



Universidade Federal de São Carlos - Campus de Sorocaba

Híbridos e espécies de pínus com potencial para produção de madeira e resina

João Roberto Menucelli

Tese apresentada para obtenção
do título de Doutor em
Planejamento e Uso De
Recursos Renováveis

Sorocaba

2024

João Roberto Menucelli

Híbridos e espécies de pinus com potencial para produção de madeira e resina

Orientador: Dr. Eduardo Luiz Longui

Co-orientadora: Dra. Ananda Virginia
de Aguiar

Tese apresentada a Universidade
Federal de São Carlos para obtenção
do título de Doutor em Planejamento e
Uso de Recursos Renováveis

Sorocaba

2024

FICHA CATALOGRÁFICA

Híbridos e espécies de pinus com potencial para produção de madeira e resina / João Roberto Menucelli ...[et al.]. -- 2024.

98f.

Tese de Doutorado - Universidade Federal de São Carlos, campus Sorocaba, Sorocaba

Orientador (a): Dr. Eduardo Luiz Longui

Banca Examinadora: Ananda Virginia de Aguiar, Israel Luiz de Lima, José Arimatéia Rabelo Machado, Miguel Luiz Menezes Freitas, Wanderley dos Santos

Bibliografia

1. Madeira. 2. Pinus. 3. Hibridação. I. Menucelli, João Roberto. II. Moura, Rafael Dias. III. Machado, José Arimatéia Rabelo. IV. Amorim, Erick Phelipe. V. Soadario, Kethelyn. VI. Souza, Bruno Marchetti. VII. Santos, Wanderley dos. VIII. Freitas, Miguel Luiz Menezes. IX. Longui, Eduardo Luiz. X. Aguiar, Ananda Virginia de. XI. Título.

Ficha catalográfica desenvolvida pela Secretaria Geral de Informática (SIn)

DADOS FORNECIDOS PELO AUTOR

Bibliotecário responsável: Maria Aparecida de Lourdes Mariano - CRB/8 6979

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
Centro de Ciências e Tecnologias Para a Sustentabilidade
Programa de Pós-Graduação em Planejamento e Uso de Recursos Renováveis

Folha de Aprovação

Defesa de Tese de Doutorado do candidato João Roberto Menucelli, realizada em 02/08/2024.

Comissão Julgadora:

Profa. Dra. Ananda Virginia de Aguiar (EMBRAPA)

Prof. Dr. Israel Luiz de Lima (IPA)

Prof. Dr. José Arimatéia Rabelo Machado (IPA)

Prof. Dr. Miguel Luiz Menezes Freitas (IPA)

Prof. Dr. Wanderley dos Santos (FUNPINUS)

O Relatório de Defesa assinado pelos membros da Comissão Julgadora encontra-se arquivado junto ao Programa de Pós-Graduação em Planejamento e Uso de Recursos Renováveis.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todo o time da Funpinus que sempre colaboraram neste percurso, deram-me o suporte que precisava e acreditaram no meu trabalho. Aos profissionais da Embrapa Florestas, da IPA, das empresas Pinara e Schuckar que possibilitaram essa tese;

Ao Programa de Pós-Graduação em Planejamento e Uso de Recursos Renováveis – PPGPUR – Campus Sorocaba, por ter possibilitado o meu doutoramento;

Ao meu orientador Dr. Eduardo Luiz Longui e a co-orientadora Dra. Ananda Virginia de Aguiar por terem me guiado e me instigado a superar esse desafio;

A meu pai, João Menucelli Neto, a minha avó, Tereza Benedita Estersso, e meu avô, Roberto Baptista Alves, in memoriam, cujo suporte foi fundamental para me trazer até esse momento.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Procedência e Origem dos tratamentos de Pinus spp. avaliados na Floresta Estadual de Pederneiras, SP.	29
Tabela 2 – Sobrevivência dos tratamentos de pínus e híbridos na Floresta Estadual de Pederneiras, SP.	33
Tabela 3 – Valores Máximos e Mínimos para os caracteres de crescimento e fluxo de resina dos tratamentos de pínus e híbridos na Floresta Estadual de Pederneiras, SP.	35
Tabela 4 – Resultados da análise de variância dos tratamentos de Pinus spp. na Floresta Estadual de Pederneiras, SP.	39
Tabela 5 - Resultados do teste de Tukey para os caracteres de crescimento e fluxo de resina dos tratamentos de pínus e híbridos na floresta estadual de Pederneiras, SP. .	40
Tabela 6 – Matriz de correlação fenotípica para os caracteres: altura, diâmetro a altura do peito, volume, e fluxo de resina em ensaios de Pinus spp. na floresta estadual de Pederneiras, SP.	41
Tabela 7 - Procedência e Origem dos tratamentos de pínus e híbridos avaliados	55
Tabela 8 - Sobrevivência dos tratamentos de pínus e híbridos no grupo Barro Branco.	58
Tabela 9 - Sobrevivência dos tratamentos de pínus e híbridos no grupo Fontanini	58
Tabela 10 - Resultados das análises descritivas para os caracteres de crescimento para os tratamentos no grupo Fontanini em Ribeirão Branco, SP.	59
Tabela 11 - Resultados das análises descritivas para os caracteres de crescimento e silviculturais para os tratamentos na fazenda Fontanini em Ribeirão Branco, SP.	62
Tabela 12 - Resultados da análise de variância dos tratamentos de Pinus spp. no grupo Barro Branco em Ribeirão Branco, SP.	67
Tabela 13 - Resultados da análise de variância dos tratamentos de Pinus spp. no grupo Fontanini, em Ribeirão Branco, SP.	68
Tabela 14 - Resultados do teste de Tukey para os incrementos médios anuais para os caracteres de crescimento e da copa dos tratamentos de Pinus spp. no grupo Barro Branco, em Ribeirão Branco, SP.	70

Tabela 15 - Resultados do teste de Tukey para os incrementos médios anuais para os caracteres de crescimento e da copa dos tratamentos de *Pinus* spp. no grupo Fontanini, em Ribeirão Branco, SP. 72

Tabela 16 - Valores Máximos e Mínimos para os caracteres de crescimento e módulo de elasticidade dos tratamentos de *P. taeda* e híbrido entre *P. elliottii* var. *elliottii* x *P. caribaea* var. *hondurensis* aos oito anos na Fazenda Taboa SP. 89

Tabela 17 - Resultados da análise de variância dos tratamentos de *Pinus taeda* e o híbrido *P. elliottii* var. *elliottii* x *P. caribaea* var. *hondurensis*, na fazenda Taboa, SP..... 91

Tabela 18 - Resultados do teste de Tukey para os caracteres de crescimento e módulo de elasticidade dos tratamentos de *Pinus taeda* e o híbrido *P. elliottii* var. *elliottii* x *P. caribaea* var. *hondurensis*, na fazenda Taboa, SP. 92

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1- Uso do Vertex III para mensurar a altura das árvores	30
Figura 2 – Micro resinagem e pesagem das amostras	31
Figura 3 – Diferenças na altura, DAP e volume entre os cinco tratamentos dos tratamentos de pínus e híbridos aos seis anos na Floresta Estadual de Pederneiras, SP.36	
Figura 4 – Fluxo de resina das árvores (g) entre os tratamentos de pínus e híbridos aos sete anos na Floresta Estadual de Pederneiras, SP.	37
Figura 5 - Diferenças nos caracteres de crescimento e da copa para as espécies e híbridos no grupo Barro Branco, SP.	61
Figura 6 - Diferenças nos caracteres de crescimento e da copa para as espécies e híbridos pínus no grupo Fontanini em Ribeirão Branco, SP.	64
Figura 7 – Transponder do hipsômetro Vertex III.....	85
Figura 8 – Posicionamento das sondas do temporizador de microssegundos Fakopp TreeSonic.....	86
Figura 9 - Diferenças na altura, DAP, volume e módulo de elasticidade entre os tratamentos de Pinus spp. aos oito anos na fazenda Taboa, SP.....	90

SUMÁRIO

FICHA CATALOGRÁFICA.....	3
CERTIFICADO DE APROVAÇÃO	4
AGRADECIMENTOS.....	5
LISTA DE TABELAS	6
LISTA DE ILUSTRAÇÕES.....	8
SUMÁRIO	9
INTRODUÇÃO	11
REVISÃO DE LITERATURA.....	14
CARACTERÍSTICAS GERAIS DAS ESPÉCIES DE <i>PINUS</i> SPP.....	14
CARACTERÍSTICAS GERAIS DOS HÍBRIDOS	16
REFERÊNCIAS.....	18
CAPÍTULO 1: AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE HÍBRIDOS INTERESPECÍFICOS DE <i>PINUS</i> PARA PRODUÇÃO DE RESINA E MADEIRA.....	22
1.1 INTRODUÇÃO	26
1.2 MATERIAL E MÉTODOS.....	28
1.2.1 CARACTERIZAÇÃO DOS LOCAIS DE ENSAIOS.....	28
1.2.2 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL.....	29
1.2.3 COLETA DE DADOS	29
1.2.4 MENSURAÇÃO DO FLUXO DE RESINA	30
1.2.5 ANÁLISES ESTATÍSTICAS	32
1.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	33
1.3.1 ANÁLISE DE VARIÂNCIA	38
1.4 CONCLUSÕES.....	42
REFERÊNCIAS.....	43
CAPÍTULO 2: COMPARAÇÃO DO POTENCIAL PRODUTIVO DE TALHÕES COMERCIAIS DE <i>PINUS TAEDA</i> E HÍBRIDO (<i>P. ELLIOTTII</i> VAR. <i>ELLIOTTII</i> X <i>P. CARIBAEA</i> VAR. <i>HONDURENSIS</i>).....	47
2.1 INTRODUÇÃO.....	50
2.2 MATERIAIS E MÉTODOS.....	53
2.2.1 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL	53

2.2.2	MATERIAL VEGETAL.....	53
2.2.3	DELINEAMENTO EXPERIMENTAL.....	53
2.2.4	COLETA DE DADOS.....	56
2.2.5	ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	56
2.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	58
2.3.1	ANÁLISE DE VARIÂNCIA.....	66
2.4	CONCLUSÃO.....	73
	REFERÊNCIAS.....	74
CAPÍTULO 3: ESTIMATIVA DO CRESCIMENTO E QUALIDADE DA MADEIRA DE PLANTIOS		
ADULTOS DE <i>P. TAEDA</i> E DO HÍBRIDO DE <i>P. ELLIOTTII</i> VAR. <i>ELLIOTTII</i> X <i>P. CARIBAEA</i> VAR. <i>HONDURENSIS</i>		
NA REGIÃO DE ITAPEVA, SP.		
		78
3.1	INTRODUÇÃO.....	81
3.2	MATERIAL E MÉTODOS.....	84
3.2.1	CARACTERIZAÇÃO DO LOCAL DE ENSAIO.....	84
3.2.2	DELINEAMENTO EXPERIMENTAL.....	84
3.2.3	COLETA DE DADOS.....	84
3.2.4	VELOCIDADE ACÚSTICA.....	86
3.2.5	MÓDULO DE ELASTICIDADE.....	88
3.2.6	ANÁLISES ESTATÍSTICAS.....	88
3.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	89
3.3.1	ANÁLISE DE VARIÂNCIA.....	91
3.4	CONCLUSÃO.....	93
	REFERÊNCIAS.....	94
CAPITULO 4: CONSIDERAÇÕES FINAIS.....		99

INTRODUÇÃO

Madeira e resina são os produtos de maior valor econômico produzidos por florestas comerciais do gênero *Pinus* (SANTOS, 2014). As espécies de *Pinus* são originários do hemisfério Norte, ocorre em toda a América do Norte, Europa e Ásia (MIROV, 1967; SCHOPMEYER, 1974). O gênero *Pinus* originalmente ocupava locais inóspitos, como regiões extremamente frias e áridas, topos de montanhas, solos ácidos e de baixa fertilidade (RICHARDSON; BOND, 1991; RICHARDSON; WILLIAMS; HOBBS, 1994; HIGGINS; RICHARDSON, 1998; RICHARDSON; PETIT, 2006), o gênero foi introduzido comercialmente no Brasil em 1950 com um programa de incentivo fiscal ao reflorestamento (SHIMIZU; SEBBENN, 2008), empresas privadas passaram a investir no *Pinus sp.* (AGUIAR et al., 2011; SHIMIZU, 2008), que por seu rápido crescimento, apresentou grande sucesso na produção de madeira, celulose e resina (ACR, 2022; AGUIAR et al., 2011; IBA, 2023) especialmente onde o clima e as características do solo não são adequados para atividades agrícolas (MISSIO et al., 2004; SHIMIZU, 2008; SHIMIZU; SEBBENN, 2008).

A área com reflorestamento comercial no Brasil cresceu nos últimos anos, alcançando 9,93 milhões de hectares plantados, desse total 19,4% ou 1,93 milhão de hectares são de áreas plantadas com pínus (IBA, 2023), sendo o Paraná (37%) Santa Catarina (37%) e Rio Grande do Sul (15%) os principais estados produtores (ACR, 2022; IBA, 2023). Mesmo em meio a crises mundiais o setor teve uma importante participação no PIB nacional e se manteve em ligeiro crescimento, passou de R\$ 244,6 bilhões em 2021 para R\$ 260,0 bilhões em 2022. (IBA, 2023). O Brasil é um importante participante na indústria madeireira global, o terceiro maior produtor de madeira industrial em tora do mundo, com produção estimada em 246 milhões de metros cúbicos em 2020, e o setor florestal contribui com cerca de 4,6% do produto interno bruto brasileiro (ARIAS, 2022; IBA, 2023; SANTOS; SILVA; SOARES, 2022).

No mercado internacional de resina, o Brasil é o segundo maior produtor, sendo a espécie *Pinus elliottii* var. *elliottii* a mais plantada para essa finalidade (ARESB, 2017; GARRIDO et al., 1998; SHIMIZU; SPIR; IVANA, 1999). A produção nacional de goma resina de pínus na safra 2017-2018 chegou a 185,692 toneladas (ARESB, 2017; CASSOL et al., 2019), sendo que o estado de São Paulo é o maior produtor com 91.940 toneladas da espécie *Pinus elliottii* e 18.260 toneladas de resina de pinus tropicais, totalizando

110.200 toneladas, seguido pelos estados do Rio Grande do Sul, com uma produção de 45.720 toneladas de resina apenas de *Pinus elliottii*, e do Paraná com 12.132 toneladas (ARES, 2017; FREITAS et al., 2023; MARTINS, 2022).

No entanto, a sustentabilidade dessa produção está ameaçada pela intensificação dos eventos climáticos extremos. As mudanças climáticas já são evidentes tanto em escala global quanto regional, e projeta-se que essas mudanças continuem ocorrendo como resultado das contínuas e crescentes emissões de gases de efeito estufa para a atmosfera (DE LIMA et al., 2016; GIONGO; SANTOS, 2022). A temperatura média da superfície global aumentou aproximadamente 0,74 °C nos últimos 100 anos (POEPLAU; DECHOW, 2023). Em nível regional, ocorreram mudanças detectáveis nos padrões de precipitação e temperatura nos últimos 50 anos (SIPPEL et al., 2020). À medida que as temperaturas e os padrões climáticos mudam, as espécies tradicionais do gênero tradicionalmente cultivadas de *Pinus* podem não ser mais adequadas às suas faixas atuais do zoneamento ecológico, e novas soluções são necessárias para manter a saúde e a produtividade das plantações comerciais. Os híbridos têm potencial para serem mais resistentes às mudanças climáticas, apresentando características como resistência à seca, tolerância ao calor o que pode contribuir para sua sobrevivência sob condições climáticas anômalas (FERREIRA DE ALMEIDA et al., 2014; KHURANA; KHOSLA, 1998; MUTETE; MUREPA; GAPARE, 2015). Em particular, os híbridos podem fornecer acesso a uma maior variação genética por meio de combinações que não ocorrem naturalmente entre duas espécies (ZOBEL; TALBERT, 1984). O aumento na quantidade de alelos permite potencial adaptação a novos ambientes e potencialmente um maior crescimento e desenvolvimento dos híbridos. Alguns híbridos tiveram grande sucesso, particularmente onde o ambiente de plantio está fora do ambiente ideal da espécie parental, mas isso não é garantido. Para conseguir explorar todo o potencial dos híbridos, são necessários estudos da interação genótipo e ambiente em campo para validar os resultados (SANTOS; FERREIRA; KAGEYAMA, 1988).

Plantios florestais comerciais de híbridos de pinus podem ser implantados em áreas anteriormente utilizadas para pastagem de gado ou agricultura, reduzindo a pressão sobre florestas naturais e promovendo práticas sustentáveis de uso da terra (SANTOS, 2019). O desenvolvimento de híbridos de *Pinus* para produção de madeira e resina no Brasil tornou-se uma relevante área de interesse na pesquisa florestal nos últimos anos. Os híbridos de *Pinus* podem ser desenvolvidos com características desejáveis, como

crescimento rápido e tronco mais retilíneo, que podem aumentar a produtividade e melhorar a qualidade da madeira (AGUIAR; SOUSA; FRITZSONS, 2011). Podendo trazer grandes progressos genéticos, a hibridação interespecífica tem sido estudada em programas de melhoramento. Com grande destaque para as espécies *Pinus elliottii* var. *elliottii* e *P. caribaea* var. *hondurensis*. Sendo que a primeira produz maior quantidade e melhor qualidade de resina enquanto que *P. caribaea* var. *bahamensis* tem melhor crescimento (ARESB, 2017; CUNNIGHAN, 2012; GARRIDO et al., 1998). A hibridação entre *Pinus elliottii* var. *elliottii* x *P. caribaea* var. *bahamensis* pode dar origem a indivíduos que combinem alta qualidade e quantidade de resina com rápido crescimento, além da capacidade de crescer bem em ambientes propícios para cada uma das espécies parentais (SHIMIZU, 2008; SHIMIZU; SEBBENN, 2008).

Os híbridos podem ser usados para expandir o cultivo nas regiões onde as espécies de *Pinus* tradicionais podem não ser bem adaptadas (SHIMIZU, 2008; SILVEIRA WREGE et al., 2014). Eles podem ser gerados para tolerar as temperaturas e condições de umidade encontradas nessas regiões, mantendo as características desejáveis das espécies tradicionais, como crescimento rápido e boa qualidade da madeira.

A produção de híbridos visa melhorar a qualidade da resina dos *Pinus* e possibilitar o plantio comercial em outras regiões do Brasil para que seja aceitável, obtendo a qualidade e quantitativamente, bem como o uso da madeira após o ciclo de extração. Visando a crescente demanda pela resina, tem-se a necessidade de estudos e/ou pesquisas que norteiem os caminhos para maximizar a produção sem perder a qualidade desse extrativo e da madeira dos híbridos interespecíficos.

Diante desse contexto, o presente trabalho foi realizado com o objetivo de comparar as espécies tradicionais de *Pinus* com híbridos em diferentes cenários onde foi possível comparar avaliar sua produção de madeira e resina, caracteres de crescimento, e a qualidade de espécimes maduros.

REVISÃO DE LITERATURA

CARACTERÍSTICAS GERAIS DAS ESPÉCIES DE *PINUS* SPP.

Pinus taeda é uma espécie de conífera de grande valor econômico, originária do sudeste dos EUA e introduzida no Brasil na década de 1970 (SHIMIZU, 2008), se tornou a principal conífera plantada para produção de celulose e madeira serrada no Brasil (IBA, 2023); seus plantios comerciais, praticados sob um regime de silvicultura intensiva, são predominantes nas regiões sul e sudeste do Brasil (SHIMIZU; SEBBENN, 2008). Particularmente, adequada para a silvicultura comercial por seu crescimento rápido, troncos retos e altos produzem madeira de alta qualidade, a madeira é utilizada nos setores de paletes, embalagens, mobiliário, construção civil e indústrias de celulose e papel (AGUIAR et al., 2011; SHIMIZU; SEBBENN, 2008; ZANÃO, 2020).

Pinus elliottii var. *elliottii* é a segunda conífera mais plantada para fins industriais nas regiões sul e sudeste do Brasil (AGUIAR; SOUSA; SHIMIZU, 2014; PAUCHARD et al., 2015). A espécie é subtropical e produz grande quantidade de resina de excelente qualidade com alto teor de pineno; natural da Região Sul e Sudeste dos Estados Unidos, e introduzida nas regiões Sul e Sudeste do Brasil (NUNES et al., 2016; SHIMIZU, 2008), apresenta menor produtividade que *P. taeda*, em termos de volume de madeira, mas possui características de extrema importância para o setor florestal, tais como: madeira de boa qualidade física e mecânica para processamento e uso em estruturas, marcenaria, embalagens e construção civil, sendo indicada para diversas condições ambientais, incluindo solos rasos e pedregosos, áreas encharcadas e sujeitas às inundações periódicas e geadas (SHIMIZU; SEBBENN, 2008; SIMÕES et al., 2022). Além disso, produz um menor número de ramos comparativamente a outras espécies indicadas para a mesma região bioclimática, implicando em maior rendimento no processamento de madeira livre de nós (SHIMIZU, 2008).

Pinus caribaea var. *hondurensis* é uma das espécies de pínus mais explorada economicamente no mundo para produção de madeira devido à sua capacidade de adaptação em diferentes condições climáticas. Esta variedade de *P. caribaea* também é a mais plantada no Brasil, devido à facilidade de obter sementes (KRONKA; BERTOLANI; PONCE, 2005; SHIMIZU; SEBBENN, 2008). Além disso, a espécie tem potencial para produção de resina em quantidade viável economicamente. Sua madeira,

de densidade moderada a baixa, é usada para fabricação de diversos tipos de painéis a base de madeira, carvão, lenha, papel e madeira para construção civil (MÁRQUEZ-CARRERO et al., 2022; ZANUNCIO et al., 2022). Originária da América Central e do norte das Antilhas e Bahamas, *P. caribaea* var. *hondurensis* foi introduzida no Brasil na década de 1960 na região litorânea da Bahia e Espírito Santo (MOURA; DVORAK, 2001). Posteriormente, testes de procedências de sementes de *P. caribaea* var. *hondurensis* foram implantados em Rondônia, Pará, Minas Gerais e Paraná. Os materiais que mais se destacaram são aqueles procedentes da Guatemala e de Honduras (AGUIAR; SOUSA; SHIMIZU, 2014; FRANCIS, 1992; SHIMIZU; SEBBENN, 2008).

Pinus caribaea var. *bahamensis* destaca-se por sua importância na produção de madeira e resina na região Sudeste brasileira (SHIMIZU, 2008; SHIMIZU; SEBBENN, 2008). A espécie possui madeira mais densa, tendo maior resistência física e mecânica do que a variedade *hondurensis* (LIMA et al., 2023). Originária das ilhas Bahamas, foi introduzida no Brasil na década de 1960 (SANCHEZ et al., 2014). Esta variedade possui um crescimento intermediário entre *P. elliottii* var. *elliottii* e *P. caribaea* var. *caribaea*, recomendada para plantios nas mesmas faixas de altitude que *P. caribaea* var. *hondurensis*, mas também apresenta bons resultados em altitudes maiores que 700 m e resistência a geadas (AGUIAR; SOUSA; SHIMIZU, 2014; FRANCIS, 1992; SHIMIZU; SEBBENN, 2008).

CARACTERÍSTICAS GERAIS DOS HÍBRIDOS

A demanda por mudas de híbrido tem aumentado, principalmente em regiões que tradicionalmente realizavam plantio de *P. elliottii*. O híbrido *P. elliottii* x *P. caribaea* é plantado comercialmente na África do Sul (GWAZE, 1999; KIETZKA, 2002; SIJDE; ROELOFSEN, 1986) e em plantações florestais de Queensland, Austrália (NIKLES, 1995; NIKLES; ROBINSON, 1989), e esses híbridos também estão sendo testados entre outras combinações de espécies na China (DUNGEY; DIETERS; NIKLES, 2000).

Híbridos interespecíficos são resultantes do cruzamento entre duas espécies diferentes e, frequentemente, apresentam características superiores às de seus progenitores. Este fenômeno, conhecido como heterose ou vigor híbrido, pode resultar em plantas mais produtivas, resistentes a doenças e com madeira de melhor qualidade (RESENDE; BORÉM; LEITE, 2023; SANTOS; FERREIRA; KAGEYAMA, 1988). A hibridação em espécies de *Pinus* tem sido estudada no Brasil devido ao seu potencial para melhorar a taxa de crescimento, qualidade da madeira e a resistência a doenças (PINUS BRASIL, 2024; REZENDE et al., 2023). A heterose alélica pode oferecer resistências que não seriam encontradas em uma monocultura tradicional, onde uma praga ou um evento climático têm a possibilidade de devastar toda uma espécie (FUJIMOTO et al., 2018).

Podendo trazer grandes progressos genéticos, a hibridação interespecífica tem sido estudada em programas de melhoramento (AGUIAR; SOUSA; SHIMIZU, 2014; ARESB, 2017; SOUZA et al., 2017). A estratégia da Embrapa Florestas e do Funpinus (Fundo cooperativo para melhoramento de pinus) é desenvolver e transferir tecnologias para o cultivo de pinus no Brasil, visando a produtividade da madeira (AGUIAR; SOUSA; FRITZSONS, 2011). Os híbridos têm o potencial para serem mais resistentes aos fatores multifatoriais gerados pelas mudanças climáticas (BUSH, 2022; KREMER; POTTS; DELZON, 2014), permitindo que os povoamentos mantenham a produtividade e que se evite a perda de cobertura florestal em áreas onde as espécies tradicionais de *Pinus* podem ter dificuldades para sobreviver (FERREIRA DE ALMEIDA et al., 2014; KHURANA; KHOSLA, 1998; MUTETE; MUREPA; GAPARE, 2015). As combinações que não ocorrem naturalmente entre as espécies podem fornecer uma maior variação genética. O aumento na quantidade de alelos permite a potencial adaptação aos novos ambientes e,

potencialmente, um maior crescimento e desenvolvimento dos híbridos em relação as espécies parentais (BUSH, 2022; DUNGEY, 2001; HOFFMANN; SGRÒ, 2011).

REFERÊNCIAS

ACR, A. C. DE E. F. Anuário Estatístico de Base Florestal para o estado de Santa Catarina. 2022.

AGUIAR, A. V.; SOUSA, V. A.; SHIMIZU, J. Y. **Cultivo de Pínus**. . Acesso em: 25 fev. 2023.

AGUIAR, A. V. DE et al. Programa de melhoramento de pinus da Embrapa Florestas. **Embrapa Florestas**, 2011.

ARESB. **Aresb “Associação Dos Resinadores Do Brasil”**. Disponível em: <<https://www.aresb.com.br/portal/>>. Acesso em: 25 fev. 2023.

ARIAS, E. Brazil market profile. **dc.statelibrary.sc.gov**, 2022.

BUSH, D. Long-term research reveals potential role of hybrids in climate-change adaptation. A commentary on ‘Expansion of the rare *Eucalyptus risdonii* under climate change through hybridisation with a closely related species despite hybrid inferiority’. **Annals of Botany**, v. 129, n. 1, p. i–iii, 1 jan. 2022.

CASSOL, P. C. et al. Changes in organic carbon in soil of natural grassland converted to *Pinus taeda* plantations at three ages. **Ciência Florestal**, v. 29, p. 545–558, jun. 2019.

DUNGEY, H. S. Pine hybrids — a review of their use performance and genetics. **Forest Ecology and Management**, v. 148, n. 1–3, p. 243–258, 1 jul. 2001.

DUNGEY, H. S.; DIETERS, M. J.; NIKLES, D. G. **Symposium on hybrid breeding and genetics of forest trees. QFRI/CRC-SPF Symposium, Noosa, Australia, 9-14 April 2000**. Symposium on hybrid breeding and genetics of forest trees. QFRI/CRC-SPF Symposium, Noosa, Australia, 9-14 April 2000. **Anais...Queensland Forestry Research Institute, Department of Primary Industries, 2000**. Disponível em: <<https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/20003013037>>. Acesso em: 7 mar. 2024

FERREIRA DE ALMEIDA, N. et al. Produção e avaliação da qualidade de lâminas de madeira de um híbrido de *Pinus elliottii* var. *elliottii* × *Pinus caribaea* var. *hondurensis*. **SciELO Brasil**, v. 21, n. 2, p. 261–268, 2014.

FRANCIS, J. K. **Pinus caribaea morelet. Caribbean pine. US Forest Service, Southern Forest Experiment Station**Institute of Tropical Forestry, , 1992. Disponível em: <https://scholar.google.com/scholar?hl=en&as_sdt=0%2C5&q=Pinus+caribaea+morelet.+Caribbean+pine+Francis+J.K.+1992&btnG=>>. Acesso em: 18 set. 2022

FREITAS, J. A. DE et al. Evaluation of different compositions of stimulating paste in a closed resin system in 10-year-old *Pinus elliottii* var. *elliottii*. **Research, Society and Development**, v. 12, n. 8, p. e13212843031–e13212843031, 25 ago. 2023.

FUJIMOTO, R. et al. Recent research on the mechanism of heterosis is important for crop and vegetable breeding systems. **Breeding Science**, v. 68, n. 2, p. 145–158, 2018.

GARRIDO, M. A. DE O. et al. **Resinagem: Manual Técnico**. [s.l: s.n.].

GWAZE, D. P. Performance of some interspecific F1 pine hybrids in Zimbabwe. **Forest Genetics**, v. 6, n. 4, p. 283–289, 1999.

HIGGINS, S. I.; RICHARDSON, D. M. Pines as invaders in the southern hemisphere. **Plant Ecology**, v. 135, n. 1, p. 79–93, 1998.

HOFFMANN, A. A.; SGRÒ, C. M. Climate change and evolutionary adaptation. **Nature**, v. 470, n. 7335, p. 479–485, fev. 2011.

IBA. **Relatório Anual IBA 2023**. [s.l.] INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES — IBÁ, 2023. . Acesso em: 29 nov. 2022.

KHURANA, D. K.; KHOSLA, P. K. Hybrids in forest tree improvement. **Forest genetics and tree breeding**, p. 86–102, 1998.

KIETZKA, E. “New” pine species and hybrids: is there still potential? : creating new germplasm. **Southern Forests: a Journal of Forest Science**, v. 195, p. 89–92, 2002.

KREMER, A.; POTTS, B. M.; DELZON, S. Genetic divergence in forest trees: understanding the consequences of climate change. **Functional Ecology**, v. 28, n. 1, p. 22–36, 2014.

KRONKA, F. J.; BERTOLANI, F.; PONCE, R. H. **A cultura do Pinus no Brasil**. [s.l.] Sociedade Brasileira de Silvicultura, 2005.

LIMA, I. L. DE et al. Physical and mechanical wood properties of two varieties of *Pinus caribaea*. **Research, Society and Development**, v. 12, n. 9, p. e7712943146–e7712943146, 16 set. 2023.

MÁRQUEZ-CARRERO, G. et al. Density variability in radial direction and in growth ring of *Pinus caribaea* var. *hondurensis* from plantations of 25 years old. **Revista Tecnología en Marcha**, v. 35, n. 2, p. 115–124, jun. 2022.

MARTINS, R. Cenários da exploração da resina de *Pinus* no município de Tavares, Rio Grande do Sul. 2022.

MIROV, N. T. The genus *Pinus*. **The genus Pinus.**, 1967.

MISSIO, R. F. et al. Seleção simultânea de caracteres em progênies de *Pinus caribaea* Morelet var. *bahamensis*. **Scientia Forestalis/Forest Sciences**, p. 161–168, 2004.

MOURA, V. P. G.; DVORAK, W. S. Provenance and family variation of *Pinus caribaea* var. *hondurensis* from Guatemala and Honduras, grown in Brazil, Colombia and Venezuela. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 36, n. 2, p. 225–234, 2001.

MUTETE, P.; MUREPA, R.; GAPARE, W. J. Genetic parameters in subtropical pine F1 hybrids: heritabilities, between-trait correlations and genotype-by-environment interactions. **Tree Genetics and Genomes**, v. 11, n. 5, p. 1–16, 13 out. 2015.

NIKLES, D. G. **Hybrids of the slash-Caribbean-Central American pine complex: characteristics, bases of superiority and potential utility in South China and elsewhere**. [s.l: s.n.].

NIKLES, D. G.; ROBINSON, M. J. The development of *Pinus* hybrids for operational use in Queensland. **Breeding tropical trees**, p. 272–282, 1989.

NUNES, S. et al. Physiological characterization and true-to-typeness evaluation of in vitro and ex vitro seedlings of *Pinus elliottii*: A contribution to breeding programs. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 107, p. 222–227, 1 out. 2016.

PAUCHARD, A. et al. Pine invasions in South America: reducing their ecological impacts through active management. **Biological invasions in changing ecosystems. De Gruyter Open Ltd, Berlin**, p. 318–342, 2015.

PINUS BRASIL. **Pinus Brasil**. Disponível em: <<https://pinusbrasil.com.br/>>. Acesso em: 4 mar. 2024.

RESENDE, R. T.; BORÉM, A.; LEITE, H. G. **Pinus: do plantio à colheita**. [s.l.] Oficina de Textos, 2023.

REZENDE, M. A. DE et al. Densidade e produtividade da madeira de híbrido e seminal de *Pinus caribaea*. **Floresta e Ambiente**, v. 15, p. 8–15, 30 out. 2023.

RICHARDSON, D. M.; BOND, W. J. Determinants of Plant Distribution: Evidence from Pine Invasions. **The American Naturalist**, v. 137, n. 5, p. 639–668, maio 1991.

RICHARDSON, D. M.; PETIT, R. J. Pines as Invasive Aliens: Outlook on Transgenic Pine Plantations in the Southern Hemisphere. Em: WILLIAMS, CLAIRE. G. (Ed.). **Landscapes, Genomics and Transgenic Conifers**. Managing Forest Ecosystems. Dordrecht: Springer Netherlands, 2006. v. 9p. 169–188.

RICHARDSON, D. M.; WILLIAMS, P. A.; HOBBS, R. J. Pine invasions in the Southern Hemisphere: determinants of spread and invadability. **Journal of biogeography**, p. 511–527, 1994.

SANCHEZ, M. et al. Spatial structure and genetic diversity of natural populations of the Caribbean pine, *Pinus caribaea* var. *bahamensis* (Pinaceae), in the Bahaman archipelago. **Botanical Journal of the Linnean Society**, v. 174, n. 3, p. 359–383, 1 mar. 2014.

SANTOS, P. E. T. DOS; FERREIRA, M.; KAGEYAMA, P. Y. PRODUÇÃO DE HÍBRIDOS. 1988.

SANTOS, W. DOS. Variação genética e desempenho de progênies de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* para produção de madeira e resina. p. 98- f, 2014.

SANTOS, H.; SILVA, M.; SOARES, N. BRAZIL'S COMPETITIVENESS IN EXPORTATION OF FOREST PRODUCTS FROM 2008 TO 2018. **Revista Árvore**, n. 46, 2022.

SCHOPMEYER, C. S. Seed of Woody Plants in the United States. Agricultural Handbook No. 450. **US Department of Agriculture, Forest Service, Washington, DC**, 1974.

SHIMIZU, J. **Pinus na silvicultura brasileira**. Colombo: Embrapa Florestas, 2008.

SHIMIZU, J. Y.; SEBBENN, A. M. Espécies de *Pinus* na silvicultura brasileira. **Embrapa Florestas**, p. 49–74, 2008.

SHIMIZU, Y.; SPIR, J. Z.; IVANA, H. Seleção de *Pinus elliottii* pelo valor genético para alta produção de resina. **Boletim de Pesquisa Florestal**, v. 38, p. 103–117, 1999.

SIJDE, H. A. VAN DER; ROELOFSEN, J. W. The Potential of Pine Hybrids in South Africa. **South African Forestry Journal**, 1 mar. 1986.

SIMÕES, D. et al. Real options analysis applied to investment projects in planted forests of *Pinus*. **BOIS & FORETS DES TROPIQUES**, v. 354, p. 55–64, 2022.

SOUZA, T. D. S. et al. Variação genética em caracteres quantitativos em *Pinus caribaea* var. *hondurensis*. **Scientia Forestalis**, v. 45, n. 113, p. 177–185, 1 mar. 2017.

ZANÃO, M. **Avaliação do potencial da madeira de *Pinus maximinoi* para produção de celulose kraft em diferentes proporções com *Pinus taeda* e *Eucalyptus* spp.** PhD Thesis—[s.l.] Universidade de São Paulo, 2020.

ZANUNCIO, A. J. V. et al. Basic density and scaling of juvenile and mature wood in *Pinus caribaea* trees. **Cellulose Chem. Technol**, v. 56, p. 473–479, 2022.

CAPÍTULO 1: AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE HÍBRIDOS INTERESPECÍFICOS DE PINUS PARA PRODUÇÃO DE RESINA E MADEIRA

João Roberto Menucelli^{1*}, Rafael Dias Moura², José Arimatéia Rabelo Machado³, Erick Phelipe Amorim⁴, Helmut Schukar⁵, Kethelyn Soadario⁶, Bruno Marchetti Souza⁶, Wanderley dos Santos⁷, Miguel Luiz Menezes Freitas⁸, Eduardo Luiz Longui⁸, Ananda Virginia de Aguiar⁹

¹ Doutorando em Planejamento e Uso de Recursos Renováveis, Universidade Federal de São Carlos, UFSCAR, Rodovia João Leme dos Santos (SP-264), Bairro do Itinga, CEP: 18052-780 – Sorocaba/SP.

² Mestrando em Agronomia (Genética e Melhoramento de Plantas), Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, UNESP, Rua Quirino de Andrade, 215, Centro, CEP: 01049-010 – São Paulo/SP.

³ Embrapa Florestas-Estrada da Ribeira, Km 111- Parque Monte Castelo, CEP: 83411-000 – Colombo/PR.

⁴ Mestrando em Planejamento e Uso de Recursos Renováveis, Universidade Federal de São Carlos, UFSCAR, Rodovia João Leme dos Santos (SP-264), Bairro do Itinga, CEP: 18052-780 – Sorocaba/SP.

⁵ Empresa Helmut Schukar, Rodovia Marechal Rondon, Chacaras Bauruenses, CEP: 17048-690 – Bauru/SP.

⁶ Instituto de Pesquisas Ambientais-IPA, Avenida Rodrigues Alves, 38-25 – Horto Florestal, CEP: 17030-000 – Bauru/SP.

⁸ Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios, APTA, Brasil.

⁷ Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira / UNESP – Universidade Estadual Paulista “Júlio Mesquita Filho” – Av. Brasil Centro, 56 – Caixa Postal: 31, CEP: 15385-000 – Ilha Solteira São Paulo/SP.

⁹ Embrapa Florestas-Estrada da Ribeira, Km 111- Parque Monte Castelo, CEP: 83411-000 – Colombo-PR.

*Autor por correspondência: João Roberto Menucelli, (11) 920028218,
jmenucelli@hotmail.com

Resumo: Este trabalho teve por objetivo avaliar o potencial de espécies e híbridos interespecíficos de pinus para produção de madeira e resina. Em 2013, foi implantando um teste de híbridos e espécies puras de pinus na Floresta Estadual de Pederneiras. As espécies utilizadas foram: *P. elliottii* var. *elliottii*, *P. caribaea* var. *hondurensis*, *P. caribaea* var. *bahamensis*. Os híbridos foram: *P. elliottii* var. *elliottii* x *P. caribaea* var. *hondurensis* e *P. elliottii* var. *elliottii* x *P. caribaea* var. *bahamensis*. Adotou-se o delineamento experimental de blocos completos casualizados com cinco tratamentos, três blocos de cada tratamento com 189 mudas, para um total de 567 por tratamento. O espaçamento utilizado foi 3,5 x 3,0 metros. Aos seis anos de idade foram mensurados os caracteres diâmetro à altura do peito (DAP-cm) e altura total (H-m) e estimado o volume individual (VOL-m³/arv). Aos sete anos foi mensurado o potencial de fluxo de resina (RSN-g) através de microresinagem. A análise descritiva foi realizada no software SELEGEN. A análise de variância foi realizada de acordo com o procedimento REML/BLUP no software R. Foi detectada diferença significativa em nível de 1% entre os tratamentos, somente para os caracteres altura e DAP. Os valores médios (mínimos a máximos) para altura, DAP e o fluxo de resina foram: 8 m (2 a 15,70 m), 13 cm (0,95 a 26,42 cm) e 0,50 g, (0,01 a 17,01 g), respectivamente. As correlações entre os caracteres de crescimento foram altas e significativas e para o fluxo de resina foram baixas e não significativas. A variação fenotípica observada indica que o híbrido entre *P. elliottii* var. *elliottii* x *P. caribaea* var. *bahamensis* apresentou os melhores resultados e poderá gerar ganhos significativos para produção de madeira e resina através da seleção de indivíduos para compor povoamentos comerciais ou ensaios de melhoramento genético de pinus.

Palavras-chave: Hibridação, Heterose, Genética

Abstract: This study aimed to evaluate the potential of pine species and interspecific hybrids for wood and resin production. In 2013, a test of hybrids and pure pine species was implemented in the Pederneiras State Forest. The species used were: *P. elliottii* var. *elliottii*, *P. caribaea* var. *hondurensis*, *P. caribaea* var. *bahamensis*. The hybrids were: *P. elliottii* var. *elliottii* x *P. caribaea* var. *hondurensis* and *P. elliottii* var. *elliottii* x *P. caribaea* var. *bahamensis*. A randomized complete block experimental design was adopted with five treatments, three blocks of each treatment with 189 seedlings, for a total of 567 per treatment. The spacing used was 3.5 x 3.0 meters. At six years of age, the following traits were measured: diameter at breast height (DBH-cm) and total height (H-m), and individual volume (VOL-m³/arv). At seven years of age, the resin flow potential (RSN-g) was measured through microresination. The descriptive analysis was performed using the SELEGEN software. The analysis of variance was performed according to the REML/BLUP procedure in the R software. A significant difference at the 1% level was detected between treatments, only for height and DBH. The mean values (minimum to maximum) for height, DBH and resin flow were: 8 m (2 to 15.70 m), 13 cm (0.95 to 26.42 cm) and 0.50 g, (0.01 to 17.01 g), respectively. The correlations between the growth traits were high and significant, and for resin flow they were low and not significant. The observed phenotypic variation indicates that the hybrid between *P. elliottii* var. *elliottii* x *P. caribaea* var. *bahamensis* presented the best results and could generate significant gains for wood and resin production through the selection of individuals to compose commercial populations or pine genetic improvement trials.

Keywords: Hybridization, Heterosis, Genetics

1.1 INTRODUÇÃO

A área com reflorestamento comercial no Brasil cresceu nos últimos anos, alcançando 9,93 milhões de hectares plantados; desse total 19,4% ou 1,93 milhão de hectares são de áreas plantadas com pínus (IBA, 2023), sendo o Paraná (37%) Santa Catarina (37%) e Rio Grande do Sul (15%) os principais estados produtores (ACR, 2022; IBA, 2023). Mesmo em meio a crises mundiais, o setor teve uma importante participação no PIB nacional e se manteve em ligeiro crescimento (IBA, 2023). O Brasil é um importante participante na indústria madeireira global, o terceiro maior produtor de madeira industrial em tora do mundo, com produção estimada em 246 milhões de metros cúbicos em 2020, e o setor florestal contribuiu com cerca de 4,6% do produto interno bruto brasileiro (ARIAS, 2022; IBA, 2023; SANTOS; SILVA; SOARES, 2022).

No mercado internacional de resina, o Brasil é o segundo maior produtor, sendo a espécie *Pinus elliottii* var. *elliottii* a mais plantada para essa finalidade (ARESB, 2017; GARRIDO et al., 1998; SHIMIZU; SPIR; IVANA, 1999). A produção nacional de goma resina de pínus na safra 2017-2018 chegou a 185.692 toneladas (ARESB, 2017; CASSOL et al., 2019); sendo o estado de resina de *Pinus* tropicais o maior produtor, totalizando 110.200 toneladas; o seguido pelos estados do Rio Grande do Sul, com uma produção de 45.720 toneladas de resina apenas de *Pinus elliottii* e do Paraná com 12.132 toneladas (ARESB, 2017; FREITAS et al., 2023; MARTINS, 2022).

A hibridação interespecífica tem sido incorporada em programas de melhoramento de *Pinus* sp. visando a obtenção de genótipos superiores (AGUIAR; SOUSA; SHIMIZU, 2014; ARESB, 2017; SOUZA et al., 2017). A estratégia da Embrapa e do Funpinus consiste em promover a sustentabilidade da cadeia produtiva de produtos florestais por meio do desenvolvimento e da transferência de tecnologias avançadas para o cultivo de pínus, visando a otimização da produtividade e o incremento da área plantada (AGUIAR; SOUSA; FRITZSONS, 2011). Híbridos têm o potencial para serem mais resistentes aos fatores multifatoriais gerados por eventos climáticos anormais (BUSH, 2022; KREMER; POTTS; DELZON, 2014), permitindo que os povoamentos mantenham a produtividade e que se evite a perda de cobertura florestal em áreas onde as espécies tradicionais de *Pinus* podem ter dificuldades para sobreviver (FERREIRA DE ALMEIDA et al., 2014; KHURANA; KHOSLA, 1998; MUTETE; MUREPA; GAPARE, 2015). As combinações que não ocorrem naturalmente entre as espécies podem fornecer uma maior variação genética, o aumento na quantidade de alelos permite a potencial adaptação a

novos ambientes e, potencialmente, um maior crescimento e desenvolvimento dos híbridos em relação as espécies parentais (BUSH, 2022; DUNGEY, 2001; HOFFMANN; SGRÒ, 2011). A heterose alélica pode oferecer resistências que não seriam encontradas em uma monocultura tradicional (FUJIMOTO et al., 2018), onde uma praga ou um evento climático anormal têm a capacidade de devastar toda uma espécie. Alguns híbridos tiveram grande sucesso, particularmente onde o ambiente de plantio está fora do ambiente ideal da espécie parental, mas isso não é garantido, para conseguir explorar todo o potencial dos híbridos são necessários estudos da interação entre genótipo e ambiente em campo para validar os resultados (KHURANA; KHOSLA, 1998; MABASO; HAM; NEL, 2019; SILVA et al., 2020).

A hibridação entre as espécies de pinus, visa aumentar a produção e a qualidade da resina e madeira e, principalmente, possibilitar o plantio comercial de híbridos em outras regiões do Brasil. Os híbridos poderão ser validados para plantios comerciais em áreas de maior ocorrência de geadas e as mais quentes, onde o plantio de *P. elliottii* var. *elliottii* não é recomendado. A produção média de madeira em povoamentos florestais com híbridos (*P. elliottii* var. *elliottii* x *P. caribaea* var. *hondurensis*) é superior à de *P. taeda* e *P. elliottii* na região sudeste e de *P. caribaea* var. *hondurensis* na região Central e Norte do Brasil (AGUIAR, 2024). Portanto, verifica-se a necessidade de estudos mais específicos para seleção genética de indivíduos mais produtivos para qualidade e produção de madeira e resina para principais regiões de plantio de pinus. Neste contexto, o objetivo desse estudo foi determinar o potencial dos híbridos interespecíficos espécies de *Pinus* para a produção de madeira e resina.

1.2 MATERIAL E MÉTODOS

1.2.1 CARACTERIZAÇÃO DOS LOCAIS DE ENSAIOS

Para o estudo foram testadas as progênes de cinco tratamentos (*P. elliotii* var. *elliotii*, *P. caribaea* var. *hondurensis*, *P. caribaea* var. *bahamensis* e híbridos entre *P. elliotii* var. *elliotii* x *P. caribaea* var. *hondurensis* e *P. elliotii* var. *elliotii* x *P. caribaea* var. *bahamensis*). O experimento foi instalado em setembro de 2013 na Florestal Estadual de Pederneiras, município de Pederneiras, SP. Latitude: 22° 27' Lat S; Longitude: 48° 44' Long W em uma altitude de 500 metros. O clima, segundo a classificação de Köppen, é do tipo Cwa de inverno seco, índice pluviométrico de 1.337 mm.ano⁻¹, temperatura média anual de 20,9 °C (ALVARES et al., 2014; KAWAHATA PAGLIARINI et al., 2016). Solo do tipo Latossolo vermelho escuro, fase arenosa com algumas manchas de terra roxa, ecossistema é Mata Atlântica, Floresta Estacional Semidecídua (VENTURA et al., 1965).

As mudas de *P. caribaea* var. *bahamensis* são originárias das Bahamas e proveniente da Empresa Helmut Schuckar; as mudas de *P. caribaea* var. *hondurensis*, originárias de Poptún Petén, Guatemala, também são procedentes da empresa Helmut Schuckar; e as mudas de *P. elliotii* var. *elliotii*, originárias do norte da Flórida, EUA, são provenientes da Floresta Estadual de Pederneiras. Além dessas espécies, foram utilizados mudas dos híbridos entre *P. elliotii* var. *elliotii* x *P. caribaea* var. *hondurensis* e *P. elliotii* var. *elliotii* x *P. caribaea* var. *bahamensis* (Tabela 1).

Tabela 1 - Procedência e Origem dos tratamentos de *Pinus* spp. avaliados na Floresta Estadual de Pederneiras, SP.

ESPECIES	ORIGEM	PROCEDÊNCIA
<i>P. caribaea</i> var. <i>bahamensis</i>	Bahamas	Empresa Schuckar
<i>P. caribaea</i> var. <i>hondurensis</i>	Poptún Petén, Guatemala	Empresa Schuckar
<i>P. ELLIOTTII</i> var. <i>elliottii</i>	Flórida, EUA	Floresta Estadual de Pederneiras
Híbrido (<i>P. elliottii</i> var. <i>elliottii</i> x <i>P. caribaea</i> var. <i>bahamensis</i>)	Empresa Schuckar	Empresa Schuckar
Híbrido (<i>P. elliottii</i> var. <i>elliottii</i> x <i>P. caribaea</i> var. <i>hondurensis</i>)	Empresa Schuckar	Empresa Schuckar

1.2.2 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

O delineamento experimental adotado foi de blocos completos casualizados com cinco tratamentos (*P. elliottii* var. *elliottii*, *P. caribaea* var. *hondurensis*, *P. caribaea* var. *bahamensis* e híbridos entre *P. elliottii* var. *elliottii* x *P. caribaea* var. *hondurensis* e *P. elliottii* var. *elliottii* x *P. caribaea* var. *bahamensis*) em três blocos, cada um com 189 mudas por tratamento para um total de 567 indivíduos de cada tratamento. O espaçamento utilizado foi 3,5 x 3,0m.

1.2.3 COLETA DE DADOS

Em 2019, aos seis anos após o plantio, foram mensurados os caracteres de crescimento de todas as árvores remanescentes do ensaio. A altura total em metros (H-m) foi medida utilizando o equipamento Vertex III (Figura 1), a circunferência à altura do peito em centímetros (CAP-cm) foi medida com uma fita métrica graduada em 0,1 cm. A partir da circunferência a altura do peito foi calculado o diâmetro à altura do peito (DAP-cm) em centímetros. Com as informações da altura total e do DAP foi calculado o volume (Vol-m³/arv). Com base nessas medidas foi calculado o incremento médio anual para altura total, DAP e volume. Aos sete anos após o plantio, o fluxo de resina foi medido por

microresinagem em gramas, o breu e a terebintina foram determinados pelo método de evaporação (OLIVEIRA; MARTINS; AGUIAR, 2020).

Figura 1- Uso do Vertex III para mensurar a altura das árvores



Fonte: Moura, R.D.

1.2.4 MENSURAÇÃO DO FLUXO DE RESINA

Na microresinagem adotou-se o seguinte procedimento: realizou-se uma incisão de, aproximadamente, 2,7 cm de diâmetro e 1cm de profundidade no tronco da árvore à altura de 1,30 cm do solo, até atingir o tecido cambial/ madeira da árvore. Para isso, foi utilizado um vazador de aço nas dimensões 2,7cm de diâmetro x 20 cm de comprimento. Após a abertura do orifício, um tubo Falcon de 50 ml contendo um saquinho plástico foi firmemente acoplado à árvore (Figura 2). Cada tubo permaneceu por um período de 24 horas na árvore. Não foi utilizado estimulante (pasta a base de ethrel e ácido sulfúrico). A partir de cada árvore foram coletadas a quantidade de resina produzida dentro de 24 horas. Após o período, os frascos contendo a resina foram coletados, fechados e armazenados em caixa de isopor com gelo para transporte e análise no laboratório. A quantidade de resina produzida, em gramas, foi pesada no laboratório, com uso de uma balança de precisão. A separação do teor de voláteis foi feita pelo método de evaporação (OLIVEIRA et al., 2021).

Para separação e mensuração da quantidade de breu e terebintina das amostras de resina, foi utilizado o método de evaporação, o qual consiste na pesagem de aproximadamente 10 g da amostra de resina em uma balança de precisão e, posteriormente, aquecida em uma estufa com temperatura média de 170 °C – 200 °C por seis horas. A terebintina, por apresentar temperatura de ebulição entre 150 – 160 °C, evapora, enquanto a porção não volátil (breu) fica na fase condensada. A massa resultante do processo de evaporação foi obtida por pesagem. A massa evaporada (terebintina) foi obtida por subtração dos valores da pesagem antes e após a secagem. Os valores em porcentagem foram calculados pela relação da fração não volátil pela massa inicial, multiplicado por 100; sendo que a diferença de 100 pela fração não volátil (breu) é a fração volátil (terebintina). Foi considerada uma massa de água equivalente a 2 % (valor excluído do total). Como a quantidade de resina variou entre amostras, e, portanto, não foi possível padronizar a quantidade inicial em 10 g para todas as amostras, utilizamos a porcentagem de terebintina como variável resposta.

Figura 2 – Micro resinagem e pesagem das amostras



Fonte: Moura, R.D.

1.2.5 ANÁLISES ESTATÍSTICAS

Os dados foram, primeiramente, submetidos aos testes de normalidade do erro. Em seguida foram realizadas as seguintes análises descritivas no programa genético-estatístico Selegen: médias, máximos, mínimos, desvio padrão e coeficiente de variação para os caracteres de crescimento e fluxo de resina (RESENDE, 2016). Após as análises descritiva, foi realizada a de variância (ANOVA) O teste de comparação de médias de Tukey, por meio do software estatístico R versão 4.0.2 e pacote easyanova (ARNHOLD, 2013; BUNN; KORPELA, 2013). Utilizou-se o modelo de blocos completos ao acaso. Os gráficos foram realizados com o pacote ggplot2 (WICKHAM, 2011).

Foi realizada análise de correlação de Pearson, a 5% de probabilidade de erro no programa R, entre os caracteres de altura, DAP, volume, incremento médio anual para altura, incremento médio anual para diâmetro a altura do peito, incremento médio anual para volume e o fluxo de resina, para verificar a correlação entre os caracteres.

1.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A taxa de sobrevivência foi de 95% (2.708) até os seis anos, com a maior taxa de sobrevivência sendo apresentada pelo híbrido de *P. elliottii* var. *elliottii* x *P. caribaea* var. *bahamensis* (98,76%) e a menor apresentada pelo híbrido de *P. elliottii* var. *elliottii* x *P. caribaea* var. *hondurensis* (91,89%). (Tabela 2)

Tabela 2 – Sobrevivência dos tratamentos de pinus e híbridos na Floresta Estadual de Pederneiras, SP.

Tratamentos	Sobrevivência	
	%	Total
Pee	96,30%	546
HPch	91,89%	521
HPcb	98,77%	560
Pch	93,83%	532
Pcb	95,77%	543

Em que: Pee = *P. elliottii* var. *elliotti*, Pcb = *P. caribaea* var. *bahamensis*, Pch = *P. caribaea* var. *hondurensis*, HPcb = Híbrido entre *P. elliottii* var. *elliottii* x *P. caribaea* var. *bahamensis*, HPch = Híbrido entre *P. elliottii* var. *elliottii* x *P. caribaea* var. *hondurensis*.

Os primeiros anos após o plantio, a planta desenvolve o sistema de raízes e se adapta ao novo ambiente, se isso não ocorrer a taxa de mortalidade entre as progênes pode ser alta. A taxa de mortalidade das plantas no ensaio foi baixa, o que confirma a boa adaptação das espécies e híbridos no local de plantio. No geral, as espécies de *Pinus* apresentam altas taxas de sobrevivência em plantios florestais, principalmente, se não forem afetadas por fatores abióticos e bióticos (AGUIAR; SOUSA; SHIMIZU, 2014; SANTOS, 2014; SHIMIZU; SEBBENN, 2008). Esses valores se mostram similares aos encontrados na literatura para *P. taeda* aos quatro anos (91,7%) (LEITE; NOGUEIRA; MOREIRA, 2006), *P. taeda* aos oito anos (94,48%) (TRAZZI et al., 2020), e *P. caribaea* var. *caribaea* (96,6%) aos 15 anos (DA SILVA et al., 2011), mostrando que esses tratamentos apresentam boa adaptação as condições edafoclimáticas da Floresta Estadual de Pederneiras.

Na análise da sobrevivência após seis anos, foi observado que os híbridos de *P. elliottii* var. *elliottii* x *P. caribaea* var. *hondurensis* apresentaram as menores taxas de sobrevivência, o que pode ser atribuída mais a fatores genéticos do que ambientais, pelo

fato dos indivíduos apresentarem maior taxa de segregação e combinações alélicas (DIAS et al., 2022). A espécie *P. elliotii* var. *elliotii* e o híbrido de *P. elliotii* var. *elliotii* x *P. caribaea* var. *hondurensis* têm significativos valores comerciais e, são atualmente explorados comercialmente para a indústria madeireira e para a indústria de resina (NUNES, 2018; SURDI et al., 2015). No entanto, é importante uma análise mais aprofundada considerando-se a interação entre os fatores genéticos e ambientais envolvidos.

De toda a população de 2.708 árvores, os valores médios e coeficientes de variação para altura, DAP e volume, caracteres de maior interesse para o setor florestal, foram de 8 m, 13cm e 0,08m³/arv e 41,86%, 28,01% e 82,11 %, respectivamente (Figura 3). A média do fluxo de resina foi de 2,18g e o coeficiente de variação de 20,51% (Figura 4). As variedades de *P. caribaea* (var. *hondurensis* e var. *bahamensis*) apresentaram os maiores valores de crescimento e de fluxo de resina, essas variedades estão mais bem adaptadas ao clima quente da região. Os híbridos (*P. elliotii* var. *elliotii* x *P. caribaea* var. *hondurensis* e *P. elliotii* var. *elliotii* x *P. caribaea* var. *bahamensis*) tiveram valores inferiores, mostrando que a combinação de genes entre os progenitores não apresentou vigor híbrido para os caracteres mensurados (Tabela 3). Em Merryville, LA, *P. elliotii* var. *elliotii* aos sete anos apresentou altura e DAP de 7,26 m e 8,69 cm (DE STEFANO et al., 2020). Em Barra Velha, Santa Catarina, *P. caribaea* var. *bahamensis* apresentou altura e DAP de 13,84 m e 18,74 cm aos sete anos (DE AGUIAR et al., 2014). Nos distritos de Gulu e Mubende, em Uganda, *P. caribaea* var. *hondurensis* aos cinco anos apresentou altura e DAP de 11,88 m e 15,86 cm (KALANZI et al., 2014). Na Argentina, o híbrido de *P. elliotii* var. *elliotii* x *P. caribaea* var. *hondurensis* apresentou altura e DAP de 10,58 m e 17,28 cm aos sete anos (SCHENONE; PEZZUTTI, 2003).

Tabela 3 – Valores Máximos e Mínimos para os caracteres de crescimento e fluxo de resina dos tratamentos de pinus e híbridos na Floresta Estadual de Pederneiras, SP.

	Altura		DAP		Volume		RSN	
	(m)	(m)	(cm)	(cm)	(m ³ /arv)	(m ³ /arv)	(g)	(g)
	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max
Pee	5,14	5,63	10,03	10,09	0,001	0,23	0,02	9,97
Pcb	10,33	10,83	14,01	14,9	0,002	0,49	0,04	15,54
Pch	9,80	10,30	14,59	15,4	0,005	0,41	0,03	17,01
HPcb	6,02	6,51	11,54	12,4	0,006	0,42	0,03	10,69
HPch	5,58	6,07	9,74	10,06	0,001	0,32	0,03	5,46

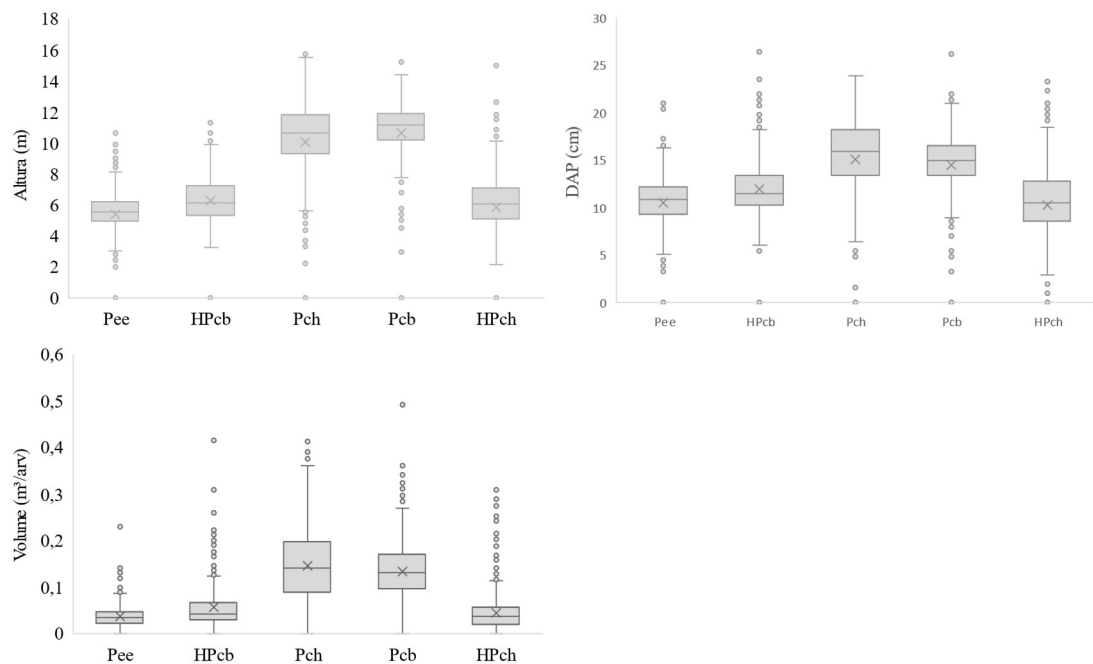
Em que: DAP = diâmetro à altura do peito, IMAH = Incremento médio anual para altura, IMDAP = Incremento médio anual para o diâmetro a altura do peito, IMAV = Incremento médio anual para volume, RSN = Fluxo de Resina. Pee = *P. elliottii* var. *elliotti*, Pcb = *P. caribaea* var. *bahamensis*, Pch = *P. caribaea* var. *hondurensis*, HPcb = Híbrido entre *P. elliottii* var. *elliottii* x *P. caribaea* var. *bahamensis*, HPch = Híbrido entre *P. elliottii* var. *elliottii* x *P. caribaea* var. *hondurensis*.

Ao avaliar os caracteres de crescimento dos cinco tratamentos de *Pinus* spp., observou-se uma tendência de melhor desempenho entre os tratamentos *P. caribaea* var. *bahamensis* e *P. caribaea* var. *hondurensis*, com certas diferenças em seus desempenhos (Figura 3). A variedade *P. caribaea* var. *hondurensis* apresenta uma destacada performance, com a maior mediana entre os demais tratamentos, indicando que, em média, essa variedade tem a maior altura, DAP e volume. A espécie *P. caribaea* var. *bahamensis* tem maiores valores entre os outliers, esta ampla variação sugere um maior potencial para seleção de indivíduos e criação de futuras gerações que podem apresentar melhor desempenho. Os valores baixos para *P. elliottii* var. *elliotti* mostram as dificuldades que essa espécie tem para se adaptar às condições edafoclimáticas do local do experimento, verões quentes e úmidos e invernos seco e frios (OLMEDO et al., 2023).

Em contraste, os tratamentos híbridos exibem valores mais modestos de crescimento em média, mas evidenciam seu potencial através de outliers que se equiparam ou superam seus progenitores, mostrando que futuras gerações desses híbridos poderão superar as espécies parentais. O híbrido de *P. elliottii* var. *elliottii* x *P. caribaea* var. *bahamensis* se mostrou melhor adaptado as condições do local de plantio, enquanto o híbrido de *P. elliottii* var. *elliottii* x *P. caribaea* var. *hondurensis* precisa de mais estudos,

por exemplo de interação genótipo x ambiente, já que esse híbrido tem mostrado crescente superioridade sobre *P. elliotii* var. *elliotii* em locais de drenagem deficientes, combinando com boa forma e resistência ao vento (SCHENONE; PEZZUTTI, 2003). Na região de Selvíria, MS foi observado incremento médio anual de 1,34cm e 0,80m para DAP e altura total, respectivamente em um teste de *P. caribaea* var. *caribaea* (SILVA, 2005). Em Queensland, Austrália, *P. caribaea* var. *hondurensis* aos 15 anos apresentou incremento médio anual de 1,06m e 1,16cm para altura e DAP, respectivamente (HARDING; KANOWSKI; WOOLASTON, 1991).

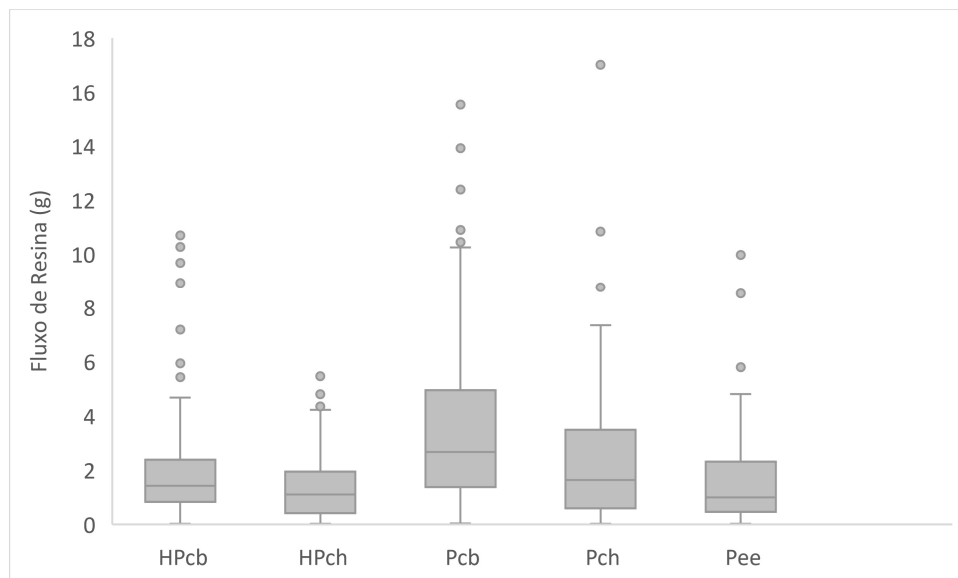
Figura 3 – Diferenças na altura, DAP e volume entre os cinco tratamentos dos tratamentos de pinus e híbridos aos seis anos na Floresta Estadual de Pederneiras, SP.



Em que: DAP = diâmetro à altura do peito, Pee = *P. elliotii* var. *elliotii*, HPcb = Híbrido entre *P. elliotii* var. *elliotii* x *P. caribaea* var. *bahamensis*, Pch = *P. caribaea* var. *hondurensis*, Pcb = *P. caribaea* var. *bahamensis*, HPch = Híbrido entre *P. elliotii* var. *elliotii* x *P. caribaea* var. *hondurensis*.

A análise do fluxo de resina para os cinco tratamentos (Figura 4) apresenta o tratamento *P. caribaea* var. *bahamensis* com o maior fluxo médio (0,94g), uma grande variação interquartil (1,38g—4,95g) e outliers de consideráveis valores (15,54g), superado apenas pelo outlier do *P. caribaea* var. *hondurensis* (17,01g), ainda que esse tratamento tenha uma média menor do fluxo (0,64g). O tratamento *P. elliottii* var. *elliottii* demonstrou valores outliers expressivos (9,97g), mas sua média (0,34g) mostra os problemas que esse tratamento tem com as condições edafoclimáticas dessa região. Entre os tratamentos híbridos, o híbrido entre *P. elliottii* var. *elliottii* x *P. caribaea* var. *bahamensis* teve a melhor média (0,54g) e outliers significativos (10,69g).

Figura 4 – Fluxo de resina das árvores (g) entre os tratamentos de pínus e híbridos aos sete anos na Floresta Estadual de Pederneiras, SP.



Em que: HPcb = Híbrido entre *P. elliottii* var. *elliottii* x *P. caribaea* var. *bahamensis*, HPch = Híbrido entre *P. elliottii* var. *elliottii* x *P. caribaea* var. *hondurensis*, Pcb = *P. caribaea* var. *bahamensis*, Pch = *P. caribaea* var. *hondurensis*, Pee = *P. elliottii* var. *elliottii*.

Os valores para a porcentagem de terebintina variaram de 11,78% a 51,33%, com uma média de 23,05%. Os valores de breu variaram de 47,62% e 87,97% com uma média de 76,49%. De acordo com a literatura, *P. elliottii* apresenta uma das maiores porcentagens de produção de terebintina, variando entre 25% a 45% do total evaporado, tendo como subsequentes as espécies *P. caribaea* var. *hondurensis*, *P. caribaea* var.

bahamensis, e o híbrido (*P. elliotii* x *P. caribaea* var. *hondurensis*) com porcentagens acima de 25% (BRITO; BARRICHELO; GUTIERREZ, 1980; OLIVEIRA; MARTINS; AGUIAR, 2020). Essas taxas de Breu são similares aos valores encontrados para outras espécies de *Pinus*, 78,9 % para *P. elliotii* var. *elliotii*, 80,3 % para *P. caribaea* var. *bahamensis*, 87,3 % para *P. kesiya*, e 82,1 % para *P. oocarpa* (BRITO; BARRICHELO; GUTIERREZ, 1980).

1.3.1 ANÁLISE DE VARIÂNCIA

Diferenças significativas foram observadas para tratamentos e blocos para os caracteres: DAP, altura, volume, fluxo de resina em nível de 5% de probabilidade (Tabela 4). Esses resultados demonstram a existência de variações fenotípicas significativas entre tratamentos, e, portanto, com desempenhos diferentes, e que é possível realizar a seleção fenotípica de indivíduos dentro dos tratamentos mais promissores para a produção de madeira e resina.

Tabela 4 – Resultados da análise de variância dos tratamentos de *Pinus* spp. na Floresta Estadual de Pederneiras, SP.

	Variável dependente	GL	F	p
TRT	Altura (m)	4	1770,74	< 0,001
	DAP (cm)	4	339,7	< 0,001
	Volume (m ³ /arv)	4	591,58	< 0,001
	RSN (g)	4	21,22	< 0,001
BLC	Altura (m)	2	66,43	< 0,001
	DAP (cm)	2	4,93	< 0,001
	Volume (m ³ /arv)	2	13,3	< 0,001
	RSN (g)	2	104,33	< 0,001
TRT * BLC	Altura (m)	8	12,1	< 0,001
	DAP (cm)	8	10,19	< 0,001
	Volume (m ³ /arv)	8	4,57	< 0,001
	RSN (g)	8	13,28	< 0,001
Resíduos	Altura (m)	2693		
	DAP (cm)	2693		
	Volume (m ³ /arv)	2693		
	RSN (g)	2693		

Em que: GL = Graus de liberdade, DAP = Diâmetro a altura do peito, RSN = Fluxo de resina, TRT = Tratamento, BLC = Bloco.

Os resultados obtidos para o teste de médias apresentaram diferenças estatísticas significativas ao nível de 95% de probabilidade utilizando o teste Tukey para os caracteres de altura, DAP, volume, e fluxo de resina (Tabela 5).

Os caracteres de altura, DAP, volume, e fluxo de resina aos seis anos variaram de 2,00 a 15,70 m, 0,95 a 26,42 m, 0,01 a 0,049 m³/arv, e 0,01 a 17,01 g respectivamente.

Os *Pinus* tropicais (*P. caribaea* var. *bahamensis* e *P. caribaea* var. *hondurensis*) apresentaram um crescimento mais vigoroso das árvores em decorrência da melhor adaptação as características edafoclimáticas da região (MOURA; DVORAK, 2001), resultados semelhantes foram encontrados em um experimento realizado na região de Batatais/SP, aos sete anos, com espécies de *P. caribaea* var. *bahamensis* e *P. caribaea* var. *hondurensis*, em que as leituras dos dados resultaram em valores de 9,13 m e 9,83 m, 14,26 cm e 13,96 cm, respectivamente para os caracteres altura e DAP (NIERI et al., 2022). Plantações de Pee tiveram melhores resultados no Rio Grande do Sul com valores médios de altura e DAP de 21,10 m e 29,70 cm respectivamente (BONATTO et al., 2024). O desempenho dos híbridos foi inferior ao encontrado na literatura para híbridos de *P. elliottii* var. *elliottii* x *P. caribaea* var. *hondurensis* aos oito anos no município de Canoinhas em Santa Catarina, esses obtiveram os valores de 18,98 cm e 12,42 m de média para DAP e altura respectivamente (TAMBARUSSI et al., 2018).

A variação fenotípica observada no teste indica que a seleção individual fenotípica dentro de espécies e de híbridos mais produtivos para volume e fluxo de resina poderá contribuir para o aumento de produção tanto de madeira quanto para resina.

Tabela 5 - Resultados do teste de Tukey para os caracteres de crescimento e fluxo de resina dos tratamentos de pinus e híbridos na floresta estadual de Pederneiras, SP.

	Altura (m)		DAP (cm)		Volume (m³/arv)		RSN (g)
Pcb	11,04 a	Pch	15,88 a	Pch	0,15 a	Pcb	0,94 a
Pch	10,62 b	Pcb	15,08 b	Pcb	0,14 b	Pch	0,64 b
HPcb	6,34 c	HPcb	12,12 c	HPcb	0,06 c	HPcb	0,54 bc
HPch	6,33 c	HPch	11,05 d	HPch	0,05 c	Pee	0,34 cd
Pee	5,58 d	Pee	10,84 d	Pee	0,04 d	HPch	0,25 d

Em que: DAP = Diâmetro a Altura do Peito, IMAH = Incremento médio anual para altura, IMDAP = Incremento médio anual para o diâmetro a altura do peito, IMAV = Incremento médio anual para volume, RSN = Fluxo de Resina. Pcb = *P. caribaea* var. *bahamensis*, Pch = *P. caribaea* var. *hondurensis*, HPcb = Híbrido entre *P. elliottii*

var. *elliottii* x *P. caribaea* var. *bahamensis*, HPch = Híbrido entre *P. elliottii* var. *elliottii* x *P. caribaea* var. *hondurensis*, Pee = *P. elliottii* var. *elliottii*.

Por meio da análise da matriz de correlação pode-se perceber baixas correlações de caracteres de crescimento com o fluxo de resina, enquanto os caracteres de crescimento apresentam-se fortemente correlacionados entre si (Tabela 6). Esses resultados indicam que programas de melhoramento genético para aumentar a produção e qualidade de madeira e resina devem ser conduzidos separadamente. Como a maioria dos povoamentos sob exploração de resina é constituída de material genético não melhorado nesse aspecto (SHIMIZU; IVANA, 1999), existe uma grande oportunidade para aumentar a produtividade nas próximas gerações com uso de indivíduos desse ensaio.

Tabela 6 – Matriz de correlação fenotípica para os caracteres: altura, diâmetro a altura do peito, volume, e fluxo de resina em ensaios de *Pinus* spp. na floresta estadual de Pederneiras, SP.

	DAP (cm)	VOL (m ³ /arv)	RSN (g)
Altura (m)	0,79	0,87	0,16
DAP (cm)	-	0,93	0,15
VOL (m ³ /arv)	-	-	0,15

Em que: DAP = Diâmetro a Altura do Peito, VOL = Volume, RSN = Fluxo de Resina.

As combinações híbridas estudadas no presente trabalho devem ser mais bem exploradas na região, principalmente, o híbrido entre as espécies *P. elliottii* e *P. caribaea* var. *bahamensis* por terem apresentado um desempenho superior às demais espécies e ao outro híbrido testado. A qualidade da resina também deverá ser priorizada em pesquisas futuras.

1.4 CONCLUSÕES

Existem diferenças entre espécies e híbridos de pínus . para os caracteres de crescimento (diâmetro e altura), volume e fluxo de resina. *P. caribaea* var. *bahamensis* apresenta superioridade para os caracteres de altura, e fluxo de resina; *P. caribaea* var. *hondurensis* apresenta superioridade para os caracteres de DAP, volume; O híbrido *P. elliottii* var. *elliottii* x *P. caribaea* var. *bahamensis* apresenta superioridade em todos os caracteres entre os híbridos.

As correlações entre a resina e os caracteres de crescimento são baixas e não significativas, mas altas, positivas e significativas entre altura e DAP.

A variação fenotípica observada no teste indica que a seleção de espécies e indivíduos mais produtivos poderá contribuir para o aumento de produção de madeira e resina na região de Pederneiras, SP.

O trabalho visou identificar quais variedades de *Pinus sp.* apresentariam maior potencial de uso como parentais em hibridações visando ao aumento na produção de resina. As duas espécies e híbridos que se destacaram para a produção de resina poderão ser melhor exploradas economicamente na região e novos híbridos poderão ser desenvolvidos para serem testados para produção de madeira e resina.

REFERÊNCIAS

- ACR, A. C. DE E. F. Anuário Estatístico de Base Florestal para o estado de Santa Catarina. 2022.
- AGUIAR, A. V. **Comunicado Pessoal**. , 2024.
- AGUIAR, A. V.; SOUSA, V. A.; SHIMIZU, J. Y. **Cultivo de Pinus**. . Acesso em: 25 fev. 2023.
- AGUIAR, A. V. DE et al. Programa de melhoramento de pinus da Embrapa Florestas. **Embrapa Florestas**, 2011.
- ALVARES, C. A. et al. Köppen's climate classification map for Brazil. n. 6, p. 711–728, 2014.
- ARESB. **Aresb “Associação Dos Resinadores Do Brasil”**. Disponível em: <<https://www.aresb.com.br/portal/>>. Acesso em: 25 fev. 2023.
- ARIAS, E. Brazil market profile. **dc.statelibrary.sc.gov**, 2022.
- ARNHOLD, E. Package in the R environment for analysis of variance and complementary analyses. **Brazilian Journal of Veterinary Research and Animal Science**, v. 50, n. 6, p. 488–492, 9 dez. 2013.
- BONATTO, P. C. et al. Variáveis dendrométricas em plantio comercial de *Pinus elliottii* Engelm. por meio de VANT. **Cuadernos de Educación y Desarrollo**, v. 16, n. 6, 2024.
- BRITO, J.; BARRICHELO, L.; GUTIERREZ, L. Qualidade do breu e terebintina de pinheiros tropicais. **IPEF**, n. 21, p. 55–63, 1980.
- BUNN, A.; KORPELA, M. R: A language and environment for statistical computing. 2013.
- BUSH, D. Long-term research reveals potential role of hybrids in climate-change adaptation. A commentary on ‘Expansion of the rare *Eucalyptus risdonii* under climate change through hybridisation with a closely related species despite hybrid inferiority’. **Annals of Botany**, v. 129, n. 1, p. i–iii, 1 jan. 2022.
- CASSOL, P. C. et al. Changes in organic carbon in soil of natural grassland converted to *Pinus taeda* plantations at three ages. **Ciência Florestal**, v. 29, p. 545–558, jun. 2019.
- DA SILVA, J. M. et al. Variação genética e ganho esperado na seleção de progênies de *Pinus caribaea* var. *caribaea* em Selvíria, MS. **Scientia Forestalis**, p. 241–252, 2011.
- DE AGUIAR, A. V. et al. Variação genética em progênies de *Pinus caribaea* var. *bahamensis* em Barra Velha, SC. 2014.
- DE STEFANO, A. et al. Understory Vegetation Richness and Diversity of *Eucalyptus benthamii* and *Pinus elliottii* Plantations in the Midsouth US. **Forest Science**, v. 66, n. 1, p. 66–81, 4 fev. 2020.
- DIAS, M. C. et al. *Pinus elliottii* and *P. elliottii* x *P. caribaea* hybrid differently cope with combined drought and heat episodes. **Industrial Crops and Products**, v. 176, p. 114428, 1 fev. 2022.

DUNGEY, H. S. Pine hybrids — a review of their use performance and genetics. **Forest Ecology and Management**, v. 148, n. 1–3, p. 243–258, 1 jul. 2001.

FERREIRA DE ALMEIDA, N. et al. Produção e avaliação da qualidade de lâminas de madeira de um híbrido de *Pinus elliottii* var. *elliottii* × *Pinus caribaea* var. *hondurensis*. **SciELO Brasil**, v. 21, n. 2, p. 261–268, 2014.

FREITAS, J. A. DE et al. Evaluation of different compositions of stimulating paste in a closed resin system in 10-year-old *Pinus elliottii* var. *elliottii*. **Research, Society and Development**, v. 12, n. 8, p. e13212843031–e13212843031, 25 ago. 2023.

FUJIMOTO, R. et al. Recent research on the mechanism of heterosis is important for crop and vegetable breeding systems. **Breeding Science**, v. 68, n. 2, p. 145–158, 2018.

GARRIDO, M. A. DE O. et al. **Resinagem: Manual Técnico**. [s.l.: s.n.].

HARDING, K.; KANOWSKI, P.; WOOLASTON, R. Preliminary genetic parameter estimates for some wood quality traits of *Pinus caribaea* var. *hondurensis* in Queensland, Australia. **Silvae genetica**, v. 40, n. 3/4, 1991.

HOFFMANN, A. A.; SGRÒ, C. M. Climate change and evolutionary adaptation. **Nature**, v. 470, n. 7335, p. 479–485, fev. 2011.

IBA. **Relatório Anual IBA 2023**. [s.l.] INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES — IBÁ, 2023. . Acesso em: 29 nov. 2022.

KALANZI, F. et al. Growth performance of 5-year old *Pinus caribaea* var. *hondurensis* (Barr. and Golf.) in selected districts of Uganda. **Uganda Journal of Agricultural Sciences**, v. 15, n. 2, p. 127–135, 2014.

KAWAHATA PAGLIARINI, M. et al. Scientia Forestalis Genetic variation in growth traits of *Dipteryx alata* Vog progenies. v. 44, p. 925–935, 2016.

KHURANA, D. K.; KHOSLA, P. K. Hybrids in forest tree improvement. **Forest genetics and tree breeding**, p. 86–102, 1998.

KREMER, A.; POTTS, B. M.; DELZON, S. Genetic divergence in forest trees: understanding the consequences of climate change. **Functional Ecology**, v. 28, n. 1, p. 22–36, 2014.

LEITE, H. G.; NOGUEIRA, G. S.; MOREIRA, A. M. Efeito do espaçamento e da idade sobre variáveis de povoamentos de *Pinus taeda* L. **Revista Árvore**, v. 30, n. 4, p. 603–612, 2006.

MABASO, F.; HAM, H.; NEL, A. Frost tolerance of various *Pinus* pure species and hybrids. <https://doi.org/10.2989/20702620.2019.1615212>, v. 81, n. 3, p. 273–280, 3 jul. 2019.

MARTINS, R. Cenários da exploração da resina de *Pinus* no município de Tavares, Rio Grande do Sul. 2022.

MOURA, V. P. G.; DVORAK, W. S. Provenance and family variation of *Pinus caribaea* var. *hondurensis* from Guatemala and Honduras, grown in Brazil, Colombia and Venezuela. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 36, n. 2, p. 225–234, 2001.

MUTETE, P.; MUREPA, R.; GAPARE, W. J. Genetic parameters in subtropical pine F1 hybrids: heritabilities, between-trait correlations and genotype-by-environment interactions. **Tree Genetics and Genomes**, v. 11, n. 5, p. 1–16, 13 out. 2015.

NIERI, É. M. et al. Selection of Pinus spp. progenies in Lavras (Minas Gerais, Brazil) at 36 months of age. **New Zealand Journal of Forestry Science**, v. 52, 25 fev. 2022.

NUNES, S. S. C. Characterization, micropropagation and preservation of Pinus genotypes. 14 mar. 2018.

OLIVEIRA, K. R. S. DE et al. **PROPOSIÇÃO DE CRUZAMENTOS PARA FORMAÇÃO DE HÍBRIDOS DE PINUS VISANDO A QUALIDADE DA RESINA**. XXVII CIC e XII CIDTI. **Anais...**2021.

OLIVEIRA, K. R. S. DE; MARTINS, K.; AGUIAR, A. V. DE. Determinação de conteúdo de terebintina em diferentes espécies de Pinus spp. e estações do ano. 2020.

OLMEDO, G. M. et al. Growth dynamic and climate signals on abandoned plantation of Pinus elliottii in Southern Brazil: A dendrochronological contribution. **Dendrochronologia**, v. 82, p. 126136, 1 dez. 2023.

RESENDE, M. D. V. DE. SELEGEN-REML/BLUP: sistema estatístico e seleção genética computadorizada via modelos lineares mistos. 2007.

RESENDE, M. D. V. DE. Software Selegen-REML/BLUP: a useful tool for plant breeding. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 16, n. 4, p. 330–339, 2016.

SANTOS, W. DOS. Variação genética e desempenho de progênies de Pinus caribaea var. hondurensis para produção de madeira e resina. p. 98- f, 2014.

SANTOS, H.; SILVA, M.; SOARES, N. BRAZIL'S COMPETITIVENESS IN EXPORTATION OF FOREST PRODUCTS FROM 2008 TO 2018. **Revista Árvore**, n. 46, 2022.

SCHENONE, R. A.; PEZZUTTI, R. V. Productividad de progenies de Pinus elliottii x Pinus caribaea var. hondurensis. **XII World Forestry Congress**, 2003.

SHIMIZU, J. Y.; IVANA, H. S. Seleção de Pinus elliottii pelo valor genético para alta produção de resina. **Boletim de Pesquisa Florestal, Colombo**, n. 38, p. 103–117, 1999.

SHIMIZU, J. Y.; SEBBENN, A. M. Espécies de Pinus na silvicultura brasileira. **Embrapa Florestas**, p. 49–74, 2008.

SHIMIZU, Y.; SPIR, J. Z.; IVANA, H. Seleção de Pinus elliottii pelo valor genético para alta produção de resina. **Boletim de Pesquisa Florestal**, v. 38, p. 103–117, 1999.

SILVA, A. C. et al. Responses of resistant and susceptible hybrid clones of Eucalyptus urophylla × Eucalyptus grandis to infection by Ceratocystis fimbriata. **Annals of Forest Science**, v. 77, n. 2, p. 1–19, 1 jun. 2020.

SILVA, J. M. DA. **Análises genéticas em progênies de *Pinus caribaea* Morelet var. *caribaea* por caracteres quantitativos e marcadores moleculares.** [s.l.] Universidade Estadual Paulista (Unesp), 26 jul. 2005.

SOUZA, T. D. S. et al. Variação genética em caracteres quantitativos em *Pinus caribaea* var. *hondurensis*. **Scientia Forestalis**, v. 45, n. 113, p. 177–185, 1 mar. 2017.

SURDI, P. G. et al. Use of hybrid *Pinus elliottii* var. *elliottii* x *Pinus caribaea* var. *hondurensis* and *Pinus taeda* L. in the production of OSB panels. **Scientia Forestalis**, v. 43, n. 108, p. 763–772, 2015.

TAMBARUSSI, E. V. et al. Análise dialélica na avaliação do potencial de híbridos de *Pinus elliottii* x *Pinus caribaea* para a formação de populações de melhoramento. **Scientia Forestalis**, v. 46, n. 119, 1 set. 2018.

TRAZZI, P. A. et al. A qualidade morfológica de mudas de *Pinus taeda* afeta o seu crescimento em campo no longo prazo? **Sci For**, v. 48, p. 1–10, 2020.

VENTURA, A. et al. Características edafo-climáticas das dependências do Serviço Florestal do Estado de São Paulo. **Silvicultura em São Paulo**, v. 4, n. 5, p. 4, 1965.

WICKHAM, H. ggplot2. **WIREs Computational Statistics**, v. 3, n. 2, p. 180–185, mar. 2011.

CAPÍTULO 2: COMPARAÇÃO DO POTENCIAL PRODUTIVO DE TALHÕES
COMERCIAIS DE *PINUS TAEDA* E HÍBRIDO (*P. ELLIOTTII* var. *elliottii* X *P.*
caribaea var. *hondurensis*)

João Roberto Menucelli^{1*}, Rafael Dias Moura², Bruno Marchetti Souza³, Eduardo Luiz Longui⁴, Ananda Virginia de Aguiar⁵

¹ Doutorando em Planejamento e Uso de Recursos Renováveis, Universidade Federal de São Carlos, UFSCAR, Rodovia João Leme dos Santos (SP-264), Bairro do Itinga – Sorocaba/SP.

² Mestrando em Agronomia (Genética e Melhoramento de Plantas), Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, UNESP, Rua Quirino de Andrade, 215 - Centro - São Paulo/SP

³ Instituto de Pesquisas Ambientais-IPA, Avenida Rodrigues Alves, 38-25 – Horto Florestal, CEP: 17.030-000, Bauru-SP

⁴ Instituto de Pesquisas Ambientais-IPA, Av. Professor Frederico Hermann Junior, 345 Alto de Pinheiros/SP

⁵ Embrapa Florestas-Estrada da Ribeira, Km 111- Parque Monte Castelo, CEP: 83411-000. Colombo-PR.

*Autor por correspondência: João Roberto Menucelli, (11) 920028218, jmenucelli@hotmail.com

RESUMO: O uso de híbridos de *Pinus* Este estudo teve como objetivo determinar se o híbrido entre *Pinus elliottii* var. *elliottii* e *Pinus caribaea* var. *hondurensis* apresenta um potencial produtivo superior ao *Pinus taeda* em uma região tradicionalmente dedicada ao cultivo de *P. taeda*. Foram avaliados os caracteres de altura, diâmetro a altura do peito, volume, altura da copa, diâmetro da copa, volume da copa de plantios comerciais de 11 tratamentos de *Pinus taeda*, *Pinus elliottii* var. *elliottii* e do híbrido (*P. elliottii* var. *elliottii* x *P. caribaea* var. *hondurensis*) em blocos completos casualizados estabelecidos nos anos de 2013, 2014, 2018 e 2019 na empresa Pinara, em Itapeva, SP. As sementes foram obtidas de pomares de sementes por mudas, clonais de primeira geração e polinização aberta. Entre as espécies e o híbrido analisados, no grupo Barro Branco o híbrido entre *P. elliottii* var. *elliottii* x *P. caribaea* var. *hondurensis* se destacou com um IMA médio de 2,21 m para altura, 3,03 cm para o diâmetro a altura do peito e 0,0579 m³/arv para volume, e o *P. taeda* um IMA médio de 1,49 m para altura, 2,53 cm para o diâmetro a altura do peito e 0,041 m³/arv para volume; e no grupo Fontanini o híbrido *P. elliottii* var. *elliottii* x *P. caribaea* var. *hondurensis* – 18, teve um IMA médio de 1,18 m para altura, 1,78 cm para diâmetro a altura do peito, e 0,00203 m³/arv, e o *P. taeda* um IMA médio de 0,70 m para altura, 1,39 cm para o diâmetro a altura do peito e 0,0128 m³/arv para volume. Os híbridos revelaram-se promissores, exibindo resiliência impressionante diante das variações ambientais e dos ciclos temporais. A pesquisa sugere que, embora o *Pinus taeda* mantenha sua relevância, os híbridos representam uma alternativa valiosa para diversificar e fortalecer a base de recursos da indústria florestal.

Palavras-chave: *Pinus*; Produtividade florestal; Silvicultura;

ABSTRACT: The use of *Pinus* hybrids This study aimed to determine whether the hybrid between *Pinus elliottii* var. *elliottii* and *Pinus caribaea* var. *hondurensis* presents a higher productive potential than *Pinus taeda* in a region traditionally dedicated to the cultivation of *P. taeda*. The following traits were evaluated: height, diameter at breast height, volume, crown height, crown diameter, and crown volume of commercial plantations of 11 treatments of *Pinus taeda*, *Pinus elliottii* var. *elliottii* and the hybrid (*P. elliottii* var. *elliottii* x *P. caribaea* var. *hondurensis*) in randomized complete blocks established in 2013, 2014, 2018 and 2019 at the Pinara company, in Itapeva, SP. The seeds were obtained from seed orchards by seedlings, first generation clonals and open pollination. Statistical analysis was performed using the SELEGEN-REML/BLUP statistical software and R. Among the species and the hybrid analyzed, in the Barro Branco group the hybrid between *P. elliottii* var. *elliottii* x *P. caribaea* var. *hondurensis* stood out with an average IMA of 2.21 m for height, 3.03 cm for diameter at breast height and 0.0579 m³/arv for volume, and *P. taeda* an average IMA of 1.49 m for height, 2.53 cm for diameter at breast height and 0.041 m³/arv for volume; and in the Fontanini group the hybrid *P. elliottii* var. *elliottii* x *P. caribaea* var. *hondurensis* – 18, had an average IMA of 1.18 m for height, 1.78 cm for diameter at breast height, and 0.00203 m³/arv, and *P. taeda* an average IMA of 0.70 m for height, 1.39 cm for diameter at breast height, and 0.0128 m³/arv for volume in the Fontanini group. The hybrids showed promise, exhibiting impressive resilience to environmental variations and temporal cycles. The research suggests that, although *Pinus taeda* remains relevant, hybrids represent a valuable alternative to diversify and strengthen the resource base of the forestry industry.

Keywords: *Pinus*; Forest productivity; Silviculture;

2.1 INTRODUÇÃO

A silvicultura tem buscado alternativas para maximizar a produtividade e qualidade da madeira, visando atender à crescente demanda global (CARLE; DUVAL; ASHFORDC, 2020; HAMADYK; AMADO; DE BRITO, 2020; HART; POMPONI, 2020). A previsão é que as florestas plantadas aumentem de menos de 2% do uso global da terra para cerca de 4% até 2050 devido ao crescimento populacional, expansão da pecuária, aumento da demanda por alimentos, e a crescente expansão da demanda por bioenergia (BAHAR et al., 2020; INDUFOR, 2012). As florestas plantadas irão competir pelo acesso a terras com elevado potencial produtivo, o que pressionará os preços das terras e fará com que as florestas plantadas sejam estabelecidas em terras agrícolas marginais, tornando necessário o uso de novas tecnologias para manter elevada produtividade e enfrentar os desafios sociais e ambientais (CELMA et al., 2022; KAMPERIDOU; TERZOPOULOU; BARBOUTIS, 2021; PAYN et al., 2015; SYTNYK et al., 2023).

Diante desse cenário de crescente demanda por madeira e expansão das áreas de plantio, *Pinus taeda* (PT) tem se mostrado uma espécie promissora, é uma espécie de conífera de grande valor econômico, originária do sudeste dos EUA e introduzida no Brasil na década de 1970 (SHIMIZU, 2008). Se tornou a principal conífera plantada para produção de papel, celulose e madeira serrada no Brasil (IBA, 2023). Seus plantios comerciais, praticados sob um regime de silvicultura intensiva, são predominantes nas regiões Sul e Sudeste do Brasil (SHIMIZU; SEBBENN, 2008). Particularmente, adequada para a silvicultura comercial por seu crescimento rápido e troncos retos e altos que produzem madeira de alta qualidade, sua madeira é uma fonte renovável de ciclo rápido, com mercado abrangendo os setores de paletes, embalagens, mobiliário, construção civil e indústrias de celulose e papel (AGUIAR et al., 2011; SHIMIZU; SEBBENN, 2008; ZANÃO, 2020).

Híbridos interespecíficos são o resultado do cruzamento entre duas espécies diferentes, frequentemente apresentam características superiores às de seus progenitores pelo fenômeno conhecido como heterose ou Vigor de Híbrido (KALLOO; BERGH, 2012). Este fenômeno pode resultar em plantas com madeira de qualidade superior, espécies mais vigorosas e férteis (RESENDE; BORÉM; LEITE, 2023; SANTOS; FERREIRA; KAGEYAMA, 1988). Enquanto monoculturas tradicionais são vulneráveis a eventos estressantes multifatoriais como pragas ou eventos climáticos anormais que podem dizimar toda uma espécie, os híbridos podem desenvolver resistências através da heterose alélica (FUJIMOTO et al., 2018). Através de

programas de hibridação é possível desenvolver cultivares que tenham grande sucesso, particularmente onde o ambiente de plantio está fora do ambiente ideal da espécie parental, mas para explorar o potencial total dessas linhagens híbridas é necessário estudar a interação genótipo x ambiente para validar os resultados (KHURANA; KHOSLA, 1998; MABASO; HAM; NEL, 2019; SILVA et al., 2020). No Brasil, a hibridação em espécies de *Pinus* tem sido compreensivamente estudada para aumentar a produção e a resistência a enfermidades, como a vespa da madeira, *Sirex noctilio*, uma das principais pragas das plantações de *Pinus* na América do Sul (PINUS BRASIL, 2024; REZENDE et al., 2023; WILCKEN et al., 2018)..

O híbrido de *P. elliottii* var. *elliottii* (PEE) x *P. caribaea* var. *hondurensis* (PCH), estabelecido pela primeira vez no ano de 1955 pelo Instituto de Pesquisa Florestal de Queensland na Austrália, combina as características complementares das espécies parentais (NIKLES, 2000). A espécie PEE possui fuste mais retilíneo, a madeira, mais densa, é resistente a ventos fortes e são mais tolerantes a lugares úmidos, enquanto o PCH possui crescimento mais acelerado, apresenta fuste com pouca ramificação e sua madeira é mais uniforme (DIETERS; BRAWNER, 2007; NUNES et al., 2018; SURDI, 2012). A demanda por mudas desse híbrido tem aumentado, principalmente em regiões que tradicionalmente realizavam plantios de *P. elliottii*. O híbrido *P. elliottii* x *P. caribaea* é plantado comercialmente na África do Sul (GWAZE, 1999; KIETZKA, 2002; SIJDE; ROELOFSEN, 1986) e em plantações florestais de Queensland, Austrália (NIKLES, 1995; NIKLES; ROBINSON, 1989) e esses híbridos também estão sendo testados entre outras combinações de espécies na China (DUNGEY; DIETERS; NIKLES, 2000).

A comparação entre talhões comerciais de *P. taeda* e os híbridos do gênero *Pinus* torna-se fundamental para entender as vantagens e desvantagens de cada alternativa. Enquanto *P. taeda* é uma escolha tradicional e bem estabelecida, com um vasto corpo de pesquisa e práticas de manejo já consolidadas, os híbridos podem oferecer novas oportunidades e desafios para a silvicultura.

Sob o ponto de vista silvicultural, os híbridos apresentam um alto potencial para produção de madeira, porém, são escassas as referências na literatura sobre a qualidade dessa madeira e do seu potencial de aplicação tecnológico para geração de produtos madeireiros específicos, especialmente no Brasil. Nesse contexto, o estudo potencial de híbridos de pínus para produção comercial é importante, na medida em que visa gerar subsídios para uma futura utilização dessas espécies em escala comercial e aumentar as fontes de matéria-prima qualificada para esse segmento da indústria florestal brasileira.

Assim, o presente trabalho teve como objetivo determinar o potencial produtivo de *Pinus taeda* e híbridos de pínus em sítios diferentes na região de Ribeirão Branco, SP.

2.2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.2.1 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL

Para o presente estudo foram considerados árvores de povoamentos florestais das espécies *P. taeda*, *P. elliottii* var. *elliottii* e híbridos estabelecidos na empresa Pinara nos anos de 2013, 2014, 2018 e 2019. As sementes foram obtidas de pomares de sementes por mudas, clonais de primeira geração e polinização aberta. O experimento foi instalado em duas fazendas da Empresa Pinara em Ribeirão Branco, SP, localizada a uma latitude 24° 13' 15" S e a uma longitude 48° 45' 56" W, com uma altitude de 875 m, e precipitação média de 1.200mm (SHIMIZU, 1999). O local apresenta clima subtropical, com relevo acidentado e montanhoso (MOREIRA, 2013). Os híbridos foram desenvolvidos utilizando matrizes do pomar de *P. elliottii* var. *elliottii* da empresa Pinara, localizada na cidade de Itapeva, no estado de São Paulo (latitude 23°9'S, longitude 48°8'O, 684 m de altitude), como fêmea e como macho *Pinus caribaea* var. *hondurensis* da Unesp de Ilha solteira (20°4' S, 51° 3' O, 347 m de altitude) e de Morada Nova, MG (5°1'S, 38°4'O, 52 m de altitude). A região apresenta clima subtropical, com relevo acidentado e montanhoso. Esses materiais foram cruzados de forma controlada e as sementes híbridas foram coletadas, estabelecendo o teste de progênie híbrida.

2.2.2 MATERIAL VEGETAL

Para esse experimento foram analisados oito talhões comerciais de espécies e híbridos de *Pinus*: *P. taeda*, *P. elliottii* var. *elliottii*, *P. elliottii* var. *elliottii* x *P. caribaea* var. *hondurensis*, *P. elliottii* var. *elliottii* x *P. caribaea* var. *hondurensis* – Australiano, *P. elliottii* var. *elliottii* x *P. caribaea* var. *hondurensis* – M25, *P. elliottii* var. *elliottii* x *P. caribaea* var. *hondurensis* – M44, *P. elliottii* var. *elliottii* x *P. caribaea* var. *hondurensis* – Argentino, *P. elliottii* var. *elliottii* x *P. caribaea* var. *hondurensis* – Pinara, *P. elliottii* var. *elliottii* x *P. caribaea* var. *hondurensis* – P18) (Tabela 7).

2.2.3 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

O delineamento experimental adotado foi de blocos completos casualizados com 11 tratamentos em duas fazendas. Na fazenda Barro Branco foram analisadas um total de 1.316 árvores e 5 tratamentos. Na fazenda Fontanini foram estudadas um total de 1855 arvores, de 6 tratamentos. As informações mais detalhadas de cada tratamento encontram-se na Tabela 7.

Tabela 7 - Procedência e Origem dos tratamentos de pínus e híbridos avaliados

Espécie /Híbrido	Fazenda	Espaça mento	Ano de plantio	Idade	Ano de avaliação	Parcelas	Árvores
AUS	Barro Branco	3x3	2014	7	2021	5	238
PEH		3x3	2014	7	2021	9	407
PT		3x3	2014	7	2021	6	280
PEE		3x3	2013	8	2021	3	145
P18		3x2,5	2018	3	2021	4	246
AUS	Fontanini	3x2,5	2018	3	2021	4	232
M25		3x2,5	2018	3	2021	4	232
M44		3x2,5	2018	3	2021	3	173
ARG		3x2,5	2018	3	2021	6	347
PIN		3x2,5	2018	3	2021	9	523
PT		3x2,5	2019	2	2021	6	348

Em que: AUS = *P. elliotii* var. *elliotii* x *P. caribaea* var. *hondurensis* – Australiano, PEH = Híbrido entre *P. elliotii* var. *elliotii* x *P. caribaea* var. *hondurensis*, PT = *P. taeda*, PEE = *P. elliotii* var. *elliotii*, P18 = *P. elliotii* var. *elliotii* x *P. caribaea* var. *hondurensis*, M25 = *P. elliotii* var. *elliotii* x *P. caribaea* var. *hondurensis*, M44 = *P. elliotii* var. *elliotii* x *P. caribaea* var. *hondurensis*, ARG = *P. elliotii* var. *elliotii* x *P. caribaea* var. *hondurensis* – Argentino, PIN = *P. elliotii* var. *elliotii* x *P. caribaea* var. *hondurensis* – Pinara

2.2.4 COLETA DE DADOS

No ano de 2021, foram mensurados os caracteres de crescimento das árvores das espécies e híbridos. A coleta de dados envolveu a mensuração da altura total (H-m) em metros, utilizando um hipsômetro Vertex III. A circunferência à altura do peito (CAP-cm) foi medida com fita métrica graduada em 0,1 cm, e a partir dela, calculamos o diâmetro à altura do peito (DAP) em centímetros. Para determinar a altura e os raios da copa nas direções Norte/Sul e Leste/Oeste utilizamos uma régua de 3 metros. Por fim, com base nos valores de H e DAP, calculamos o volume (Vol) de cada árvore em metros cúbicos (m^3/arv). A partir das medidas coletadas, calculou-se o incremento médio anual de cada árvore em termos de altura total, DAP, volume, altura da copa, diâmetro da copa e volume da copa.

2.2.5 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Para fins de estudo, os 11 tratamentos foram divididos em dois grupos, Grupo Barro Branco composto pelos tratamentos da fazenda Barro Branco (*P. taeda*, *P. elliotii* var. *elliottii*, *P. elliotii* var. *elliottii* x *P. caribaea* var. *hondurensis*, e *P. elliotii* var. *elliottii* x *P. caribaea* var. *hondurensis* – Australiano) e o Grupo Fontanini, composto pelos tratamentos da fazenda Fontanini (*P. taeda*, *P. elliotii* var. *elliottii* x *P. caribaea* var. *hondurensis* – Australiano, *P. elliotii* var. *elliottii* x *P. caribaea* var. *hondurensis* – M25, *P. elliotii* var. *elliottii* x *P. caribaea* var. *hondurensis* – M44, *P. elliotii* var. *elliottii* x *P. caribaea* var. *hondurensis* – Argentino, *P. elliotii* var. *elliottii* x *P. caribaea* var. *hondurensis* – Pinara) e o híbrido *P. elliotii* var. *elliottii* x *P. caribaea* var. *hondurensis* – P18.

Os dados foram, primeiramente, submetidos aos testes de normalidade do erro. Em seguida coletados, foram realizadas as seguintes análises descritivas no programa estatístico Selegen: médias, máximos, mínimos, desvio padrão e coeficiente de variação para o incremento médio anual dos caracteres de crescimento e da copa (RESENDE, 2007, 2016). Após a análise descritivas, foi realizada a análise de variância (ANOVA) considerando todos os tratamentos, espécies e híbridos. O teste de comparação de médias de Tukey, por meio do software estatístico R versão 4.0.2 e pacote *easynova* também foi aplicado (ARNHOLD, 2013; BUNN; KORPELA, 2013). Utilizou-se o modelo de blocos completos ao acaso. Os gráficos foram realizados com o pacote *ggplot2* (WICKHAM, 2011).

Foi realizada análise de correlação de Pearson, a 5% de probabilidade de erro no programa R, entre os caracteres de altura, DAP, volume, incremento médio anual para altura, incremento médio anual para diâmetro a altura do peito, e incremento médio anual para volume, para verificar a correlação entre os caracteres.

2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O grupo Fontanini apresentou porcentagem de sobrevivência superior ao grupo Barro Branco, 93,57% e 92,52%, respectivamente. Entre os tratamentos do grupo Barro Branco (Tabela 8), *P. elliotii* var. *elliotii* teve a maior taxa de sobrevivência (95,86%) e o híbrido *P. elliotii* var. *elliotii* x *P. caribaea* var. *hondurensis* teve a menor (90,42%). No grupo Fontanini (Tabela 9), *P. taeda* teve a maior taxa de sobrevivência (96,55%) e o híbrido *P. elliotii* var. *elliotii* x *P. caribaea* var. *hondurensis* – P18 teve a menor (90,00%).

Tabela 8 - Sobrevivência dos tratamentos de pinus e híbridos no grupo Barro Branco

Tratamentos	Sobrevivência	
	%	Total
AUS	90,76%	216
PEH	90,42%	368
PEE	95,86%	139
PT	95,36%	267

Em que: AUS = *P. elliotii* var. *elliotii* x *P. caribaea* var. *hondurensis* – Australiano, PEH = Híbrido entre *P. elliotii* var. *elliotii* x *P. caribaea* var. *hondurensis*, PEE = *P. elliotii* var. *elliotii*, PT = *P. taeda*

Tabela 9 - Sobrevivência dos tratamentos de pinus e híbridos no grupo Fontanini

Tratamentos	Sobrevivência	
	%	Total
ARG	95,10%	330
AUS	92,24%	214
P18	90,00%	207
M25	91,81%	213
M44	95,38%	165
PIN	92,93%	486
PT	96,55%	336

Em que: AUS = *P. elliotii* var. *elliotii* x *P. caribaea* var. *hondurensis* – Australiano, PT = *P. taeda*, P18 = *P. elliotii* var. *elliotii* x *P. caribaea* var. *hondurensis*, M25 = *P. elliotii* var. *elliotii* x *P. caribaea* var. *hondurensis*, M44 = *P. elliotii* var. *elliotii* x *P. caribaea* var. *hondurensis*, ARG = *P. elliotii* var. *elliotii* x *P. caribaea* var. *hondurensis* – Argentino, PIN = *P. elliotii* var. *elliotii* x *P. caribaea* var. *hondurensis* – Pinara

Esses valores se mostram similares aos encontrados na literatura para *P. taeda* aos quatro anos (91,7%) (LEITE; NOGUEIRA; MOREIRA, 2006), *P. taeda* aos oito anos (94,48%) (TRAZZI et al., 2020), *P. caribaea* var. *caribaea* (96,6%) aos 15 anos (DA SILVA et al., 2011), híbrido de *P. elliotii* var. *elliotii* x *P. caribaea* var. *bahamensis* aos sete anos (90,30%)

(SCHENONE; PEZZUTTI, 2003). No geral, as espécies de *Pinus* apresentam altas taxas de sobrevivência em plantios florestais, principalmente, se não forem afetadas por fatores abióticos e bióticos (AGUIAR; SOUSA; SHIMIZU, 2014; SANTOS, 2014; SHIMIZU; SEBBENN, 2008).

A análise descritiva permite comparar o desempenho dos diferentes tratamentos do grupo barro branco (Tabela 10): os tradicionais *Pinus taeda* (PT) e *Pinus elliottii* var. *elliottii* (PEE), e os híbridos de *P. elliottii* var. *elliottii* x *P. caribaea* var. *bahamensis* - Australiano (AUS) e *P. elliottii* var. *elliottii* x *P. caribaea* var. *bahamensis* (PEH). As variáveis analisadas, altura, diâmetro, volume e características da copa, fornecem um entendimento do crescimento e desenvolvimento dessas árvores.

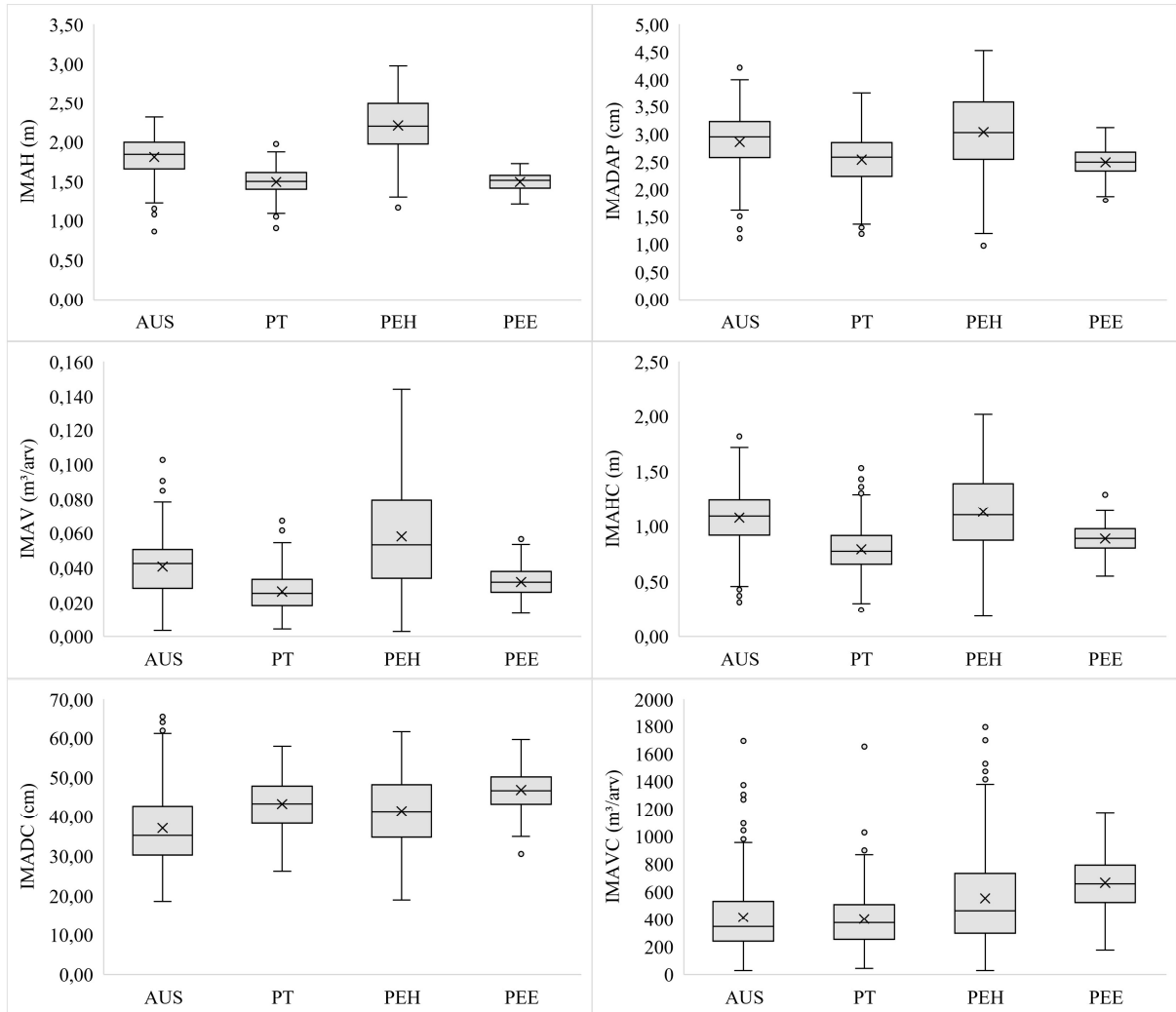
Tabela 10 - Resultados das análises descritivas para os caracteres de crescimento para os tratamentos no grupo Fontanini em Ribeirão Branco, SP.

	TRT	IMAH (m)	IMADAP (cm)	IMAV (m ³ /arv)	IMAHC (m)	IMADC (cm)	IMAVC (m ³ /arv)
Média	AUS	1,81	2,85	0,041	1,07	37,00	413,00
	PCH	2,21	3,03	0,058	1,13	41,40	552,00
	PEE	1,49	2,49	0,032	0,89	46,70	664,00
	PT	1,49	2,53	0,026	0,79	43,20	401,00
Mínimo	AUS	0,86	1,10	0,003	0,31	18,50	27,60
	PCH	1,16	0,97	0,003	0,19	18,90	26,30
	PEE	1,20	1,79	0,013	0,55	30,40	175,00
	PT	0,90	1,18	0,004	0,24	26,10	42,40
Máximo	AUS	2,31	4,22	0,103	1,81	65,40	1691,00
	PCH	2,97	4,52	0,144	2,01	61,60	1792,00
	PEE	1,73	3,12	0,056	1,29	59,60	1172,00
	PT	1,97	3,76	0,067	1,53	64,90	1650,00

Em que: TRT= Tratamentos, AUS = *P. elliottii* var. *elliottii* x *P. caribaea* var. *hondurensis* – Australiano, PEH = Híbrido entre *P. elliottii* var. *elliottii* x *P. caribaea* var. *hondurensis*, PEE = *P. elliottii* var. *elliottii*, PT = *P. taeda*, IMAH = Incremento médio anual para altura, IMAHC = Incremento médio anual para altura da copa, IMDAP = Incremento médio anual para o diâmetro a altura do peito, IMAV = Incremento médio anual para volume, IMDAP = Incremento médio anual para o diâmetro da copa, IMAV = Incremento médio anual para volume da copa.

O incremento médio anual (IMA) dos caracteres de crescimento (altura, DAP e volume) e da copa (altura da copa, diâmetro da copa, volume da copa) (Figura 5) apresentou diferenças em seus desempenhos para os diferentes povoamentos das espécies e híbridos. De maneira geral, o híbrido PEH apresentou um bom desempenho em todas as categorias, com grande variação de resultados e elevados valores médios. Os resultados para as espécies PT e PEE demonstraram maior homogeneidade, com menor variabilidade interquartil, indicando um crescimento consistente entre os indivíduos dessas espécies. O PEE apresentou um perfil mais equilibrado, com uma mediana próxima à do PT e uma variação interquartil menor. O híbrido AUS teve sua mediana superior à do PT, uma variação interquartil ampla, indicando um crescimento anual mais variável entre os indivíduos. Como as sementes desse material vinham de um pomar de segunda geração, essa variação deve-se à expressiva recombinação e segregação genética decorrente das combinações dos genes das duas espécies cruzadas. Assim, no povoamento verificaram-se várias classes de incremento anual em altura. Para se obter maior produção, recomenda-se o teste de progênies, a seleção, e clonagem das árvores mais produtivas para implantação dos plantios comerciais. Este comportamento sugere que, enquanto muitos indivíduos desse tratamento podiam superar o PT em termos de crescimento anual, outros podiam ter desempenhos inferiores, como evidenciado pelos outliers observados abaixo do limite inferior.

Figura 5 - Diferenças nos caracteres de crescimento e da copa para as espécies e híbridos no grupo Barro Branco, SP.



Em que: AUS = *P. elliotii* var. *elliotii* x *P. caribaea* var. *hondurensis* – Australiano, PEH = Híbrido entre *P. elliotii* var. *elliotii* x *P. caribaea* var. *hondurensis*, PEE = *P. elliotii* var. *elliotii*, PT = *P. taeda*, IMAH = Incremento médio anual para altura, IMADAP = Incremento médio anual para o diâmetro a altura do peito, IMAV = Incremento médio anual para volume, IMADC = Incremento médio anual para o diâmetro da copa, IMAVC = Incremento médio anual para volume da copa.

No grupo Fontanini foram avaliadas métricas que fornecem uma visão abrangente do potencial de crescimento e desenvolvimento (Tabela 11) da espécie *Pinus taeda* (PT), e os híbridos de *P. elliotii* var. *elliotii* x *P. caribaea* var. *hondurensis* – Australiano (AUS), *P. elliotii* var. *elliotii* x *P. caribaea* var. *hondurensis* -18 (P18), *P. elliotii* var. *elliotii* x *P. caribaea* var. *hondurensis* – M25 (M25), *P. elliotii* var. *elliotii* x *P. caribaea* var. *hondurensis* – M44 (M44),

P. elliotii var. *elliotii* x *P. caribaea* var. *hondurensis* – Argentino (ARG) e *P. elliotii* var. *elliotii* x *P. caribaea* var. *hondurensis* – Pinara (PIN)

Tabela 11 - Resultados das análises descritivas para os caracteres de crescimento e silviculturais para os tratamentos na fazenda Fontanini em Ribeirão Branco, SP.

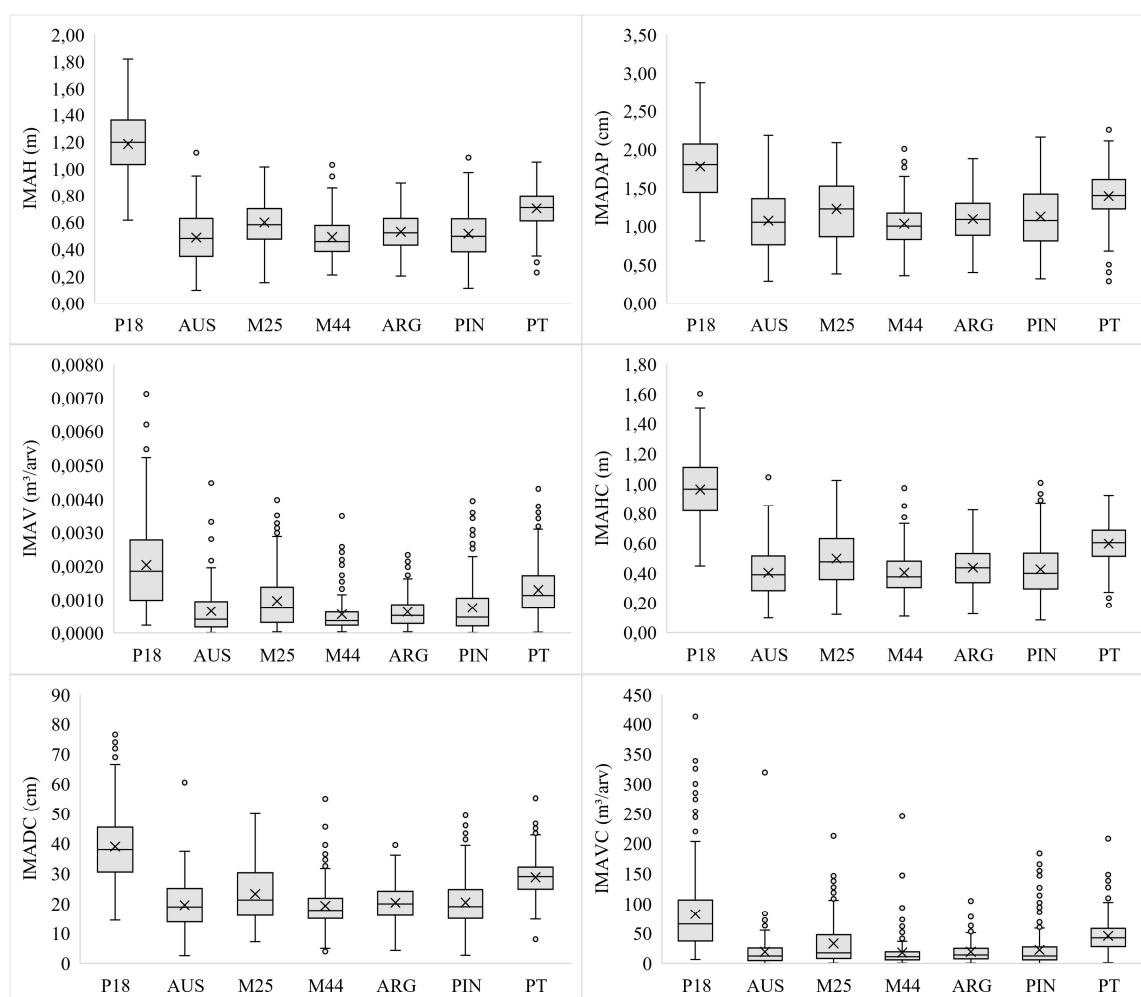
	TRT	IMAH (m)	IMADAP (cm)	IMAV (m ³ /arv)	IMAHC (m)	IMADC (cm)	IMAVC (m ³ /arv)
Média	AUS	0,49	1,07	0,00064	0,40	19,50	18,90
	PT	0,70	1,39	0,00128	0,60	28,70	45,40
	P18	1,18	1,78	0,00203	0,96	38,90	81,70
	M25	0,60	1,22	0,00095	0,50	23,20	32,70
	M44	0,49	1,03	0,00055	0,40	19,30	17,70
	ARG	0,53	1,09	0,00062	0,44	20,30	18,80
	PIN	0,51	1,12	0,00074	0,43	20,40	22,10
Mínimo	AUS	0,10	0,29	0,00005	0,10	2,50	0,07
	PT	0,23	0,29	0,00006	0,18	8,00	0,98
	P18	0,61	0,81	0,00005	0,45	14,30	6,03
	M25	0,15	0,38	0,00005	0,12	7,13	0,51
	M44	0,21	0,36	0,00023	0,11	3,88	0,23
	ARG	0,20	0,40	0,00005	0,13	4,25	0,31
	PIN	0,11	0,32	0,00008	0,08	2,63	0,10
Máximo	AUS	1,12	2,18	0,00450	1,04	60,40	318,00
	PT	1,05	2,26	0,00430	0,92	55,10	207,00
	P18	1,82	2,88	0,00710	1,60	76,30	412,00
	M25	1,10	2,08	0,00400	1,02	49,80	212,00
	M44	1,03	2,01	0,00350	0,97	54,90	245,00
	ARG	0,89	1,88	0,00230	0,82	40,80	107,00
	PIN	1,08	2,16	0,00390	1,01	49,30	183,00

Em que: AUS = *P. elliotii* var. *elliotii* x *P. caribaea* var. *hondurensis* – Australiano, PT = *P. taeda*, P18 = *P. elliotii* var. *elliotii* x *P. caribaea* var. *hondurensis*, M25 = *P. elliotii* var. *elliotii* x *P. caribaea* var. *hondurensis*, M44 = *P. elliotii* var. *elliotii* x *P. caribaea* var. *hondurensis*, ARG = *P. elliotii* var. *elliotii* x *P. caribaea* var. *hondurensis* – Argentino, PIN = *P. elliotii* var. *elliotii* x *P. caribaea* var. *hondurensis* – Pinara, TRT = Tratamento, IMAH = Incremento médio anual para altura, IMAHC = Incremento médio anual para altura da copa, IMDAP =

Incremento médio anual para o diâmetro a altura do peito, IMAV = Incremento médio anual para volume, IMDAP = Incremento médio anual para o diâmetro da copa, IMAV = Incremento médio anual para volume da copa.

O incremento médio anual para os caracteres de crescimento (altura, DAP e volume) e da copa (altura da copa, diâmetro da copa, volume da copa) no grupo Fontanini (Figura 6) apresentou um desempenho distinto entre as espécies e híbridos. O híbrido P18 apresentou um desempenho superior, com médias de crescimento elevadas e baixa variabilidade, indicando um padrão de desenvolvimento consistente. Os híbridos AUS e M44 demonstraram medianas menores, mas com outliers de grande potencial, indicando que, embora a maioria das árvores deste tratamento apresentasse um crescimento mais contido, algumas podiam atingir alturas consideráveis. Nos híbridos M25, ARG e PIN, os valores de crescimento variaram de forma mais homogênea. A espécie PT mostrou-se consistentemente sólida em seu crescimento, com alguns outliers inferiores que podiam indicar dificuldades de adaptação da espécie às características edafoclimáticas.

Figura 6 - Diferenças nos caracteres de crescimento e da copa para as espécies e híbridos pinus no grupo Fontanini em Ribeirão Branco, SP.



Em que: AUS = *P. elliotii* var. *elliotii* x *P. caribaea* var. *hondurensis* – Australiano, PT = *P. taeda*, P18 = *P. elliotii* var. *elliotii* x *P. caribaea* var. *hondurensis*, M25 = *P. elliotii* var. *elliotii* x *P. caribaea* var. *hondurensis*, M44 = *P. elliotii* var. *elliotii* x *P. caribaea* var. *hondurensis*, ARG = *P. elliotii* var. *elliotii* x *P. caribaea* var. *hondurensis* – Argentino, PIN = *P. elliotii* var. *elliotii* x *P. caribaea* var. *hondurensis* – Pinara, TRT = Tratamento, IMAH = Incremento médio anual para altura, IMAHC = Incremento médio anual para altura da copa, IMDAP = Incremento médio anual para o diâmetro a altura do peito, IMAV = Incremento médio anual para volume, IMDAP = Incremento médio anual para o diâmetro da copa, IMAV = Incremento médio anual para volume da copa.

Após a conclusão desta análise, torna-se possível realizar uma comparação e discussão aprofundada das inter-relações entre os *Pinus spp.* nos dois grupos distintos. Ao examinar o incremento médio anual (IMA) do tratamento AUS nos grupos Barro Branco e Fontanini, observaram-se discrepâncias significativas nos resultados. No que concerne ao incremento

médio anual da altura (IMAH), verificou-se uma notável redução de aproximadamente 73% no valor médio do grupo Barro Branco em comparação ao grupo Fontanini, com médias de 1,81 m e 0,486 m, respectivamente.

Em relação ao incremento médio anual da altura da copa, o grupo Barro Branco apresentou uma média de 1,07 m, enquanto o grupo Fontanini obteve uma média de 0,403 m, o que representou uma queda de cerca de 62%. Essa tendência de decréscimo se manteve no incremento médio anual do diâmetro à altura do peito (IMADAP), cuja média diminuiu 62%, passando de 2,85 cm no grupo Barro Branco para 1,07 cm no grupo Fontanini.

A maior redução foi observada no incremento médio anual para volume (IMAV), com uma queda expressiva de 98% no valor médio, passando de 0,0406 m³/árvore no grupo Barro Branco para 0,000642 m³/árvore no grupo Fontanini. De forma similar, o incremento médio anual do diâmetro da copa (IMADC) apresentou uma diminuição de cerca de 47% na média entre os dois grupos. O incremento médio anual para o volume da copa (IMAVC) também evidenciou uma redução drástica, o grupo Barro Branco apresentou uma média de 413 m³/árvore, enquanto o grupo Fontanini registrou uma média de 18,9 m³/árvore, o que representa uma queda de 95%. Os dados indicaram que, em todos os indicadores analisados, o grupo Fontanini apresentou um desempenho inferior em relação ao grupo Barro Branco para a variedade AUS. Essa variação pode ser atribuída a diversos fatores, como condições climáticas, práticas de manejo, características do solo, entre outros. Aprofundar as investigações para identificar as causas dessas discrepâncias é fundamental para otimizar as estratégias nos próximos ciclos. Por exemplo, realizar testes de solo e genéticos nessas fazendas seriam importantes para obter um melhor entendimento.

Ao avaliar a performance do tratamento de PT entre os grupos Barro Branco e Fontanini, observaram-se variações relevantes nas métricas de incremento médio anual. No que tange ao incremento médio anual para altura, verifica-se que no grupo Barro Branco a altura média aumentou 1,49 m por ano, variando entre 0,9 m e 1,97 m. No grupo Fontanini, este crescimento se reduziu para uma média de 0,7 m por ano, com variação de 0,23 m a 1,05 m.

Analogamente, o incremento médio anual para altura da copa no grupo Barro Branco apresentou um incremento médio de 0,789 m por ano, com variação de 0,24 m a 1,53 m. Já no grupo Fontanini este aumento foi mais moderado, registrando uma média de 0,597 m e oscilando entre 0,18 m e 0,92 m. A tendência de desaceleração também se evidenciava no incremento médio anual para o diâmetro à altura do peito. No grupo Barro Branco, o aumento

médio anual era de 2,53 cm, variando entre 1,18 cm e 3,76 cm. Já no grupo Fontanini, essa métrica se reduziu para uma média anual de 1,39 cm, com amplitude de 0,29 cm a 2,26 cm. O incremento médio anual do volume seguiu a mesma tendência. No grupo Barro Branco, o incremento médio anual era de 0,0263 m³/árvore, com valores entre 0,004 m³/árvore e 0,067 m³/árvore. No entanto, no grupo Fontanini, essa métrica diminuiu consideravelmente, alcançando uma média anual de 0,00128 m³/árvore, com valores entre 0m³/árvore e 0,0043 m³/árvore. O incremento médio anual para Diâmetro da Copa no grupo Barro Branco apresentou um aumento médio anual de 43,2 cm, com uma variação de 26,1 cm a 64,9 cm. Já no grupo Fontanini, a métrica desacelerou para uma média anual de 28,7cm, oscilando entre 8 cm e 55,1 cm. Por fim, o incremento médio anual para volume da copa, no grupo Barro Branco apresentou um robusto crescimento médio anual de 401 m³/árvore, com uma amplitude de 42,4 m³/árvore a 1.650 m³/árvore. No entanto, no grupo Fontanini, observava-se uma drástica redução deste incremento, alcançando uma média anual de 45,4 m³/árvore, e variando de 0,98 m³/árvore a 207 m³/árvore.

2.3.1 ANÁLISE DE VARIÂNCIA

Os resultados da análise de variância para o grupo Barro Branco indicam que existem diferenças significativas ($p < 0,001$) para todos os caracteres avaliados, em nível de 5% de probabilidade (Tabela 12). A magnitude do efeito, indicada pelos altos valores do índice F, sugere que o tratamento é um fator importante na explicação das variações observadas nas variáveis dependentes.

Tabela 12 - Resultados da análise de variância dos tratamentos de Pinus spp. no grupo Barro Branco em Ribeirão Branco, SP.

	Variável dependente	GI	F	P
TRT	IMAH	3	444,3	<.001
	IMADAP	3	53,9	<.001
	IMAV	3	123,4	<.001
	IMADC	3	46,5	<.001
	IMAHC	3	90,3	<.001
	IMAVC	3	39,7	<.001
Resíduos	IMAH	986		
	IMADAP	986		
	IMAV	986		
	IMADC	986		
	IMAHC	986		
	IMAVC	986		

Em que: TRT = Tratamento, IMAH = Incremento médio anual para altura, IMAHC = Incremento médio anual para altura da copa, IMDAP = Incremento médio anual para o diâmetro a altura do peito, IMAV = Incremento médio anual para volume, IMDAP = Incremento médio anual para o diâmetro da copa, IMAV = Incremento médio anual para volume da copa.

Esses resultados (Tabela 13) demonstram a existência de variações fenotípicas significativas entre os tratamentos, mostrando que existe diferença de desempenho entre os tratamentos e que é possível realizar a seleção dos híbridos mais promissores para a produção de madeira

Tabela 13 - Resultados da análise de variância dos tratamentos de Pinus spp. no grupo Fontanini, em Ribeirão Branco, SP.

	Variável dependente	Gl	F	p
TRT	IMAH	6	474	< .001
	IMADAP	6	118	< .001
	IMAV	6	109	< .001
	IMAHC	6	326	< .001
	IMADC	6	186	< .001
	IMAVC	6	111	< .001
Resíduos	IMAH	1931		
	IMADAP	1931		
	IMAV	1931		
	IMAHC	1931		
	IMADC	1931		
	IMAVC	1931		

Em que: TRT = Tratamento, IMAH = Incremento médio anual para altura, IMAHC = Incremento médio anual para altura da copa, IMDAP = Incremento médio anual para o diâmetro a altura do peito, IMAV = Incremento médio anual para volume, IMDAP = Incremento médio anual para o diâmetro da copa, IMAV = Incremento médio anual para volume da copa.

Os resultados obtidos para o teste de médias para o grupo Barro Branco apresentaram diferenças estatísticas significativas ao nível de 95% de probabilidade utilizando o teste Tukey (Tabela 14). Os valores para o incremento médio anual para altura, DAP, Volume, altura da copa, diâmetro da copa e volume da copa variaram de 0,86 a 2,97 m, 0,97 a 4,52 cm, 0,01 a 0,14 m³/arv, 0,19 a 2,01 m, 18,50 a 65,36 cm, 26,26 a 1792,44 m³/arv.

A taxa de crescimento em altura é um indicador fundamental da produtividade florestal e da capacidade de cada tratamento em gerar madeira. PEH e PEE se destacam nesse quesito, com PEH apresentando maior variabilidade entre os indivíduos. PEH Apresenta o maior incremento médio anual de altura (2,21 m), seguido por AUS (1,81 m). Observa-se que PEH detém a maior amplitude de valores, enquanto PEE apresenta a menor.

O DAP é um variável crucial para estimar o volume individual das árvores e sua aptidão para a produção da madeira. O volume individual representa a quantidade de madeira presente

em cada árvore, um indicador crucial da produtividade florestal. PEH se destaca nesse quesito ($0,06 \text{ m}^3/\text{arv}$), com grande variabilidade entre os indivíduos. Seguido por AUS ($0,04 \text{ m}^3/\text{arv}$). A altura da copa influencia na qualidade da madeira e na eficiência da fotossíntese. PEH apresenta o maior valor médio e maior amplitude, sugerindo copa mais desenvolvida em alguns indivíduos. O diâmetro da copa influencia na captação de luz, na fotossíntese, na qualidade da madeira e na produtividade florestal. PEE apresenta o melhor desempenho em média (46,70 cm) e menor variabilidade entre os indivíduos. O volume da copa influencia na produção e qualidade da madeira. Aqui novamente o PEE obteve um resultado superior ($664,06 \text{ m}^3/\text{arv}$) enquanto mantém uma baixa variabilidade.

Para aprofundar o conhecimento sobre o desenvolvimento dos híbridos e sua relação com outros fatores, recomenda-se o acompanhamento longitudinal, monitorar o crescimento dos híbridos ao longo do tempo permitirá verificar se as tendências observadas na análise transversal se confirmam. Novas análises também podem ser feitas para avaliar o impacto de fatores como solo, clima e manejo silvicultural no desenvolvimento dos híbridos.

Tabela 14 - Resultados do teste de Tukey para os incrementos médios anuais para os caracteres de crescimento e da copa dos tratamentos de *Pinus* spp. no grupo Barro Branco, em Ribeirão Branco, SP.

IMAH (m)		IMADAP (cm)		IMAV (m ³ /arv)		IMAHC (m)		IMADC (cm)		IMAVC (m ³ /arv)	
PEH	2,21 a	PEH	3,03 a	PEH	0,06 a	PEH	1,13 a	PEE	46,74 a	PEE	664,06 a
AUS	1,81 b	AUS	2,85 b	AUS	0,04 b	AUS	1,07 a	PT	43,20 b	PEH	551,54 b
PEE	1,49 c	PT	2,53 c	PEE	0,03 c	PEE	0,89 b	PEH	41,38 c	AUS	412,80 c
PT	1,49 c	PEE	2,49 c	PT	0,03 c	PT	0,79 c	AUS	36,99 d	PT	400,95 c

Em que: : AUS = *P. elliotii* var. *elliotii* x *P. caribaea* var. *hondurensis* – Australiano, PEH = Híbrido entre *P. elliotii* var. *elliotii* x *P. caribaea* var. *hondurensis*, PEE = *P. elliotii* var. *elliotii*, PT = *P. taeda*, IMAH = Incremento médio anual para altura, IMDAP = Incremento médio anual para o diâmetro a altura do peito, IMAV = Incremento médio anual para volume, IMAHC = Incremento médio anual para altura da copa, IMDC = Incremento médio anual para o diâmetro da copa, IMAVC = Incremento médio anual para volume da copa.

Os resultados obtidos para o teste de médias para o grupo Fontanini apresentaram diferenças estatísticas significativas ao nível de 95% de probabilidade utilizando o teste Tukey (Tabela 15). Para os caracteres de incremento médio anual para altura, DAP, Volume, altura da copa, diâmetro da copa e volume da copa os tratamentos variaram de 0,10 a 1,82 m, 0,29 a 2,88 cm, 0,00 a 0,01 m³/arv, 0,08 a 1,60 m, 2,50 a 76,33 cm e 0,07 a 411,87 m³/arv respectivamente.

O tratamento P18 obteve os maiores incrementos médios anuais (IMA) nas seis variáveis: IMAH (1,17 m/ano), IMADAP (1,73 cm/ano), IMAV (0,0019 m³/arv), IMAHC (0,95 m/ano), IMADC (39,18 cm/ano) e IMAVC (83,44 m³/arv). PT se destaca com segundo colocado em todas as variáveis.

Tabela 15 - Resultados do teste de Tukey para os incrementos médios anuais para os caracteres de crescimento e da copa dos tratamentos de *Pinus* spp. no grupo Fontanini, em Ribeirão Branco, SP.

IMAH (m)		IMADAP (cm)		IMAV (m ³ /arv)		IMAHC (m)		IMADC (cm)		IMAVC (m ³ /arv)	
P18	1,17 a	P18	1,73 a	P18	0,0019 a	P18	0,95 a	P18	39,18 a	P18	83,44 a
PT	0,70 b	PT	1,39 b	PT	0,0013 b	PT	0,60 b	PT	28,71 b	PT	45,43 b
M25	0,60 c	M25	1,21 c	M25	0,001 c	M25	0,50 c	M25	23,17 c	M25	32,72 c
ARG	0,53 d	AUS	1,17 cd	AUS	0,0009 cd	ARG	0,44 d	PIN	20,36 d	PIN	22,06 d
PIN	0,51 d	PIN	1,12 d	PIN	0,0007 d	PIN	0,43 d	ARG	20,30 d	ARG	18,81 d
AUS	0,51 d	ARG	1,09 d	ARG	0,0006 e	AUS	0,42 cd	M44	19,28 d	M44	17,69 d
M44	0,49 d	M44	1,03 d	M44	0,0005 de	M44	0,40 d	AUS	18,82 d	AUS	15,31 d

Em que: AUS = *P. elliotii* var. *elliotii* x *P. caribaea* var. *hondurensis* – Australiano, PT = *P. taeda*, P18 = *P. elliotii* var. *elliotii* x *P. caribaea* var. *hondurensis*, M25 = *P. elliotii* var. *elliotii* x *P. caribaea* var. *hondurensis*, M44 = *P. elliotii* var. *elliotii* x *P. caribaea* var. *hondurensis*, ARG = *P. elliotii* var. *elliotii* x *P. caribaea* var. *hondurensis* – Argentino, PIN = *P. elliotii* var. *elliotii* x *P. caribaea* var. *hondurensis* – Pinara, TRT = Tratamento, IMAH = Incremento médio anual para altura, IMAHC = Incremento médio anual para altura da copa, IMDAP = Incremento médio anual para o diâmetro a altura do peito, IMAV = Incremento médio anual para volume, IMDAP = Incremento médio anual para o diâmetro da copa, IMAV = Incremento médio anual para volume da copa.

2.4 CONCLUSÃO

No grupo Barro Branco o híbrido *P. elliotii* var. *elliotii* x *P. caribaea* var. *hondurensis* (PEH) obteve os melhores valores individuais para os caracteres de crescimento, mas com sua grande variação intraespecífica os resultados em média não são tão expressivos, a seleção e propagação de indivíduos mais promissores oferece grande potencial para produzir melhores resultados na próxima geração. No grupo Fontanini o híbrido P18 obteve os melhores resultados individuais e como tratamento.

Os híbridos podem ser uma alternativa promissora para a diversificação dos plantios de pinus no Brasil. Ao introduzir novas características os híbridos podem contribuir para aumentar a produtividade e a sustentabilidade dos sistemas florestais. É necessário dar continuidade aos estudos sobre o desempenho dos híbridos em diferentes condições ambientais e em diferentes idades. A avaliação a longo prazo do desempenho dos híbridos é fundamental para confirmar os resultados obtidos neste estudo e fornecer informações mais precisas para a recomendação de seu uso em larga escala.

REFERÊNCIAS

- AGUIAR, A. V.; SOUSA, V. A.; SHIMIZU, J. Y. **Cultivo de Pínus**. Acesso em: 25 fev. 2023.
- AGUIAR, A. V. DE et al. Programa de melhoramento de pinus da Embrapa Florestas. **Embrapa Florestas**, 2011.
- ARNHOLD, E. Package in the R environment for analysis of variance and complementary analyses. **Brazilian Journal of Veterinary Research and Animal Science**, v. 50, n. 6, p. 488–492, 9 dez. 2013.
- BAHAR, N. H. A. et al. Meeting the food security challenge for nine billion people in 2050: What impact on forests? **Global Environmental Change**, v. 62, p. 102056, maio 2020.
- BUNN, A.; KORPELA, M. R: A language and environment for statistical computing. 2013.
- CARLE, J. B.; DUVAL, A.; ASHFORDC, S. The future of planted forests. **International Forestry Review**, v. 22, n. 1, p. 65–80, 1 jun. 2020.
- CELMA, S. et al. Yield performance of woody crops on marginal agricultural land in Latvia, Spain and Ukraine. **Agronomy**, v. 12, n. 4, p. 908, 2022.
- DA SILVA, J. M. et al. Variação genética e ganho esperado na seleção de progênie de Pinus caribaea var. caribaea em Selvíria, MS. **Scientia Forestalis**, p. 241–252, 2011.
- DIETERS, M.; BRAWNER, J. Productivity of Pinus elliottii, P. caribaea and their F1 and F2 hybrids to 15 years in Queensland, Australia. **Annals of Forest Science** 2007 **64**:7, v. 64, n. 7, p. 691–698, out. 2007.
- DUNGEY, H. S.; DIETERS, M. J.; NIKLES, D. G. **Symposium on hybrid breeding and genetics of forest trees. QFRI/CRC-SPF Symposium, Noosa, Australia, 9-14 April 2000**. Symposium on hybrid breeding and genetics of forest trees. QFRI/CRC-SPF Symposium, Noosa, Australia, 9-14 April 2000. **Anais...Queensland Forestry Research Institute, Department of Primary Industries, 2000**. Disponível em: <<https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/20003013037>>. Acesso em: 7 mar. 2024
- FUJIMOTO, R. et al. Recent research on the mechanism of heterosis is important for crop and vegetable breeding systems. **Breeding Science**, v. 68, n. 2, p. 145–158, 2018.
- GWAZE, D. P. Performance of some interspecific F1 pine hybrids in Zimbabwe. **Forest Genetics**, v. 6, n. 4, p. 283–289, 1999.
- HAMADYK, E.; AMADO, M.; DE BRITO, J. **Use of timber for the sustainable city growth and its role in the climate change**. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. **Anais...IOP Publishing, 2020**. Disponível em: <<https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/410/1/012034/meta>>. Acesso em: 24 jan. 2024

HART, J.; POMPONI, F. More timber in construction: Unanswered questions and future challenges. **Sustainability**, v. 12, n. 8, p. 3473, 2020.

IBA. **Relatório Anual IBA 2023**. [s.l.] INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES — IBÁ, 2023. . Acesso em: 29 nov. 2022.

INDUFOR. Strategic Review on the Future of Forest Plantations in the World. **Forest Stewardship Council (FSC)**, 2012.

KALLOO, G.; BERGH, B. O. **Genetic Improvement of Vegetable Crops**. [s.l.] Newnes, 2012.

KAMPERIDOU, V.; TERZOPOULOU, P.; BARBOUTIS, I. Marginal lands providing tree-crop biomass as feedstock for solid biofuels. **Biofuels, Bioproducts and Biorefining**, v. 15, n. 5, p. 1395–1405, set. 2021.

KHURANA, D. K.; KHOSLA, P. K. Hybrids in forest tree improvement. **Forest genetics and tree breeding**, p. 86–102, 1998.

KIETZKA, E. “New” pine species and hybrids: is there still potential? : creating new germplasm. **Southern Forests: a Journal of Forest Science**, v. 195, p. 89–92, 2002.

LEITE, H. G.; NOGUEIRA, G. S.; MOREIRA, A. M. Efeito do espaçamento e da idade sobre variáveis de povoamentos de *Pinus taeda* L. **Revista Árvore**, v. 30, n. 4, p. 603–612, 2006.

MABASO, F.; HAM, H.; NEL, A. Frost tolerance of various *Pinus* pure species and hybrids. <https://doi.org/10.2989/20702620.2019.1615212>, v. 81, n. 3, p. 273–280, 3 jul. 2019.

MOREIRA, J. P. Ganho esperado na seleção de progênies de *Pinus elliottii* var. *elliottii* em idade precoce para produção de madeira. 2013.

NIKLES, D. G. **Hybrids of the slash-Caribbean-Central American pine complex: characteristics, bases of superiority and potential utility in South China and elsewhere**. [s.l.: s.n.].

NIKLES, D. G. **Experience with some *Pinus* hybrids in Queensland, Australia**. Proceedings of QFRI/CRC-SPF symposium: hybrid breeding and genetics of forest trees. Department of Primary Industries, Brisbane. Noosa, Queensland, Australia. **Anais...**2000.

NIKLES, D. G.; ROBINSON, M. J. The development of *Pinus* hybrids for operational use in Queensland. **Breeding tropical trees**, p. 272–282, 1989.

NUNES, S. et al. Somatic embryogenesis of hybrid *Pinus elliottii* var. *elliottii* × *P. caribaea* var. *hondurensis* and ploidy assessment of somatic plants. **Plant Cell, Tissue and Organ Culture**, v. 132, n. 1, p. 71–84, 1 jan. 2018.

PAYN, T. et al. Changes in planted forests and future global implications. **Forest Ecology and Management**, v. 352, p. 57–67, 2015.

PINUS BRASIL. **Pinus Brasil**. Disponível em: <<https://pinusbrasil.com.br/>>. Acesso em: 4 mar. 2024.

RESENDE, M. D. V. DE. SELEGEN-REML/BLUP: sistema estatístico e seleção genética computadorizada via modelos lineares mistos. 2007.

RESENDE, M. D. V. DE. Software Selegen-REML/BLUP: a useful tool for plant breeding. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 16, n. 4, p. 330–339, 2016.

RESENDE, R. T.; BORÉM, A.; LEITE, H. G. **Pinus: do plantio à colheita**. [s.l.] Oficina de Textos, 2023.

REZENDE, M. A. DE et al. Densidade e produtividade da madeira de híbrido e seminal de *Pinus caribaea*. **Floresta e Ambiente**, v. 15, p. 8–15, 30 out. 2023.

SANTOS, P. E. T. DOS; FERREIRA, M.; KAGEYAMA, P. Y. PRODUÇÃO DE HÍBRIDOS. 1988.

SANTOS, W. DOS. Variação genética e desempenho de progênies de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* para produção de madeira e resina. p. 98- f, 2014.

SCHENONE, R. A.; PEZZUTTI, R. V. Productividad de progenies de *Pinus elliottii* x *Pinus caribaea* var. *hondurensis*. **XII World Forestry Congress**, 2003.

SHIMIZU, J. **Pinus na silvicultura brasileira**. Colombo: Embrapa Florestas, 2008.

SHIMIZU, J. Y. Variação entre procedências de Araucária em Ribeirão Branco (SP) aos vinte e três anos de idade. **Boletim de Pesquisa Florestal**, v. 38, n. 1, p. 89–102, 1999.

SHIMIZU, J. Y.; SEBBENN, A. M. Espécies de *Pinus* na silvicultura brasileira. **Embrapa Florestas**, p. 49–74, 2008.

SIJDE, H. A. VAN DER; ROELOFSEN, J. W. The Potential of Pine Hybrids in South Africa. **South African Forestry Journal**, 1 mar. 1986.

SILVA, A. C. et al. Responses of resistant and susceptible hybrid clones of *Eucalyptus urophylla* × *Eucalyptus grandis* to infection by *Ceratocystis fimbriata*. **Annals of Forest Science**, v. 77, n. 2, p. 1–19, 1 jun. 2020.

SURDI, P. G. **Produção de painéis de partículas orientadas (OSB) a partir da madeira de um híbrido de *Pinus elliottii* var. *elliottii* var. *Pinus caribaea* var. *hondurensis***. PhD Thesis—[s.l.] Universidade de São Paulo, 2012.

SYTNYK, S. et al. Thermal analysis of aboveground biomass of the two species cultivated in artificial forest plantations in marginal lands of Ukraine. **International Journal of Environmental Studies**, v. 80, n. 1, p. 148–157, 2 jan. 2023.

TRAZZI, P. A. et al. A qualidade morfológica de mudas de *Pinus taeda* afeta o seu crescimento em campo no longo prazo? **Sci For**, v. 48, p. 1–10, 2020.

WICKHAM, H. ggplot2. **WIREs Computational Statistics**, v. 3, n. 2, p. 180–185, mar. 2011.

WILCKEN, C. F. [UNESP et al. Detecção da vespa-da-madeira em *Pinus taeda* no estado de são paulo, Brasil. 1 jan. 2018.

ZANÃO, M. **Avaliação do potencial da madeira de *Pinus maximinoi* para produção de celulose kraft em diferentes proporções com *Pinus taeda* e *Eucalyptus* spp.** PhD Thesis—[s.l.] Universidade de São Paulo, 2020.

CAPÍTULO 3: ESTIMATIVA DO CRESCIMENTO E QUALIDADE DA MADEIRA DE PLANTIOS ADULTOS DE *P. taeda* E DO HÍBRIDO DE *P. elliottii* var. *elliottii* X *P. caribaea* var. *hondurensis* NA REGIÃO DE ITAPEVA, SP.

João Roberto Menucelli^{1*}, Rafael Dias Moura², Bruno Marchetti Souza³, Eduardo Luiz Longui⁴, Ananda Virginia de Aguiar⁵

¹ Doutorando em Planejamento e Uso de Recursos Renováveis, Universidade Federal de São Carlos, UFSCAR, Rodovia João Leme dos Santos (SP-264), Bairro do Itinga, CEP: 18052-780 – Sorocaba/SP.

²Mestrando em Agronomia (Genética e Melhoramento de Plantas), Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, UNESP, Rua Quirino de Andrade, 215, Centro, CEP: 01049-010 – São Paulo/SP.

³ Instituto de Pesquisas Ambientais-IPA, Avenida Rodrigues Alves, 38-25 – Horto Florestal, CEP: 17030-000 – Bauru/SP.

⁴ Instituto de Pesquisas Ambientais-IPA, Av. Professor Frederico Hermann Junior, 345, CEP 05459-900 – Alto de Pinheiros/SP

⁵ Embrapa Florestas-Estrada da Ribeira, Km 111- Parque Monte Castelo, CEP: 83411-000 – Colombo-PR.

*Autor por correspondência: João Roberto Menucelli, (11) 920028218, jmenucelli@hotmail.com

Resumo: Este estudo investiga a qualidade da madeira e o crescimento de plantios de *Pinus taeda* em comparação com híbridos de *Pinus elliottii* x *Pinus caribaea* var. *hondurensis* na região de Itapeva, São Paulo, Brasil. Em 2013, um teste de competição de híbridos e espécies puras de *Pinus spp.* foi implantado na fazenda Taboa no bairro de Lageadinho, Ribeirão Branco/SP, adotando o delineamento experimental de blocos completos casualizados com os dois tratamentos (*Pinus taeda* e o híbrido de *Pinus elliottii* x *Pinus caribaea* var. *hondurensis*), em que foram avaliados os caracteres de crescimentos (altura e DAP), o volume e o módulo de elasticidade. A análise descritiva foi realizada no software SELEGEN e a análise de variância dos dados foi realizada no software R. Foi detectada diferença significativa a nível de 1% entre os tratamentos somente para os caracteres de crescimento, altura e DAP. Para o *Pinus taeda* observou-se valores médios de 19,22 m, 25,41 cm, 0,68 m³/arv e 38,05 MPa e para o Pinus híbrido observou-se valores médios de 19,71 m, 28,96 cm, 0,90 m³/arv e 26,79 MPa respectivamente. Esses resultados mostram o potencial de híbridos, exibindo um desempenho similar ao *Pinus taeda*, que ainda mantém sua importância como principal variedade de *Pinus* comercial no Brasil.

Palavras-chave: Qualidade da Madeira; *Pinus sp.*; *Pinus taeda*; Competição de Híbridos; Caracteres silviculturais;

Abstract: This study investigates the wood quality and growth of *Pinus taeda* plantations compared to hybrids of *Pinus elliottii* x *Pinus caribaea* var. *hondurensis* in the Itapeva region, São Paulo, Brazil. In 2013, a competition test of hybrids and pure species of *Pinus spp.* was implemented at the Taboa farm in the Lageadinho neighborhood, Ribeirão Branco/SP, adopting a randomized complete block experimental design with two treatments (*Pinus taeda* and the hybrid of *Pinus elliottii* x *Pinus caribaea* var. *hondurensis*), in which growth traits (height and DBH), volume and modulus of elasticity were evaluated. Descriptive analysis was performed using SELEGEN software and analysis of variance of the data was performed using R software. Significant differences at the 1% level were detected between treatments only for growth, height and DBH traits. For *Pinus taeda*, mean values of 19.22 m, 25.41 cm, 0.68 m³/arv and 38.05 MPa were observed, and for hybrid Pinus, mean values of 19.71 m, 28.96 cm, 0.90 m³/arv and 26.79 MPa were observed, respectively. These results show the potential of hybrids, exhibiting a performance similar to *Pinus taeda*, which still maintains its importance as the main commercial pine variety in Brazil.

Keywords: Wood Quality; *Pinus sp.*; *Pinus taeda*; Hybrid Competition; Silvicultural Characteristics;

3.1 INTRODUÇÃO

O Brasil se destaca como um protagonista no mercado florestal global (ARIAS, 2022; DE ANDRADE et al., 2022), com uma área total de árvores plantadas totalizando 9,93 milhões de hectares. Entre as espécies plantadas, 19,4% da área é composta pelo cultivo de *Pinus*, com 1,93 milhões de hectares. A produtividade do *Pinus* no Brasil foi estimada em 30,9 m³/ha.ano (com casca), com uma duração média do ciclo de 16,3 anos (IBA, 2023). O pinus de clima temperado, de rápido crescimento e adaptado a regiões extremamente frias e áridas, topos de montanhas e solos planos, ácidos e de baixa fertilidade (RICHARDSON; BOND, 1991; RICHARDSON; WILLIAMS; HOBBS, 1994; HIGGINS; RICHARDSON, 1998; RICHARDSON; PETIT, 2006; CONSALTER et al., 2021), tem apresentado grande sucesso na produção de madeira, celulose e resina (ACR, 2022; AGUIAR et al., 2011; IBA, 2023), trouxe benefícios substanciais ao desenvolvimento socioeconômico de diversas regiões, especialmente onde o clima e as características do solo não são adequados para atividades agrícolas (HASHIM et al., 2020; MISSIO et al., 2004; SHIMIZU, 2008; SHIMIZU; SEBBENN, 2008). A região Sul concentra 88,9% dos plantios de *Pinus*, onde as condições edafoclimáticas são favoráveis à espécie e a localização de indústrias de processamento da madeira facilitam o escoamento da produção. Essas conquistas são a soma de um trabalho de décadas para tropicalização da cultura do pinus de clima temperado, aliado à adoção de técnicas sustentáveis de manejo (IBA, 2023; SHIMIZU, 2008).

Pinus taeda é a principal espécie de *Pinus* comercial (CAHALAN, 1985; MATA LLANA-RAMIREZ et al., 2021; MCKEAND et al., 2006; SCHULTZ, 1999), em 1966 ela foi introduzida no Brasil com a lei de incentivos fiscais ao reflorestamento promovido pelo governo devido a seu rápido crescimento e qualidade da madeira (CAMARGO, 2016; SHIMIZU, 2008), é atualmente a principal conífera plantada para produção de papel, celulose e madeira serrada no Brasil (IBA, 2023), de importância vital para a cadeia produtiva na região Sul do país, com mercado abrangendo os setores de paletes, embalagens, mobiliário, construção civil e indústrias de celulose e papel (AGUIAR et al., 2011; CADEMARTORI et al., 2012; SHIMIZU; SEBBENN, 2008; ZANÃO, 2020).

O híbrido *P. elliottii* x *P. caribaea*, fruto do programa de melhoramento genético de pinheiros de Queensland no ano de 1955, combina as características complementares das espécies parentais (BELABER et al., 2018; NIKLES, 2000; SHEPHERD et al., 2002).

Combinando os fustes mais retilíneos, madeira de maior densidade, resistência a ventos fortes e a tolerância a lugares húmidos do *P. elliottii* var. *elliottii* com o crescimento acelerado, troncos com poucas ramificações e a madeira mais uniforme do *P. caribaea* var. *hondurensis* (DIETERS; BRAUNER, 2007; NUNES et al., 2018; SURDI, 2012). Essa combinação de atributos resulta em um híbrido de grande demanda, especialmente em regiões que antes cultivavam o *P. elliottii* var. *elliottii* em monocultura. Atualmente, o *P. elliottii* x *P. caribaea* desfruta de grande sucesso em plantações comerciais na África do Sul (GWAZE, 1999; KIETZKA, 2002; SIJDE; ROELOFSEN, 1986) e nas florestas comerciais de Queensland, na Austrália (NIKLES, 1995; NIKLES; ROBINSON, 1989), estudos promissores estão sendo realizados na China, testando o potencial do híbrido em conjunto com outras combinações de espécies (DUNGEY; DIETERS; NIKLES, 2000; LI et al., 2019).

O módulo de elasticidade (MOE) é uma propriedade mecânica fundamental da madeira que quantifica sua rigidez, ele indica a resistência de um material a deformar-se elasticamente quando submetido a uma força. Essa propriedade determina o valor e a utilidade dos produtos de madeira para aplicações estruturais, especialmente na engenharia e construção civil (ECKARD et al., 2010; IVKOVIĆ et al., 2009; MATHESON et al., 2008). Métodos tradicionais destrutivos são caros e demorados, mas com as ferramentas acústicas de tempo de voo, como o TreeSonic (Fakopp Enterprise, Hungria), é possível realizar essas medições de forma não-destrutiva, rápida e barata.

O módulo de elasticidade da madeira é um caractere de importância, porque alguns produtos, como madeira laminada folheada, compensado e madeira dimensional, exigem madeira rígida e forte. Incorporar o módulo de elasticidade da madeira em programas de melhoramento pode ajudar a manter a qualidade e aumentar os lucros econômicos para a indústria madeireira Brasileira. O uso do Treesononic é uma maneira prática de monitorar o desenvolvimento do módulo de elasticidade da madeira, provendo uma oportunidade para focar no melhoramento de linhagens de *Pinus* spp. para que elas possam melhor competir no mercado.

A silvicultura brasileira se encontra em um momento crucial, buscando alternativas que otimizem a produção e a qualidade da madeira. O *P. taeda* ostenta a posição de escolha tradicional e bem estabelecida, amparado por um vasto conhecimento científico e práticas de manejo já consolidadas, com alta produtividade, madeira de qualidade reconhecida e ampla gama de aplicações. No entanto, os híbridos de *Pinus* spp.

despontam como alternativas promissoras com um grande potencial tecnológico, mas que ainda necessitam de pesquisas aprofundadas (LEITE; NOGUEIRA; MOREIRA, 2006; MARCOS et al., 2022).

Nesse contexto, o estudo do potencial de híbridos de *Pinus* para produção comercial assume relevância fundamental. Através de pesquisas abrangentes, busca-se gerar subsídios para a futura utilização desses espécimes em escala comercial. Tal investimento visa ampliar as fontes de matéria-prima qualificada para a indústria madeireira brasileira, impulsionando sua competitividade e abrindo portas para novos produtos e aplicações.

3.2 MATERIAL E MÉTODOS

3.2.1 CARACTERIZAÇÃO DO LOCAL DE ENSAIO

A área de estudo está localizada na Fazenda Taboa, nas coordenadas 24°12'47.04"S e 48°47'2.35"O no Bairro Lageadinho, Ribeirão Branco/SP. A região apresenta clima subtropical, com relevo acidentado e montanhoso (SANTOS et al., 2013), 1.200 mm anuais de precipitação média (MATTOS et al., 2011), 875 metros de altitude média, variando entre 800 e 1250 metros. As rochas predominantes são ígneas (granito) e metamórficas (quartzito, gnaisse) (IBGE, 2015).

Os solos da fazenda são do tipo Latossolo Vermelho Amarelo (DATAGEO, 2021). Esse tipo de solo se caracteriza por ser bem drenado, profundo e uniforme em cor, textura e estrutura em profundidade (Almeida et al., 2020). O clima é subtropical, com verão longo, morno, úmido e céu quase encoberto. Já o inverno é curto, ameno e de céu parcialmente encoberto, com precipitação durante todo o ano. A temperatura varia entre 11 °C e 27 °C, raramente inferior a 7 °C ou superior a 31 °C (INMET, 2021). Alta incidência de ventos, especialmente na primavera e verão, quando a região pode ser afetada por frentes frias e tempestades (Defesa Civil do Estado de São Paulo, 2021).

3.2.2 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

O delineamento experimental foi de blocos completos casualizados com dois tratamentos (*Pinus taeda* e o híbrido *P. elliottii* var. *elliottii* x *P. caribaea* var. *hondurensis*) em três blocos com 39 a 52 indivíduos bloco para um total de 298 indivíduos de *Pinus taeda* e 242 indivíduos do híbrido. O espaçamento utilizado foi 3,5 x 3,0m.

3.2.3 COLETA DE DADOS

Em 2019, após oito anos do plantio, foram mensurados os caracteres de crescimento de todas as árvores remanescentes do ensaio. A altura total em metros (H-m) foi utilizado o hipsômetro Vertex III (Figura 7) (BARREIRO; TOMÉ, 2005); a circunferência à altura do peito em centímetros (CAP-cm) foi mensurado com uma fita

métrica graduada em 0,1 cm. A partir da circunferência a altura do peito foi calculado o diâmetro à altura do peito (DAP-cm) em centímetros. Com as informações da altura total (H) e do DAP foi calculado o volume (V) em m³/arv.

$$DAP = CAP/\pi$$

$$V = \frac{\pi * DAP^2 * FF}{40000}$$

Em que: FF = Forma de Fuste

Figura 7 – Transponder do hipsômetro Vertex III



Fonte: Autor

3.2.4 VELOCIDADE ACÚSTICA

A velocidade acústica da árvore, medida em metros por segundo, foi calculada como a média de três leituras consecutivas (ms/m) obtidas em cada árvore com o temporizador de microssegundos Fakopp TreeSonic (Fakopp Enterprise, A'gfalva, Hungria). As sondas foram posicionadas do mesmo lado do caule, distantes 1 m, a aproximadamente 45° (Figura 8) em relação ao eixo principal do tronco, centradas na altura do peito (1,3 m) e sempre no mesmo aspecto para minimizar a variação ambiental. As ondas de estresse foram induzidas ao golpear a sonda transmissora com um martelo de aço (FAKOPP, 2020).

Figura 8 – Posicionamento das sondas do temporizador de microssegundos Fakopp TreeSonic.



Fonte: Autor

3.2.5 MÓDULO DE ELASTICIDADE

Para o cálculo do módulo de elasticidade (OLIVEIRA JUNIOR, 2022) foi realizado primeiro o cálculo da velocidade do som:

$$V(\text{m/s}) = 1000 \cdot \text{distância (mm)} / (\text{leitura TS} + 1,4)$$

Após o cálculo da velocidade do som, a densidade foi considerada de 0,45 g/cm³ para *P. taeda* (MATTOS et al., 2011) e 0,32 g/cm³ para o híbrido *P. elliottii* var. *elliottii* x *P. caribaea* var. *hondurensis* (ALMEIDA et al., 2012) e foi determinado o módulo de elasticidade (MOEd):

$$\text{MOEd} = (v^2) / (\text{densidade média kg/m}^3)$$

Após o cálculo do módulo de elasticidade, os valores são transformados em mega pascal (MOEd GPa) para facilitar a comparação dos valores:

$$\text{MOEd GPa} = \text{MOEd} \cdot (10^{-9})$$

3.2.6 ANÁLISES ESTATÍSTICAS

Os dados foram, primeiramente, submetidos aos testes de Shapiro-Wilk para verificar a distribuição normal. Em seguida foram realizadas as análises descritivas no programa estatístico Selegen: médias, máximas, mínimas, desvio padrão e coeficiente de variação para os caracteres de crescimento e módulo de elasticidade (RESENDE, 2007, 2016). Após as análises descritivas, foi realizada a de variância (ANOVA) considerando todos os tratamentos, espécies e híbridos, e o teste de comparação de médias de Tukey, foi realizado por meio do software estatístico R versão 4.0.2 e o pacote easyanova (ARNHOLD, 2013; BUNN; KORPELA, 2013). Utilizou-se o modelo de blocos completos ao acaso. Os gráficos foram realizados com o pacote ggplot2 (WICKHAM, 2011).

3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

De toda a população de 540 árvores, os valores médios (e coeficientes de variação) para altura, DAP e volume, caráter de maior interesse para o setor florestal, foi de 19,46 metros (32,98 %), 27,13 cm (22,18%), e 0,79 m³/arv (2,15%), respectivamente. A média e o coeficiente de variação do módulo de elasticidade foi de 3,63 GPa (23,44%). O híbrido apresentou um melhor desempenho para os caracteres de crescimento, com maior variabilidade entre os indivíduos (Tabela 16), apresentando potencial para ser superior à média dos parentais pelo efeito de heterose (BORGES, 2022; DA SILVA et al., 2012). Na literatura, *Pinus taeda* com oito anos localizado na região de Telêmaco Borba, Paraná, apresentou altura e DAP de 12,5 cm e 17,6 m (MIRANDA et al., 2022b), com quinze anos em Teixeira Soares, Paraná apresentou altura de 24,40 m e DAP de 29,00 cm (MIRANDA et al., 2022a). Na Argentina, o híbrido de *P. elliottii* var. *elliottii* x *P. caribaea* var. *hondurensis* apresentou altura e DAP de 10,58 m e 17,28 cm aos sete anos (SCHENONE; PEZZUTTI, 2003), no Paraná, esse mesmo híbrido o híbrido de *P. elliottii* var. *elliottii* x *P. caribaea* var. *hondurensis* aos onze anos, apresentou os valores de 22,26 m e 27,46 cm para altura e DAP (WINCK et al., 2023). O módulo de elasticidade para *Pinus taeda* aos 8 anos na Carolina do Norte foi de 5,23 GPa (ECKARD et al., 2010) e na África do Sul plantações de *P. elliottii* var. *elliottii* x *P. caribaea* var. *hondurensis* aos três anos apresentaram um módulo de elasticidade de 3,30 GPa (NILSSON et al., 2020).

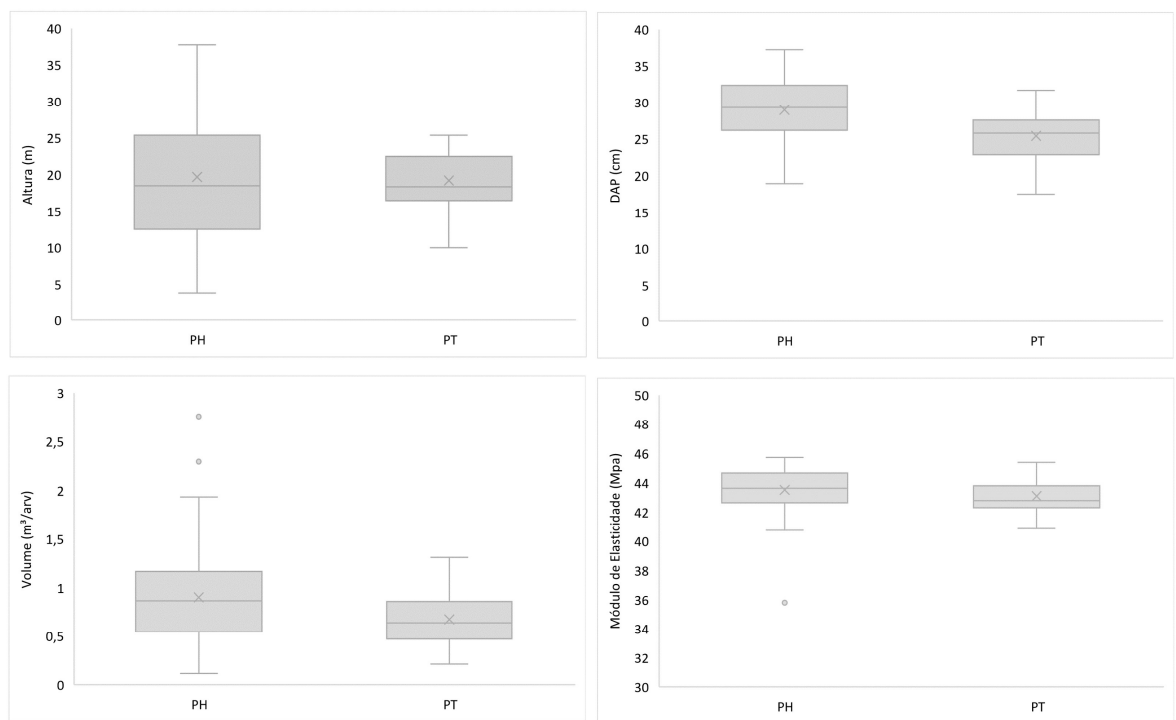
Tabela 16 - Valores Máximos e Mínimos para os caracteres de crescimento e módulo de elasticidade dos tratamentos de *P. taeda* e híbrido entre *P. elliottii* var. *elliottii* x *P. caribaea* var. *hondurensis* aos oito anos na Fazenda Taboa SP.

	Altura (m)		DAP (cm)		Volume (m ³ /arv)		MOE (Gpa)	
	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max
PT	10,00	25,35	17,51	31,67	0,21	1,31	3,26	5,68
PH	3,80	37,80	18,94	37,24	0,12	2,76	1,22	3,77

Em que: DAP = diâmetro à altura do peito, MOE = Módulo de Elasticidade. Pt = *P. taeda*, Ph = Híbrido entre *P. elliottii* var. *elliottii* x *P. caribaea* var. *hondurensis*.

Ao avaliar os caracteres de crescimento dos dois tratamentos de *Pinus*, observou-se uma tendência de menor variação entre os indivíduos de *P. taeda*. O híbrido de *P. elliotii* var. *elliotii* x *P. caribaea* var. *hondurensis* apresentou uma destacada performance (Figura 9), com a maior mediana entre os tratamentos, indicando que, em média, essa variedade tem a maior altura, DAP, volume, e módulo de elasticidade, e mais ampla variação que de *P. taeda*, o que sugere um maior potencial para seleção de indivíduos e criação de futuras gerações que podem apresentar melhor desempenho.

Figura 9 - Diferenças na altura, DAP, volume e módulo de elasticidade entre os tratamentos de *Pinus* spp. aos oito anos na fazenda Taboa, SP.



Em que: DAP = Diâmetro a altura do peito, PT = *P. taeda*, PH = Híbrido entre *P. elliotii* var. *elliotii* x *P. caribaea* var. *hondurensis*.

3.3.1 ANÁLISE DE VARIÂNCIA

Diferenças significativas foram observadas para tratamentos e blocos para os caracteres: DAP, altura, volume, em nível de 1% de probabilidade (Tabela 17), com exceção do módulo de elasticidade. Esses resultados demonstram a existência de variações fenotípicas para os caracteres mensurados que são possíveis realizar a seleção de indivíduos híbridos mais promissores para a produção de madeira com qualidade.

Tabela 17 - Resultados da análise de variância dos tratamentos de *Pinus taeda* e o híbrido *P. elliottii* var. *elliottii* x *P. caribaea* var. *hondurensis*, na fazenda Taboa, SP.

	Variável dependente	GL	F	p
ESP	HT	1	0,175	0,677
	DAP	1	24,226	<,001
	VOL	1	9,456	0,003
	MOE	1	3,057	0,083
Resíduos	HT	118		
	DAP	118		
	VOL	118		
	MOE	118		

Em que: HT = Altura Total, DAP= Diâmetro a altura do peito, VOL = Volume, MOE = Módulo de Elasticidade.

Os resultados obtidos para o teste de médias apresentaram diferenças estatísticas significativas ao nível de 95% de probabilidade utilizando o teste Tukey (Tabela 18). Os valores para altura, DAP, Volume e módulo de elasticidade para os tratamentos *P. taeda* e do híbrido entre *P. elliottii* var. *elliottii* x *P. caribaea* var. *hondurensis* variaram de 3,80 a 37,80 m, 17,51 a 37,24 cm, 0,12 a 2,76 m³/arv e 22,03 a 40,05 MPa respectivamente.

A variação fenotípica observada no teste indicou que a seleção individual fenotípica dentro de espécies híbridas mais produtivas para volume poderá contribuir para o aumento de produção de madeira.

Tabela 18 - Resultados do teste de Tukey para os caracteres de crescimento e módulo de elasticidade dos tratamentos de *Pinus taeda* e o híbrido *P. elliottii* var. *elliottii* x *P. caribaea* var. *hondurensis*, na fazenda Taboa, SP.

	HT (m)		DAP (cm)		V (m ³ /arv)		MOE(Mpa)
PT	19,61 a	PH	28,81 a	PH	0,86 a	PH	3,81 a
PH	18,96 a	PT	25,49 b	PT	0,70 b	PT	2,67 b

Em que: HT = Altura Total, DAP= Diâmetro a altura do peito, V = Volume, MOE = Módulo de Elasticidade, PT = *P. taeda*, PH = Híbrido entre *P. elliottii* var. *elliottii* x *P. caribaea* var. *hondurensis*.

3.4 CONCLUSÃO

Esses resultados estão de acordo com a hipótese de um comportamento transgressivo dos híbridos, que apresentam uma maior resiliência do que as espécies parentais. A análise dos caracteres de crescimento evidencia pronunciado efeito de heterose e uma boa adaptação do híbrido aos fatores edafoclimáticos. O híbrido de *Pinus elliottii* x *Pinus caribaea* var. *hondurensis* demonstrou um potencial promissor para uso comercial.

P. taeda, obteve boas avaliações em relação aos caracteres estudados, e possui uma ampla base de conhecimento e suporte, mas o híbrido emerge como alternativas promissora, sinalizando potencial para diversificar e oferecer maior vigor a base de recursos da indústria florestal. Esse estudo reforça a necessidade de ampliar estudos futuros que se concentrem nas interações genótipo x ambiente.

REFERÊNCIAS

- ACR, A. C. DE E. F. Anuário Estatístico de Base Florestal para o estado de Santa Catarina. 2022.
- AGUIAR, A. V. DE et al. Programa de melhoramento de pinus da Embrapa Florestas. **Embrapa Florestas**, 2011.
- ALMEIDA, N. F. DE et al. Avaliação da madeira de *Pinus elliottii* var. *elliottii* x *Pinus caribaea* var. *hondurensis* para produção de compensados. **Scientia Forestalis**, v. 40, n. 96, p. 435–443, 2012.
- ARIAS, E. Brazil market profile. **dc.statelibrary.sc.gov**, 2022.
- ARNHOLD, E. Package in the R environment for analysis of variance and complementary analyses. **Brazilian Journal of Veterinary Research and Animal Science**, v. 50, n. 6, p. 488–492, 9 dez. 2013.
- BARREIRO, S.; TOMÉ, M. Manual de utilização hipsómetro Vertex III. **Publicações GIMREF-RT1/2005. Departamento de Engenharia Florestal. Instituto Superior de Agronomia. Lisboa**, 2005.
- BELABER, E. C. et al. Genetic Parameters for Growth, Stem Straightness, and Branch Quality for *Pinus elliottii* var. *elliottii* × *Pinus caribaea* var. *hondurensis* F1 Hybrid in Argentina. **Forest Science**, v. 64, n. 6, p. 595–608, 20 nov. 2018.
- BORGES, H. DE S. A heterose em plantas autógamas e alógamas, seus efeitos e utilização na produção agrícola. 2022.
- BUNN, A.; KORPELA, M. R: A language and environment for statistical computing. 2013.
- CADEMARTORI, P. H. G. DE et al. Qualidade da madeira serrada de *Pinus elliottii* Engelm. procedente de florestas resinadas. **CERNE**, v. 18, p. 577–583, dez. 2012.
- CAHALAN, C. Silvicultural systems for the major forest types of the United States. **Forest Ecology and Management**, v. 11, n. 4, p. 297, ago. 1985.
- CAMARGO, R. A. Avaliação da qualidade da madeira de *Pinus taeda* a partir dos anéis de crescimento. 2016.
- CONSALTER, R. et al. Fertilization of *Pinus taeda* L. on an acidic oxisol in southern Brazil: growth, litter accumulation, and root exploration. **European Journal of Forest Research**, v. 140, n. 5, p. 1095–1112, out. 2021.
- DA SILVA, J. M. et al. Divergência genética entre progênies de *Pinus caribaea* var. *caribaea* com base em caracteres quantitativos. 2012.

DE ANDRADE, T. C. G. R. et al. Influence of phosphorus fertilization on the response of pinus genotypes to glyphosate subdoses. **New Forests**, v. 53, n. 1, p. 143–160, jan. 2022.

DIETERS, M.; BRAUNER, J. Productivity of *Pinus elliottii*, *P. caribaea* and their F1 and F2 hybrids to 15 years in Queensland, Australia. **Annals of Forest Science** 2007 **64:7**, v. 64, n. 7, p. 691–698, out. 2007.

DUNGEY, H. S.; DIETERS, M. J.; NIKLES, D. G. **Symposium on hybrid breeding and genetics of forest trees. QFRI/CRC-SPF Symposium, Noosa, Australia, 9-14 April 2000.** Symposium on hybrid breeding and genetics of forest trees. QFRI/CRC-SPF Symposium, Noosa, Australia, 9-14 April 2000. **Anais...Queensland Forestry Research Institute, Department of Primary Industries, 2000.** Disponível em: <<https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/20003013037>>. Acesso em: 7 mar. 2024

ECKARD, J. T. et al. Selection Efficiency for Solid Wood Traits in *Pinus taeda* using Time-of-Flight Acoustic and Micro-Drill Resistance Methods. **Forest Science**, v. 56, n. 3, p. 233–241, 1 jun. 2010.

FAKOPP. **TreeSonicGuide**. , 2020. Disponível em: <<https://fakopp.com/docs/products/treesonic/TreeSonicGuide.pdf>>. Acesso em: 23 jun. 2024

GWAZE, D. P. Performance of some interspecific F1 pine hybrids in Zimbabwe. **Forest Genetics**, v. 6, n. 4, p. 283–289, 1999.

HASHEM, A. et al. Non-linear adsorption characteristics of modified pine wood sawdust optimised for adsorption of Cd(II) from aqueous systems. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, v. 8, n. 4, p. 103966, 1 ago. 2020.

HIGGINS, S. I.; RICHARDSON, D. M. Pines as invaders in the southern hemisphere. **Plant Ecology**, v. 135, n. 1, p. 79–93, 1998.

IBA. **Relatório Anual IBA 2023**. [s.l.] INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES — IBÁ, 2023. . Acesso em: 29 nov. 2022.

IVKOVIĆ, M. et al. Prediction of wood stiffness, strength, and shrinkage in juvenile wood of radiata pine. **Wood Science and Technology**, v. 43, n. 3, p. 237–257, 1 maio 2009.

KIETZKA, E. “New” pine species and hybrids: is there still potential? : creating new germplasm. **Southern Forests: a Journal of Forest Science**, v. 195, p. 89–92, 2002.

LEITE, H. G.; NOGUEIRA, G. S.; MOREIRA, A. M. Efeito do espaçamento e da idade sobre variáveis de povoamentos de *Pinus taeda* L. **Revista Árvore**, v. 30, n. 4, p. 603–612, 2006.

LI, Y. et al. Cytosine Methylation Analysis of *Pinus elliottii* × *Pinus caribaea* var. *hondurensis* and Their Parental Lines. **Journal of Plant Growth Regulation**, v. 38, n. 1, p. 30–38, 1 mar. 2019.

- MARCOS, A. P. et al. Influência da área vital no crescimento em diâmetro de *Pinus* híbrido na região sudoeste do Paraná. **9º Congresso Florestal Brasileiro**, v. 1, n. 1, p. 422–425, 2022.
- MATALLANA-RAMIREZ, L. P. et al. Breeding for Climate Change Resilience: A Case Study of Loblolly Pine (*Pinus taeda* L.) in North America. **Frontiers in Plant Science**, v. 12, 30 abr. 2021.
- MATHESON, A. C. et al. Inheritance and Genetic Gain in Wood Stiffness in Radiata Pine Assessed Acoustically in Young Standing Trees. **Silvae Genetica**, v. 57, n. 1–6, p. 56–64, 1 dez. 2008.
- MATTOS, B. D. et al. Variação axial da densidade básica da madeira de três espécies de gimnospermas. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 6, n. 1, p. 121–126, 2011.
- MCKEAND, S. E. et al. Performance of improved genotypes of loblolly pine across different soils, climates, and silvicultural inputs. **Forest Ecology and Management**, Perspectives on Site Productivity of Loblolly Pine Plantations in the Southern United States. v. 227, n. 1, p. 178–184, 15 maio 2006.
- MIRANDA, R. O. V. DE et al. Precision and accuracy of sampling methods in thinned *Pinus taeda* L. stands. 2022a.
- MIRANDA, R. O. V. et al. Individual models for diameter and height projection with contribution of competition index in *Pinus taeda* L. stands. **FLORESTA**, v. 52, n. 1, p. 179, 3 jan. 2022b.
- MISSIO, R. F. et al. Seleção simultânea de caracteres em progênies de *Pinus caribaea* Morelet var. bahamensis. **Scientia Forestalis/Forest Sciences**, p. 161–168, 2004.
- NIKLES, D. G. **Hybrids of the slash-Caribbean-Central American pine complex: characteristics, bases of superiority and potential utility in South China and elsewhere.** [s.l: s.n.].
- NIKLES, D. G. **Experience with some *Pinus* hybrids in Queensland, Australia.** Proceedings of QFRI/CRC-SPF symposium: hybrid breeding and genetics of forest trees. Department of Primary Industries, Brisbane. Noosa, Queensland, Australia. **Anais...**2000.
- NIKLES, D. G.; ROBINSON, M. J. The development of *Pinus* hybrids for operational use in Queensland. **Breeding tropical trees**, p. 272–282, 1989.
- NILSSON, O. et al. Growth and modulus of elasticity of pine species and hybrids three years after planting in South Africa. <https://doi.org/10.2989/20702620.2020.1733769>, v. 82, n. 4, p. 367–376, 2020.
- NUNES, S. et al. Somatic embryogenesis of hybrid *Pinus elliottii* var. *elliottii* × *P. caribaea* var. *hondurensis* and ploidy assessment of somatic plants. **Plant Cell, Tissue and Organ Culture**, v. 132, n. 1, p. 71–84, 1 jan. 2018.
- OLIVEIRA JUNIOR, J. C. DE. Seleção precoce, otimização de ganhos e diversidade genética em progênies de *Eucalyptus urophylla*. 2022.

RESENDE, M. D. V. DE. SELEGEN-REML/BLUP: sistema estatístico e seleção genética computadorizada via modelos lineares mistos. 2007.

RESENDE, M. D. V. DE. Software Selegen-REML/BLUP: a useful tool for plant breeding. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 16, n. 4, p. 330–339, 2016.

RICHARDSON, D. M.; BOND, W. J. Determinants of Plant Distribution: Evidence from Pine Invasions. **The American Naturalist**, v. 137, n. 5, p. 639–668, maio 1991.

RICHARDSON, D. M.; PETIT, R. J. Pines as Invasive Aliens: Outlook on Transgenic Pine Plantations in the Southern Hemisphere. Em: WILLIAMS, CLAIRE. G. (Ed.). **Landscapes, Genomics and Transgenic Conifers**. Managing Forest Ecosystems. Dordrecht: Springer Netherlands, 2006. v. 9p. 169–188.

RICHARDSON, D. M.; WILLIAMS, P. A.; HOBBS, R. J. Pine invasions in the Southern Hemisphere: determinants of spread and invadability. **Journal of biogeography**, p. 511–527, 1994.

SANTOS, W. DOS et al. **Estimativas de parâmetros genéticos em progênes de meios-irmãos de Pinus elliottii para a produção de madeira**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MELHORAMENTO DE PLANTAS, 7., 2013, Uberlândia ..., 2013. Disponível em: <<https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/966757/1/AnandaCBMPEstimativas.pdf>>. Acesso em: 23 jun. 2024

SCHENONE, R. A.; PEZZUTTI, R. V. Productividad de progenies de Pinus elliottii x Pinus caribaea var. hondurensis. **XII World Forestry Congress**, 2003.

SCHULTZ, R. P. Loblolly -- the pine for the twenty-first century. **New Forests**, v. 17, n. 1, p. 71–88, 1 jan. 1999.

SHEPHERD, M. et al. Branch architecture QTL for Pinus elliottii var. elliottii \times Pinus caribaea var. hondurensis hybrids. **Annals of Forest Science**, v. 59, n. 5–6, p. 617–625, 1 jul. 2002.

SHIMIZU, J. **Pinus na silvicultura brasileira**. Colombo: Embrapa Florestas, 2008.

SHIMIZU, J. Y.; SEBBENN, A. M. Espécies de Pinus na silvicultura brasileira. **Embrapa Florestas**, p. 49–74, 2008.

SIJDE, H. A. VAN DER; ROELOFSEN, J. W. The Potential of Pine Hybrids in South Africa. **South African Forestry Journal**, 1 mar. 1986.

SURDI, P. G. **Produção de painéis de partículas orientadas (OSB) a partir da madeira de um híbrido de Pinus elliottii var. elliottii var. Pinus caribaea var. hondurensis**. PhD Thesis—[s.l.] Universidade de São Paulo, 2012.

WICKHAM, H. ggplot2. **WIREs Computational Statistics**, v. 3, n. 2, p. 180–185, mar. 2011.

WINCK, R. Á. et al. **Colored area, growth-ring width, and latewood percentage in hybrid pine F1 INTA-PINDO** *Revista Floresta* 53 (2) : 204-213 (abril - junho 2023).

[s.l.] Centro de Pesquisas Florestais da Faculdade de Florestas da Universidade Federal do Paraná, 8 fev. 2023. Disponível em: <<https://repositorio.inta.gob.ar/handle/20.500.12123/16633>>. Acesso em: 20 jul. 2024.

ZANÃO, M. **Avaliação do potencial da madeira de *Pinus maximinoi* para produção de celulose kraft em diferentes proporções com *Pinus taeda* e *Eucalyptus* spp.** PhD Thesis—[s.l.] Universidade de São Paulo, 2020.

CAPITULO 4: CONSIDERAÇÕES FINAIS

Pinus spp. é de grande importância para a indústria florestal brasileira, com seus troncos retilíneos, rápido crescimento e madeira de alta qualidade eles são importantes para diversas indústrias e uma parte vital da cadeia produtiva. Com a crescente demanda por resina vegetal e madeira, é necessário explorar novas tecnologias e técnicas como a hibridação que pode, através do desenvolvimento de novas linhagens, gerar significantes ganhos produtivos e operacionais. Híbridos interespecíficos, aqueles que combinam espécimes de duas espécies diferentes, tem o potencial de gerar linhagens que combinem caracteres vantajosos dos diferentes parentais com maior produtividade, resistência a doenças e adaptabilidade a diferentes condições edafoclimáticas, impulsionando a competitividade do setor florestal brasileiro, e contribuindo para o aumento da produtividade florestal.

Os resultados desta pesquisa evidenciam o enorme potencial da hibridação interespecífica como ferramenta para o melhoramento genético de *Pinus* no Brasil. A hibridação interespecífica de *Pinus* apresenta um grande potencial para a indústria florestal brasileira, contribuindo para o aumento da produtividade, a diversificação dos produtos madeireiros e a sustentabilidade do setor. No entanto, a hibridação interespecífica de *Pinus* é um campo de pesquisa relativamente novo no Brasil, e ainda há necessidade de aprofundar os estudos entender o relacionamento entre o genótipo e o ambiente desses cruzamentos e as condições ideais de cultivo para cada variedade híbrida. O desenvolvimento de novas variedades híbridas exige investimentos significativos em pesquisa e a implementação de políticas públicas que incentivem a pesquisa, e adoção de novas tecnologias pelas empresas florestais.