso em: 16 out. 2023.

BUDOWSKI, Gerardo. Toe distinction between old secondary and climax species in tropical Central American lowland forests. **Tropical Ecology**, Varanasi, v. 11, n. 1, p. 44-48, 1970. Disponível em: <https://eurekamag.com/research/000/222/000222852.php>. Acesso em: 07 nov. 2023.

BURKHART, Harold E. Comparison of maximum size–density relationships based on alternate stand attributes for predicting tree numbers and stand growth. **Forest Ecology and Management**, [Netherlands], v. 289, p. 404–408, Feb. 2013. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S037811271200638X>. Acesso em: 20 set. 2023.

CAMPOE, Otávio Camargo. **Ecologia da produção e da competição intra-específica do *Eucalyptus grandis* ao longo de um gradiente de produtividade no Estado de São Paulo**. 2012. 123 p. Tese (Doutorado em Recursos Florestais. Opção em Silvicultura e Manejo Florestal) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2012.

CAMPOS, J. C. Chagas. Principais fatores do meio que afetam o crescimento das árvores. **Revista Floresta**, São Paulo, v. 2, n. 3, p. 45-52, 1970. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/floresta/article/view/5684>. Acesso em: 29 dez. 2023.

CAMPOS, Wanuzza Helena; MARTINS, Sebastião Venâncio. Natural regeneration stratum as an indicator of restoration in area of environmental compensation for mining limestone, municipality of Barroso, MG, Brazil. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 40, n. 2, p. 189–196, mar./abr. 2016. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rarv/a/7zntyjjBMkX8KYmcVHDqnVp/?lang=en>. Acesso em: 8 fev. 2024.

CAMPOS FILHO, Eduardo Malta; SARTORELLI, Paolo Alessandro Rodrigues. **Guia de árvores com valor econômico**. São Paulo: Agroicone, Iniciativa INPUT, 2015.

CANHAM, Charles D. *et al.* Causes and consequences of resource heterogeneity in forests: interspecific variation in light transmission by canopy trees. **Canadian Journal of Forest Research**, [Canadá], v. 24, n. 2, Feb. 1994. Disponível em: <https://cdnsiencepub.com/doi/10.1139/x94-046>. Acesso em: 4 out. 2023.

CARDOSO, Ricardo Alves *et al.* Influência da adubação verde nas propriedades físicas e biológicas do solo e na produtividade da cultura de soja. **Semina: Ciências Biológicas e da Saúde**, Londrina, v. 35, n. 2, p. 51-60, jul./dez. 2014. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/277916158\\_Influencia\\_da\\_adubacao\\_verde\\_nas\\_propriedades\\_fisicas\\_e\\_biologicas\\_do\\_solo\\_e\\_na\\_produtividade\\_da\\_cultura\\_de\\_soja](https://www.researchgate.net/publication/277916158_Influencia_da_adubacao_verde_nas_propriedades_fisicas_e_biologicas_do_solo_e_na_produtividade_da_cultura_de_soja). Acesso em: 24 jan. 2024.

CARON, Braulio Otomar *et al.* Interceptação da radiação luminosa pelo dossel de espécies florestais e sua relação com o manejo das plantas daninhas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 42, n. 1, p. 75-82, jan. 2012. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cr/a/kD9pmWkYtpdsRy7LRrKChsC/?lang=pt>. Acesso em: 4 out. 2023.

CARREIRA, Léa Maria Medeiros *et al.* *Bixa orellana*: Urucum. In: CORADIN, Lidio; CAMILLO, Julcéia; VIEIRA, Ima Célia Guimarães (eds.). **Espécies nativas da flora brasileira de valor econômico atual ou potencial**: Plantas para o futuro: Região Norte. Brasília: MMA, 2022. (Série Biodiversidade; 53). 1452 p. Disponível em: <https://www.gov.br/mma/pt-br/assuntos/biodiversidade/manejo-e-uso-sustentavel/flora>. Acesso em: 23 jul. 2023.

CARVALHO, Paulo Ernani Ramalho. **Espécies arbóreas brasileiras**. Brasília: EMBRAPA Informação Ecológica; Colombo: EMBRAPA Florestas, 2003.

CASTELLANOS, Edwin *et al.* **Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability**. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. *In*: PÖRTNER, Hans-Otto *et al.* (eds.). Cambridge: University Press, 2022. p. 1689–1816.

CASTRO, Renato *et al.* Competição em Nível de Árvore Individual em uma Floresta Estacional Semidecidual. **Silva Lusitana**, Oeiras, v. 22, n. 1, p. 43-66, jun. 2014. Disponível em:  
[https://www.researchgate.net/publication/273476847\\_Competicao\\_em\\_Nivel\\_de\\_Arvore\\_Individual\\_em\\_uma\\_Floresta\\_Estacional\\_Semidecidual](https://www.researchgate.net/publication/273476847_Competicao_em_Nivel_de_Arvore_Individual_em_uma_Floresta_Estacional_Semidecidual). Acesso em: 29 maio 2024.

CHAZDON, Robin L. **Second growth**: the promise of tropical forest regeneration in an age of deforestation. Chicago: University of Chicago Press, 2014.

CLARK, Deborah A.; CLARK, David B. Análisis de la regeneración de árboles del dosel en bosque muy húmedo tropical y aspectos teóricos y prácticos. **Revista de Biología Tropical**, San José, v. 35, n. 1, p. 41-54, jan. 1987. Disponível em:  
[https://www.researchgate.net/publication/259364360\\_Analisis\\_de\\_la\\_regeneracion\\_de\\_arboles\\_del\\_dosel\\_en\\_bosque\\_muy\\_humedo\\_tropical\\_aspectos\\_teoricos\\_y\\_practicos](https://www.researchgate.net/publication/259364360_Analisis_de_la_regeneracion_de_arboles_del_dosel_en_bosque_muy_humedo_tropical_aspectos_teoricos_y_practicos). Acesso em: 20 nov. 2023.

COELHO, Daniela Siqueira *et al.* Respostas fisiológicas em variedades de feijão caupi submetidas a diferentes níveis de sombreamento. **Revista Brasileira de Biociências**, Porto Alegre, v. 12, n. 1, p. 14-19, jan./mar. 2014. Disponível em:  
[https://www.researchgate.net/publication/275331396\\_Respostas\\_fisiologicas\\_em\\_variedades\\_de\\_feijao\\_caupi\\_submetidas\\_a\\_diferentes\\_niveis\\_de\\_sombreamento](https://www.researchgate.net/publication/275331396_Respostas_fisiologicas_em_variedades_de_feijao_caupi_submetidas_a_diferentes_niveis_de_sombreamento). Acesso em: 20 nov. 2023.

COELHO, R. G.; DE OLIVEIRA, L. C. **Ciência e tecnologia para o desenvolvimento sustentável do sudoeste da Amazônia**. Rio Branco: EMBRAPA Acre, 2009. 455p.

COLMANETTI, Michel Anderson Almeida; BARBOSA, Luiz Mauro. Fitossociologia e estrutura do estrato arbóreo de um reflorestamento com espécies nativas em Mogi-Guaçu, SP, Brasil. **Hoehnea**, São Paulo, v. 40, n. 3, p. 419–435, set. 2013. Disponível em:  
<https://www.scielo.br/j/hoehnea/a/y5YJZr9qMfNzm4WYTcbbMsP/#>. Acesso em: 08 fev. 2023.

CONDÉS, Sonia *et al.* Climate influences on the maximum size-density relationship in Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) and European beech (*Fagus sylvatica* L.) stands. **Forest Ecology and Management**, [Netherlands], v. 385, p. 295–307, Feb. 2017. Disponível em:  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378112716309215>. Acesso em: 18 set. 2023.

COOPER, G. The competition controversy in community ecology. **Biology and Philosophy**, v. 8, p. 359-384, Oct. 1993. Disponível em:  
<https://link.springer.com/article/10.1007/BF00857684#citeas>. Acesso em: 4 maio 2024.

CORELLI-GRAPPADELLI, L. Light relations. *In*: FERREE, D. C.; WARRINGTON, I. J. (eds.). **Apples: Botany, production and uses**. Oxford: CAB International, 2003. p. 195-216.

COSTA, Camila Klocker. **Estudo fitoquímico de *Bixa orellana* L., Bixaceae e aplicação de seu óleo em formulação cosmética**. 2007. 115 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Farmacêuticas) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2007.

COSTA, Camila Klocker *et al.* Identificação de  $\delta$  tocotrienol e de ácidos graxos no óleo fixo de urucum (*Bixa orellana* L.). **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, Campinas, v. 15, n. 4, p. 508-512, fev. 2013. Disponível em:  
<https://www.scielo.br/j/rbpm/a/Kt7sYPZJbnBBTwtMHPzgwGp/?format=pdf&lang=pt>.  
 Acesso em: 15 jan. 2024.

CROUZEILLES, Renato *et al.* A new approach to map landscape variation in forest restoration success in tropical and temperate forest biomes. **Journal of Applied Ecology**, [England], v. 56 n. 12, p. 2675-2686, Dec. 2019. Disponível em:  
<https://besjournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/1365-2664.13501>. Acesso em: 25 jan. 2024.

CROUZEILLES, Renato *et al.* Achieving cost-effective landscape-scale forest restoration through targeted natural regeneration. **Conservation Letters**, [England], v. 13, n. 3, May/June 2020. Disponível em:  
<https://conbio.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/conl.12709>. Acesso em: 25 jan. 2024.

CRUSCIOL, Carlos Alexandre Costa *et al.* Taxas de decomposição e de liberação de macronutrientes da palhada de aveia preta em plantio direto. **Bragantia**, Campinas, v. 67, n. 2, p. 481- 489, 2008. Disponível em:  
<https://www.scielo.br/j/brag/a/6ssBtCfr96cvD5s3phvBtrk/>. Acesso em: 12 jan. 2024.

CURTO, Rafaella de Angeli. **Avaliação do crescimento e potencial de manejo em plantio superestocado de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze**. 2015. 251 p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2015.

DA SILVA, Adriane Luciana *et al.* **A cultura da goiaba**. 2. ed. Brasília: EMBRAPA Informação Tecnológica, 2010. 180 p. (Coleção Plantar).

DA SILVA, Eduardo Teixeira; BICCA NETO, Humberto; FOLTRAN, Bianca Nadal. Materiais de cobertura na produção de mudas de erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hill). **Scientia Agraria**, Curitiba, v. 8, n. 1, p. 103-109, 2007. Disponível em:  
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2908040>. Acesso em: 20 set. 2023.

DANTAS, Antonio Augusto Aguilar; CARVALHO, Luiz Gonsaga de; FERREIRA, Elizabeth. Classificação e tendências climáticas em Lavras, MG. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 31, n. 6, p. 1862–1866, nov. 2007. Disponível em:  
<https://www.scielo.br/j/cagro/a/89JHKQqy7ThnmbtxBXMJtHd/?format=pdf&lang=pt>.  
 Acesso em: 12 fev. 2024.

DAVIDE, Antonio Claudio *et al.* Comportamento de espécies florestais nativas em áreas de depleção do reservatório da Usina Camargos/Itutinga. **Cerne**, Lavras, v. 2, n. 1, p. 20-34, 1996.

- DAVIDE, Antonio Claudio *et al.* **Nascente, o verdadeiro tesouro da propriedade rural - o que fazer para conservar as nascentes nas propriedades rurais.** 2. ed. 2004. (Boletim Técnico).
- DI SACCO, Alice *et al.* Ten golden rules for reforestation to optimize carbon sequestration, biodiversity recovery and livelihood benefits. **Global Change Biology**, [England], v. 27, n. 7, p. 1328-1348, Apr. 2021. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/gcb.15498>. Acesso em: 25 jan. 2024.
- DIAS, Nilma O. *et al.* Morpho agronomic characterization and estimates of genetic parameters in annatto plant. **Horticultura Brasileira**, Vitória da Conquista, v. 35, n. 2, p. 242-246, Apr./June 2017. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/hb/a/PbTnMY5YJ9MKFpPPk5RdcQk/?lang=en>. Acesso em: 30 ago. 2023.
- DONALD, C. M. The breeding of crop ideotypes. **Euphytica**, [Netherlands], v. 17, n. 3, p. 385-403, Dec. 1968. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/BF00056241>. Acesso em: 4 jan. 2024.
- DURAND, G. Effects of light availability on the architecture of canopy in Mango (*Mangifera Indica L.*) Cv. Manzana Trees. **Acta Horticulturae**, [s.l.], v. 455, p. 217-227, 1997. Disponível em: [https://www.ishs.org/ishs-article/455\\_29](https://www.ishs.org/ishs-article/455_29). Acesso em: 2 out. 2023.
- DURIGAN, Giselda *et al.* Regeneração natural da vegetação de cerrado sob floresta de *Eucalyptus citriodora*. **Revista do Instituto Florestal**, São Paulo, v. 9, n. 1, p. 71-85, jun. 1997. Disponível em: <https://rif.emnuvens.com.br/revista/article/view/610>. Acesso em: 12 out. 2023.
- DURIGAN, Giselda; SILVEIRA, Éliton Rodrigo da. Recomposição da mata ciliar em domínio de cerrado, Assis, SP. **Scientia Forestalis**, [Piracicaba], v. 56 n. 50, p. 135-144, dez. 1999. Disponível em: <https://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr56/cap10.pdf>. Acesso em: 22 out. 2023.
- ELETROBRAS FURNAS. **Furnas planta as primeiras mudas no Projeto Nascente.** Eletrobras Furnas, 2021. Disponível em: <https://www.furnas.com.br/subsecao/611>. Acesso em: 23 jan. 2024.
- ELIAS, M. E. A. *et al.* Mineral nutrition, growth and yields of annatto trees (*Bixa orellana L.*) in agroforestry on an Amazonian ferralsol. **Experimental Agriculture**, [England], v. 38, n. 3, p. 277-289, July 2002. Disponível em: <https://www.cambridge.org/core/journals/experimental-agriculture/article/abs/mineral-nutrition-growth-and-yields-of-annatto-trees-bixa-orellana-in-agroforestry-on-an-amazonian-ferralsol/DD1E79DD9ACC5009AEA5AE66C8A4D7E0>. Acesso em: 13 jan. 2024.
- ELOY, E. *et al.* Espécies florestais em plantios de curta rotação para biomassa. **Revista da Madeira**, Curitiba, v. 21, p. 50-53, 2010.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sobre a Lei 12.651/2012.** 2023. Disponível em: <https://www.embrapa.br/codigo-florestal/entenda-o-codigo-florestal>. Acesso em: 12 jan. 2024.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Projeto estimula a restauração de áreas de Reserva Legal com araucárias. Florestas e Silvicultura**. EMBRAPA Florestas, 2023. Disponível em: <https://www.embrapa.br/florestas/busca-de-noticias/-/noticia/83769398/projeto-estimula-a-restauracao-de-areas-de-reserva-legal-com-araucarias>. Acesso em: 11 fev. 2024.

ENGEL, Vera L.; PARROTTA, John A. Definindo restauração ecológica: tendências e perspectivas mundiais. *In*: KAGEYAMA, P. Y. *et al.* (orgs.). **Restauração ecológica de ecossistemas naturais**. Botucatu: FEPAP, 2008.

FABRI, Eliane Gomes. **Demanda por corantes naturais aquece mercado brasileiro de urucum**. Rio de Janeiro: Sociedade Nacional de Agricultura, 2015. Disponível em: <https://www.sna.agr.br/demanda-por--corantes-naturais-aquece-mercado-brasileiro-de-urucum/>. Acesso em: 23 jul. 2023.

FACHINELLO, José Carlos; NACHTIGAL, Jair Costa; KERSTEN, Elio. **Fruticultura – Fundamentos e Práticas**. Universidade Federal de Pelotas. Pelotas, 2008. p. 183.

FALESI, Ítalo Claudio. **Urucuzeiro: recomendações básicas para seu cultivo**. Belém: EMBRAPA/UEPAE, 1987. (Documentos; 3).

FINCH, D. A. *et al.* Photosynthetically active radiation regimes in a southern African savanna environment. **Agricultural and Forest Meteorology**, [Netherlands], v. 122, n. 3-4, p. 229–238, Apr. 2004. Disponível em: <https://www.infona.pl/resource/bwmeta1.element.elsevier-a4e5507b-db57-3b95-9909-b63690dd0008>. Acesso em: 23 jan. 2024.

FINEGAN, B. Forest succession. **Nature**, London, v. 312, p. 109-114, 1984. Disponível em: <https://www.scirp.org/reference/ReferencesPapers?ReferenceID=1554719>. Acesso em: 13 jan. 2024.

FRANCO, Camilo Flamarion de Oliveira *et al.* **Urucum: Sistemas de produção para o Brasil**. João Pessoa: EMEPA, APTA, 2008. 112 p.

FRONZA, D.; HAMANN, J. J. **Implantação de pomares**. Santa Maria, Universidade Federal de Santa Maria, Colégio Politécnico; Rede e-Tec Brasil. 2014. 126 p.

GANN, George D. *et al.* International principles and standards for the practice of ecological restoration. Second edition. **Restoration Ecology**, [United States], v. 27, n. S1, p. S1-S46, Sept. 2019. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/rec.13035>. Acesso em: 3 set. 2023.

GIUSTINA, Carolina Della; CARNEVALLI, Roberta Aparecida; CARVALHO, Carlos Augusto Brandão de. Ambiente luminoso e crescimento de frutíferas em Sistemas Silvopastoris. *In*: ENCONTRO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIAS AGROSSUSTENTÁVEIS; JORNADA CIENTÍFICA EMBRAPA AGROSSILVIPASTORIL, 6., 2017, Sinop. **Anais eletrônicos...** Sinop: EMBRAPA, 2017. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1088782/1/2017-cpamt-eurj-ambiente-luminoso-crescimento-frutiferas-sistemas-silvipastoris-p-145-148.pdf>. Acesso em: 23 jan. 2024.

GLOVER, Glenn R.; HOOL, James N. A basal area ratio predictor of loblolly pine plantation mortality. **Forest Science**, [United States], v. 25, n. 2, p. 275-282, June 1979. Disponível em: <https://academic.oup.com/forestscience/article-abstract/25/2/275/4656371?redirectedFrom=PDF>. Acesso em: 3 jan. 2024.

GONÇALVES, José Leonardo de Moraes *et al.* Integrating genetic and silvicultural strategies to minimize abiotic and biotic constraints in Brazilian eucalypt plantations. **Forest Ecology and Management**, [Netherlands], v. 301, p. 6-27, Aug. 2013. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S037811271200761X>. Acesso em: 5 set. 2023.

GONZAGA NETO, Luiz. **Cultura da goiabeira**. Petrolina: EMBRAPA -CPATSA, 1990. 26 p. (Circular Técnica; 23).

GONZAGA NETO, Luiz; SOARES, José Monteiro. **A cultura da goiaba**. Brasília: EMBRAPA /SPI, 1995. 75 p. (Coleção Plantar; 27).

GONZAGA NETO, Luiz; SOARES, José Monteiro. **Goiaba para exportação: aspectos técnicos da produção**. Brasília: EMBRAPA -SPI: FRUPEX, 1994. 49 p. (Publicações Técnicas; 5).

GONZAGA NETO, Luiz *et al.* **Goiaba: Produção – Aspectos Técnicos**. Brasília: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, EMBRAPA Semiárido, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), 2001. 69 p.

GONZAGA NETO, Luiz. Produção de goiaba. *In*: SEMANA INTERNACIONAL DA FRUTICULTURA, FLORICULTURA E AGROINDÚSTRIA – FRUTAL, 14., 2007, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza, 2007. 64 p.

GRISI, Breno Machado. **Glossário de Ecologia e Ciências Ambientais**. 3. ed. revisada e ampliada. João Pessoa, 2007. 276 p.

HOLL, Karen D. Restoration of tropical forests, *In*: ANDEL, Jelte van, ARONSON, James (eds.). **Restoration ecology: the new frontier**. Chichester: John Wiley & Son, 2012. p. 103–114.

INOUE, M. T.; GALVÃO, F. Desempenho assimilatório de *Mimosa scabrella*, *Peltophorum dubium*, *Schinus terebinthifolius* e *Matayba elaeagnoides*, em dependência da intensidade luminosa. **Acta Forestalia Brasiliensis**, Curitiba, v. 1, n. 1, p. 89-98, 1986.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Mapa Série Brasil – Vegetação – 1:5.000.000 – 2004**. IBGE, 2004. Disponível em: [https://geoftp.ibge.gov.br/informacoes\\_ambientais/vegetacao/mapas/brasil/vegetacao.pdf](https://geoftp.ibge.gov.br/informacoes_ambientais/vegetacao/mapas/brasil/vegetacao.pdf). Acesso em: 12 fev. 2024.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Produção de goiaba**. IBGE, 2021. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/goiaba/br>. Acesso em: 22 ago. 2023.

INSTITUTO DE MEIO AMBIENTE DE MATO GROSSO DO SUL. **Métodos e técnicas para restauração da vegetação nativa**. Documento técnico para orientação na Restauração da Vegetação Nativa no Bioma Mata Atlântica do Mato Grosso do Sul. Campo Grande: IMASUL, 2016

INSTITUTO DE TECNOLOGIA DE ALIMENTOS. **Goiaba**: cultura, matéria-prima, processamento e aspectos econômicos. 2. ed. revisada e ampliada. Campinas: ITAL, 1988. 224 p. (Série Frutas Tropicais; 6).

JAKO, Collete *et al.* Probing carotenoid biosynthesis in developing seed coats of *Bixa orellana* (Bixaceae) through expressed sequence tag analysis. **Plant Science**, New York, v. 163, n. 1, p. 141-145, July 2002. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0168945202000833>. Acesso em: 12 ago. 2023.

JOLY, Aylthon Brandão. **Botânica**: introdução à taxonomia vegetal. São Paulo: Companhia Editora Nacional, 2022. 777 p.

KAGEYAMA, Paulo Yoshio; GANDARA, F. B. Restauração e conservação de ecossistemas tropicais. *In*: CULLEN JÚNIOR, L.; RUDRAN, R.; VALLADARES-PADUA, C. (orgs.). **Métodos de estudo em biologia da conservação & manejo da vida silvestre**. Curitiba: Ed. Universidade Federal do Paraná, 2006.

KAGEYAMA, Paulo Yoshio; GANDARA, F. B. Revegetação de áreas ciliares. *In*: RODRIGUES, R. R.; LEITÃO, H. F. F. O. (eds). **Matas ciliares**: conservação e recuperação. São Paulo: EDUSP, 2000.

KARUNGI, Jeninah *et al.* Relating shading levels and distance from natural vegetation with hemipteran pests and predators occurrence on coffee. **Journal of Applied Entomology**, [Germany], v. 139, n. 9, p. 669–678, Nov. 2015. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/jen.12203>. Acesso em: 11 nov. 2023.

KATO, Osvaldo Ryohei *et al.* **Efeito da relação esterco/terriço no desenvolvimento de mudas de urucuzeiro**. Belém: EMBRAPA/CPATU, 1991. (Circular técnica; 59).

KAVATI, R. Cultivares. *In*: SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE A CULTURA DA GOIABEIRA, 1., 1997, Jaboticabal. **Anais...** Jaboticabal: UNESP-FCAVJ, 1997. p. 1-16.

KHOSLA, Prem Kumar *et al.* Growth patterns of early versus late successional multipurpose trees of the western Himalaya. **Trees**, [United States], v. 10, p. 108-113, Dec. 1995. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/BF00192191>. Acesso em: 23 out. 2023.

KIMSEY, Mark J.; SHAW, Terry M.; COLEMAN, Mark D. Site sensitive maximum stand density index models for mixed conifer stands across the Inland Northwest, USA. **Forest Ecology and Management**, [Netherlands], v. 433, p. 396–404, Feb. 2019. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378112718317122>. Acesso em: 28 set. 2023.

KIOKIAS, Sotirios; GORDON, Michael H. Antioxidant properties of annatto carotenoids. **Food Chemistry**, New York, v. 83, n. 4, p. 523-529, Dec. 2003. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0308814603001481>. Acesso em: 18 ago. 2023.

KOLLER, O. C. **Cultura da goiabeira**. Porto Alegre: Agropecuária, 1979. 44 p.

KRENCHINSKI, Fábio Henrique *et al.* Agronomic performance of soybean grown in succession to winter cover crops. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 53, n. 8, p. 909-917, Aug. 2018. Disponível em: <https://seer.sct.embrapa.br/index.php/pab/article/view/25997>. Acesso em: 12 maio 2024.

LENZI, Maurício; ORTH, Afonso Inácio. Fenologia reprodutiva, morfologia e biologia floral de *Schinus terebinthifolius* Raddi (Anacardiaceae), em restinga da Ilha de Santa Catarina, Brasil. **Biotemas**, Florianópolis, v. 17, n. 2, p. 67-89, jan. 2004. Disponível em: <https://periodicos.ufsc.br/index.php/biotemas/article/view/23249>. Acesso em: 11 out. 2023.

LORENZI, Harri. **Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil**. 5. ed. Nova Odessa: Instituto Plantarum, 2008. v. 1, p. 309.

LORIMER, Craig G. Test of age-independent competition indices for individual trees in natural hardwood stands. **Forest Ecology and Management**, [Netherlands], v. 6, n.4, p. 343-360, Oct. 1983. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/0378112783900427?via%3Dihub>. Acesso em: 22 jan. 2024.

LOURENÇO, Alessandra Fonseca. **Regeneração natural como indicar de restauração florestal em trechos de Floresta Estacional Semidecidual no Espinhaço Meridional, MG**. 2016. 32 p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Diamantina, 2016.

MAJOLO, Cláudia; CARVALHO, Heloisa Helena; WIEST, J. M. Atividade Antibacteriana “*in vitro*” de diferentes acessos de Urucum (*Bixa orellana* L.) e sua relação com o teor de bixina presente nas sementes. **B. CEPPA**, Curitiba, v. 31, n. 1, p. 115-124, jan./jun. 2013. Disponível em: <https://www.embrapa.br/en/busca-de-publicacoes/-/publicacao/963649/atividade-antibacteriana-in-vitro-de-diferentes-acessos-de-urucum-bixa-orellana-l-e-sua-relacao-com-o-teor-de-bixina-presente-nas-sementes>. Acesso em: 15 ago. 2023.

MANESCHY, Rosana Quaresma; SANTANA, Antônio Cordeiro de; VEIGA, Jonas Bastos da. Viabilidade Econômica de Sistemas Silvopastoris com *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* e *Tectona grandis* no Pará. **Pesquisa Florestal Brasileira**, [Colombo], n. 60, p. 49, dez. 2010. Disponível em: <https://pfb.cnpf.embrapa.br/pfb/index.php/pfb/article/view/45>. Acesso em: 4 fev. 2024.

MANTOVANI, Nilton César *et al.* Avaliação de genótipos de urucum (*Bixa orellana* L.) por meio da caracterização morfológica de frutos, produtividade de sementes e teor de bixina. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 23, n. 2, p. 355–362, abr./jun. 2013. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cflo/a/Xdsr6GHp54mn9CDG8vRM9jC/abstract/?format=html&lang=pt>. Acesso em: 18 ago. 2023.

- MANTOVANI, Nilton César *et al.* Resgate vegetativo por alporquia de genótipos adultos de urucum (*Bixa orellana* L.). **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 20, n. 3, p. 405-412, jul./set. 2010. Disponível em: <https://periodicos.ufsm.br/cienciaflorestal/article/view/2055>. Acesso em: 18 ago. 2023.
- MANTOVANI, Waldir *et al.* Indicadores universais para monitoramento. In: UEHARA, Thiago Hector Kanashiro; GANDARA, Flávio Bertin. **Cadernos da Mata Ciliar – Monitoramento de áreas em recuperação: subsídios à seleção de indicadores para avaliar o sucesso da restauração ecológica**. São Paulo: SMA, 2011.
- MARANCA, Guido. **Fruticultura comercial: mamão, goiaba, abacaxi**. São Paulo: Nobel, 1981. 118 p.
- MARTINS, Ruben Jacques. **Efeito do espaçamento e arranjo do plantio do eucalipto na capacidade operacional e custo da colheita com colhedora florestal**. 2008. 85 p. Tese (Doutorado em Recursos Florestais) – Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2008.
- MATTHES, Luiz Antonio Ferraz; MARTINS, Fernando Roberto. Conceitos em Sucessão Ecológica. **Revista Brasileira Horticultura Ornamental**, Campinas, v. 2, n. 2, p. 19-32, 1996. Disponível em: <https://www.google.com/url?esrc=s&q=&rc=j&sa=U&url=https://ornamentalhorticulture.emnuvens.com.br/rbho/article/viewFile/122/1705&ved=2ahUKEwiPzYW3s8KCAxX9qpUCHbiABOYQFnoECAMQAg&usg=AOvVaw2ibfL3t4LZEee5R2zNWa5l>. Acesso em: 1 nov. 2023.
- MATTOS, Eduardo M. de *et al.* Variation in canopy structure, leaf area, light interception and light use efficiency among Eucalyptus clones. **Forest Ecology and Management**, [Netherlands], v. 463, May 2020. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378112719322352>. Acesso em: 16 nov. 2023.
- MAZUCHOWSKI, Jorge Zbigniew *et al.* Efeito da luminosidade e da adição de nitrogênio no crescimento de plantas de *Ilex paraguariensis* St. Hil. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 31, n. 4, p. 619-627, ago. 2007. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rarv/a/YpHX55Z7tftBkYMSnst6YSx/?lang=pt>. Acesso em: 21 out. 2023.
- MEDINA, J. C. *et al.* **Goiaba: cultura, matéria prima, processamento e aspectos econômicos**. 2. ed. Campinas: Instituto de Tecnologia de Alimentos, 1991. 224 p. (Série Frutas Tropicais; 6).
- MEDRADO, Moacir José Sales; CARVALHO, Paulo Ernani Ramalho de. **Espécies de múltiplo propósito para uso em sistemas agroflorestais**. 1998. p. 129-168.
- MELI, Paula *et al.* A global review of past land use, climate, and active vs. passive restoration effects on forest recovery. **Plos One**, [United States], v. 12, n. 2, Feb. 2017. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/313330209\\_A\\_global\\_review\\_of\\_past\\_land\\_use\\_climate\\_and\\_active\\_vs\\_passive\\_restoration\\_effects\\_on\\_forest\\_recovery](https://www.researchgate.net/publication/313330209_A_global_review_of_past_land_use_climate_and_active_vs_passive_restoration_effects_on_forest_recovery). Acesso em: 5 jan. 2023.

MENDES, Angela Maria da Silva; FIGUEIREDO, Antenor Francisco de; SILVA, José Ferreira da. Crescimento e Maturação dos Frutos e Sementes de Urucum. *Revista Brasileira de Sementes*, [s.l.], v. 28, n. 1, p. 133-141, abr. 2006. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbs/a/7jRSnLrVYtgSd8WHhY5JXpr/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 29 maio 2024.

MENDONÇA, Alessandro Ribeiro de; CARVALHO, Samuel de Pádua Chaves; CALEGARIO, Natalino. Modelos hipsométricos generalizados mistos na predição de altura de *Eucalyptus* sp. *Cerne*, Lavras, v. 21, n. 1, p. 107-115, mar. 2015. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/275023512\\_MODELOS\\_HIPSOMETRICOS\\_GENERALIZADOS\\_MISTOS\\_NA\\_PREDICAO\\_DA\\_ALTURA\\_DE\\_Eucalyptus\\_sp](https://www.researchgate.net/publication/275023512_MODELOS_HIPSOMETRICOS_GENERALIZADOS_MISTOS_NA_PREDICAO_DA_ALTURA_DE_Eucalyptus_sp). Acesso em: 29 maio 2024.

MENDONÇA, Alessandro Ribeiro de *et al.* Estimação da altura total de árvores de ipê felpudo utilizando modelos de regressão e redes neurais artificiais. **Brazilian Journal of Biometrics**, Lavras, v. 36, n. 1, p. 128-139, mar. 2018. Disponível em: <https://biometria.ufla.br/index.php/BBJ/article/view/154>. Acesso em: 29 maio 2024.

MERCADANTE, A. Z.; PFANDER, H. Carotenoids from annatto: a review. **Recent Research Developments in Agricultural and Food Chemistry**, New York, v. 2, p. 79-91, 1998.

MERCADANTE, A. Z.; STECK, A.; PFANDER, H. Isolation and identification of new apocarotenoids from annatto (*Bixa orellana*) seeds. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, New York, v. 45, n. 4, p. 1050-1054, Apr. 1997. Disponível em: <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/jf960412k>. Acesso em: 18 ago. 2023.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Manejo Florestal Sustentável**. MMA, 2022. Disponível em: <https://antigo.mma.gov.br/florestas/manejo-florestal-sustent%C3%A1vel.html>. Acesso em: 8 set. 2023.

MIRANDA, Rodrigo Otávio Veiga de *et al.* Estratificação hipsométrica em classes de sítio e de altura total em plantios clonais de eucaliptos. **Advances in Forestry Science**, Cuiabá, v. 1, n. 4, p. 113-119, out./dez. 2014. Disponível em: <https://www.periodicoscientificos.ufmt.br/ojs/index.php/afor/article/view/1975>. Acesso em: 29 maio 2024.

MOLIN, Paulo Guilherme *et al.* A landscape approach for cost-effective large-scale forest restoration. **Journal of Applied Ecology**, [England], v. 55 n. 6, p. 2767-2778, Nov. 2018. Disponível em: <https://besjournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/1365-2664.13263>. Acesso em: 25 jan. 2024.

MÜLLER, Marcelo Dias M. *et al.* Desenvolvimento vegetativo de pinhão-mansão em diferentes arranjos de plantio em sistemas agrossilvipastoris. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 49, n. 7, p. 506-514, jul. 2014. Disponível em: <https://www.embrapa.br/en/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1014039/desenvolvimento-vegetativo-de-pinhao-mansao-em-diferentes-arranjos-de-plantio-em-sistemas-agrossilvipastoris>. Acesso em: 9 out. 2023.

MÜLLER, M. M. L.; CECCON, G.; ROSOLEM, C. A. Influência da compactação do solo em subsuperfície sobre o crescimento aéreo e radicular de plantas de adubação verde de inverno. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 25, p. 531-538, set. 2001. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbcs/a/ffJQ4BRCbhqXVZFYrtBsd6C/?format=pdf>. Acesso em: 19 out. 2023.

MYERS, Norman *et al.* Biodiversity hotspots for conservation priorities. **Nature**, Londres, v. 403, n. 6772, p. 853-858, 2000. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/35002501>. Acesso em: 17 out. 2023.

NAGY, Guilherme Martins *et al.* **Uso do Papelão como Facilitador da Semeadura Direta na Restauração Florestal**. Seropédica: EMBRAPA Agrobiologia, out. 2022. 10 p. (Comunicado Técnico; 151).

NARDINI, Claiton *et al.* Biomass and radiation use efficiency in *Eucalyptus* plantations as affected by spacing of planting. **Scientia Forestalis**, [s.l.], v. 48, n. 128, p. 1-14, dez. 2020. Disponível em: <https://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr128/2318-1222-scifor-48-128-e3413.pdf>. Acesso em: 29 maio 2024.

NARDINI, Claiton *et al.* Growth and solar radiation use efficiency of corn cultivated in agroforestry systems. **Emirates Journal of Food and Agriculture**, [United Arab Emirates], v. 31, n. 7, p. 535–543, Aug. 2019. Disponível em: <https://ejfa.me/index.php/journal/article/view/1977>. Acesso em: 30 out. 2023.

NASCIMENTO, Daniel Ferreira do *et al.* Crescimento inicial de seis espécies florestais em diferentes espaçamentos. **Cerne**, Lavras, v. 18, n. 1, p. 159-165, mar. 2012. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cerne/a/6w3GtLbBrKNRtCbP7LNmn6H/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 15 ago. 2023.

NEVES, Edinelson José Maciel *et al.* **Cultivo da aroeira-vermelha (*Schinus terebinthifolius* Raddi) para produção de pimenta-rosa**. Colombo: EMBRAPA Florestas, 2016. 24 p. Disponível em: <https://www.embrapa.br/en/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1052499/cultivo-da-aroeira-vermelha-schinus-terebinthifolius-raddi-para-producao-de-pimenta-rosa>. Acesso em: 7 ago. 2023

NICOLETTI, Marcos F. *et al.* Relação Hipsométrica para *Pinus taeda* L. em Diferentes Fases do Ciclo de Corte. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 23, n. 1, p. 80-89, 2016. Disponível em: <https://pdfs.semanticscholar.org/acf3/5af6ff6ced88e75858c82a8156dc8e5b062e.pdf>. Acesso em: 29 maio 2024.

ODUM, Eugene P. The strategy of ecosystem development. **Science**, [United States], v. 164, n. 3877, p. 262-270, Apr. 1969. Disponível em: <https://fire.biol.wvu.edu/hooper/odumscience1969.pdf>. Acesso em: 29 dez. 2023.

OLIVEIRA, Carlos Delano Cardoso de; DURIGAN, Giselda; PUTZ, Francis Edward. Thinning temporarily stimulates tree regeneration in a restored tropical forest. **Ecological Engineering**, [Netherlands], v. 171, Nov. 2021. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0925857421002457>. Acesso em: 22 jan. 2024.

OLIVEIRA, Janaína Pagliarini de *et al.* Competição espacial e crescimento de *Ocotea odorífera* (Vell.) Rohwer em remanescente de Floresta Ombrófila Mista. **Nativa**, Sinop, v. 10, n. 4, p. 458–465, nov. 2022. Disponível em: <https://periodicoscientificos.ufmt.br/ojs/index.php/nativa/article/view/12086>. Acesso em: 22 jan. 2024.

ORELLANA, Enrique. **Sucessão florestal, regimes de manejo e competição avaliados por modelos de árvore individual em um fragmento de Floresta de Araucária**. 2014. 155 p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2014.

PEIXOTO, Clovis; CRUZ, Thyane; PEIXOTO, Maria de Fátima. Análise quantitativa do crescimento de plantas: Conceitos e prática. **Enciclopedia Biosfera**, Jandaia, v. 7, n. 13, nov. 2011. Disponível em: <https://www.conhecer.org.br/ojs/index.php/biosfera/article/view/4092>. Acesso em: 29 dez. 2023.

PEREIRA, Fernando Mendes. **Cultura da goiabeira**. São Paulo: UNESP/FUNEP, 1995. 30 p.

PEREIRA, Fernando Mendes; MARTINEZ JUNIOR, M. **Goiabas para industrialização**. Jaboticabal: UNESP, 1986. 142p.

PEREIRA, Pereira, José Aldo Alves; BOTELHO, Soraya Alvarenga; DAVIDE, Soraya Alvarenga. Desenvolvimento de espécies florestais de rápido crescimento em diferentes condições de sítio visando a recomposição de matas ciliares. **Cerne**, Lavras, v. 5, n. 1, p. 36-51, 1999. Disponível em: <http://repositorio.ufla.br/handle/1/14644?mode=full>. Acesso em: 29 dez. 2023.

PES, Luciano Zucuni; ARENHARDT, Marlon Hilgert. **Fisiologia vegetal**. Santa Maria: Rede e-Tec Brasil, 2015. 81 p. Disponível em: [https://www.ufsm.br/app/uploads/sites/413/2018/11/09\\_fisiologia\\_vegetal.pdf](https://www.ufsm.br/app/uploads/sites/413/2018/11/09_fisiologia_vegetal.pdf). Acesso em: 26 dez. 2023.

PIASENTIN, Flora Bonazzi; SAITO, Carlos Hiroo; SAMBUICHI, Regina Helena Rosa. Preferências locais quanto às árvores do sistema cacau-cabruca no sudeste da Bahia. **Ambiente & Sociedade**, São Paulo, v. 17, n. 3, p. 55–78, jul./set. 2014. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/asoc/a/HqqdDL4WvPrVnBNmLVwf7ZM/>. Acesso em: 31 out. 2023.

PILON, Natashi A. Lima; DURIGAN, Giselda. Criteria to indicate priority species for the restoration of cerrado vegetation. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 41, n. 99, p. 389-399, Sept. 2013. Disponível em: <https://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr99/cap10.pdf>. Acesso em: 7 fev. 2024.

PIZA JÚNIOR, Clovis de Toledo. **A poda da goiabeira de mesa**. Campinas: CATI, 1994. 30 p. (CATI. Boletim Técnico; 222).

POZZAN, Marlucci *et al.* Modelos de plantios e atributos funcionais de espécies nativas utilizadas em projetos de restauração em floresta de araucária. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 30, n. 4, p. 1103–1115, dez. 2020. Disponível em: <https://periodicos.ufsm.br/cienciaflorestal/article/view/40924>. Acesso em: 14 nov. 2023.

R CORE TEAM. **R: A Language and Environment for Statistical Computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, 2024. Disponível em: <https://www.R-project.org/>. Acesso em: 28 maio 2024.

RATHORE, D. S. Effect of season in the growth and chemical composition of guava (*Psidium guajava* L.). **Journal of Horticultural Science**, Ashford, v. 51, n. 1, p. 41-47, Feb. 1976. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/00221589.1976.11514662>. Acesso em: 10 nov. 2023.

REIS, Geraldo Gonçalves dos Reis; MULLER, M. W. **Análise de crescimento de plantas - mensuração do crescimento**. Belém: CPATU, 1978. 35 p.

RIBEIRO, Andressa *et al.* Estratégias e metodologias de ajuste de modelos hipsométricos em plantios de *Eucalyptus sp.* **Cerne**, Lavras, v. 16, n. 1, p. 22–31, jan. 2010. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cerne/a/TQLfhz4rFJRhvdBX8NW5FDs/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 9 fev. 2023.

RIBEIRO, Gabriella da Silva; RIGHI, Ciro Abbud. Canopy architecture of agroforestry system: initial evaluation of a waveform system. **Agroforest System**, [s.l.], v. 94, p. 487-498, June 2020. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10457-019-00415-2>. Acesso em: 11 dez. 2023.

RICKLEFS, Robert E. **A economia da natureza**. 6. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2010. 570 p.

RISTERUCCI, A. M. *et al.* Isolation and characterization of microsatellite loci from *Psidium guajava* L. **Molecular Ecology Notes**, Oxford, v. 5, n. 4, p. 745-748, Dec. 2005. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1471-8286.2005.01050.x>. Acesso em: 12 dez. 2023.

RODRIGUES, Elisangela Ronconi; MONTEIRO, Reinaldo; CULLEN JÚNIOR, Laury. Dinâmica inicial da composição florística de uma área restaurada na região do Pontal do Paranapanema, São Paulo, Brasil. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 34, n. 5, p. 853-861, mar. 2010. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rarv/a/NvWn8YXT6fz9rBJL9wMzXtN/?lang=pt>. Acesso em: 22 jan. 2024.

RODRIGUES, Ricardo Ribeiro; BRANCALION, Pedro Henrique Santin; ISERNHAGEN, Ingo (orgs.). **Pacto pela restauração da Mata Atlântica: referencial dos conceitos e ações de restauração florestal**. São Paulo: LERF; ESALQ; Instituto BioAtlântica, 2009.

ROMAN, Maína; BRESSAN, Delmar Antonio; DURLO, Miguel Antão. Variáveis morfométricas e relações interdimensionais para *Cordia trichotoma* (Vell.) Arráb. ex Steud. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 19, n. 4, p. 473–480, out. 2009. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cflo/a/9ncLjHHdZ4KH8Tm6hxfZQpz/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 12 fev. 2024.

RONDON, Eliazal Vieira. Produção de biomassa e crescimento de árvores de *Schizolobium amazonicum* (Huber) Ducke sob diferentes espaçamentos na região de mata. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 26, n. 5, p. 573–576, set. 2002. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rarv/a/BspTVwPL7Vt8Q66J7kVW4pv/?lang=pt>. Acesso em: 28 set. 2023.

SÁ, M. de F. A.; SANTOS, R. E. dos; NEVES, L. de J. Estudo anatômico e histoquímico de *Schinus terebinthifolius* Raddi. In: CONGRESSO NACIONAL DE BOTÂNICA, 47., 1996, Nova Friburgo. **Anais...** Nova Friburgo: Sociedade Botânica do Brasil, 1996. p. 245.

SANTIAGO, Willen Ramos *et al.* Nitrogênio mineral e microbiano do solo em sistemas agroflorestais com palma de óleo na Amazônia oriental. **Acta Amazonica**, Manaus, v. 43, n. 4, p. 395-406, maio 2013. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/aa/a/fVWY6rQckWh84T7qmnMZpcm/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 28 set. 2023.

SANTOS, Andreia Tabora dos *et al.* **Índices de competição em plantio de *Ocotea porosa***. Colombo: EMBRAPA, 2012. (Comunicado Técnico; 295).

SANTOS, Jussara Fernanda; AGOSTINI, Kayna; NOCELLI, Roberta Cornélio Ferreira. Fenologia da floração de espécies lenhosas em área em processo de restauração em Araras, São Paulo. **Bioikos – Título não-corrente**, Campinas, v. 27, n. 1, jun. 2013. Disponível em: <https://periodicos.puc-campinas.edu.br/bioikos/article/view/2168>. Acesso em: 26 set. 2023.

SATYANARAYANA, Akula; PRABHAKARARAO, Prabhakara Rao; RAO, D. G. Chemistry, processing and toxicology of annatto (*Bixa orellana* L.). **Journal of Food Sciences Technology**, [s.l.], v. 40, n. 2, p. 131-141, Apr. 2003. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/287555602\\_Chemistry\\_Processing\\_and\\_Toxicology\\_of\\_Annatto\\_Bixa\\_orellana\\_L](https://www.researchgate.net/publication/287555602_Chemistry_Processing_and_Toxicology_of_Annatto_Bixa_orellana_L). Acesso em: 12 jan. 2024.

SCALON, Silvana de Paula Quintão *et al.* Germinação e crescimento de mudas de pitangueira (*Eugenia uniflora* L.) sob condições de sombreamento. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 23, n. 3, p. 652-655, dez. 2001. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbf/a/JmhJPNNKCwX7NpWNqDqkdHK/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 10 jan. 2024.

SCARPARE FILHO, João Alexio; MEDINA, Ricardo Bordignon; DA SILVA, Simone Rodrigues da. **Poda de árvores frutíferas**. Piracicaba: USP/ESALQ/Casa do Produtor Rural, 2011. 54 p.

SCHNEIDER, Paulo Renato; FINGER, César Augusto Guimarães; HOPPE, Juarez Martins. Produção da *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. na região do planalto médio do estado do Rio Grande Do Sul. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 2, p. 99–118, mar. 1992. Disponível em: <https://periodicos.ufsm.br/cienciaflorestal/article/view/278>. Acesso em: 22 jan. 2024.

SCHNEIDER, Paulo Renato. **Introdução ao Manejo Florestal**. Santa Maria: UFSM, 1993. 348 p.

SCHONS, Cristine Tagliapietra *et al.* Índices de competição em nível de árvore individual para espécies da floresta ombrófila mista. **Scientia Forestalis**, [Piracicaba], v. 48, n. 128, p. 1-14, nov. 2020. Disponível em: <https://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr128/2318-1222-scifor-48-128-e3275.pdf>. Acesso em: 22 jan. 2024.

SECRETARIA DE ASSUNTOS ESTRATÉGICOS. **Impacto da revisão do código florestal**: como viabilizar o grande desafio adiante? SAE, 2013. Disponível em: [https://site-antigo.socioambiental.org/sites/blog.socioambiental.org/files/nsa/arquivos/artigo-codigo-florestal\\_britaldo\\_soares\\_sae\\_2013pdf.pdf](https://site-antigo.socioambiental.org/sites/blog.socioambiental.org/files/nsa/arquivos/artigo-codigo-florestal_britaldo_soares_sae_2013pdf.pdf) Acesso em: 11 dez. 2023.

SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM RURAL. **Frutas**: formação do pomar. 2. ed. Brasília: SENAR, 2010. 48 p. (Coleção SENAR; 144).

SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM RURAL. **Mecanização**: operação de tratores agrícolas. Brasília: SENAR, 2017. 192 p.

SILVA, Diego M. Blum da; RODRIGUES, Domingos Sávio; OLIVEIRA JUNIOR, Clovis J. F. de. Uso econômico da sociobiodiversidade: propriedades terapêuticas e outros usos de *Guazuma ulmifolia* L., Malvaceae. Cadernos de Agroecologia. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROECOLOGIA, 11., 2020, São Cristóvão. **Anais...** São Cristóvão, 2020.

SILVA, Kelly de Almeida *et al.* Restauração florestal de uma mina de bauxita: avaliação do desenvolvimento das espécies arbóreas plantadas. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 23, n. 3, p. 309–319, jul./set. 2016. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/floram/a/6nzTyZrJN9SGBdx44Qk4DBg/?lang=pt#>. Acesso em: 10 fev. 2024.

SILVA-LUZ, C. L. *et al.* **Anacardiaceae in Flora e Funga do Brasil**. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. 2024. Disponível em: <https://floradobrasil.jbrj.gov.br/FB15471>. Acesso em: 11 jan. 2024.

SILVA, Luiz Benedito Xavier da; TORRES, Mário Antonio Virmond. Espécies florestais cultivadas pela COPEL-PR (1974-1991). **Revista do Instituto Florestal**, São Paulo, v. 4, n. 2, p. 585-594, mar. 1992. Disponível em: [https://smastr16.blob.core.windows.net/iflorestal/ifref/RIF4-2/RIF4-2\\_585-594.pdf](https://smastr16.blob.core.windows.net/iflorestal/ifref/RIF4-2/RIF4-2_585-594.pdf) . Acesso em: 21 ago. 2023.

SILVA, Rosemeire Helena da; ROSOLEM, Ciro Antonio. Crescimento radicular de soja em razão da sucessão de cultivos e da compactação do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, n. 6, p. 855-860, jun. 2002. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/pab/a/WrFbVB3QcXCZkZSmNWgncDx/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 21 ago. 2023.

SOARES, Virgínia L. F. *et al.* Unraveling new genes associated with seed development and metabolism in *Bixa orellana* L. by expressed sequence tag (EST) analysis. **Molecular Biology Reporter**, New York, v. 38, n. 2, p. 1329-1340, Feb. 2011. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/20563648/>. Acesso em: 24 ago. 2023.

SOARES-FILHO, Britaldo *et al.* Cracking Brazil's Forest Code. **Science**, [United States], v. 344, p. 363-364, Apr. 2014. Disponível em: [http://lerf.eco.br/img/publicacoes/Soares\\_Filho\\_et\\_al\\_2014\\_artigo\\_Science.pdf](http://lerf.eco.br/img/publicacoes/Soares_Filho_et_al_2014_artigo_Science.pdf). Acesso em: 22 ago. 2023.

SOUBIHE SOBRINHO, J.; GURGEL, J. T. A. Taxa de panmixia na goiabeira (*Psidium guajava* L.) **Bragantia**, Campinas, v. 21, n. 2, p. 15-20, jan. 1962. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/brag/a/Q3CZ5hX5dMcf5r6BqnP8cnP/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 20 ago. 2023.

SOUZA, Danilla Cristina Lemos *et al.* Produção de frutos e características morfofisiológicas de *Schinus terebinthifolius* Raddi., na região do baixo São Francisco, Brasil. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 37, n. 5, p. 923-932, out. 2013. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rarv/a/NJZGbWPfhD5WGGG5twVT5Rd/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 15 nov. 2023.

SOUZA, Flaviana Maluf de; BATISTA, João Luis Ferreira. Restoration of seasonal semideciduous forests in Brazil: influence of age and restoration design on forest structure. **Forest Ecology and Management**, [Amsterdam], v. 191, n. 1-3, p. 185-200, Apr. 2004. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S037811270300567X>. Acesso em: 5 nov. 2023.

SOUZA, Hudson Santos *et al.* Modelos hipsométricos para eucalipto em sistema de integração lavoura-pecuária-floresta. **Nativa**, Sinop, v. 4, n. 1, p. 11-14, jan./fev. 2016. Disponível em: <https://periodicoscientificos.ufmt.br/ojs/index.php/nativa/article/view/3240/pdf>. Acesso em: 29 maio 2024.

SOUZA, Márcia Cristina Soares de; PIÑA-RODRIGUES, Fatima Conceição Márquez. Desenvolvimento de espécies arbóreas em sistemas agroflorestais para recuperação de áreas degradadas na floresta ombrófila densa, Paraty, RJ. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 37, n. 1, p. 89-98, jan. 2013. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rarv/a/pLzLTb34gHHD9wLRNVMHqcF/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 5 fev 2024.

SPAROVEK, Gerd *et al.* The revision of the Brazilian Forest Act: increased deforestation or a historic step towards balancing agricultural development and nature conservation? **Environmental Science & Policy**, [United States], v. 16, p. 65-72, Feb. 2012. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1462901111001687>. Acesso em: 25 set. 2023.

STAGE, Albert R. **Prognosis model for stand development**. Madison: USDA Forest Service. (Research Paper, No. INT-137).

STAHL Peter W.; PEARSALL M. Deborah. Late pre-Columbian agroforestry in the tropical lowlands of western Ecuador. **Quaternary International**, [England], v. 249, p. 43-52, Feb. 2012. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1040618211002540>. Acesso em: 25 set. 2023.

- STONE, Luís F. *et al.* Qualidade física de um Latossolo Vermelho ácrico sob sistemas silviagrícolas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental**, Campina Grande, v. 19, n. 10, p. 953-960, set. 2015. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/129257/1/agriambi.pdf>. Acesso em: 22 set. 2023.
- SWAINE, M. D. Long term studies of tropical forest dynamics. *In*: JOHNSTON, A. E. **Longterm experiments in agricultural and ecological sciences**. Wallington: CAB International, 1994.
- TEIXEIRA, A. H. de C.; GONZAGA NETO, L.; MOURA, M. S. B. de. Condições de clima e solo. *In*: GONZAGA NETO, L. (ed.). **Goiaba: produção**. Petrolina: EMBRAPA Semi-Árido, 2001. p. 24-27. (Frutas do Brasil, 17).
- TONINI, Hélio. **Índices de competição e o seu uso na modelagem do crescimento das árvores** Boa Vista: EMBRAPA Roraima, 2007. (Documentos; 8).
- TORRES, Anatoly Queiroz Abreu. **Análise de crescimento e desrama na implantação de espécies florestais nativas**. 2022. 68 p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2022.
- TRENTIN, Bruna Elisa *et al.* Restauração florestal na mata atlântica: passiva, nucleação e plantio de alta diversidade. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 28, n. 1, p. 160-174, jan./mar. 2018. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cflo/a/QwGJwwbHkqhzYNLxyWgJNfj/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 07 fev. 2024.
- TULER, Amélia Carlos; COSTA, I. R.; PROENÇA, C. E. B. **Psidium in Flora e Funga do Brasil**. Jardim Botânico do Rio de Janeiro, 2024. Disponível em: <https://floradobrasil.jbrj.gov.br/FB24034>. Acesso em: 11 jan. 2024.
- UN GENERAL ASSEMBLY. **Seventy-third session**. Agenda item 14, A/RES/73/284. 2019.
- VALÉRIO, Melissa Alessandra *et al.* Urucum seed residue (*Bixa orellana* L.): nutritional quality. **Food Science Technology**, Campinas, v. 35, n. 2, p. 326-330, abr./jun. 2015. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cta/a/cnc4SMx3dcJwdPSrzFgFBwB/>. Acesso em: 13 nov. 2023.
- VANCLAY, Jerome K. **Modelling forest growth and yield: applications to mixed tropical forests**. Wallingford: CAB International, 1994.
- VÁZQUEZ-YANES, C. Notas sobre la autoecología de los arboles pioneros de rapido crecimiento de la selva tropical lluviosa. **Tropical Ecology**, Varanasi, v. 21, p. 103-112, 1980.
- VENDRUSCOLO, Elisiane. Relação do diâmetro de copa e diâmetro à altura do peito para árvores de goiabeira cultivadas em calçadas. *In*: FRUSUL – SIMPÓSIO DE FRUTICULTURA DA REGIÃO SUL, 1., 2022. **Anais eletrônicos...** 2022. Disponível em: <https://portaleventos.uffs.edu.br/index.php/FRUSUL/article/view/16419>. Acesso em: 13 nov. 2023.

VILARES, A. S. *et al.* Estudo da biologia floral de urucuzeiro (*Bixa orellana* L.). **Revista Brasileira de Corantes Naturais**, [s.l.], v. 1, n. 1, p. 101-115, 1992.

WEISKITTEL, Aaron Robert *et al.* **Forest growth and yield modeling**. Oxford: Wiley-Blackwell, 2011.

WHITMORE, T. C. Forest dynamics and questions of scale. *In*: HADLEY, Malcolm. **Rain forest regeneration and management**: report of a workshop. Paris: International Union of Biological Sciences, 1986. p. 13-17. (Biology International - special issue, 18).

WHITTAKER, R. H. A consideration of climax theory: the clirnax as a population and pattern. **Ecological Monographs**, Washington, v. 23, n. 1, p. 42-78, Jan. 1953. Disponível em: <https://esajournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.2307/1943519>. Acesso em: 21 nov. 2023.

WILLE, Vania Karine Dick *et al.* Composição química da madeira de *Cordia trichotoma* (Vell.) Arráb. ex Steud. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 27, n. 4, p. 1441–1449, out./dez. 2017. Disponível em: <https://periodicos.ufsm.br/cienciaflorestal/article/view/30332>. Acesso em: 4 fev. 2024.

YOUNG, K. R.; EWEL, J. J.; BROWN, B. J. Seed dynamics during forest succession in Costa Rica. **Vegetatio**, Den Haag, v. 71, n. 3, p. 157-173, Aug. 1987. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/BF00039168>. Acesso em: 4 dez. 2023.