

TALITA CARVALHO DE SOUZA SANTOS

**SELEÇÃO DE PROGÊNIES DE *Pinus caribaea* MORELET var. *bahamensis*
BARRETT & GOLFARI PARA PRODUÇÃO E QUALIDADE DE MADEIRA E
RESINA**

Botucatu

2023

TALITA CARVALHO DE SOUZA SANTOS

**SELEÇÃO DE PROGÊNIES DE *Pinus caribaea* MORELET var. *bahamensis*
BARRETT & GOLFARI PARA PRODUÇÃO E QUALIDADE DE MADEIRA E
RESINA**

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da Unesp Câmpus de Botucatu, para obtenção do título de Mestre em Ciência Florestal.

Orientador: Dr. Eduardo Luiz Longui

Coorientadora: Dr^a Ananda Virgínia de Aguiar

Botucatu

2023

S237s Santos, Talita Carvalho de Souza
Seleção de progênies de *Pinus caribaea* Morelet var. *bahamensis*
Barrett & Golfari para produção e qualidade de madeira e resina /
Talita Carvalho de Souza Santos. -- Botucatu, 2023
106 p. : il., tabs., fotos, mapas

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista (UNESP),
Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu
Orientador: Eduardo Luiz Longui
Coorientadora: Ananda Virgínia de Aguiar

1. Melhoramento genético em plantas. 2. *Pinus* tropicais. 3. Seleção
genética. 4. Resina de pinheiro. 5. Madeira anatomia. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Universidade
Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu. Dados fornecidos pelo
autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Câmpus de Botucatu



CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: SELEÇÃO DE PROGÊNIES DE *Pinus caribaea* Morelet
var. *bahamensis* Barrett & Golfari PARA PRODUÇÃO E QUALIDADE DE
MADEIRA E RESINA

AUTORA: TALITA CARVALHO DE SOUZA SANTOS

ORIENTADOR: EDUARDO LUIZ LONGUI

COORIENTADORA: ANANDA VIRGÍNIA DE AGUIAR


Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Mestra em Ciência Florestal, pela
Comissão Examinadora:


Pesquisador Dr. EDUARDO LUIZ LONGUI (Participação Virtual)
Divisão de Dasonomia / Instituto Florestal do Estado de São Paulo


Pesquisador Dr. ISRAEL LUIZ DE LIMA (Participação Virtual)
. / Instituto de Pesquisas Ambientais

Prof. Dr. MARIO LUIZ TEIXEIRA DE MORAES (Participação Virtual)
Fitotecnia, Tecnologia de Alimentos e Socio Economia / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira - UNESP

Botucatu, 11 de dezembro de 2023

Documento assinado digitalmente
 EDUARDO LUIZ LONGUI
Data: 13/12/2023 09:18:05-0300
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

Documento assinado digitalmente
 ISRAEL LUIZ DE LIMA
Data: 27/12/2023 14:41:30-0300
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

Documento assinado digitalmente
 MARIO LUIZ TEIXEIRA DE MORAES
Data: 28/12/2023 18:08:45-0300
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

A Deus,

meus pais e meu esposo

dedico.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao professor Dr. Eduardo Luiz Longui pela orientação, pela paciência, e que mesmo à distância me deu a oportunidade de realizar esse mestrado;

À pesquisadora Dra. Ananda Virgínia de Aguiar pela coorientação que foi de suma importância para meu aprendizado, pela paciência e mesmo com seus inúmeros afazeres nunca deixou de me atender;

Ao Instituto de Pesquisas Ambientais unidade Assis, ao gestor da unidade, Antônio Carlos de Galvão Melo, ao pesquisador Osmar Villas Boas, que me auxiliou no campo, com o fornecimento de dados, da área, a todo corpo de colaboradores do Instituto que me auxiliaram no campo;

Ao Jéfferson Lima que me auxiliou na coleta de dados do projeto;

Ao João Roberto Menuccelli e Erick Phelipe Amorim que me auxiliaram nas avaliações de campo, e, também ao Erick por ter me repassado as informações sobre as metodologias de caracterização da qualidade da madeira;

Ao Juraci de Andrade por me auxiliar com a parte laboratorial;

À Fernanda Lima que me auxiliou com dados computacionais;

Ao Wanderley dos Santos pelas explicações;

À Daniela Paiva que me ajudou em uma hora crítica com os gráficos;

Ao Bruno Marchetti de Souza, por me ensinar a utilizar os programas computacionais para as análises do trabalho;

À Débora Cavalcante e seu esposo Neemias Carneiro, foi um prazer imenso conhecê-los, pela amizade, e que Deus os abençoe sempre;

Ao Roldão Carlos por me auxiliar e preocupar com minhas atividades complementares, que Deus te abençoe;

À Miriam Fantazia, que me ajudou quando precisei;

À Luzia Espindola Fioravanti pelas orações, aconselhamentos e pelo carinho;

À todo corpo docente da instituição de ensino, pois sem eles não seremos nunca profissionais, todos nós precisamos de um professor em nossas vidas. Muito obrigado a todos pelos ensinamentos;

À Unesp pela bolsa de estudos concedida.

“Ora, a fé é o firme fundamento das coisas que se espera, e a prova daquilo que não se vêem”.

BÍBLIA. Hebreus. *In*: Bíblia Sagrada. Tradução João Ferreira de Almeida 9ª edição. Santo André – SP: Editora Geográfica, 2007.

RESUMO

Nas regiões em que predomina o clima tropical no Brasil, as variedades de *Pinus caribaea*, vulgarmente conhecidas como pínus tropicais, apresentaram maior adaptabilidade. Assim, o objetivo do presente estudo foi estimar a variabilidade genética de um teste de progênie de *Pinus caribaea* var. *bahamensis* para formação de pomar de sementes por mudas para produção e qualidade de madeira e resina. O material utilizado foi um teste de progênie de polinização aberta de *P. caribaea* var. *bahamensis* com 34 anos. O experimento está instalado no município de Assis, SP, em um delineamento experimental de blocos completos ao acaso, composto por 72 progênies, uma planta por parcela com 28 repetições, totalizando 2.016 árvores, em espaçamento de 6 x 6 metros. Foram avaliados os caracteres de crescimento (DAP, altura total, volume) e forma de fuste (forma de fuste, conicidade, a largura entrenós, o ângulo e a espessura dos galhos) e características da madeira (velocidade do som e o módulo de elasticidade dinâmico). A dimensão das traqueídes para os índices de qualidade de papel e a celulose foram avaliados. A produção de resina de todos os indivíduos remanescentes também mensurada. Todos os dados obtidos foram submetidos a análise de normalidade e análise descritiva e realizada a análise de deviance e a estimativa de componentes de variância e parâmetros genéticos. Foram observadas as diferenças significativas entre as progênies para todos os caracteres avaliados. Os valores médios obtidos para DAP, altura, volume, índice de seleção e resinagem total foram 47,95 cm, 26,45 m, 2,34 m³arv⁻¹, 3.641,71 e 5,07 kg. arv⁻¹ ano⁻¹, respectivamente. Os coeficientes de variação relativa apresentaram maiores índices para DAP, volume, produção de resina da primeira, segunda e terceira coleta, produção de resina por estria e total. A acurácia foi alta para todos os caracteres de crescimento, silvicultural e resinífero, exceto para o MOEd, o entrenó e o índice de seleção, os quais apresentaram acurácias moderadas. As herdabilidades individual e média de progênies variaram de 0,08 a 0,51 e 0,35 a 0,76 entre os caracteres de crescimento, silviculturais e resiníferos, respectivamente. As porcentagens de breu e terebentina da resina total variaram de 74,6% a 95% e de 5% a 25,4%, respectivamente. As porcentagens de alfa pineno, beta pineno e canfeno variaram de 29,80% a 84,92%; 2,43% a 44,42% e 0,68% a 2,29%, respectivamente. As porcentagens de ganho genético com a seleção para volume de madeira e resina foram maiores, 63,50% e 50,87%, respectivamente, com o método de seleção individual com pressão de seleção de 2%. A diversidade genética foi maior para madeira e resina no método de seleção dentro de progênie, variando de 0,97 a 1,00. Para a qualidade da madeira, os índices de qualidade de papel e celulose (Coeficiente de Flexibilidade, Fração Parede, Índice de Runkel e Índice de Enfeltramento) foram de 69,92%, 30,08%, 0,57 e 68,69%, respectivamente. As correlações genéticas com maiores expressões positiva foi entre os conjuntos de caracteres de crescimento (DAP, altura e volume) e resiníferos (produção de resina da primeira e segunda coleta, produção resina por estria e total), as características da madeira (velocidade, MOEd e índice de seleção) e os caracteres silviculturais (ângulo do galho, grossura do galho, entrenó, forma de fuste, caracteres silviculturais). Nas correlações fenotípicas as

maiores expressões ocorreram entre o volume, o DAP, produção de resina da primeira e segunda coleta, produção de resina total, MOEd, velocidade, grossura e ângulo do galho, caracteres silviculturais e índice de seleção. As 72 progênies foram agrupadas em 10 grupos, sendo o primeiro com maior número de progênies. O teste genético apresentou variabilidade genética significativa para os caracteres avaliados, indicando possibilidade de obtenção ganho genético para formação de pomares de sementes por mudas e clonais, bem como para exploração em futuras gerações de melhoramento genético.

Palavras-chave: ganho genético; módulo de elasticidade dinâmico; resina; qualidade da madeira.

ABSTRACT

In regions with a predominantly tropical climate in Brazil, varieties of *Pinus caribaea*, commonly known as tropical pines, have shown greater adaptability. Therefore, the aim of this study was to estimate the genetic variability of a progeny test of *Pinus caribaea* var. *bahamensis* for the formation of a seed orchard by seedlings for the production and quality of wood and resin. The material used was a 34-year-old open-pollinated progeny test of *P. caribaea* var. *bahamensis*. The experiment was set up in the municipality of Assis, SP, in a randomized complete block design, consisting of 72 progenies, one plant per plot with 28 repetitions, totaling 2,016 trees, at a spacing of 6 x 6 meters. Growth characters (DBH, total height, volume) and stem shape (stem shape, taper, internode width, branch angle and thickness) and wood characteristics (sound velocity and dynamic modulus of elasticity) were evaluated. The size of the tracheids for the paper quality indices and pulp were evaluated. The resin production of all remaining individuals was also measured. All the data obtained was subjected to normality analysis and descriptive analysis, and deviance analysis and the estimation of variance components and genetic parameters were carried out. Significant differences were observed between the progenies for all the characters evaluated. The average values obtained for DBH, height, volume, selection index and total resin yield were 47.95 cm, 26.45 m, 2.34 m³ arv⁻¹, 3,641.71 and 5.07 kg. arv⁻¹ year⁻¹, respectively. The coefficients of relative variation were highest for DBH, volume, resin production from the first, second and third harvests, resin production per groove and total resin production. Accuracy was high for all growth, silvicultural and resin characters, except for MOEd, internode and selection index, which showed moderate accuracies. Individual and average progeny heritabilities ranged from 0.08 to 0.51 and 0.35 to 0.76 for growth, silvicultural and resin characters, respectively. The percentages of pitch and turpentine in the total resin ranged from 74.6% to 95% and from 5% to 25.4%, respectively. The percentages of alpha pinene, beta pinene and camphene ranged from 29.80% to 84.92%; 2.43% to 44.42% and 0.68% to 2.29%, respectively. The percentages of genetic gain from selection for wood volume and resin were higher, 63.50% and 50.87%, respectively, with the individual selection method with 2% selection pressure. Genetic diversity was higher for wood and resin in the within-progeny selection method, ranging from 0.97 to 1.00. For wood quality, the pulp and paper quality indices (Flexibility Coefficient, Wall Fraction, Runkel Index and Thinning Index) were 69.92%, 30.08%, 0.57 and 68.69%, respectively. The genetic correlations with the highest positive expressions were between the sets of growth characters (DBH, height and volume) and resin characters (resin production of the first and second collection, resin production per stricture and total), wood characteristics (speed, MOEd and selection index) and silvicultural characters (branch angle, branch thickness, internode, stem shape, silvicultural characters). In the phenotypic correlations, the greatest expressions occurred between volume, DBH, resin production from the first and second collection, total resin production, MOEd, speed, thickness and angle of the branch, silvicultural characters and selection index. The 72 progenies were grouped into 10 groups, with the first having the largest number of

progenies. The genetic test showed significant genetic variability for the characters evaluated, indicating the possibility of obtaining genetic gain for the formation of seedling and clonal orchards, as well as for exploitation in future generations of genetic improvement.

Keywords: genetic gain; dynamic modulus of elasticity; resin; wood quality.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Revisão de literatura

Figura 1 – Áreas de árvores plantadas em 2021 (milhões de hectares)	23
Figura 2 – Área plantada de pinus por região, em 2022(%)	24
Figura 3 – Localização geográfica populacional de <i>Pinus caribaea</i> e suas variedades na Bacia do Caribe	25

Capítulo 1 – Estimativas de parâmetros e ganhos genéticos

Figura 1 – Localização do município de Assis, SP (A); Mapa da Estação Ecológica de Assis, SP (B)	31
Figura 2 – Gráfico climatológico de precipitação, temperatura média e evapotranspiração do município de Assis, SP, do ano de 1988 a 2022	32
Figura 3 – Equipamento de Ultrassom portátil (Tree Sonic) instalado na árvore	34
Figura 4 – Baguetas recém retirada da árvore (A) Posicionamento do trado no indivíduo (B)	35
Figura 5 – Pesagem da bagueta (A). Deslocamento da água após imersão da bagueta (B)	36
Figura 6 – Comprimento da traqueíde (A). Diâmetro do lúmen da traqueíde (B)	39
Figura 7 – Dez melhores progênies em volume de madeira e a produção de resina total de <i>Pinus caribaea</i> var. <i>bahamensis</i> aos 34 anos, no município de Assis, SP	46

Capítulo 2 – Divergência genética e relações entre progênies de *Pinus caribaea* var. *bahamensis* com base em caracteres quantitativos

- Figura 1 – Localização do município de Assis, SP (A); Mapa da Estação Ecológica de Assis, SP (B) 82
- Figura 2 - Gráfico climatológico de precipitação, temperatura média e evapotranspiração do município de Assis, SP, do ano de 1988 a 2022 83
- Figura 3 - Equipamento de ultrassom portátil (Tree Sonic) instalado na árvore 84
- Figura 4 – Baguetas recém retirada da árvore (a) Posicionamento do trado no indivíduo (b) 86
- Figura 5 – Correlações genéticas (diagonal superior) e fenotípicas (diagonal inferior) entre os caracteres resiníferos, crescimento, qualidade da madeira e silviculturais de *P. caribaea* var. *bahamensis* aos 34 anos, no município de Assis, SP 90

LISTA DE TABELAS

Capítulo 1 – Estimativa de parâmetros e ganhos genéticos

- Tabela 1 – Análise química do solo no experimento de *Pinus caribaea* var. *bahamensis* na Estação Ecológica de Assis, no município de Assis, SP 44
- Tabela 2 – Análise descritiva para os caracteres madeireiros e resiníferos de *Pinus caribaea* var. *bahamensis* aos 34 anos, no município de Assis, SP 45
- Tabela 3 – Análise química da produção de resina de *Pinus caribaea* var. *bahamensis* aos 34 anos, no município de Assis, SP 47
- Tabela 4 – Análise de deviance, herdabilidade individual e média, coeficientes de variações e acurácia dos caracteres resiníferos e madeireiros de *Pinus caribaea* var. *bahamensis* aos 34 anos, no município de Assis, SP 48
- Tabela 5 – Estimativa do progresso genéticos de seleção para quatro métodos em seis intensidades de seleção para volume de madeira de *Pinus caribaea* var. *bahamensis* aos 34 anos, no município de Assis, SP 50
- Tabela 6 – Estimativa do progresso genético de seleção para quatro métodos em seis intensidades de seleção para produção de resina total de *Pinus caribaea* var. *bahamensis* aos 34 anos no município de Assis, SP 51
- Tabela 7 – Análises descritivas das características anatômicas de *Pinus caribaea* var. *bahamensis* aos 34 anos no município de Assis, SP 52
- Tabela 8 – Análises individual dos índices de qualidade de papel e celulose para dez progênies selecionadas de *Pinus caribaea* var. *bahamensis* aos 34 anos no município de Assis, SP 53
- Tabela 9 – Caracterização das fibras de acordo com o Coeficiente de flexibilidade 65

Capítulo 2 – Divergência genética e relações entre progênies de *Pinus caribaea* var *bahamensis* com base em caracteres quantitativos

Tabela 1 – Estimativa de medidas de distâncias de Mahalanobis (D^2) entre pares de progênies para os caracteres de resina e madeira de *Pinus. caribaea* var. *bahamensis* aos 34 anos no município de Assis, SP 91

Tabela 2 - Agrupamento baseado no método de aglomeração (Otimização de Tocher para os caracteres de resina e madeira de *Pinus. caribaea* var. *bahamensis* aos 34 anos no município de Assis, SP 93

SUMÁRIO

	INTRODUÇÃO GERAL	21
	CAPÍTULO 1 – ESTIMATIVA DE PARÂMETROS E GANHOS GENÉTICOS	28
1.1	INTRODUÇÃO.....	28
1.2	MATERIAL E MÉTODOS.....	31
1.2.1	Material.....	31
1.2.2	Métodos.....	32
1.2.2.1	Análise de solos.....	32
1.2.2.2	Avaliação dos caracteres de crescimento e silviculturais.....	33
1.2.2.3	Velocidade da onda acústica.....	34
1.2.2.4	Retirada das baguetas.....	35
1.2.2.5	Densidade aparente.....	36
1.2.2.6	Cálculo do módulo de elasticidade dinâmico – MOEd.....	37
1.2.2.7	Índice de seleção.....	37
1.2.2.8	Determinação das dimensões das traqueídes e índices para qualidade de papel e celulose.....	38
1.2.2.9	Produção de resina.....	39
1.2.2.10	Análise de deviance e estimativa de parâmetros genéticos.....	40
1.2.2.11	Estratégias de seleção.....	42
1.3	RESULTADOS.....	44
1.3.1	Resultados da análise de solos do local do teste.....	44
1.3.2	Estimativa de parâmetros genéticos para madeira e resina.....	45
1.3.3	Qualidade da resina.....	46
1.3.4	Análise de deviance e parâmetros genéticos.....	47
1.3.5	Progresso genético na seleção de madeira e resina.....	49
1.3.6	Características da madeira de <i>P. caribaea</i> var. <i>bahamensis</i>	52
1.4	DISCUSSÃO.....	54
1.4.1	Caracterização do solo.....	54
1.4.2	Estimativa de parâmetros genéticos para produção de madeira e resina.....	55
1.4.3	Qualidade da resina de <i>P. caribaea</i> var. <i>bahamensis</i>	58
1.4.4	Análise de deviance e parâmetros genéticos.....	59
1.4.5	Progressos genéticos na seleção para madeira e resina.....	61

1.4.6	Índices de qualidade para papel e celulose.....	63
1.5	CONCLUSÕES.....	67
	REFERÊNCIAS.....	68
	CAPÍTULO 2 – DIVERGÊNCIA GENÉTICA EM PROGÊNIE DE	
	<i>Pinus caribaea</i> var. <i>bahamensis</i> COM BASES EM	79
	CARACTERES QUANTITATIVOS.....	
2.1	INTRODUÇÃO.....	79
2.2	MATERIAL E MÉTODOS.....	82
2.2.1	Material.....	82
2.2.2	Métodos.....	83
2.2.2.1	Avaliação dos caracteres de crescimento e silviculturais.....	83
2.2.2.2	Velocidade da onda acústica.....	84
2.2.2.3	Retirada das baguetas.....	85
2.2.2.4	Densidade aparente.....	86
2.2.2.5	Cálculo do módulo de elasticidade dinâmico – MOEd.....	87
2.2.2.6	Índice de seleção.....	87
2.2.2.7	Produção de resina.....	88
2.2.2.8	Estimativa das correlações genéticas e fenotípicas.....	88
2.2.2.9	Divergência genética e agrupamentos de Tocher.....	89
2.3	RESULTADOS.....	90
2.3.1	Correlações genéticas e fenotípicas	90
2.3.2	Divergência genética.....	91
2.3.3	Agrupamento de otimização de Tocher.....	92
2.4	DISCUSSÃO.....	94
2.4.1	Correlações genéticas e fenotípicas.....	94
2.4.2	Diversidade genética.....	95
2.4.3	Agrupamento de otimização de Tocher.....	96
2.5	CONCLUSÕES.....	97
2.6	REFERÊNCIAS.....	98
	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	102
	REFERÊNCIAS.....	103

INTRODUÇÃO GERAL

Plantios florestais de *Pinus* spp. para produção de madeira e resina foram importantes desde meado da década de 60. Os primeiros plantios comerciais com espécies desse gênero ocorreram na região Sul e Sudeste do Brasil, com intuito de assegurar o estoque madeireiro de uso geral do país, devido à exploração exacerbada da madeira principalmente de *Araucaria angustifolia* (Shimizu *et al.*, 2018) Nas regiões brasileiras que há um predomínio de climas mais quentes, as espécies de *Pinus* tropicais são as mais utilizadas devido à sua adaptação a temperatura mais altas e períodos chuvosos mais escassos, onde um dos pioneiros dessa inserção dos *Pinus* tropicais foi o Instituto Florestal do Estado de São Paulo (Pires *et al.*, 2013).

Em *Pinus caribaea*, que é o tema deste estudo, encontramos três variedades (*bahamensis*, *caribaea* e *hondurensis*), todas apresentam grande produção de resina, e suas madeiras possuem boa qualidade para processos mecânicos (Souza *et al.*, 2023), sendo que *P. caribaea* apresenta uma boa adaptabilidade no Estado de São Paulo, devido aos períodos secos durante o inverno e a primavera e solos pobres (Souza *et al.*, 2023). Uma boa parte dos povoamentos florestais de *Pinus* é destinada à resinagem, onde se extrai a goma resina composto por uma fração sólida e outra volátil, derivado de uma mistura orgânica chamado de terpenos (Anjos, 2022).

O Brasil é o segundo maior produtor mundial de resina, apresentando uma produção de 210.000 MT ano⁻¹, na última década essa produção quase dobrou devido ao declínio florestal chinês por falta de área florestal da espécie e a elevação do custo da mão de obra. Entretanto, a China detém o primeiro lugar dessa produtividade resinosa (460.000 MTano⁻¹) (Associação dos Resinadores do Brasil – Aresb, 2022). Mais de 90% da produtividade de resina de *Pinus* está concentrada nos países: China, Brasil e Indonésia, porém os países, como: Índia, México, Cuba, Nepal, Ilhas Fiji, Rússia, Portugal, Espanha, Vietnã, Madagascar, Honduras, África do Sul, Colômbia Malásia, Uruguai também se encontram como produtores de resina de *Pinus* (Cunningham, 2012).

Outra característica que *Pinus* spp. apresentam é a produtividade de madeira, graças aos altos índices volumétricos (Ruiz, 2016). No início, a produção era voltada para a indústria de papel e celulose, por ser um material que apresenta como característica “fibra longa”, as traqueídes, que é muito utilizada para a produção de papéis de embalagens ou camadas internas de papelão com maior resistência

mecânica (Vidrano, 2019). Além da produção de papel e celulose, outros produtos derivados da madeira de *Pinus*, são: as chapas de fibra de média densidade, os compensados e os laminados (Perek *et al.*, 2022). Os plantios de pínus têm se mostrado uma opção lucrativa em locais de solos rochosos, rasos, ou de intensa exploração agrícola devido à maior adaptabilidade das espécies desse gênero à esses sítios (Cruz, 2021).

Devido à existência de diferenças significativas no desenvolvimento, hábitos de crescimento, qualidade da madeira, resistência ou tolerância a fatores climáticos e inúmeros aspectos ecológicos, a seleção de indivíduos para os plantios comerciais deve ser criteriosa (Zanela, 2021). Para melhorar os caracteres indesejados como baixo incremento volumétrico, formato de fuste, propriedades físico-mecânico baixas, é essencial o estabelecimento de um programa de melhoramento genético florestal (Shimizu *et al.*, 2018).

No Brasil, inicialmente, as estratégias de melhoramento genético para o gênero *Pinus* visavam identificar as espécies e as procedências mais promissoras e que apresentavam melhor adaptabilidade as distintas condições edafoclimáticas. Essas estratégias de melhoramento foram aprimoradas por empresas florestais, principalmente, voltadas para produção de papel e celulose e instituições públicas federais e estaduais (Aguiar *et al.*, 2011). Além do mais, um aumento na produtividade, obtenção de matéria prima de qualidade superior, melhoria das condições de adaptação da espécie, tolerância a praga e a doenças e a manutenção da variabilidade genética são fatores cruciais para que haja bons ganhos genéticos para as próximas gerações (Furlan *et al.*, 2007).

Os trabalhos de campo de melhoramento genético abrangem uma vasta área de atuação e um custo financeiro alto, além de expertise nos itens de genética quantitativa, genética populacional, genética molecular, estatística experimental, fisiologia vegetal, conhecimentos em silvicultura e diversas especialidades para dar apoio técnico às estratégias aplicadas (Shimizu *et al.*, 2018). Sendo assim, propostas de melhoramento genético cooperativo, como vem sendo realizado no projeto cooperativo de melhoramento de pínus realizado pela Embrapa, empresas e parceiros, poderá gerar resultados mais promissores e com menor custo para todas as instituições, empresas, universidades e produtores envolvidos.

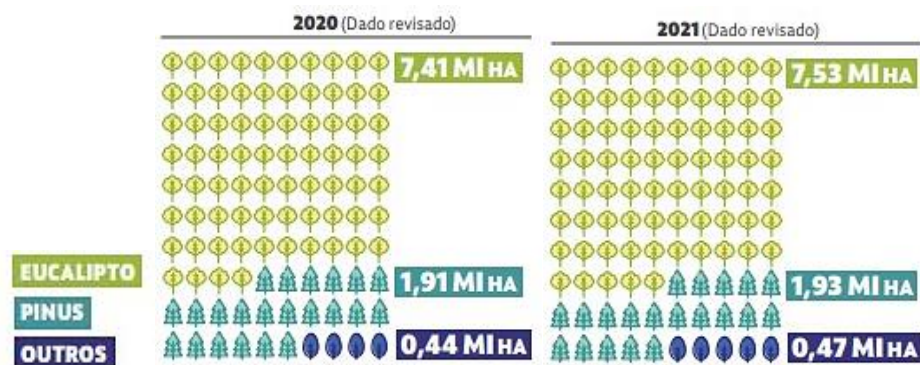
REVISÃO DE LITERATURA

Histórico do Pinus no Brasil

O gênero *Pinus* foi introduzido no Brasil há mais de um século, sendo plantadas espécies em escala comercial há mais de 40 anos para diversos fins. Houve uma ascensão na busca pelas espécies do gênero devido ao rápido crescimento, boa qualidade da madeira e a boa adaptabilidade ao clima e aos solos das regiões Sul e Sudeste brasileiro (Dill, 2016). Essas regiões do país apresentam a maior quantidade destes plantios, graças aos incentivos fiscais para garantir o suprimento de matéria-prima para a indústria madeireira (Medeiros e Florindo, 2017).

Mesmo com os impactos da Covid-19 em outros setores da economia a produção florestal não apresentou queda, os plantios de *Pinus* no ano de 2021 apresentaram 19,4% da área total de florestas plantadas representando 1,93 milhão de hectares *Pinus* (Figura 1), com uma produtividade de 29,7 m³ ha⁻¹ ano (IBÁ, 2022).

Figura 1 – Áreas de árvores plantadas em 2021 (milhões de hectares)



Fonte: Indústria Brasileira de Árvores – IBÁ (2022).

As espécies de pínus apresentaram uma relativa estabilidade em relação a 2021, com cerca de 1,9 milhão de hectares plantados. A região Sul do Brasil se mantém como o principal fornecedor de madeira de pínus, com 89% do total do país (Figura 2). O estado do Paraná se destaca por apresentar uma extensão de 713 mil hectares de área plantada, seguindo pelo estado de Santa Catarina com 701 mil hectares (IBÁ, 2023).

Figura 2 – Área plantada de pínus por região, em 2022 (%)



Fonte: Indústria Brasileira de Árvores, 2023.

O Brasil foi ranqueado como o quarto maior produtor mundial de madeira pela Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil (2016), estimando-se que a capacidade produtiva de suas florestas plantadas eram de 390 milhões m^3 ano⁻¹, dos quais 19% são representadas pelo gênero *Pinus* (IBÁ, 2023). A indústria de madeira serrada no Brasil se manteve com uma produção de 8,0 milhões de m^3 , nos últimos anos, sendo a exportação de madeira serrada oriundas de florestas plantadas, atingindo um patamar de 3,2 milhões de m^3 em 2021, com um crescimento de 3,2% comparado a 2020 (IBÁ, 2023).

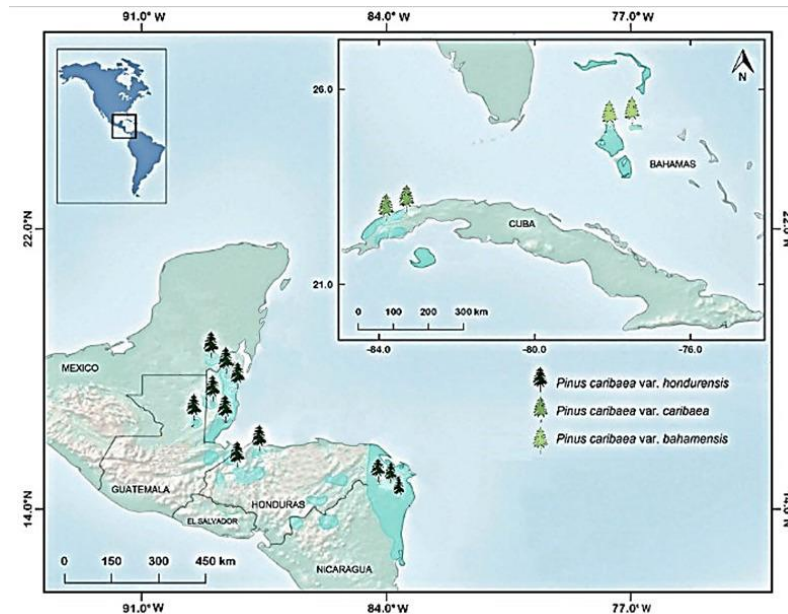
A espécie Pinus caribaea var. bahamensis

Pinus caribaea é nativo do Caribe, na região da América Central (Figura 3), apresentando um grau elevado de variabilidade na densidade da madeira, sendo uma espécie exótica no hemisfério sul desde a década de 1950 (Gown, 1981). *Pinus caribaea* Morelet é uma espécie que possui três variedades naturais: *caribaea*, *bahamensis* e *hondurensis* (Shimizu, 2008). A variedade *bahamensis* é originária das Ilhas das Bahamas e ocorre em áreas distantes entre si (Ruiz, 2016).

Por ocorrer em regiões próximas ao nível do mar, a espécie apresenta uma boa adaptabilidade no Brasil, mesmo em áreas de planalto. *P. caribaea* tem ganhado um

destaque pelo rápido crescimento, elevado rendimento em produção de madeira e resina e boas adaptações (Sebbenn *et al.*, 2007).

Figura 3 – Localização geográfica populacional de *Pinus caribaea* e suas variedades na Bacia do Caribe



Fonte: Camacho *et al.*, 2018 (adaptado).

No Brasil, *P. caribaea* var. *bahamensis* tem demonstrado altos incrementos volumétrico e uma grande importância produtiva madeireira e resinífera em regiões tropicais (Oliveira e Mayrinck, 2022).

O Brasil é um dos principais produtores mundiais de resina, com uma representação de 185.692 toneladas extraídas em 2018. A maior concentração de plantios florestais de *Pinus* no Brasil ocorrendo nos estados de São Paulo, Minas Gerais, Paraná e Rio Grande do Sul (Junkes, 2019).

No Brasil, a resinagem iniciou-se na década de 1970, com vastos estabelecimentos de populações florestais de *Pinus elliottii*, apresentando desde então grandes avanços tanto em sentido físico quanto químico, influenciando a separação e purificação de resina-bruta em produto de alto valor agregado (Lima *et al.*, 2021).

A quantidade de resina produzida pode ser influenciada por inúmeros fatores externos e a aspectos característicos das árvores. Esses fatores ambientais podem ser a irradiância, temperatura, quantidade e a frequência pluviométrica, e os aspectos fenotípicos são o tamanho de copa e diâmetro do tronco (Fett Neto e Neis, 2019).

Os fatores genéticos, a composição e o volume de oleorresina que a planta apresenta dependerá de seu estado fisiológico, a sazonalidade e condições bióticas e abióticas que a árvore está exposta, influências genéticas e ambientais, a biossíntese de oleorresina pode ser modulada, ao menos em parte, por ferimentos mecânicos e/ou estímulos químicos (Kerber, 2018).

Propriedades da madeira de Pinus

A madeira do gênero *Pinus* é utilizada como fonte de matéria-prima para diversas indústrias como de chapas, celulose, madeira serrada (Santos *et al.*, 2023). Para isso, estudos relacionados às propriedades físico-mecânicas ou anatômicas da madeira ainda demonstram a suma importância, permitindo determinar de forma precisa seu potencial de utilização. A densidade básica é uma das propriedades mais importantes pois, pode ser usada como parâmetro para estimar propriedades mecânicas e consequentemente tecnológicas da madeira (Rios *et al.*, 2018).

Adicionalmente, pelo conhecimento da densidade básica é possível estabelecer relações diretas com diversos parâmetros, como a tratabilidade, durabilidade natural, trabalhabilidade e propriedades mecânicas (Dias *et al.*, 2018). A densidade da madeira varia de acordo com a idade, altura, direção radial e características anatômicas (Paulino e Lima, 2018).

As características anatômicas estão diretamente relacionadas com as propriedades físicas e mecânicas da madeira e seu processamento tecnológico. Com isso, o comprimento e a espessura da parede celular das traqueídes são de suma importância na avaliação da qualidade da madeira das espécies de *Pinus* spp. (Lima *et al.*, 2020).

O comprimento das traqueídes, o diâmetro da célula, o diâmetro do lúmen e a espessura da parede, influenciam nas propriedades físicas e mecânicas da madeira, e consequentemente na produção de papel e celulose, pois são elas que determinam as propriedades físico-mecânicas da polpa celulósica (Ludwig, 2018).

As traqueídes das coníferas apresentam um comprimento médio de 3 a 4 mm. Em geral, o comprimento das traqueídes é cerca de 100 vezes a sua largura, havendo

ressalvas, pois as traqueídes variam em comprimento nas diferentes partes do lenho de uma mesma árvore (Schlichting, 2017).

Técnicas não destrutivas para avaliação da qualidade da madeira

A adoção de técnicas não destrutivas para a madeira e seus subprodutos é um método bastante difundido e ocorre desde a década de 1960. Estas técnicas identificam as propriedades físicas e mecânicas de materiais sem alterar sua capacidade de uso final. Dentre as inúmeras técnicas adotadas, destacamos os testes de *stress wave*, ultrassom, deflexão, espectroscopia no infravermelho próximo e método de raio X (Viana *et al.*, 2018).

A caracterização das propriedades mecânicas da madeira pelo método não destrutivo tem demonstrado que não há necessidade de extração de corpo de prova, sendo realizada diretamente na própria árvore, peça ou estrutura (Ribeiro *et al.*, 2016).

Dentre os métodos mais utilizados nos ensaios não-destrutivos, destaca-se o ensaio de velocidade de pulso ultrassônico, que consiste na medição do tempo em que uma onda mecânica atravessa um determinado comprimento em diferentes materiais (Alves *et al.*, 2016). As ondas acústicas utilizadas com frequências acima de 20 kHz são características de ensaios não-destrutivos que utilizam os métodos de ultrassom, e quando os corpos de prova são estimulados com choques de martelo que emitem ondas mecânicas. A propagação de ondas de tensão por intermédio da tomografia acústica, permite determinar com maior acurácia as características da madeira (Carrasco *et al.*, 2017).

Os benefícios do método de ultrassom quando comparado com os métodos destrutivos, são a rapidez, flexibilidade e o baixo custo que esse método apresenta comparando ao método tradicional. Também permite a amostra passar por vários testes inúmeras vezes sem se deformar (Cardelino, 2017).

O módulo de elasticidade pode ser obtido por ensaios de flexão estática, porém sua execução é mais trabalhosa e difícil comparada aos ensaios não destrutivos. Os métodos dinâmicos como a vibração transversal, vibração longitudinal e o ultrassom, associados com o conhecimento da densidade da madeira, são métodos não destrutivos para a obtenção do módulo de elasticidade (Andrade Júnior e Dias, 2017).

CAPÍTULO 1

ESTIMATIVA DE PARÂMETROS E GANHOS GENÉTICOS

1.1 INTRODUÇÃO

Várias espécies do gênero *Pinus* foram introduzidas no Brasil há mais de 60 anos, porém poucas são exploradas comercialmente para madeira e resina. Atualmente, a introdução de novas espécies, bem como pesquisas de melhoramento genético desse gênero têm sido demandados, principalmente, visando a aumentar a produtividades desses produtos frente às mudanças climáticas e os novos desafios do mercado florestal.

Dentre as espécies mais plantadas na região de clima tropical do Brasil encontram-se as variedades de *P. caribaea*, principalmente as variedades *hondurensis* e *bahamensis*. Algumas peculiaridades da espécie de *P. caribaea* var. *hondurensis* são lenho claro, amarelado, madeira com boa trabalhabilidade e resina com boa qualidade (Ferreira, 2009).

P. caribaea var. *caribaea* apresenta uma estrutura grosseira com fibras verticais, uma cor marrom avermelhada ou marrom amarelada, com densidade básica de 0,47 g/cm³ aos 10 anos e 0,58 g/cm³, aos 15 anos, considerada como moderadamente pesada a pesada e é apropriada para produção de pasta sulfúrica utilizada na fabricação de papéis reforçados (Silva *et al.*, 2012).

Já *P. caribaea* var. *bahamensis* apresenta madeira de densidade entre 0,35 a 0,50 g/cm³, utilizada para laminação, produção de polpa celulósica e apresentando uma boa produção de resina sendo uma espécie promissora na produção resinífera de elevado potencial para regiões tropicais (Ferreira, 2009).

São diversos os produtos de origem florestal madeireiros que vão desde produção e beneficiamento de toras para serraria e movelaria, produção madeireira para fins energéticos e base florestal que consiste em painéis, polpas para papel e celulose (Schmidt, 2015). Já os produtos florestais não madeireiros consistem em todo material biológico oriundo de fontes vegetais não lenhosos, do qual a resina está inserida (de Araújo *et al.*, 2017).

A resinagem é um dos responsáveis pela geração de centenas de empregos diretos, favorecendo uma ligação do homem ao campo e de modo indireto gerando

empregos quando se refere a produção de goma-resina, por sua vasta aplicação na indústria química (Cordeiro e Silva, 2009). A goma é utilizada para a fabricação de vernizes, plásticos, tintas, lubrificantes, adesivos, asfalto, inseticidas, borracha, germicidas, cosméticos, gomas de mascar, e diversos produtos farmacêuticos e na indústria de papel (Neis *et al.*, 2019).

As espécies de origem florestal apresentam uma elevada importância para a economia, devido à vasta quantidade de produtos que podem ser obtidos. Os plantios florestais como *Eucalyptus* e *Pinus* representam a maior parte das florestas plantadas do Brasil (Stuart-Guimarães, Lacorte e Brasileiro, 2003). A fim de melhorar a qualidade das espécies plantadas programas de melhoramento genético têm sido cada vez mais abordadas para que haja uma obtenção de genótipos com maiores produções e melhores características desejadas (Stuart-Guimarães, Lacorte e Brasileiro, 2003).

A partir da aplicação das técnicas de melhoramento genético, são obtidas as estimativas de parâmetros genéticos, que possibilitarão ganhos genéticos para os caracteres que estão sendo mensurados, com base nessas informações será possível definir métodos de seleção adequados para a população em estudo. Quando há populações nos programas de melhoramento genético, há um agrupamento dos parâmetros de interesse, os genéticos e não genéticos, deste modo, a genética quantitativa explica quase todos os fenômenos que envolvem a genética nos trabalhos de melhoramento (Moreira, 2017).

Em um programa de melhoramento florestal os parâmetros genéticos são obtidos a partir de valores que permitem que haja uma interferência na estrutura genética da população estudada, e os que mais interessam para os melhoristas são as variâncias genéticas; o coeficiente de herdabilidade; e as correlações genéticas (Santos, 2014).

Características como tronco retilíneo, menor número de bifurcações, menor quantidade de galhos grossos, maior incremento volumétrico são caracteres buscados para obter indivíduos com melhor qualidade da madeira para desdobro (Santos *et al.*, 2018). A produtividade e qualidade da madeira contribuem para que o valor agregado do produto florestal seja elevado, portanto, nos programas de melhoramento genético é interessante que se considerem os caracteres relacionados a estes objetivos (Escobar-Sandoval, 2018).

Após estimar os parâmetros genéticos, para se ter uma boa produção comercial de mudas e um bom estabelecimento de plantios produtivos, é necessário o desenvolvimento de técnicas adequadas de silvicultura e melhoramento genético, buscando a identificação dos genótipos superiores, favorecendo a exploração do material genético disponível. Com isso, há um auxílio ganho genético sobre os caracteres de interesse, de modo que materiais com maior potencial nos parâmetros genéticos sejam escolhidos primordialmente (Meneghetti, 2020).

Considerando a importância dos parâmetros genéticos a serem avaliados em uma população, é necessário o desenvolvimento de técnicas adequadas para que os genótipos superiores sejam identificados, e que haja a melhor exploração de tal material genético afim de acentuar os ganhos genéticos sobre as características desejadas (Meneghetti, 2020).

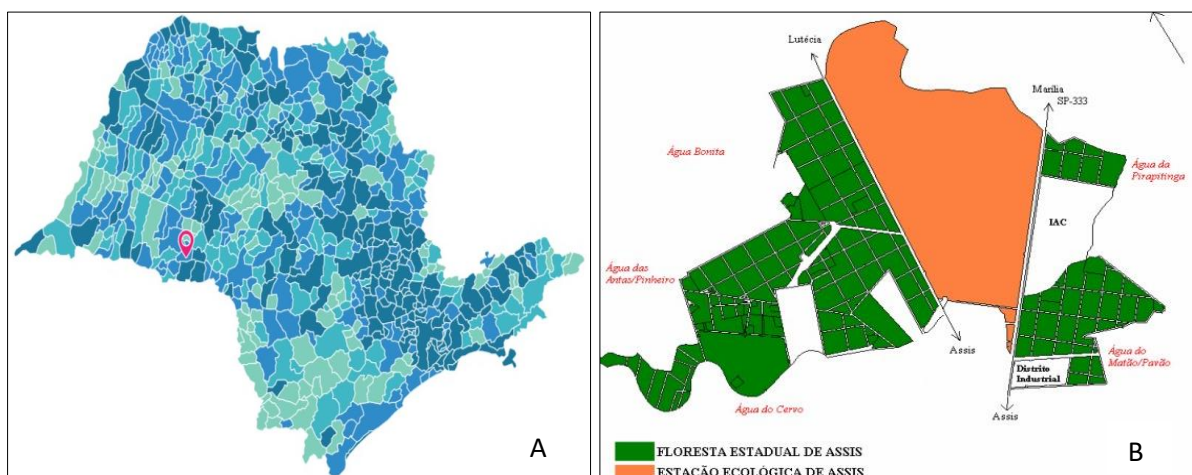
Neste contexto, estudamos um teste de progênie de *Pinus caribaea* var. *bahamensis* aos 34 anos com os objetivos, estimar a variabilidade genética de um teste de progênie de *Pinus caribaea* var. *bahamensis* para formação de uma população de melhoramento com base em caracteres relacionados a produção e qualidade de madeira e resina.

1.2 MATERIAL E MÉTODOS

1.2.1 Material

O teste de progênies de *P. caribaea* var. *bahamensis* foi instalado em março de 1988, na Estação Ecológica do município de Assis (Figura 1 A e B), com sementes de polinização aberta, oriundas do programa de melhoramento genético do Instituto Florestal do Estado de São Paulo. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos completos ao acaso, com 72 progênies, uma planta por parcela e 28 repetições, totalizando 2.016 árvores no experimento. O espaçamento foi de 6 x 6 metros, sendo a idade das árvores de 34 anos.

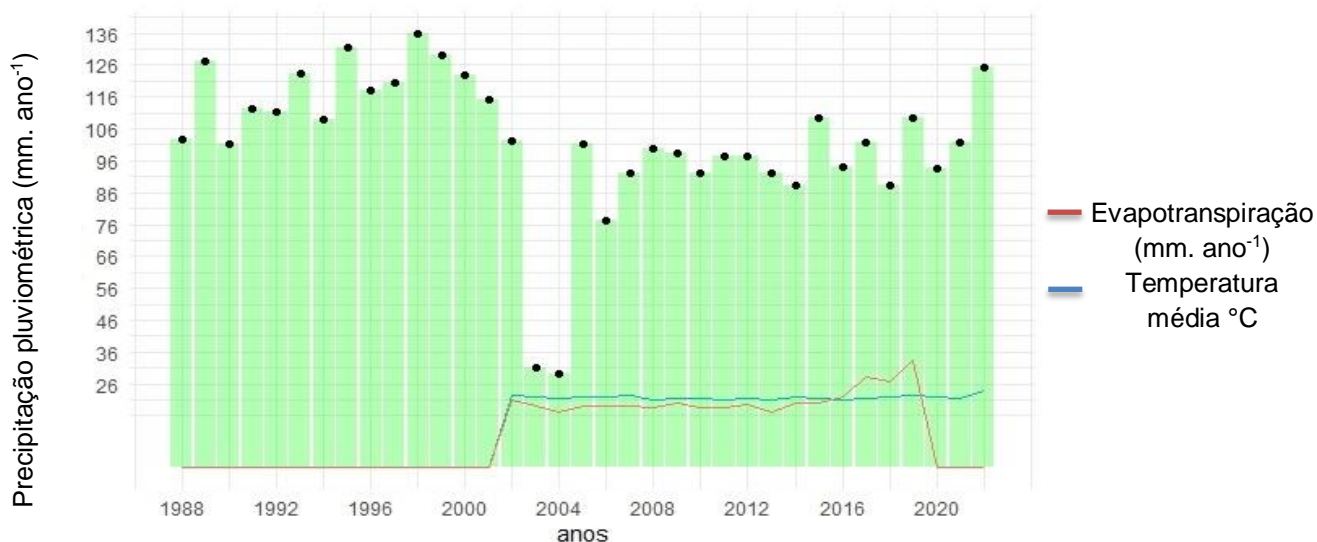
Figura 1 – Localização do município de Assis, SP (A); Mapa da Estação Ecológica de Assis, SP (B)



Fonte: (A) IBGE, 2022; (B) IPA, 2007.

O município de Assis apresenta temperatura média anual entorno de 21°C, índice pluviométrico anual de aproximadamente 1.400 mm, (140 cm³) com chuvas predominantes entre os meses de outubro a março (Figura 2) (Dias, 2022). O solo da Estação Ecológica onde se encontra instalado o experimento é representado por Latossolo vermelho-amarelo (LE1); Podzólico vermelho-amarelo eutrófico, (PV2) e Areia quartzosa álica (AQa) (Secretaria de Infraestrutura e Meio ambiente, 2021).

Figura 2 – Gráfico climatológico de precipitação, temperatura média e evapotranspiração do município de Assis, SP, do ano de 1988 a 2022



Fonte: o autor.

A vegetação da Estação Ecológica de Assis é caracterizada como cerrado *lato sensu*, tendo uma predominância de uma vegetação arbórea denominada cerradão, e está inserindo no bioma da floresta estacional (Neto *et al.*, 2018).

1.2.2 Métodos

1.2.2.1 Análise de solo

As análises de solo do teste de progênie de *P. caribaea* var. *bahamensis* foram realizadas de acordo com a Embrapa (1997), onde foram retiradas nove amostras simples em diferentes pontos do plantio a 20 cm de profundidade para compor uma amostra composta. Foram realizadas análises químicas para fins de fertilidade do solo com base nos procedimentos descritos por Raji *et al.*, (2001). Nessa etapa, retiraram-se porções das amostras de solo secas ao ar para análise do pH, carbono orgânico total (MO (g/dm³)); fósforo (P (mg/dm³)); alumínio (Al (mmol_d/dm³)); H⁺ Al (todos em mmol_d/dm³); os cátions básicos, incluindo potássio (K (mmol_d/dm³)), cálcio (Ca (mmol_d/dm³)) e magnésio (Mg (mmol_d/dm³)); soma das bases Ca, Mg e K (SB (mg/dm³)); capacidade de troca de cátions (CTC (mmol_d/dm³)); saturação por bases (V%); saturação de alumínio (mmol_d/dm³); e os micronutrientes: boro (B (mg/dm³)),

cobre (Cu (mg/dm³)), ferro (Fe (mg/dm³)), manganês (Mn (mg/dm³)) e zinco (Zn (mg/dm³)).

1.2.2.2 Avaliação dos caracteres de crescimento e silviculturais

Os caracteres silviculturais (ângulo do galho, espessura do galho, entrenó, conicidade e forma de fuste) e crescimento (altura total e circunferência à altura do peito) foram avaliados em todas as árvores remanescentes, em novembro de 2020. Para estimativa do volume (m³. árvore⁻¹) e diâmetro à altura do peito (DAP – cm) foram considerados: a altura total, a circunferência à altura do peito (CAP – cm) e o fator de forma, conforme a expressão abaixo:

$$DAP = \frac{CAP}{\pi}$$

A mensuração do volume (m³.arv⁻¹) foi realizado pela expressão abaixo:

$$V = \pi x (DAP^2 \div 40,000)x (altura x fator de forma)$$

Em que: o fator de forma utilizado foi de 0,47 conforme Sebben *et al.*, (1994).

A conicidade (5-10), a largura entrenós (1-10), o ângulo (2-10) e a espessura dos galhos (1-10), a forma do fuste (1-20) e a presença e ausência de bifurcação foram avaliados a partir de notas que variaram para cada caráter (entre parênteses), do qual são propostas pelo Projeto Cooperativo de Melhoramento de Pinus – PCMP¹ Após realizadas as avaliações aplicou-se a somatória de notas de todos os caracteres que também influenciam na qualidade da madeira para desdobro.

¹ Notas fornecida pela pesquisadora integrante do projeto, Dr^a Ananda Virginia de Aguiar, em setembro de 2020.

1.2.2.3 Velocidade da onda acústica

Equipamentos acústicos com base em ultrassom ajudam na determinação de forma rápida e simples o módulo de elasticidade (MOE), empregando-se para tanto as informações da propagação da velocidade da onda acústica e a densidade da madeira, que pode ser usada na seleção de toras ou árvores (Lindström, Harris e Nakada, 2002). Para mensurar a velocidade da onda acústica foi utilizado um equipamento de ultrassom portátil (Tree Sonic) com duas sondas, a emissora do sinal colocada na base do tronco da árvore e a receptora colocada a 1 m de distância da sonda emissora (Figura 3).

Figura 3 – Equipamento de Ultrassom portátil (Tree sonic) instalado na árvore



Os três valores emitidos pelo equipamento foram anotados. A média desses valores foi usada, posteriormente, para estimar a velocidade de propagação do som com auxílio da fórmula:

$$V = \frac{1000 \times 1000}{v + 1,4}$$

Em que: V = velocidade (m.s^{-1}); v = velocidade média (Σ das três velocidades); 1,4 = fator de correção. Dos valores mencionados (1000), um é da fórmula e o outro é devido a um metro de distância que mantido uma sonda a outra que, posteriormente, foi transformado em milímetros.

Foi realizado a leitura da velocidade de todas as árvores do plantio e, posteriormente, o cálculo do módulo de elasticidade dinâmico (MOEd) dos indivíduos, empregando-se os valores de densidade aparente mensuradas a partir de amostras de madeira das árvores (baguetas) do teste genético.

1.2.2.4 Retirada das baguetas

Dos vinte e oito blocos, foram selecionados dez blocos que apresentavam maiores índices de sobrevivência, para a retirada das baguetas, totalizando 457 árvores amostradas. Foram retiradas duas baguetas de cada árvore (Figura 4A) na altura do DAP com auxílio de um trado (Figura 4B). As baguetas foram enviadas as amostras para laboratório para estimar a densidade aparente das amostras.

Esse método de retirada das baguetas consiste na determinação não destrutiva do indivíduo, que proporciona a retirada apenas de uma pequena parte de madeira sem que haja o comprometimento total da árvore (Abjaur *et al.*, 2017). Das 457 árvores que foram avaliadas, 25 árvores com maiores os diâmetros (DAP) foram selecionadas para mensuração dos índices de qualidade para papel e celulose.

Figura 4 – Bagueta recém retirada da árvore (A); Posicionamento do trado no indivíduo (B)



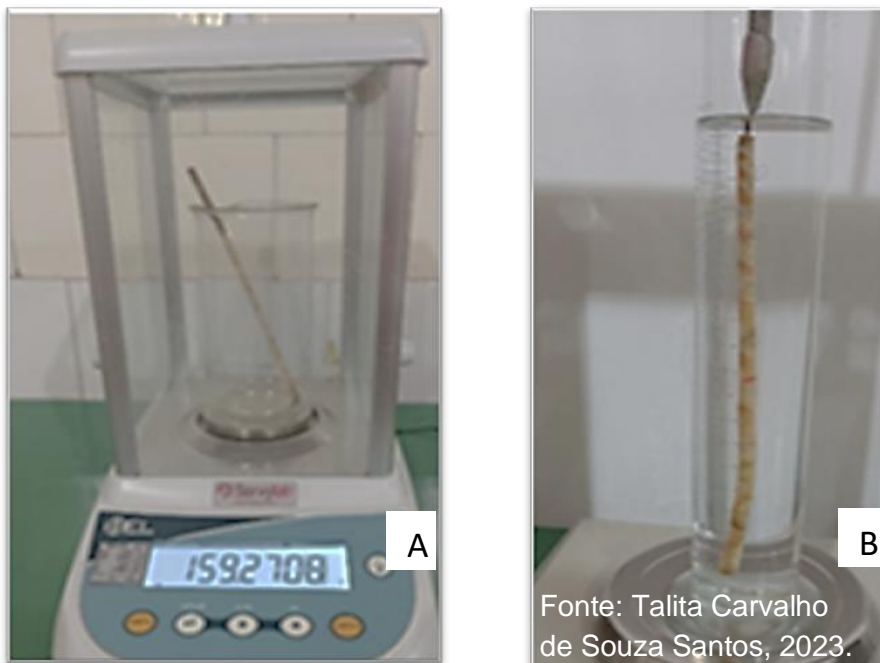
1.2.2.5 Densidade aparente

A densidade aparente (ρ_{12}) foi determinada a 12%² de teor de umidade das baguetas pela relação entre massa e volume. A massa foi avaliada diretamente pela pesagem das amostras (baguetas). O volume estimado a partir do volume de água do recipiente deslocado pela imersão das amostras de madeira (Figura 5) (Glass e Zelinka, 2010). Foi empregada a seguinte fórmula:

$$\rho_{12} = \frac{M}{V}$$

Em que: ρ_{12} = densidade aparente ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$); M = massa da amostra a 12% de umidade (kg); V = volume da amostra a 12% de umidade (m^3).

Figura 5 – Pesagem da bagueta (A) Deslocamento da água após imersão da bagueta(B)



² O valor está estipulado conforme a NBR 7190/1997, que especifica para as propriedades de rigidez e resistência da madeira, o valor da umidade de equilíbrio da madeira deve-se encontrar a 12%.

1.2.2.6 Cálculo do Módulo de elasticidade dinâmico – MOEd

O módulo de elasticidade dinâmico foi calculado a partir dos valores de densidade e a velocidade de propagação do som, com o emprego da seguinte expressão:

$$MOEd = (V^2) \times \rho_{12} \times (10^{-6})$$

Obs: ABNT 2022 classificação para *Pinus* MOE (módulo de elasticidade a flexão)

MOE-> 11.000 MPa classe 3; MOE-> 8.000 MPa classe 2 e MOE-> 5000 MPa classe 1.

Em que: MOEd = Módulo de Elasticidade dinâmico (MPa); V = velocidade da onda acústica (m.s⁻¹); ρ_{12} = densidade (kg.m⁻³).

1.2.2.7 Índice de seleção

O índice de seleção foi dado pela atribuição de pesos diferentes para os caracteres avaliados (forma de fuste, módulo de elasticidade dinâmico, volume, DAP e características silviculturais: ângulo do galho, espessura do galho, entrenó, conicidade). Como a finalidade do melhoramento é madeira para desdobro, os caracteres relacionados a forma do fuste, os caracteres: módulo de elasticidade e volume receberam pesos semelhantes, conforme a expressão abaixo:

$$IS = (0,3 \times \text{forma de fuste}) + (0,2 \times MOEd) + (0,2 \times \text{volume}) + (0,2 \times DAP) \\ + (0,1 \times \text{características silviculturais})$$

Os caracteres foram distribuídos em caracteres de crescimento (DAP, altura e volume), caracteres silviculturais (módulo de elasticidade dinâmico, velocidade, ângulo do galho, espessura do galho, entrenó, conicidade, forma de fuste, soma dos caracteres silviculturais e índice de seleção) e caracteres resiníferos (produção de resina da primeira, segunda e terceira coleta, produção de resina total e produção de resina por estria).

1.2.2.8 Determinação das dimensões das traqueídes e índices de qualidade para papel e celulose

Das baguetas das 25 árvores empregadas para determinação da densidade (ρ_{12}) preparou-se o lenho dissociado segundo o método de Franklin modificado (Berlyn e Miksche, 1976). Esse método consiste em cortar pedaços das baguetas, próximas a casca, em palitos finos, colocá-los em vidros tipo “wheaton”, com uma solução de peróxido de hidrogênio 100 volumes e ácido acético glacial (1:1). Posteriormente, os vidros foram vedados com fita adesiva ficaram em estufa por 48 horas a 60°C. Após as 48 horas, retirou-se as amostras dos vidros e lavou o material com água corrente e realizou a coração com safranina 1% alcoólica.

Foram avaliadas as características anatômicas sugeridas pelo IAWA Committee (2004), comprimento, diâmetro e espessura da parede das *traqueídes*, sendo que para cada característica foi adotado N=25 (Figura 6). Todas as mensurações foram realizadas em microscópio equipado para captura de imagens e sistema semi-automático de medições (Marca Olympus modelo CX 31 com software de análise de imagens Image – Pro Express versão 6.3).

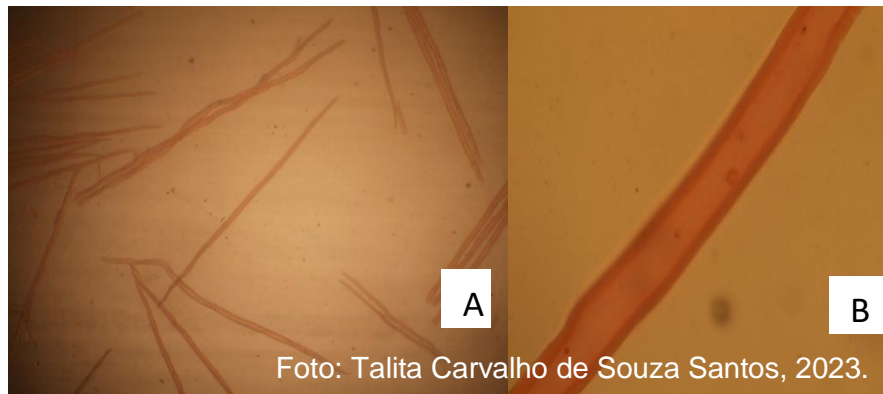
Para o cálculo dos índices de qualidade para papel e celulose, foram determinadas as características anatômicas e determinado os seguintes índices: coeficiente de flexibilidade (CF), fração parede (FP), índice de Runkel (IR) e índice de enfeltramento (IE).

$$CF = \left(\frac{DL}{L}\right) \times 100; FP = \left(\frac{2 \times E}{L}\right) \times 100; IR = \left(\frac{2 \times E}{DL}\right); IE = \frac{C}{D}$$

Em que: CF= Coeficiente de flexibilidade (%); DL= Diâmetro do lume (μm); L= Largura da *traqueíde* (μm); FP= Fração parede (%); E= Espessura da parede celular (μm); IR= Índice de Runkel; IE= Índice de enfeltramento; C= Comprimento da *traqueíde* (mm); D= Diâmetro da *traqueíde* (μm).

Obs: D=L (largura da traqueíde)

Figura 6 – Comprimento das traqueídes (A). Diâmetro do lúmen das traqueídes(B)



1.2.2.9 *Produção de resina*

A produção de resina foi avaliada pelo método tradicional, com painel com largura de 18 cm, e, aproximadamente, 19 estrias por ano, com estrias variando de 2 a 3 centímetros. A resina foi coletada de janeiro de 2021 a janeiro de 2022. Para coleta da resina foi utilizado um saco plástico, de 35 x 25 cm com aproximadamente 35 gramas de capacidade, fixado com um arame ao redor do tronco das árvores. A coleta da resina acumulada nos sacos plásticos foi feita manualmente. Houve a aplicação da pasta de H_2SO_4 para estimular a abertura dos canais resiníferos para produção de resina.

A produção de resina de cada árvore foi determinada três vezes ao ano, a cada troca de saquinhos. A pesagem de resina nas três coletas foi realizada da seguinte maneira: retirou-se o peso inicial do saquinho, posteriormente, anotou-se o peso do saquinho e esvaziou o saquinho para subtrair da próxima pesagem da resina. Para pesagem das resinas foi utilizado uma balança digital de mão (STC-01) da marca Tomate, com precisão de 20 gramas, e com capacidade para 40 Kg. Assim, foram mensurados a produção de resina da primeira, segunda e terceira coletas (4 meses cada em kg), a resina por estria (g) e a resina total (após os 12 meses, kg).

Foi determinada também a qualidade da resina das árvores de maior produção. Para isso, foi mensurada a porcentagem de breu e terebentina. Por cromatografia gasosa, foram determinados a porcentagem de compostos químicos da fração volátil, a terebentina, e não volátil, o breu.

1.2.2.10 Análise de deviance e estimativa de parâmetros genéticos

Todos os dados dos caracteres avaliados foram submetidos à análise de normalidade e as análises descritivas. Em seguida, foi realizada a análise de deviance, assim como as estimativas de componentes de variância e parâmetros genéticos para os caracteres de crescimento e forma do fuste, produção de resina, características da madeira (tree sonic) e o Índice de seleção. Todos dados foram avaliados pelo método REML/BLUP (máxima verossimilhança restrita/melhor predição linear não viciada), empregando-se o software genético-estatístico Selegen-REML/BLUP (Resende (2007a). Um modelo linear misto (aditivo univariado) – modelo 95 foi adotado pelo fato de o teste conter progênes de meios-irmãos (polinização aberta), delineamento experimental em blocos completo ao acaso, uma planta por parcela e um só local (Resende, 2002 e 2007b):

$$y = Xr + Za + e$$

Em que: y = é o vetor de dados; r = vetor dos efeitos de repetição (assumidos como fixos) somados à média geral; a = vetor dos efeitos genéticos aditivos individuais (assumidos como aleatórios); e = vetor de erros ou resíduos (aleatórios); X e Z = representam as matrizes de incidência para os referidos efeitos.

As distribuições e estruturas e média e variância são:

$$a \sim N(0, G); e \sim N(0, R); E(y) = Xb; \text{Var}(y) = V = ZGZ' + R$$

As equações do modelo misto são:

$$\begin{bmatrix} X'X & X'Z \\ Z'X & Z'Z + A^{-1} \frac{\sigma_e^2}{\sigma_g^2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \hat{r} \\ \hat{g} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X'y \\ Z'y \end{bmatrix},$$

Estimador ML

Conforme o modelo apresentado, e o algoritmo EM, para a obtenção dos componentes de variância σ_e^2 e σ_g^2 (Schaeffer, 1976; Resende, 2007) são:

$$\sigma_e^2 = [y'y - \hat{b}' X'y - \hat{a}Z'y]/N;$$

$$\sigma_a^2 = \left[\hat{a}' A^{-1} \hat{g} + \sigma_e^2 \text{tr} \left[Z'Z + A^{-1} \left(\frac{\sigma_e^2}{\sigma_a^2} \right)^{-1} \right] \right] / N_a;$$

N_a = número de elementos aleatórios (indivíduos)

tr= operador matricial

N = número total de dados;

A = matriz de parentesco genético aditivo.

A partir de um valor de σ_e^2 / σ_a^2 , estima-se \hat{r} e \hat{g} pela equação do modelo misto, onde são utilizados para que haja novas estimativas de σ_e^2 e σ_g^2 . Este procedimento é repetido para que haja a convergência para a estabilidade dos valores. A velocidade de convergência é muito maior quanto mais assertiva for a informação que foi utilizada inicialmente (Resende, 2002).

Para o algoritmo EM, há uma condução dos estimadores σ_e^2 e σ_g^2 (Harville, 1977; Meyer, 1989; Resende 2007):

$$\sigma_e^2 = [y'y - \hat{b}' X'y - \hat{a}Z'y] / [N - r(X)]$$

$$\sigma_a^2 = [\hat{a}' A^{-1} \hat{a} + \sigma_e^2 \text{tr} C^{22}] / N_a \text{ em que:}$$

$r(X)$: posto ou número de colunas linearmente independentes de X .

$$C^{22} \text{ é da forma } \begin{bmatrix} C^{11} & C^{12} \\ C^{21} & C^{22} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X'X & X'Z \\ Z'X & Z'Z + A^{-1} \frac{\sigma_e^2}{\sigma_g^2} \end{bmatrix}^{-1}$$

Os componentes de variância interagem nas equações de modelo misto até a convergência, conforme descrito para o método ML.

A herdabilidade é dada como:

a) Herdabilidade individual no sentido restrito, ou seja, dos efeitos aditivos:

$$\hat{h}^2 = \frac{\hat{\sigma}_a^2}{\hat{\sigma}_a^2 + \hat{\sigma}_e^2};$$

b) Herdabilidade média de progênies

$$c) h_m^2 = \frac{[1 + (n-1)\rho_a]h_a^2}{1 + (n-1)(\rho_a h_a^2)};$$

ρ_a : é a correlação genética aditiva intraclasse entre indivíduos, n é o número de plantas por parcela, h_a^2 é a herdabilidade individual no sentido restrito

Os coeficientes de variação genética são:

d) Coeficiente de variação genética aditiva individual

$$CV_{gi}(\%) = \frac{\sqrt{\hat{\sigma}_a^2}}{\hat{m}} \cdot 100; \text{ em que } \hat{m} \text{ é a média geral do caráter;}$$

e) Coeficiente de variação genotípica entre progênie:

$$CV_{gp}(\%) = \frac{\sqrt{0,25 \cdot \hat{\sigma}_a^2}}{\hat{m}} \cdot 100;$$

f) Coeficiente de variação experimental:

$$CV_e(\%) = \frac{\sqrt{(0,75 \cdot \hat{\sigma}_a^2 + \hat{\sigma}_e^2)/n}}{\hat{m}} \cdot 100;$$

g) Coeficiente de variação relativa:

$$CV_r = \frac{CV_{gp}}{CV_e};$$

h) Acurácia:

$$r_{\hat{a}a} = \sqrt{\frac{n}{n + \left(\frac{4 - h_a^2}{h_a^2}\right)}};$$

Em que n é o número de parcelas por planta.

1.2.2.11 Estratégias de seleção

Após realizar as estimativas dos parâmetros genéticos, foram analisados diferentes métodos e intensidades de seleção para definir a melhor estratégia de seleção a ser adotada no teste, visando a conservação e o melhoramento genético. Os métodos de seleção se basearam no volume de madeira (VOL) devido ao fato desse caráter apresentar altos coeficientes de herdabilidade e apresentar boa correlação com DAP e altura, e na produção de resina total (PRT). Para a estimativa do progresso esperado na seleção foram considerados valores aditivos individuais (BLUP's) do caráter volume (VOL) e resina total (PRT), conforme Resende (2002). Para isso, foram aplicados quatro métodos e seis intensidade de seleção (50%, 25%, 15%, 10%, 5% e 2%), totalizando 28 estratégias de seleção para ambos os caracteres. As seleções adotadas foram:

a) Seleção individual:

$$GS = i \cdot \hat{h}_a^2;$$

b) Seleção entre progênie:

$$GS_e = i_e \frac{(1/4) \hat{\sigma}_a^2}{\hat{\sigma}_f^2};$$

c) Seleção dentro de progênie considerando todos os blocos:

$$GS_d = i_d \frac{(3/4) \hat{\sigma}_a^2}{\hat{\sigma}_d^2};$$

d) Seleção entre e dentro de progênie.

$$GS_e = i_e \frac{(1/4) \hat{\sigma}_a^2}{\hat{\sigma}_a^2} + i_d \frac{(3/4) \hat{\sigma}_a^2}{\hat{\sigma}_d^2};$$

e) Ganho genético em porcentagem:

$$GS_{\%} = (\mu_a 100 / \mu_f) \cdot 100;$$

Em que: GS : ganho de seleção; i : intensidade de seleção individual (seleção dos indivíduos de maiores valores genéticos preditos para determinado caráter); i_e : intensidade de seleção entre progênie; i_d : intensidade de seleção dentro de progênie; μ_a : é a média genotípica dos indivíduos selecionados; μ_f : média fenotípica dos indivíduos selecionados.

Como a espécie é monoica, o tamanho efetivo populacional foi estimado com base em Resende (2002):

$$N_e = (4N_f \bar{k}_f) / [\bar{k}_f + 3 + (\sigma_{k_f}^2 / \bar{k}_f)];$$

Em que:

N_e : tamanho efetivo populacional;

N_f : o número de famílias selecionadas;

K_f : número de indivíduos selecionados por família;

\bar{k}_f : número médio de indivíduos selecionado por família;

$\sigma_{k_f}^2$: variância do número de indivíduos selecionados por família.

A diversidade genética (D), foi quantificada após a seleção conforme Wei e Lindgren (1996), citados por Resende (2002):

$$D = N_{ef} / N_{fo}$$

Em que: $0 < D \leq 1$, sendo N_{ef} o número efetivo de progênies selecionadas; e N_{fo} o número original de famílias.

1.3 RESULTADOS

1.3.1 Resultados análise de solo do local do teste

Das 2.016 árvores estabelecidas no teste, apenas 50,94% sobreviveram. Os fatores que podem ter contribuído para esse resultado é a ocorrência de cipós e vegetação invasora e a composição química e física do solo. Apesar das espécies de *Pinus* não serem muito exigentes em fertilidade, alta concentração de alumínio no solo pode ter afetado a sobrevivência e o desenvolvimento das plantas (Tabela 1).

Na análise de solo, os valores dos elementos apresentaram variações de muito baixo a alto. Dentre estes, os valores de pH, saturação por bases (V%), soma de bases (SB) e o macronutriente potássio (K), apresentaram valores muito baixos. Os nutrientes fósforo (P), cálcio (Ca), magnésio (Mg), boro (B) e zinco (Zn) apresentaram valores baixos. Foram verificados valores médios para os seguintes componentes: a matéria orgânica (M.O), o enxofre (S), o cobre (Cu) e o magnésio (Mn). Já a acidez trocável (Al^{3+}) e o ferro (Fe), acidez potencial (H+Al) e a capacidade de troca catiônica do solo (CTC) foram verificados valores muito altos (Tabela 1).

Tabela 1 – Análise química do solo no experimento de *Pinus. caribaea* var. *bahamensis* na Estação Ecológica de Assis, no município de Assis, SP

pH	pH	M.O.	P _{resina}	Al ³⁺	H+Al	Na	K	Ca	Mg	SB	CTC	V%	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
CaCl ₂	H ₂ O	g/dm ³	mg/dm ³	mmol _c /dm ³							mg/dm ³							
3,65	-	16	6	19	100	-	0,3	2	3	5	105	5	6	0,32	0,8	227	3,9	0,2
3,7	-	11	5	15	78	-	0,2	1	1	1	80	2	4	0,25	0,5	105	1,8	0,1
3,7	-	17	5	18	93	-	0,3	1	1	1	94	1	3	0,25	0,4	101	1,5	0,1
3,8	-	16	5	15	78	-	0,3	1	1	3	81	3	5	0,21	0,5	126	2,9	0,2
3,5	-	18	5	23	118	-	0,3	1	1	2	120	1	5	0,26	0,7	173	1,5	0,2
3,78	-	12	5	17	74	-	0,1	1	1	1	76	2	5	0,20	0,6	149	1,6	0,1
3,69	-	21	5	17	72	-	0,3	2	1	3	75	4	6	0,25	0,6	207	0,1	0,2
3,85	-	23	7	14	84	-	0,3	5	3	9	93	10	13	0,22	0,3	170	6,2	0,3
3,85	-	16	5	16	65	-	0,3	1	1	1	67	2	12	0,18	0,3	85	3,1	0,1

M.O: Matéria orgânica; SB: soma de bases, CTC: capacidade de troca de cátions do solo. V%: saturação de bases.

Fonte: o autor

1.3.2 Estimativas de parâmetros genéticos para madeira e resina

Os maiores valores de média obtidos dos caracteres de crescimento foram para DAP e a altura (ALT). Dos caracteres silviculturais os maiores valores foram para a velocidade, o módulo de elasticidade dinâmico (MOEd) e o índice de seleção (IS). Já dos caracteres resiníferos, o maior valor de média foi da reina total (RT). Os maiores coeficientes de variação foram observados para forma de fuste (FF) e espessura do galho (EG) (Tabela 2).

Tabela 2 – Análise descritiva para os caracteres madeireiros e resiníferos de *Pinus caribaea* var. *bahamensis* aos 34 anos, no município de Assis, SP

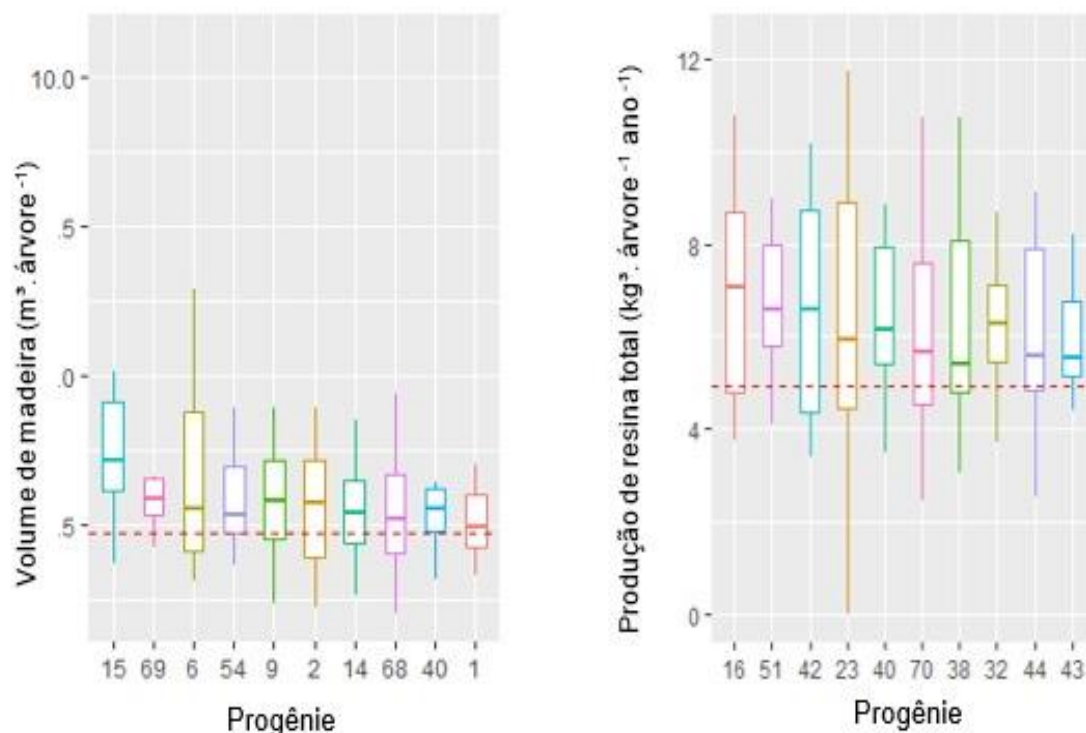
Caracteres	Média	Desvio padrão	Coefficiente de variação (%)	Máximos	Mínimos
DAP (cm)	47,95	8,73	18,21	98	22,5
ALT (m)	26,42	2,52	9,52	33,3	11
VOL (m ³ arv ⁻¹)	2,34	0,95	40,53	10,56	0,37
VEL (m.s ⁻¹)	4.780,38	1.062,96	22,22	9.428	2.173,6
MOEd (MPa)	18.521,18	8.741,86	47,20	68.621,4	3.335,5
AG	6,16	3,02	48,95	10	1
EG	5,03	2,88	57,26	10	1
EM	3,08	1,52	49,08	10	1
CN	3,15	1,80	56,97	10	1
FF	4,86	2,91	59,94	10	1
SC	17,43	7,43	42,62	35	4
IS	3.641,71	1.813,04	49,65	13.736,5	2,9
PRC1 (kg)	1,84	0,97	52,98	6,77	0,08
PRC2 (kg)	1,71	0,91	53,04	5,02	0,01
PRC3 (kg)	1,83	0,81	44,58	5,62	0,02
PRT(kg.arv ⁻¹ ano ⁻¹)	5,07	2,18	42,96	12,36	0,17
PRE(g. arv ⁻¹ cm ²)	0,67	0,29	43,13	1,69	0,02

DAP: diâmetro altura do peito; ALT: altura; VOL: volume; VEL: velocidade MOEd; módulo de elasticidade dinâmico; AG: ângulo do galho; EG: espessura do galho; EN: entrenó; CN: conicidade; FF: forma de fuste; SC: soma dos caracteres silviculturais; IS: índice de seleção; PRC1: produção de resina primeira coleta; PRC2: produção de resina segunda coleta; PRC3: produção de resina terceira coleta; PRT: produção de resina total; PRE: produção de resina por estria.

Fonte: o autor.

As dez progênies que apresentaram melhor valor em volume de madeira e resina total são apresentadas nos gráficos abaixo (Figura 7).

Figura 7 – Dez melhores progênies em volume de madeira e a produção de resina total de *Pinus caribaea* var. *bahamensis* aos 34 anos, no município de Assis, SP



Fonte: o autor.

1.3.3 Qualidade da resina

A análise química da goma resina de *P. caribaea* var. *bahamensis* apresentou variações no rendimento da terebentina e do breu de 5% a 25,4%, 74,6% a 95% respectivamente (Tabela 3). Já na cromatografia da terebentina a variação de alfa pineno, canfeno, beta pineno e total bicíclico foi de 29,80% a 84,92%; 0,68% a 2,29%; 2,43% a 44,42%; 34,12% a 116,56%, respectivamente (Tabela 3).

Tabela 3 – Análise química da produção de resina de *Pinus caribaea* var. *bahamensis* aos 34 anos, no município de Assis, SP

Tipo de análise	Item analisado	Variação (%)
Rendimento (%)	Terebentina	5 a 25,4
	Breu	74,6 a 95
Cromatografia Terebentina (%)	Alfa pineno	29,80 a 84,92
	Canfeno	0,68 a 2,29
	Beta pineno	2,43 a 44,42
	Total bicíclico (soma de alfa e beta pineno)	34,12 a 116,56
	Soma de outros terpenos (limoneno, betafelandreno, terpineol etc.)	7,89 a 62,11
	Soma dos sesquiterpenicos (picos finais/ pesados)	0,00 a 11,57
Cromatografia (% área)	Sandaracopimarico	1,56 a 6,20
	Comunico	0,80 a 8,29
	Levopimarica + palustrico + isopimérico	41,93 a 192,42
	Dehidroabietico	2,59 a 16,25
	Abietico	4,83 a 11,2
	Neoabietico	4,84 a 21,15

Fonte: o autor.

1.3.4 Análise de deviance e parâmetros genéticos

Houve diferença significativas entre progênies para os caracteres de crescimento, silviculturais e resiníferos ao nível de $p=0,01$ pelo teste de Qui-quadrado (Tabela 4).

As estimativas de acurácia (r_{aa}) variaram de 0,48, a 0,91 dentre todos os caracteres avaliados, apresentando uma variação na classe de precisão de alta a moderada (Tabela 4). Dentre os caracteres avaliados, o coeficiente de variação experimental (CV_e) variou de 8,70% a 57,93% (Tabela 4). O coeficiente de variação relativa (CV_r) apresentou maiores índices para o DAP, VOL, PRC1, PRT e PRE, confirmando a precisão experimental. Os valores para o coeficiente de variação

genotípica entre progênies (CV_{gp}) foram mais expressivos para VOL, FF, PRC1, PRC2, PRT e PRE (Tabela 4). Os coeficientes de variação genética individual (CV_{gi}) para todos os caracteres avaliados variaram de 2,91% a 30,79% (Tabela 4).

As herdabilidades individuais (\hat{h}_i^2) para variaram de 0,11 a 0,51, de 0,08 a 0,17 e de 0,14 a 0,41 para os caracteres de crescimento, silviculturais e resiníferos respectivamente (Tabela 4). Já as herdabilidades média de progênies (\hat{h}_m^2) foram mais expressivas que as individuais variaram de 0,44 a 0,80, 0,35 a 0,56 e 0,51 a 0,76 para os caracteres de crescimento, silviculturais e resiníferos, respectivamente (Tabela 4).

Tabela 4 – Análise de deviance, herdabilidade individual e média, coeficientes de variações e acurácia dos caracteres madeireiros e resiníferos de *Pinus caribaea* var. *bahamensis* aos 34 anos, no município de Assis, SP

Caracteres	LRT	$r_{\hat{a}a}$	CV_e %	CV_r	CV_{gp} %	CV_{gi} %	\hat{h}_i^2	\hat{h}_m^2
DAP (cm)	55,28***	0,91	16,81	0,38	6,44	12,89	0,51	0,80
ALT (m)	3,62**	0,74	8,70	0,17	1,46	2,91	0,11	0,44
VOL (m ³ arv ⁻¹)	51,83***	0,91	37,99	0,37	14,16	28,32	0,49	0,80
VEL (m.s ⁻¹)	4,64**	0,74	17,48	0,18	3,06	6,12	0,12	0,46
MOEd (MPa)	2,62 ns	0,48	37,42	0,15	5,62	11,24	0,09	0,39
AG	6,34**	0,74	42,17	0,19	8,02	16,04	0,14	0,50
EG	5,08**	0,74	49,09	0,18	8,83	17,67	0,13	0,48
EN	1,82 ns	0,48	44,28	0,14	6,18	12,37	0,08	0,35
CN	7,1***	0,74	45,93	0,20	9,08	18,16	0,15	0,52
FF	8,17***	0,74	57,93	0,21	12,21	24,42	0,17	0,56
SC	8,97***	0,74	35,49	0,21	7,58	15,17	0,17	0,56
IS	2,3 ns	0,48	41,46	0,14	5,90	11,81	0,08	0,36
PRC1 kg	24,11***	0,85	50,95	0,30	15,40	30,79	0,33	0,72
PRC2 kg	11,64***	0,74	51,86	0,24	12,53	25,07	0,22	0,62
PRC3 kg	5,07 **	0,74	43,70	0,19	8,36	16,71	0,14	0,51
PRT(kg.arv ⁻¹ ano ⁻¹)	36,02***	0,85	40,27	0,34	13,49	26,99	0,4	0,76
PRE(g. arv ⁻¹ cm ²)	37,19***	0,85	40,46	0,34	13,70	27,41	0,41	0,76

DAP: diâmetro altura do peito; ALT: altura; VOL: volume; VEL: velocidade MOEd; módulo de elasticidade dinâmico; AG: ângulo do galho; EG: espessura do galho; EN: entrenó; CN: conicidade; FF: forma de fuste; SC: Soma dos caracteres silviculturais; IS: índice de seleção, PRC1: produção de resina primeira coleta; PRC2: produção de resina segunda coleta; PRC3: produção de resina terceira coleta; PRT: produção de resina total; PRE: produção de resina por estria. LRT: Teste da Razão e Verossimilhança; *** Nível de significância $p=0,01\%$; ** Nível de significância $p<0,5\%$; ns: não significativo a nível $p=0,5\%$; $r_{\hat{a}a}$: acurácia; CV_e : coeficiente de variação genética experimental; CV_r : coeficiente de variação relativa; CV_{gp} : Coeficiente de variação genotípica entre progênie; CV_{gi} : coeficiente de variação genética individual; \hat{h}_i^2 : herdabilidade individual; \hat{h}_m^2 : herdabilidade média de progênie

Fonte: o autor.

1.3.5 *Progresso genético na seleção de madeira e resina*

De um modo geral, o progresso genético na seleção para volume de madeira com a seleção variou de 1,81% a 63,50% para os quatro métodos de seleção (individual, entre progênie, dentro de progênie e entre e dentro de progênie) e as seis intensidades de seleção aplicadas (2%, 5%,10%, 15%, 25% e 50%). Foram selecionados de 11 a 955 indivíduos do total de 1.027 indivíduos. Para todas as estratégias de seleção utilizada a diversidade de madeira variou de 0,01 a 1,00 (Tabela 5).

Nas estratégias de seleção propostas para o volume de madeira, os métodos que apresentaram os maiores progressos genéticos na seleção foi a individual, 63,50% na intensidade 2% e a entre e dentro de progênie com 56,80%, na intensidade de 2%.

A diversidade genética apresentou os melhores índices observados nos métodos de seleção dentro de progênie, que variou de 0,97 a 1,0, e entre e dentro de progênie, 0,76, nas intensidades de 5% a 50%, respectivamente (Tabela 5).

O progresso genético na seleção para produção de resina total variou de 1,28% a 50,87% nos quatro métodos de seleção (individual, entre progênie, dentro de progênie e entre e dentro de progênie) e nas seis intensidades (2%, 5%,10%, 15%, 25% e 50%), selecionando 16 a 944 indivíduos. A diversidade genética variou de 0,01 a 1,00 em todas as estratégias de seleção (Tabela 6). Nas seleções propostas para produção de resina total, o método de seleção que apresentou a maior porcentagem de progresso genético na seleção foi a seleção individual, com ganho de 50,87% na intensidade 2%. O segundo método de seleção que apresentou melhor valor no ganho genético foi a seleção entre e dentro de progênie com 47,60%, na intensidade de 2%.

A diversidade genética apresentou os melhores índices na seleção dentro de progênie, variando de 0,97 a 1,00 nas intensidades de 5% a 50%, respectivamente. O segundo melhor método de seleção para a diversidade genética foi a seleção entre e dentro de progênie, obtendo um índice de 0,71, na intensidade de 50% (Tabela 6).

De modo geral, em todos os métodos de seleção para ambos os caracteres (volume de madeira e produção de resina total), a diversidade genética tende a aumentar conforme ocorre a redução do ganho genético.

Tabela 5 – Estimativas do progresso genético de seleção para quatro métodos de seleção em seis intensidades de seleção para volume de madeira de *Pinus caribaea* var. *bahamensis* aos 34 anos, no município de Assis, SP

Seleção individual						
	2%	5%	10%	15%	25%	50%
<i>N</i>_{fo}	72	72	72	72	72	72
<i>N</i>_e	9,68	17,72	26,92	39,36	65,05	104,11
<i>N</i>	21	51	103	154	257	514
<i>PGS</i> (%)	63,50	50,36	40,72	35,08	27,58	16,52
<i>D</i>	0,10	0,19	0,27	0,36	0,51	0,67
Seleção entre progênie						
	2%	5%	10%	15%	25%	50%
<i>N</i>_{fo}	72	72	72	72	72	72
<i>N</i>_e	-	12,28	22,09	34,29	56,75	105,06
<i>N</i>	11	64	112	171	288	524
<i>PGS</i> (%)	43,89	32,34	26,17	21,72	16,80	11,23
<i>D</i>	0,01	0,05	0,09	0,15	0,24	0,46
Seleção dentro de progênie						
	2%	5%	10%	15%	25%	50%
<i>N</i>_{fo}	72	72	72	72	72	72
<i>N</i>_e	-	72,00	144,00	164,57	200,97	223,64
<i>N</i>	-	72	216	288	502	955
<i>PGS</i> (%)	-	30,15	20,48	17,57	10,93	1,81
<i>D</i>	-	1,00	1,00	1,00	1,00	0,97
Seleção entre e dentro						
	2%	5%	10%	15%	25%	50%
<i>N</i>_{fo}	72	72	72	72	72	72
<i>N</i>_e	12,55	26,13	54,73	77,71	103,32	152,47
<i>N</i>	21	51	103	154	257	514
<i>PGS</i> (%)	56,80	46,95	37,73	32,79	25,97	15,03
<i>D</i>	0,12	0,22	0,38	0,51	0,62	0,76

*N*_{fo}: nº original de famílias; *N*_e: tamanho efetivo ou média geral; *N*: nº de indivíduos selecionados *PGS*: progresso genético na seleção; *D*: diversidade genética.

Fonte: o autor.

Tabela 6 – Estimativas do progresso de seleção para quatro métodos de seleção em seis intensidades de seleção para produção de resina total de *Pinus caribaea* var. *bahamensis* aos 34 anos, no município de Assis, SP

Seleção individual						
	2%	5%	10%	15%	25%	50%
<i>N</i>_{fo}	72	72	72	72	72	72
<i>N</i>_e	11,24	22,68	38,13	46,36	63,37	112,24
<i>N</i>	21	51	101	151	251	502
<i>PGS</i> (%)	50,87	41,69	34,57	30,06	24,04	14,36
<i>D</i>	0,11	0,22	0,34	0,39	0,48	0,70
Seleção entre progênie						
	2%	5%	10%	15%	25%	50%
<i>N</i>_{fo}	72	72	72	72	72	72
<i>N</i>_e	-	12,90	22,78	35,07	56,71	109,71
<i>N</i>	16	56	100	158	247	497
<i>PGS</i> (%)	26,12	25,59	24,34	21,20	17,64	10,53
<i>D</i>	0,01	0,05	0,10	0,15	0,24	0,48
Seleção dentro de progênie						
	2%	5%	10%	15%	25%	50%
<i>N</i>_{fo}	72	72	72	72	72	72
<i>N</i>_e	-	72,00	144,00	164,57	200,97	221,93
<i>N</i>	-	72	216	288	502	944
<i>PGS</i> (%)	-	23,97	17,65	15,23	9,54	1,28
<i>D</i>	-	1,00	1,00	1,00	1,00	0,97
Seleção entre e dentro						
	2%	5%	10%	15%	25%	50%
<i>N</i>_{fo}	72	72	72	72	72	72
<i>N</i>_e	16,00	33,28	53,57	62,34	105,58	132,13
<i>N</i>	20	51	101	151	251	502
<i>PGS</i> (%)	47,60	39,58	33,18	28,76	22,10	13,54
<i>D</i>	0,14	0,25	0,37	0,44	0,63	0,71

*N*_{fo}: nº original de famílias; *N*_e: tamanho efetivo ou média geral; *N*: nº de indivíduos selecionados *PGS*: progresso genético na seleção; *D*: diversidade genética.

Fonte: o autor.

1.3.6 Características da madeira de *Pinus caribaea* var. *bahamensis*

Das 1.027 progênies avaliadas do teste foram selecionadas as 25 árvores com base no DAP para determinação das características da madeira, visto que uma das finalidades de uso madeira dessa espécie seria para madeira para o desdobro.

Dentre esses valores, demos destaque para os valores médios obtidos para o comprimento do traqueíde, 3.044 mm; o diâmetro do lúmen da traqueíde, 33,5 μm ; o valor da largura da traqueíde, 46,5 μm ; a espessura da parede da traqueíde, 6,51 μm ; e os índices calculados para papel e celulose (Coeficiente de Flexibilidade (CF), Fração Parede (FP), Índice de Runkel (IR) e Índice de Enfeltramento (IE) que foram de 69,92%, 30,08%, 0,57 e 68,69% respectivamente (Tabela 7).

Tabela 7 – Análises descritiva das características anatômicas de *Pinus caribaea* var. *bahamensis* aos 34 anos, no município de Assis, SP

Caracteres	Média	Desvio padrão	Coeficiente de variação (%)	Máximos	Mínimos
CT (mm)	3.044	545,63	17,92	4.069	1.907
DLT (μm)	33,5	9,8	29,14	52,4	13,07
LT (μm)	46,5	8,0	17,28	63,4	29,83
EPT (μm)	6,51	1,74	26,73	10,65	3,77
CF (%)	69,92	12,35	17,66	81,82	35,79
FP (%)	30,08	12,34	41,04	64,61	18,18
IR	0,57	0,51	89,44	2,41	0,23
IE (%)	68,69	14,32	20,83	105,4	49,27

CT: Comprimento das traqueídes; DLT: Diâmetro do lúmen das traqueídes; LT: Largura das traqueídes; EPT: Espessura da parede das traqueídes; CF; Coeficiente de flexibilidade; FP: fração parede; IR: Índice de Runkel; IE: Índice de enfeltramento.

Fonte: O autor.

Os 10 indivíduos que apresentaram as melhores características anatômicas de traqueídes (coeficiente de flexibilidade, a fração parede, o índice de Runkel e o índice de enfeltramento) foram os das progênies 23, 31, 70, 40, 56, 16, 28, 29, 24 e 33 (Tabela 8). Esses indivíduos poderão ser clonados para compor pomares de sementes clonais e para realização de cruzamentos controlados.

Tabela 8 – Análise individual dos índices de qualidade de papel e celulose para dez progênies selecionadas de *Pinus caribaea* var. *bahamensis* aos 34 anos, no município de Assis, SP

Progênie	Bloco	CF (%)	FP (%)	IR	IE (%)
23	5	81,78	18,22	0,23	52,16
31	9	81,82	18,18	0,25	59,23
70	23	79,74	20,26	0,26	51,72
40	16	78,59	21,41	0,27	65,55
56	11	78,53	21,47	0,28	66,04
16	9	77,76	22,24	0,29	67,92
28	5	77,45	22,55	0,30	67,95
29	10	77,22	22,78	0,30	58,09
24	11	76,76	23,24	0,32	65,69
33	23	76,28	23,72	0,31	58,21

CF; coeficiente de flexibilidade; FP: fração parede; IR: Índice de Runkel; IE: Índice de enfieltramento.

Fonte: O autor.

1.4 DISCUSSÃO

1.4.1 Caracterização do solo

A sobrevivência do experimento foi baixa se compararmos com outros testes de *P. caribaea* var. *bahamensis* e *P. caribaea* var. *hondurensis* de Ilha Solteira, SP, os quais apresentaram 71,25% e 82,44% de sobrevivência, respectivamente (Silva *et al.*, 2016; Santos, 2014). Sugere-se que a baixa fertilidade do solo e a incidência de cipós contribuíram para baixa taxa de sobrevivência das árvores.

Segundo a classificação proposta por Raij *et al.*, (2001) para espécies florestais, o solo da área em estudo apresentou índices baixos para vários nutrientes, e isso pode ter afetado o desenvolvimento das plantas em diferentes estágios vegetativos, inclusive a das mudas. Os índices elevados de alumínio prejudicam o desenvolvimento do sistema radicular das plantas, gerando toxidez, com a alteração da acidez do solo devido a redução do pH e a redução da capacidade de troca catiônica (CTC) do solo e a disponibilidade nutricional do solo, afetando todo o desenvolvimento da planta (Labanca, 2019).

Um dos elementos excelentes para indicação química da qualidade do solo é o pH, pois por meio desse indicador podemos quantificar a acidez com base nas concentrações de hidrogênio (H^+) e de alumínio (Al^{3+}). Quando há uma acidez maior dos solos há uma intolerância por parte das plantas, afetando-as de forma negativa, gerando um declínio de produtividade. Assim, um fator importante para redução da acidez é a calagem, que eleva o pH, neutraliza o Al^{3+} que é tóxico para as plantas, melhorando os teores de cálcio, reduzindo a acidez potencial favorecendo a fertilidade do solo (da Silva Carneiro *et al.*, 2018).

Por serem espécies que apresentam pouca exigência nutricional, as árvores de *Pinus* spp. se adaptam muito bem em solos com baixa fertilidade, porém, muitas vezes há condições na área de plantio que são adversas para que haja um bom incremento e desenvolvimento da espécie (Piva e Dlugosz, 2018). No entanto, quando há um aumento na adubação com Ca e Mg, haverá uma melhoria no incremento volumétrico (Rabel *et al.*, 2021).

Para manutenção desse teste, sugere a aplicação de calcário com base na análise química do solo, com uma fonte rica em magnésio e potássio, com intuito de

melhorar o DAP e a produção de sementes do plantio e favorecer a formação de um pomar de sementes por mudas com alta produção de sementes.

1.4.2 Estimativa de parâmetros genéticos para produção de madeira e resina

Em termos de valores médios, o *P. caribaea* var. *bahamensis* apresentou valores superiores para os caracteres de DAP, altura e volume quando comparado com os testes genéticos de *P. maximinoi*, aos 30 anos, *P. caribaea* var. *hondurensis* aos 22 anos e *P. caribaea* var. *hondurensis* aos 30 anos, sendo os valores médios obtidos de 14,42 cm, 9,51 m e 0,09 m³arv⁻¹; 13,72 cm, 8,81 m e 0,09 m³arv⁻¹ e 36 cm, 26 m e 1,38 m³. arv⁻¹, respectivamente (Santos *et al.*, 2018; Souza *et al.*, 2017; Silva *et al.*, 2019). Já para os experimentos com *P. caribaea* var. *caribaea* aos 29,7 anos e *P. taeda* aos 37 anos, valores médios de DAP foram 35,9 cm e 40,4 cm, respectivamente (Ferreira *et al.*, 2009; Ballarin e Palma 2003 *apud* Vivian *et al.*, 2022). Desses experimentos, nenhum apresentou valor médio para os caracteres DAP, altura e volume superior ao do presente estudo. Diversos fatores podem influenciar no desenvolvimento das espécies arbóreas, como a competição com outras árvores por luz e nutrientes, mato-competição, espaçamento e fatores genéticos.

A velocidade média do deslocamento da onda sonora foi de 4.780 m.s⁻¹ e o MOEd 18.521 MPa. No trabalho realizado por Gonçalves *et al.*, (2018) com *P. caribaea*, esses variaram de 4.848,30 a 5.852,85 (m.s⁻¹) e o MOEd de 13.180 a 22.600 (MPa). O autor menciona que a velocidade de propagação da onda acústica recebe influência da quantidade de lenho que árvore. Geralmente, quanto mais densa é a madeira, maior é o módulo de elasticidade em termos anatômicos, as fibras ou traqueíde tendem a ter parede mais espessa. Quando comparamos a literatura mencionada com o presente estudo, vemos que os valores obtidos são relativamente próximos, sendo um forte indicativo de que a espécie do presente estudo apresenta uma boa rigidez da madeira, favorecendo o corte para serraria.

Os caracteres ângulo do galho, espessura do galho, entrenó, e conicidade são utilizados para classificar a madeira para serraria. Segundo Bonassa, Evangelista e Ferreira (2020), fatores como conicidade, tortuosidade, bifurcação, achatamento e sulcamento de tronco afetam o rendimento do desdobro da madeira. A irregularidade

das árvores é um outro fator que afeta muito o rendimento de madeira para desdobro. E isso pode ser devido aos efeitos genéticos e ambientais. Segundo Mendonça *et al.* (2019), as árvores que crescem com espaçamento elevado apresentam maior incremento nas partes inferiores do fuste, conforme o passar dos anos com o aumento da idade das árvores esse incremento passa ocorrer nas partes mais altas do fuste. Fatores genéticos, tratos silviculturais e nutricionais dos indivíduos de um povoamento florestal podem afetar de forma severa a forma de fuste das árvores (Silva *et al.*, 2018). Quando há fustes com formas inferiores com afilamentos e curvaturas acentuadas, há um baixo rendimento nas serrarias, as propriedades mecânicas da madeira são ruins acarretando altos custos nos processamentos da madeira (Téo, Miguel e Nascimento, 2018). Chilundo (2011) menciona que quanto maior a conicidade menor a porcentagem madeira para desdobro. Os indivíduos de *P. caribaea* var. *bahamensis* estudados apresentaram uma estimativa baixa de conicidade e na forma de fuste, apontando que as árvores avaliadas não terão perdas significativas de madeira na serraria devido a conicidade.

Os valores mínimo e máximo para DAP foram de 22,5 e 98, respectivamente. Por apresentarem valores tão discrepantes, os demais caracteres também demonstram valores heterogêneos. Essa variação fenotípica elevada para o DAP também foi observada por Costa Monteiro *et al.*, (2021). Com isso, podemos supor que essas diferenças podem estar associadas aos fatores genéticos e ambientais de cada indivíduo, e conseqüentemente, ao efeito direto de competição dos indivíduos por fatores como luz, água e nutrientes (Patrícia Marcos *et al.*, 2022).

O coeficiente de variação para DAP foi de 18,21%, altura 9,52%, volume 40,53%, forma de fuste 59,94%. No experimento de *P. caribaea* var. *bahamensis*, os mesmos caracteres mostraram coeficientes de 12,13% para DAP, 5,84% para altura, 22,92% para volume e 7,34% (Missio *et al.*, 2004). Dentro da experimentação florestal esses valores podem ser considerados baixo, médio, alto ou muito alto. Contudo, é importante analisar o coeficiente de variação para se obter medidas de dispersão ou de variabilidade, a fim de se tornar a análise mais informativa (Garcia, 1989). De modo geral, o CV% do presente estudo apresentaram índices variados, mas com predominância valores médios, tornando as estimativas com boa precisão experimental.

Os valores obtidos para produção de resina total e por estria diferiram entre si. No município de Tavares, RS, a produção média de resina das espécies de *Pinus* sp.

exploradas, gira entorno de 2,5 a 3 kg. árvore⁻¹ ano⁻¹ (Martins, 2022). Medeiros *et al.*, (2017) mencionaram que a produtividade média de resina das espécies de *Pinus* sp. é de 3,7 kg. árvore⁻¹ ano⁻¹, mas há uma série de fatores que podem influenciar a produção de resina, como a qualidade do material genético, as condições do solo e clima do local onde são instalados os ensaios experimentais, os tratos silviculturais etc. Em testes genéticos de *P. caribaea* var. *hondurensis* aos 28 anos, o valor médio da produção de resina foi de 4,83 kg. arv.⁻¹ (Santos, 2014). Segundo Neis (2018), o rendimento médio da produção resina de árvores de *Pinus* que não foram melhoradas geneticamente foi de 1 a 3 kg arv⁻¹ ano⁻¹. O rendimento médio da produção de resina de *P. elliottii* var. *elliottii* aos 30 anos de idade no sul da China variou de 3,01 a 3,16 kg arv⁻¹ (Lai *et al.*, 2020). No presente estudo, observou-se que a média de produção resina foi 5,07 kg, diferindo significativamente dos valores encontrados na literatura. Isso indica que a seleção de indivíduos ou progênies nesse teste poderá gerar ganhos de significativos para produção de resina.

A resina de *P. elliottii* var. *elliottii* é mais aceita no mercado devido ao seu alto teor de pineno. Entretanto, *Pinus caribaea* é usado, também para e extração de resina, embora a constituição e as propriedades de sua goma sejam diferentes comparados à de *P. elliottii* var. *elliottii* (Godinho *et al.*, 2019). Conforme Silva e Dal Bem (2020), o Brasil tem apresentado uma tendência positiva na produção de resina. As espécies tropicais de *Pinus* têm apresentado um crescimento paulatino em toneladas no país, com seu fornecimento de 25.128 toneladas resina em 1,80 milhão de ha em florestas de *Pinus*.

Nos anos de 2020-2021, a média mensal por tonelada de resina oriundas do *P. elliottii* var. *elliottii* e dos pínus tropicais demonstraram aumentos econômicos consideráveis, principalmente, no segundo semestre de 2020 (Candaten *et al.*, 2021). Com isso, vemos que *P. caribaea* var. *bahamensis* apresentou um rendimento médio acima do padrão mencionado para as espécies não melhoradas geneticamente, sendo um bom indicativo para formação de uma população com indivíduos superiores para produção de resina.

1.4.3 Qualidade da resina de *P. caribaea* var. *bahamensis*

A resina apresenta um elevado valor econômico sendo seus principais componentes o breu e a terebentina. Segunda a literatura, o rendimento médio do breu varia de 79 a 88% e de 7 a 15% para terebentina, sendo o breu utilizado para a fabricação de colas para papel, vernizes, borrachas, tintas, cosméticos e adesivos. Já a terebentina é caracterizada pela sua volatilidade e intenso odor, sendo utilizado para a fabricação de solventes, vernizes sabonetes, desinfetantes cânfora sintética e fragrâncias (Silva *et al.*, 2021).

A resina de *P. elliotii* tem em sua composição 68% de breu e 17% de terebentina, em contrapartida, a goma resina extraída dos pinus tropicais possui 68% de breu e uma variação de 4 a 9% de terebentina (Moreira, Quadros e Alves, 2018). De um modo geral, o rendimento do breu de *P. caribaea* var. *bahamensis* variou de 74,6% a 95% e a terebentina de 5% a 25,4%. No trabalho desenvolvido por Sukurno *et al.*, (2020), o rendimento da terebentina do *Pinus merkusii* com 29 anos foi de 20,94%. A porcentagem de breu e terebentina de *P. patula* e *P. oocarpa* ambos com 19 anos foi de 74,55% e 75% para breu e 15,55% e 14,40% para terebentina, respectivamente (Sarria-Villa; Gallo-Corredor e Benítez-Benítez, 2021). Constatamos que o rendimento do breu e da terebentina de *P. caribaea* var. *bahamensis* do presente estudo foi superior ao rendimento da literatura mencionada.

O alfa pineno e o beta pineno do presente estudo variou de 29,80% a 84,92% e 2,43% a 44,42% e o canfeno variou de 0,68% a 2,29%, respectivamente. O alfa pineno e o beta pineno são os principais componentes da terebentina, e são esses componentes que determinam a qualidade da oleoresina conforme as suas concentrações (Meena *et al.*, 2023). A composição da resina de *P. elliotii* var. *elliotii* apresenta teores de 63,5% e 16,6% para alfa e beta pinenos, respectivamente (Oliveira, 2008). A média geral de alfa pineno e beta pineno de *P. elliotii* aos 18 anos foi de 43,6% e 39,6% e o rendimento de canfeno variou de 0,48% a 0,58%, respectivamente (Neis *et al.*, 2019). Os valores obtidos de *Pinus ponderosa* var. *ponderosa* de alfa pineno, beta pineno e canfeno variaram de 3,6% a 9,6%; 21,5% a 55,3% e 0,1% a 0,3%, respectivamente (Ankney *et al.*, 2022). Os valores obtidos para alfa pineno, beta pineno e canfeno das amostras de *P. caribaea* var. *bahamensis* do presente estudo se mostrou superiores quando comparado a literatura mencionada

indicando que há um bom rendimento da resina estudada, indicando que há um bom material genético para seleção.

1.4.4 Análises de deviance e parâmetros genéticos

Como observado em vários testes genéticos de pínus no Brasil, o de *P. caribaea* var. *bahamensis* apresentou variabilidade genética significativa para os diferentes grupos de caracteres avaliados, resina, crescimento, silvicultura e qualidade da madeira. Isso indica que há possibilidade de obtenção de indivíduos mais produtivos para as diferentes finalidades de exploração econômica.

A precisão experimental é importante para estimativas de parâmetros genéticos acurados. Segundo Resende e Duarte (2007), os valores de precisão para a avaliação genotípica da acurácia variam de baixa a muito alta; onde de 0,10-0,40 é considerada baixa; de 0,50-0,65 moderada; 0,70-0,85 alta e 0,90-0,99 muito alta. Os autores mencionam que a qualidade experimental deve ser deduzida essencialmente pela acurácia e não apenas pelo coeficiente de variação experimental ou índice de variação. Os valores obtidos no presente estudo se demonstraram na classe de alta e moderada precisão, não sofrendo discrepâncias com a literatura mencionada do qual geraram resultados, com boa confiabilidade para seleção.

O coeficiente de variação experimental (CV_e) de um modo geral, variou de 8,70% a 51,83% entre todos os caracteres avaliados. O coeficiente de variação experimental (CV_e) deve se manter em níveis adequados para espécies cultivadas, baixos níveis de coeficiente de variação experimental (CV_e) apresentam boa precisão de dados (Santos, 2014), já dados elevados indicam variação nos dados (Farias Neto *et al.*, 2008). Para os caracteres de DAP e altura, a acurácia em híbridos de *Pinus elliottii* x *Pinus caribaea* de quatro e oito anos foram de 0,91 e 0,92 respectivamente, podendo ser classificado como muito alta (Tambarussi *et al.*, 2018). O CV_e do presente estudo apresentou discrepância entre os caracteres, demonstrando variações nos dados avaliados.

O coeficiente de variação relativa (CV_r) do presente estudo variou de 0,14% a 0,38%. O CV_r indica a razão entre o CV_i e o CV_e (Pupin *et al.*, 2015), indicando boas chances de se ter ganhos quando aplicado a seleção entre as matrizes (Costa *et al.*,

2010). Os caracteres do presente estudo que apresentaram maiores valores foram DAP, ALT, PRT e PRE, com valores de 0,38, 0,37 e 0,34, respectivamente, indicando boas chances de ganho genético.

O coeficiente de variação genotípica entre progênie (CV_{gp}) do presente estudo variou de 1,46% a 14,16% entre os caracteres. No trabalho realizado por Aguiar *et al.* (2011), o valor obtido no CV_{gp} para o caráter DAP aos 15 anos foi de 3,31%. Já no trabalho realizado com *P. tecunumanii* aos 12,5 anos, o valor foi de 8,84% para o caráter volume de madeira (Pagliarini *et al.*, 2012). Comparamos o presente estudo com a literatura mencionada, o valor obtido para DAP foi de 6,44% e de volume foi de 14,16%. Mostrando que os valores obtidos tanto para DAP quanto para volume do presente estudo foi maior que o valor de Aguiar *et al.*, (2011) e Pagliarini *et al.*, (2012) mesmo assim, demonstram baixa variabilidade nos caracteres de crescimento.

O coeficiente de variação genética individual (CV_{gi}) variou de 2,91% a 30,79%. O CV_{gi} quantifica a magnitude da variação genética que há para a seleção, portanto, quanto mais alto os valores mais desejáveis são para a seleção (Pimentel *et al.*, 2014). Os valores obtidos no presente estudo sugerem que em futuras avaliações em campo poderá trazer maiores expressões da variação genética para os caracteres de volume de madeira e produção de resina.

A herdabilidade individual (\hat{h}_i^2) variou de 0,08 a 0,51 no presente estudo, com magnitude de nível médio. Já a herdabilidade média de progênie (\hat{h}_m^2) variou de 0,35 a 0,76, com valores altos para a maioria dos caracteres. No trabalho de Fabián Plesníková (2020), as herdabilidades individual e média de progênie variaram de 0,14 a 0,20 e de 0,39 a 0,54, respectivamente. O autor menciona que variação média é atribuída a diferenças genéticas. As herdabilidades individual e médias obtidas por Romanelli (1995) com *P. elliotii* var. *elliotii* aos 8 anos foi de 0,45 e 0,71, 0,22 e 0,48 e 0,54 e 0,75 para altura, DAP e produção de resina, respectivamente. Já no trabalho de Martinez *et al.*, (2012) a herdabilidade em média de progênie para *P. taeda* aos seis anos, foi de 0,91, 0,85 para DAP e altura, respectivamente. No presente trabalho os valores obtidos indicam possibilidade ganho genético mediante a seleção genética.

De acordo com Resende *et al.*, (1995), a herdabilidade é considerada de baixa magnitude quando os valores variam de 0,01 a 0,15, média magnitude de 0,15 a 0,50 e alta magnitude com valores acima de 0,50. Geralmente, em caracteres quantitativos, é comum observar herdabilidades individuais de baixas magnitudes e herdabilidade média de progênie com índices mais elevados (Resende, 2002). Quando há maiores

expressões na herdabilidade média para todos os caracteres estudados, a seleção com base na média das progênies poderá ser mais efetiva (Costa *et al.*, 2010).

1.4.5 Progressos genéticos na seleção para madeira e resina

Os progressos genéticos na seleção obtidos no presente trabalho foram expressivos, principalmente, para a produção de madeira. De maneira geral, a primeira geração de melhoramento genético de uma população os progressos genéticos na seleção são mais expressivos para diferentes objetivos. Sampaio, Resende e Araújo (2002) observaram progressos genéticos na seleção de 10,46% e de 14,08% com os métodos de seleção individual e entre e dentro de progênie para *Pinus oocarpa*, em Angatuba, SP nas intensidades de seleção variando de 6,25% a 8,33%. Em Selvíria, MS, a seleção individual e dentro de progênie de *P. caribaea* var. *hondurensis*, gerou ganhos de 26,6% e 1,55%, respectivamente (Moreira, 2017). Os progressos genéticos na seleção individual e na combinada foi de 14,9% e 16,68% em teste de progênie de *P. caribaea* var. *hondurensis* (Sampaio, Resende e Araújo, 2000). Os valores obtidos no presente estudo para a seleção individual, seleção entre e dentro e seleção dentro de progênie foram superiores para resina quanto para madeira quando comparado com os da literatura.

Como há uma variação entre o progresso genético na seleção e a diversidade de acordo com o método de seleção e a intensidade de seleção, deve-se priorizar qual a finalidade do teste genético. Se for priorizar o ganho genético, as seleções mais indicadas serão a seleção individual ou a seleção entre e dentro de progênie. Se a prioridade for a diversidade genética, os métodos mais indicados serão a seleção dentro de progênie e a seleção entre e dentro de progênie, visto que nesses métodos a diversidade genética expressou os maiores índices.

O progresso genético na seleção depende da variabilidade genética total, quanto maiores os valores e a precisão dos parâmetros genéticos maior serão os ganhos obtidos (Silva *et al.*, 2012). Andrade (2020) menciona que os maiores valores desse parâmetro são adquiridos quando se aplica uma maior intensidade de seleção, pois há uma diminuição no número de indivíduos selecionados e um aumento da

média da população selecionada. Na seleção individual os melhores genótipos são selecionados independente da progênie o qual pertence.

A estimativa variabilidade genética é importante e de extrema necessidade em populações de melhoramento, principalmente, nas primeiras gerações (Santos *et al.*, 2018). Portanto, a melhor estratégia para antepor a conservação é elevar o cruzamento entre indivíduos de distintas populações e progênies e aumentar o tamanho efetivo populacional (Resende e Vencovsky, 1990). Assim, a infusão de novos genótipos na população de melhoramento pode elevar a recombinação e a variabilidade genética, propiciando maiores ganhos nos ciclos posteriores.

A diversidade na população *P. caribaea* var. *bahamensis* foi em torno de 1,0 com a seleção dentro de progênie tanto para volume de madeira quanto para produção de resina total. Resultados semelhantes foram obtidos por Recco *et al.*, (2015) para *P. caribaea* var. *hondurensis* (0,90) com o mesmo método de seleção. O autor menciona que a diversidade genética pode ser incrementada com a inserção de novas progênies. Anjos (2018) menciona que a diversidade genética é o resultado das variações que foram herdadas e que estão presentes dentro dos indivíduos e/ou populações e está relacionada aos efeitos dos fatores genéticos como: mutação, endogamia, fluxo gênico, deriva genética e seleção, e conseqüentemente, a frequência e a distribuição dos alelos da população poderão ser alteradas. O autor relata que nas espécies perenes tropicais a ocorrência da diversidade genética ocorre com maior frequência dentro das populações, por conta dos mecanismos de dispersão, reduzindo a diversidade entre as populações. Se a diversidade genética estiver com valores próximos a zero, há fortes indícios da extinção da variabilidade genética (Aguiar, Sousa e Shimizu, 2010).

De modo geral, embora haja baixos índices de coeficiente de herdabilidade para alguns caracteres do presente estudo, obtivemos ganhos genéticos com as estratégias de seleção e mantivemos a diversidade genética do experimento. De certo modo, os ganhos genéticos maiores foram com as estratégias de maior intensidade. Em contrapartida, a divergência se mostrou baixa. Deste modo, as estratégias que devem ser priorizadas tanto para resina quanto para madeira é seleção individual e a seleção entre e dentro de progênie, para formação de pomares de sementes clonais e por mudas, respectivamente.

Para se transformar o teste de progênies em um pomar de sementes por mudas, deve-se adotar o método de seleção dentro de progênie, nas intensidades de

15% a 25%, com 288 e 502 indivíduos. No entanto, o desbaste seletivo no teste, deverá ser realizado por etapa, a cada três anos se corta uma porcentagem de árvore, para evitar a queda de árvores com vento. Nos primeiros anos deve ser realizado um desbaste de limpeza.

Para a formação de um pomar clonal, o melhor método de seleção seria o individual na intensidade de 2% a 5%, com 21 a 51 indivíduos, respectivamente, tanto para produção de madeira quanto para resina. A coleta de sementes para a próxima geração, deve ser realizada após a formação do pomar de sementes por mudas, e deve-se considerar a estratégia de seleção entre e dentro de progênie, com a intensidade mínima de 5% a 10% ou mais, 51 a 103 indivíduos tanto para produção de madeira quanto para resina.

1.4.6 Índices de qualidade para papel e celulose

O comprimento da traqueíde do obtido no presente estudo foi de 3.044 mm, a espessura da parede da traqueíde obtida foi de 46,5 µm. Do ponto de vista tecnológico, o comprimento e a espessura da parede da traqueíde apresentou uma grande importância dessas medidas para o setor industrial, visto que os valores dessas características estão relacionados com a qualidade da polpa celulósica e na produção de papel. É a partir da relação entre o comprimento e a espessura da traqueíde que se verifica a qualidade sobre a resistência físico-mecânica do papel (Baptista, 2019).

Os resultados obtidos no presente trabalho para comprimento da traqueíde foram similares aos obtidos para outras espécies de *Pinus* tropicais. A média do comprimento da traqueíde de *P. caribaea* var. *hondurensis* e *P. tecunumanii* com idade de 50 anos foi de 3,76 mm (Lima *et al.*, 2020). Baptista (2019) menciona que os valores médios de comprimento da traqueíde para *P. maximinoi* e *P. taeda* foram de 3,20 mm e 3,75 mm aos sete anos de idade, respectivamente. Valores superiores ao de Baptista (2019) foi observado por Vivian *et al.*, (2022) em *P. taeda* com 15 e 30 anos, 3,91 mm e 4,96 mm, respectivamente. A idade das árvores é um fator que influencia o valor desse caráter, quanto mais adulta a madeira, maiores são os valores observados. O comprimento da traqueíde, espessura da parede resistência e rigidez apresentam maiores índices na madeira adulta (Vidaurre *et al.*, 2011).

Para as espécies de *Pinus* de clima temperado foram observados valores superiores. Vivian, Modes e Caetano (2020) observaram que espessura da parede do traqueíde de *P. taeda* com 21 anos e *P. glabra* com 26 anos foram de 6,41 μm e 5,89 μm respectivamente. Já no trabalho feito por Vivian *et al.*, (2022) para *Pinus greggii* com 7 anos e *P. taeda* com 10 anos a espessura da traqueíde foram de 3,25 μm e 6,45 μm , respectivamente. Com isso, verificamos que o valor médio da espessura da parede da traqueíde do presente estudo, em árvores com 34 anos, foi de 6,51 μm para as vinte e cinco árvores. Esse valor está dentro dos valores médios citados na literatura.

As propriedades do papel podem sofrer alguns danos por conta do comprimento das fibras, quando as fibras são mais curtas afetam a resistência do papel ao rasgo e a dobras. Entretanto, a traqueíde das coníferas apresenta maior comprimento quando comparado às fibras da madeira das Angiospermas, possibilitando que haja um entrelaçamento maior entre essas o que proporciona um aumento na resistência do papel (Ferreira *et al.*, 2021). Barrichelo e Brito (1979) destacam que o comprimento, o diâmetro do lúmen, a espessura da parede e a largura das traqueídes são fundamentais para que algumas relações fossem estabelecidas como o Coeficiente de Flexibilidade, a Fração Parede, o Índice de Runkel e o Índice de Enfeltramento.

O coeficiente de flexibilidade obtido no presente estudo foi de 69,92%. O coeficiente de flexibilidade é a relação entre o diâmetro do lúmen e a largura da traqueíde, o que interfere de forma direta na resistência à tração e no estouro do papel, quanto maior seu valor, mais flexível será a traqueíde (Schlichting, 2018). No trabalho realizado por Caetano (2018), o valor médio do coeficiente de flexibilidade foi de 55,28% para *P. glabra* com 17 anos. O valor médio obtido por Kuhn *et al.* (2017) para *P. taeda* com 18 anos foi de 37,21%. O coeficiente de flexibilidade acima de 75 apresentam alto grau de colapso das fibras, favorecendo maior resistência a tração do papel (Tabela 9). O valor do coeficiente de flexibilidade das vinte e cinco árvores obtido no presente estudo foi de 69,92% apresentando maior índice quando comparados com as outras espécies citadas. Isso confirma boa flexibilidade da traqueíde, e conseqüentemente boa resistência do papel a tração, visto que haverá maior possibilidade da traqueíde fazer ligações entre si gerando uma boa união entre as fibras (Faria *et al.*, 2019).

Tabela 9 –Caracterização das fibras de acordo com o Coeficiente de flexibilidade

Coeficiente de flexibilidade	Característica das fibras		
	Grau de colapso	Superfície de contato	União fibra-fibra
75<	Sim	Boa	Boa
75-50	Parcial	Boa	Boa
50-30	Pouco	Pouco	Pouca
30>	Não	Muito Pouco	Fraca

Fonte: Nisgoski (2005).

A fração parede obtida do *P. caribaea* var. *bahamensis* aos 34 anos foi de 30,08%. A fração da parede tem influência na qualidade da celulose. Quando os valores são acima de 40% há uma produção de celulose de baixa qualidade, devido a rigidez das fibras, dificultando o entrelaçamento das fibras, colaborando com a menor flexibilidade ao papel e resistência ao estouro (Talgatii *et al.*, 2020). Coelho *et al.*, (2018) observaram valor de 19% na fração parede de *P. maximinoi* e de 13% em *P. taeda* ambos com a mesma idade de sete anos. Já no estudo realizado por Vivian *et al.* (2015), os valores obtidos foram de 32% e 36% para *P. taeda* aos 21 anos e *Pinus sylvestris* aos 45 anos. No presente estudo verificamos que o valor obtido da fração parede foi de 30,08% em árvores com 34 anos, apresentando diferença das árvores de *P. taeda* e *P. maximinoi* com sete anos e não diferindo das árvores acima de 20 anos. Os valores da fração parede do presente estudo se manteve dentro dos limites da qualidade da celulose, não apresentando rigidez acima do esperado para a indústria.

O índice de Runkel foi de 0,57 para *P. caribaea* var. *bahamensis* aos 34 anos, se enquadrando na classe III. O índice de Runkel determina o grau de colapso das fibras no processo de fabricação de papel. Quanto menor for o índice, maior será o grau de colapso entre as fibras, gerando um aumento na superfície de contato, resultando em um papel com maior resistência ao estouro e a tração. Quando há um valor maior do índice de Runkel, mais rígidas serão as fibras e a dificuldade de união na produção do papel (Sbardella, 2018). Runkel estabeleceu cinco grupos: grupo I (até 0,25), muito excelente para a produção de papel; grupo II (0,25 a 0,50) muito bom para a produção de papel; grupo III (0,50 a 1,00) bom para a produção de papel; grupo IV (1,00 a 2,00) regular para a produção de papel e grupo V (acima de 2,00) não devem ser usados para produção de papel devido ao baixo grau de colapso entre as fibras (Rocha e Potiguara, 2007).

Os valores observados do índice de Runkel para as espécies *P. patula* e *P. radiata* não apresentou diferenças significativas, exceto para espécie *P. halepensis* (Modes *et al.*, 2019; Bektas, 2018; Hassan *et al.*, 2020). O Índice de Runkel para *P. patula* aos 14 anos de idade, *P. radiata* aos 34 anos de idade e *Pinus halepensis* de 18 anos foi de 0,43, 0,25 e 0,57 (Modes *et al.*, 2019; Bektas, 2018; Hassan *et al.*, 2020). O valor obtido para o presente estudo se enquadrou no grupo III, sendo bom para produção de papel, apresentando uma relação entre a espessura da parede e o diâmetro do lúmen da traqueíde adequadas para a produção de papel.

A literatura menciona que o índice de enfieltramento está relacionado com o comprimento e a largura da traqueíde, afetando diretamente as propriedades de resistência do papel ao rasgo e ao arrebitamento (Pego, Bianchi e Veiga, 2019). Faria *et al.*, (2019) mencionam que os valores acima de 50% são os parâmetros almejados para tal coeficiente. O valor do índice de enfieltramento obtido no presente estudo foi de 68,69% indicando que está dentro do esperado para esse índice, conseqüentemente, a espécie em estudo apresenta uma resistência alta ao rasgo e ao arrebitamento.

Corrêa (2017) menciona que ao Índice de enfieltramento em *P. taeda* com as idades de 21 anos, 11 anos e nove anos foi de 86%, 69,5% e 86,63% respectivamente. Vivian *et al.*, (2015) menciona o valor de 86% para *P. taeda* aos 21 anos e 71% para *P. sylvestris* aos 45 anos de idade. O valor do índice de enfieltramento do presente estudo foi de 68,69%, não apresentando diferença significativa com *P. taeda* de 11 anos. Isto demonstra que a idade não é um fator crucial para definir valores de índices indicativos.

De acordo com Caetano (2018), a caracterização anatômica da madeira é essencial para a qualidade e a destinação final da madeira. As características anatômicas apresentam alto grau de correlação com as outras propriedades da madeira. É notório conhecer a anatomia sendo de suma importância para a destinação comercial, uma vez que a forma que as propriedades da madeira se expressam podem afetar diretamente sua utilização no setor industrial devido aos arranjos celulares contidos na madeira. Com isso, afirmamos que as 10 progênies selecionadas se encaixam dentro dos padrões exigidos por todos os índices mensurados. Considerando-se os grupos estabelecidos no Índice de Runkel, das 10 melhores progênies selecionadas, as três primeiras se encaixam no grupo I (até 0,25) são excelentes para a produção de papel. As outras sete se encaixam no grupo II

(0,25 – 0,50) são muito boas para a produção de papel, pois as fibras não apresentam paredes muito espessas (Miranda e Castelo, 2012).

1.5 CONCLUSÕES

Existem diferenças significativas entre progênies para todos os caracteres de crescimento, silvicultural, características da madeira e resiníferos.

A espécie apresenta expressiva produção e qualidade de resina, teor de breu e terebentina, indicando bom material genético para produção de resina.

Os índices de qualidade para papel e celulose da madeira são adequados para todos os coeficientes avaliados.

Os coeficientes de herdabilidades individuais e médias de progênies são significativas para maioria dos caracteres quantitativos relacionados a produção e qualidade de madeira e resina.

Os progressos esperados na seleção tanta para madeira quanto resina são expressivos e possibilitaram a formação de pomares de sementes por mudas e clonais com qualidade genética, bem como testes genéticos para próxima geração com variabilidade genética.

REFERÊNCIAS

- ABJAUR, E.R. *et al.*, Caracterização química da madeira de *Eucalyptus benthamii* por meio de espectroscopia NIR. **O PAPEL** vol. 78, num. 2, pp. 75 - 81 FEV 2017. Disponível em: http://www.revistaopapel.org.br/noticia-anexos/1487601059_da031e80f6703b43067ad6d9592a1422_718793106.pdf Acesso em: 24 set 2021.
- AGUIAR, A. V. de CORREA, A. P. A. SOUSA, V. A. de DAROS, T. L. SHIMIZU, J. Y. Variação genética em progênies de *Pinus caribaea* var. *bahamensis* em Barra Velha, SC. In: **Congresso Brasileiro de Melhoramento de Plantas**, 6., 2011, Búzios. Panorama atual e perspectivas do melhoramento de plantas no Brasil. [Búzios]: SBMP, 2011. Disponível em: <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/912988> Acesso em 15 jan 2023.
- AGUIAR, A. V. de; SOUSA, V. A. de; SHIMIZU, J. Y. Seleção genética de progênies de *Pinus greggii* para formação de pomares de sementes. **Pesquisa Florestal Brasileira**, [S. l.], v. 30, n. 62, p. 107, 2010. Disponível em: <https://pfb.cnpf.embrapa.br/pfb/index.php/pfb/article/view/94>. Acesso em 03 ago 2023.
- ANDRADE, M. C. Estratégias de melhoramento em *Eucalyptus pellita* F. Muell a partir da distância genética. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais). Botucatu SP. 2020. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11449/192359> Acesso em 03 ago 2023.
- ANJOS, Viviane Ferreira dos. Utilização de marcadores SSR (Simple Sequence Repeats) na análise da diversidade genética de matrizes de *Pinus taeda* Linnaeus. 2018. 39 p. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal, Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Diamantina, 2018. Disponível em: <http://acervo.ufvjm.edu.br/jspui/handle/1/1887> Acesso em 03 ago 2023.
- ANKNEY, E.; SWOR, K.; SATYAL, P.; SETZER, W.N. Essential Oil Compositions of *Pinus* Species (*P. contorta* Subsp. *contorta*, *P. ponderosa* var. *ponderosa*, and *P. flexilis*); Enantiomeric Distribution of Terpenoids in *Pinus* Species. **Molecules** 2022, 27, 5658. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/molecules27175658> Acesso em 21 jan. 2024.
- BAPTISTA, R.O. Potencial da madeira de *Pinus maximinoi* aos sete anos para a produção de polpa celulósica kraft. 2019. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, University of São Paulo, Piracicaba, 2019. Disponível em: doi:10.11606/D.11.2019.tde-24072019-120543. Acesso em: 20 nov. 2022.
- BARRICHELO, L.E.G. BRITO, J.O. Variabilidade radial da madeira de *Pinus caribaea* var. *hondurensis*. **IPEF** n.18, p.81-102, jun.1979. Disponível em: <https://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr18/cap04.pdf>
- BEKTAS, I. The sustainability of radiata Pine wood for papermaking. **Pro Ligno** vol. 14 nº 2 2018. p.38-44. Disponível em: <https://www.proligno.ro/en/articles/2018/2/bektas.pdf>

BERLYN G.P.; MIKSCHE J.P. Botanical microtechnique and cytochemistry. **Ames, USA: Iowa State University, 1976, p. 121, 276.**

BONASSA, F.V.S.; EVANGELISTA, W.V.; FERREIRA, J.L. Determinação do rendimento de madeira serrada de três espécies florestais da Amazônia. **Engenharia Florestal: desafios, limites e potencialidades.** (2020) Pag.285-31. Cap. 23 Disponível em: doi:10.37885/200901240 Acesso em: 23 set. 2021.

CAETANO, A.P. Caracterização tecnológica da madeira de *Pinus glabra* Walt. (2018) Trabalho de conclusão de curso (graduação em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Santa Catarina. Campus Curitibanos. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/xmlui/handle/123456789/183491> Acesso em: 23 set. 2023.

CANDATEN, L.; *et al.*, Resinagem de pinus no Brasil: aspectos gerais, métodos empregados e mercado. **Produtos florestais não madeireiros: tecnologia, mercado, pesquisas e atualidades.** Pag. 45-58. (2021). Disponível em: <https://dx.doi.org/10.37885/210504772> Acesso em: 03 ago 2023.

CHILUNDO, R.M. Simulação do estabelecimento de uma área de produção de sementes de *Pinus taeda* L. em Inhamacari. (2011) Trabalho de conclusão de curso (graduação em engenharia florestal) Universidade Eduardo Mondlane Faculdade de Agronomia e Engenharia Florestal, Maputo, Moçambique, 2011. Disponível em: <http://monografias.uem.mz/handle/123456789/1936> Acesso em: 03 ago 2023.

COELHO, M.U.; BAPTISTA, R.O.; SILVA JUNIOR, F.G.; MILAGRES, F.R.; BIERNASKI, F.A.; SOMMER, S.M.; SANTOS, C.A.S.A. Avaliação tecnológica da madeira de *Pinus maximinoi* visando sua utilização industrial na produção de celulose kraft. *In: 51º ABTCP Congresso Internacional de Celulose e Papel e X Congresso Ibero-Americano de Pesquisa em Celulose e Papel* Outubro, 23-25 de outubro 2018, São Paulo, SP. Disponível em: https://www.eucalyptus.com.br/artigos/2018_Pinus+maximinoi.pdf. Acesso em: 17 set 2023.

CORDEIRO, S. A.; SILVA, M. Lopes da. Avaliação econômica de floresta de pinus para produção de madeira e resina. **Revista Agrogeoambiental**, [S. l.], v. 1, n. 2, 2009. DOI: 10.18406/2316-1817v1n2200973. Disponível em: <https://agrogeoambiental.ifsuldeminas.edu.br/index.php/Agrogeoambiental/article/view/73>. Acesso em: 28 set. 2023.

CORRÊA, R. Caracterização química e morfológica da madeira de *Cupressus lusitânica* Mill. para produção de polpa celulósica. (2017). Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Florestal). Universidade Federal de Santa Catarina. Campus Curitibanos. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/xmlui/handle/123456789/174514> Acesso em: 17 set 2023.

COSTA MONTEIRO, B. *et al.*, Uso de modelos mistos para estimativa do volume de árvores individuais em tipologias florestais no estado do Amapá. **Biota Amazônia (Biote Amazonie, Biota Amazonia, Amazonian Biota)**, [S.l.], v. 11, n. 2, p. 7-10, jul. 2021. ISSN 2179-5746. Disponível em: <https://periodicos.unifap.br/index.php/biota/article/view/5082>. Acesso em: 25 abr. 2023.

COSTA, R. B. da ., RESENDE, M. D. V. DE ., GONÇALVES, P. DE S., ROA, R. A. R., & FEITOSA, K. C. DE O. (2010). Predição de parâmetros e valores genéticos para caracteres de crescimento e produção de látex em progênies de seringueira. **Bragantia**, 69(1), 49–56. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0006-87052010000100007> Acesso em: 17 set 2023.

COSTA, R. B. da; CHICHORRO, J. F.; RESENDE, M. D. V. de; ROA, R. A. R.; COTTA, T. R.; CEZANA, D. P. Variabilidade Genética para o Caráter Germinação em Matrizes de Teca, no Município de Alegre, ES. **Pesquisa Florestal Brasileira**, [S. l.], n. 59, p. 57, 2010. Disponível em: <https://pfb.cnpf.embrapa.br/pfb/index.php/pfb/article/view/16>. Acesso em: 19 set 2023.

DA SILVA CARNEIRO, J. S.; ALVES DE SOUSA, S.; NIKKEL, M.; TEIXEIRA DEUSDARÁ, T.; FRANCIELY MACHADO, Ângela; RIBEIRO DA SILVA, R. Supercalagem: alterações em atributos químicos de um Latossolo Vermelho amarelo distrófico. **Revista de Ciências Agro-Ambientais**, [S. l.], v. 16, n. 1, p. 31–38, 2018. DOI: 10.5327/rcaa.v16i1.1522. Disponível em: <https://periodicos2.unemat.br/index.php/rcaa/article/view/1522>. Acesso em: 7 maio. 2023.

DE ARAUJO, V. A.; GARCIA, J. N.; CORTEZ-BARBOSA, J.; GAVA, M.; SAVI, A. F.; MORALES, E. A. M.; LAHR, F. A. R.; VASCONCELOS, J. S.; CHRISTOFORO, A. L. Importância da madeira de florestas plantadas para a indústria de manufaturados. **Pesquisa Florestal Brasileira**, [S. l.], v. 37, n. 90, p. 189–200, 2017. DOI: 10.4336/2017.pfb.37.90.824. Disponível em: <https://pfb.cnpf.embrapa.br/pfb/index.php/pfb/article/view/824>. Acesso em: 28 set. 2023.

DIAS, W.B.F **Análise dos efeitos do processo de urbanização na microbacia hidrográfica do Córrego do Jacú – Assis – SP.** (Dissertação – Mestrado profissional em Geografia). Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”. Presidente Prudente, 2022. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11449/239381> Disponível em: DOI: [dx.doi.org/10.18671/scifor.v46n120.15](https://doi.org/10.18671/scifor.v46n120.15) Acesso em: 09 out 2023.

EMBRAPA - Empresa Brasileira De Pesquisa Agropecuária. **Manual de métodos de análises de solo**, 2 ed, Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura e do Abastecimento; 1997.

ESCOBAR-SANDOVAL, M.C. *et al.*, Parâmetros genéticos de calidad de madera, crecimiento y ramificación en *Pinus patula*. **Madera bosques**, Xalapa , v. 24, n. 2, e2421595, 2018 . Disponível em <https://doi.org/10.21829/myb.2018.2421595>. Acesso em: 20 jan. 2023.

FABIÁN-PLESNÍKOVÁ, I.; Estudio de caracteres de intervien em la producción de resina y su posible control genético em *Pinus oocarpa*. (2020) Tese (Doutorado em Ciências Biológicas) Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Morelia, México. Disponível em: http://bibliotecavirtual.dgb.umich.mx:8083/xmlui/handle/DGB_UMICH/3741 Acesso em: 09 out 2023.

FARIA, D. .; SANTOS, C. .; FURTINI, A. C.; MENDES, L. .; GUIMARÃES JÚNIOR, J. B. . Qualidade da madeira de *Hevea brasiliensis* visando a produção de celulose e

papel. **Agrarian Academy**, [S. l.], v. 6, n. 11, 2019. Disponível em: <https://conhecer.org.br/ojs/index.php/agrarian/article/view/4999>. Acesso em: 10 out 2023.

FARIAS NETO, J. T. DE ., RESENDE, M. D. V. DE ., OLIVEIRA, M. DO S. P. DE ., NOGUEIRA, O. L., FALCÃO, P. N. B., & SANTOS, N. S. A. DOS .. (2008). Estimativas de parâmetros genéticos e ganhos de seleção em progênies de polinização aberta de açaizeiro. **Revista Brasileira De Fruticultura**, 30(4), 1051–1056. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-29> Acesso em: 09 ago 2023.

FERREIRA, A. T. B. **Caracterização da estrutura anatômica do lenho, dos anéis de crescimento e dos canais de resina de árvores de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* Barr. et Golf**. 2009. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2009. doi:10.11606/D.11.2009.tde-18052009-151531. Acesso em: 28 set. 2023

FERREIRA, E.S.; LELIS, R.C.C.; BRITO, E.O.; NASCIMENTO, A.M.; MAIA, J.L.S. Teores de tanino da casca de quatro espécie de pinus. **Floresta e Ambiente**. V.16, n.2, p.30-39, 2009. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/floram/a/CWCwy7zk58hW8vNKBz3F9ky/?lang=pt#>. Acesso em: 29 mar. 2024.

FERREIRA, M. de L.; SILVA, W. D. S. da; REIS, P. C. M. dos R.; REIS, L. P.; SANTOS, A. dos S.; SOUZA, F. I. B. de. Morfologia das estruturas anatômicas da madeira de duas espécies amazônicas com vistas à produção de celulose e papel *In*: EVANGELISTA, W. V. (org.). Madeiras Nativas e Plantadas do Brasil: Qualidade, Pesquisas e Atualidades - Volume 2. Guarujá: Editora Científica Digital, 2021. Cap. 3, p. 50-66. Disponível em: <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/1153865> Acesso em: 09 ago 2023.

GARCIA, C. H. **Tabelas para classificação do coeficiente de variação**. Piracicaba: IPEF, 1989. 11 p., 1989. Disponível em: <https://www.ipef.br/publicacoes/ctecnica/nr171.pdf> Acesso em: 25 set. 2023.

GLASS S.; ZELINKA S. L. Moisture relations and physical properties of wood. In: ROSS, R. (Ed.). **Wood handbook** – wood as an engineering material. 100th ed. Madison: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, 2010, 508 p. (General Technical Report FPL-GTR-190).

GODINHO, T. O. *et al.*, **Pró-resina: programa de expansão do plantio de pinus para produção de goma-resina e madeira no Espírito Santo** *In*: Carlos Antônio Pelúzio Silva *et al* (Org.). 29 Semana agrônômica do CCAE-UFES: plantando hoje as riquezas do futuro. 2. ed. Alegre: Caufes, 2018. p. 20-41. Disponível em: <http://periodicos.ufes.br/SEAGRO> Acesso em: 25 out. 2023

GONÇALES, J.C.; SANTOS, N. DA SILVA JÚNIOR, F.G.; SOUZA, S.R; DE PAULA, M.H. Groth ring width of *Pinus caribaea* and its relationship with wood properties. **Sci. For.**, Piracicaba, v. 46, n. 120, p. 670-678, dez. 2018

HASSAN, K.T.S.; KANDEEL, E.A.E.; KHERALLAH, I.E.A.; ABOU-GAZIA, H.A.; HASSAN, F.M.M. *Pinus halepensis* and *Eucalyptus camaldulensis* Grown in Egypt: a comparison between stem and branch properties for pulp and paper making. **BioResources**. 15(4), 7598-7614. p. 7598-7614. (2020).

IAWA Committee. IAWA List of microscopic features for softwood identification. **IAWA** Vol. 25 (1), 2004. p. 1-70. Disponível em: https://www.iawa-website.org/uploads/soft/Abstracts/01_IAWA-Softwood_List.pdf Acesso em: 17 mai. 2021

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Panorama dos municípios** – Assis, SP. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sp/assis/panorama> Acesso em: 01 dez. 2023.

IPA – Instituto de Pesquisas Ambientais, Instituto Florestal – Plano de Manejo da Floresta Estadual de Assis – Série Registros n.30 p. 1-80 jun. 2007.

KUHN, L. S. *et al.*, Caracterização anatômica do lenho anormal de compressão de *Pinus taeda* e potencial para polpação. In: Anais Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia da Madeira, 2017, **Anais eletrônicos**. Campinas, Galoá, 2017. Disponível em: <https://proceedings.science/cbctem/trabalhos/caracterizacao-anatomica-do-lenho-anormal-de-compressao-de-pinus-taeda-e-potenci?lang=pt-br> Acesso em: 25 out. 2023

LABANCA, E. R. G. Impacto de bactérias promotoras de crescimento de plantas no microbioma radicular e na fisiologia da cana-de-açúcar em solo com excesso de alumínio. Tese (Doutorado em Agricultura tropical e subtropical) Instituto Agrônomo Campinas, 2019. Disponível em: www.iac.sp.gov.br/areadoinstituto/posgraduacao/repositorio/storage/teses_dissertacoes/pb1649914.pdf Acesso em: 11 ago. 2023

LAI, M. ZHANG, L.; LEI, L.; LIU, S; JIA, T; YI, M. Inheritance of resin yield and main resin components in *Pinus elliottii* Engelm. at three locations in southern China **Industrial Crops and Products**, Volume 144, 2020. 112065, ISSN 0926-6690, Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.112065> . Acesso em 20 set. 2023.

LINDSTRÖM H.; HARRIS P.; NAKADA R. Methods for measuring stiffness of young trees. **Holz Roh. Werkst.** 60: 165–174. 2002.

MARTINEZ, Diego Tyszka *et al.*, Estudo da interação genótipo x ambiente em progênes de *Pinus taeda* por meio da análise de parâmetros genéticos. *floresta*, [S.l.], v. 42, n. 3, p. 539-552, out. 2012. ISSN 1982-4688 DOI:doi:<http://dx.doi.org/10.5380/ufpr.v42i3.20115>. Disponível em: <<https://revistas.ufpr.br/floresta/article/view/20115>>. Acesso em: 03 dez. 2023.

MARTINS, R. **Cenário da exploração da resina de *Pinus* no município de Tavares, Rio Grande do Sul.** (2022). Trabalho de conclusão de curso (graduação em Desenvolvimento Rural) Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Faculdade de Ciências Econômicas. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10183/256258>. Acesso em: 11 ago. 2023.

- MEDEIROS, G.I.B.; FLORINDO, T.J. SCHULTZ, G. TALAMINI, E. Análise da competitividade da cadeia produtiva de oleoresina de *Pinus* brasileira. **Revista espacio** vol. 38 nº 27 ano 2017 pg 29. Disponível em: <https://www.revistaespacios.com/a17v38n27/a17v38n27p29.pdf> Acesso em: 10 mai. 2022.
- MEENA, DS.; AKASH; BIJLWAN, K.; BH BHANDARI. Características e avaliação da qualidade da produção de oleoresina por meio do método de furo em Chir-pine sob a divisão florestal de Narendranagar, Uttarakhand, Índia. **Revista Indonésia de Questões Sociais e Ambientais (IJSEI)** , v. 2, pág. 126-132, 30 de agosto de 2023 DOI:10.47540/ijsei.v4i2.773. Disponível em: <https://ojs.literacyinstitute.org/index.php/ijsei> Acesso em: 20 jan. 2023.
- MENDONÇA, A. R.; LACHINI, E.; VIEIRA, G. C.; REGAZZI, A. J.; SILVA, G. F. da. Efeito da idade na estimação do volume de pinus tropicais. **Agrarian, [S. l.]**, v. 12, n. 44, p. 214–222, 2019. DOI: 10.30612/agrarian.v12i44.4121. Disponível em: <https://ojs.ufgd.edu.br/index.php/agrarian/article/view/4121>. Acesso em: 29 mar. 2024.
- MENEGHETTI, E. C. **Propagação clonal de *Pinus elliottii* x *Pinus caribaea***. 2020. Tese (Doutorado em Fisiologia e Bioquímica de Plantas) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2020. Disponível em: doi:10.11606/T.11.2020.tde-04052020-104051. Acesso em: 20 jan. 2023.
- MIRANDA, M.C.; CASTELO, P.A.R. Avaliações anatômicas das fibras da madeira de *Parkia gigantocarpa*. **Ciência da Madeira** (Braz. J. Wood Sci.), Pelotas, v. 03, n. 02, novembro de 2012. Disponível em: <https://periodicos.ufpel.edu.br/index.php/cienciadamadeira/article/view/4039> Acesso em: 03 fev. 2022.
- MISSIO, R. F. *et al.*, Seleção simultânea de caracteres em progênies de *Pinus caribaea* Morelet var. *bahamensis*. **Scientia Forestalis/Forest Sciences**, n. 66, p. 161-168, 2004. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11449/68033>. Acesso em 15 ago 2023.
- MODES, K.S.; LUDWIG, R.L.; VIVIAN, M.A.; STOLBERG, J. Wood quality of *Pinus patula* Schtdl & Cham for the pulp production. **Revista Árvore** 2019;43(2):e430207. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/1806-90882019000200007> Acesso em 03 ago 2022.
- MOREIRA, J.P. Produtividade, estabilidade, adaptabilidade e diversidade genética em testes de progênie de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* e *Pinus tecunumanii*. Tese (Doutorado em Agronomia) Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Faculdade de Engenharia Ilha Solteira, 2017. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11449/152530> Acesso em 03 ago 2023.
- MOREIRA, R.C.S; QUADROS, N.K; ALVES, V.S. Análise do mercado de goma resina no cone sul de Rondônia no ano de 2016. **Diálogos: Economia e Sociedade**, Porto Velho, v. 2, n. 1, p. 108–122, jan./jun. 2018. Disponível em: <https://periodicos.saolucas.edu.br/index.php/dialogos/article/view/30/28>. Acesso em 15 jan. 2024.

NEIS, F.A. Controle ambiental da resinose em *Pinus elliottii* Engelm. e seleção de indivíduos superresinosos. 2018. Tese (Doutorado em Biologia celular e molecular) Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Centro de Biotecnologia do Estado do Rio Grande do Sul. Programa de Pós-Graduação em Biologia Celular e Molecular. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10183/193952> Acesso em 15 ago 2023.

NEIS, F.A. *et al.*, Multiple industrial uses of non-wood pine products, **Industrial Crops and Products**, Volume 130,2019, Pages 248-258, ISSN 0926-6690. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.12.088>. Acesso em 19 jul 2023

NETO, N.R; RONQUI, R.A; SEIDINGER, L.C; UDULUTSCH, R.G. Climbers of the Estação Ecológica de Assis, State of São Paulo, Brazil: floristics and identification keys. **PhytoKeys**. 2018 May 21;(99):67-84. doi: 10.3897/phytokeys.99.13659. PMID: 29861652; PMCID: PMC5972146 Acesso em 19 set 2023

NISGOSKI, S. Eletroscopia no infravermelho próximo no estudo de características da madeira e papel de *Pinus taeda*. (2005). Tese (Doutorado em tecnologia e Utilização de produtos florestais). Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR. Disponível em: http://www.floresta.ufpr.br/pos-graduacao/defesas/pdf_dr/2005/t186_0213-D.pdf Acesso em 15 ago 2023.

OLIVEIRA, F. F. **Caracterização físico-química de amostras de óleo de pinho e estudo da ação de sistemas tensoativos na atividade antimicrobiana de ativos fenólicos**. 2008. Tese (Doutorado em Química Analítica) - Instituto de Química, University of São Paulo, São Paulo, 2008. doi:10.11606/T.46.2008.tde-21072008-142150. Acesso em: 22 Jan. 2024.

PAGLIARINI, M. K.; AGUIAR, A.V.; SHIMIZU, J.Y.; FURLANI JÚNIOR, E.; ORLANDO NETO, A. Variação genética em teste de procedência e progênie de *Pinus tecunumanii*. In: II Congresso Brasileiro de Recursos Genéticos 24 a 28 de setembro de 2012. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/940673/1/2012AnandaVariacaoPinusTecunumanii.pdf> Acesso em 19 jul 2023

PATRÍCIA MARCOS; GABRIELI SCHULTZ DE PAULA,.; MICHALICHEN, .; CAVALLI, .; JOSÉ BRUN, . Influência da área vital no crescimento em diâmetro de pinus híbrido na região sudoeste do Paraná . **9º Congresso Florestal Brasileiro**, [S. l.], v. 1, n. 1, p. 422–425, 2022. DOI: 10.55592/CFB.2022.4469235. Disponível em: <https://publicacoes.softaliza.com.br/congressoflorestalbrasileiro/article/view/2502>. Acesso em: 20 set. 2023.

PEGO, M.F.; BIANCHI, M.L.; VEIGA, T.R.L.A.; Avaliação das propriedades do bagaço de cana e bambu para produção de celulose e papel. **Revista de Ciências Agrárias – Amazonia Journal of Agricultural and Environmental Sciences** v.62 (2019). Disponível em: <http://ajaes.ufra.edu.br/index.php/ajaes/article/view/3158> Acesso em: 20 set. 2023

PIMENTEL, A. J. B., GUIMARÃES, J. F. R., SOUZA, M. A. DE ., RESENDE, M. D. V. DE ., MOURA, L. M., ROCHA, J. R. DO A. S. DE C., & RIBEIRO, G.. (2014). Estimação de parâmetros genéticos e predição de valor genético aditivo de trigo utilizando modelos mistos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 49(11), 882–

890. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2014001100007> Acesso em 05 set 2023.

PIVA, T.; DLUGOSZ, F. Adubação de cobertura na cultura do *Pinus taeda* com diferentes dosagens de nitrogênio. **Tech & Campo** v. 1 n.1 (2018). Disponível em: <https://revista.camporeal.edu.br/index.php/tech/article/view/238> Acesso em: 15 out 2023.

PUPIN, S. *et al.*, Productivity, stability and adaptability in open pollination progenies of *Eucalyptus urophylla* ST Blake. **Scientia Forestalis**. Piracicaba: Ipef-inst Pesquisas Estudos Florestais, v. 43, n. 105, p. 127-134, 2015. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11449/129244>. Acesso em 05 set 2023.

RABEL, D.D., MAEDA, S., ARAUJO, E.M. *et al.*, Recycled alkaline paper waste influenced growth and structure of *Pinus taeda* L. forest. **New Forests** **52**, 249–270 (2021). <https://doi.org/10.1007/s11056-020-09791-5> Acesso em: 15 out 2023.

RAIJ B. V *et al.*, Análise química para avaliação da fertilidade do solo. **Instituto Agrônômico**, Campinas. 2001 285 p.

RECCO, C.R.B. SANTOS, W. AGUIAR, A.V. MATEUS, G.P.; CAMBUIM, J. NEVES, G.A., MELO, L. A. MORAES, M.L.T. Tamanho efetivo populacional e diversidade genética em progênies de *Pinus caribaea* var. *hondurensis*. In 1º workshop sistemas de produção sustentáveis 27 e 28 de novembro de 2015. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/143906/1/2015-Ananda-WSPS-Tamanho.pdf>. Acesso em 05 set 2023

RESENDE, M. D. V. Genética biométrica e estatística no melhoramento de plantas perenes. Brasília: **Embrapa Informações Tecnológicas**, 2002. 975p.

RESENDE, M. D. V. Matemática e estatística na análise de experimento e no melhoramento genético. Colombo: **Embrapa Florestas**, 2007b. 362 p.

RESENDE, M. D. V., ARAÚJO, A. J., SAMPAIO, P. T. B., & WIECHETECK, M. S. S. (1995). Acurácia seletiva, intervalos de confiança e variância de ganhos genéticos associados a 22 métodos de seleção em *Pinus caribaea* var. *hondurensis*. **Revista Floresta**, 24, 35-45 Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/46539/1/Acuracia-seletiva-intervalos-de-confianca-e-variencias-de-ganhos-geneticos-associados-a-22-metodos-de-selecao-em-Pinus-carimbaea-var.hondurensis.pdf>. Acesso em: 25 abr. 2023.

RESENDE, M. D. V.; VENCOVSKY, R. Condução e utilização de bancos de conservação genética de espécies de eucalipto. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 6., 1990, Campos do Jordão. Anais. São Paulo: Sociedade Brasileira de Silvicultura, 1990. p.434-439

RESENDE, M.D.V.; DUARTE, J.B. Precisão e controle de qualidade em experimentos de avaliação de cultivares. **Pesquisa Agropecuária Tropical** 37(3): 182-194, set. 2007. Disponível em: www.agro.ufg.br/pat. Acesso em: 26 abr. 2023.

ROCHA, C.B.R.; POTIGUARA, R.C.V. Morfologia das fibras das folhas de *Astrocaryum murumuru* var. *murumuru* Mart. (Arecaeae). **Acta Amazonica**. Vol.

37(4) 2007; 511-516. Disponível em:

<https://www.scielo.br/j/aa/a/JWfHdqtpZ69zRCCxdDxzdck/?format=pdf&lang=pt>

Acesso em: 26 abr. 2023.

ROMANELLI, R. C. Seleção precoce em progênies de *Pinus elliottii* var. *elliottii* Engelm. **Revista do Instituto Florestal**, São Paulo, v. 7, n. 1, p. 101–113, 1995.

DOI: 10.24278/2178-5031.199571570. Disponível em:

<https://rif.emnuvens.com.br/revista/article/view/570>. Acesso em: 20 set. 2023.

SAMPAIO, P. D. T. B., RESENDE, M. D. V. D., & ARAÚJO, A. J. D.. (2000).

Estimativas de parâmetros genéticos e métodos de seleção para o melhoramento genético de *Pinus caribaea* var. *hondurensis*. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 35(11), 2243–2253. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2000001100017>

Acesso em: 14 jul. 2023.

SAMPAIO, P. DE T. B., RESENDE, M. D. V. DE ., & ARAÚJO, A. J. de .. (2002).

Estimativas de parâmetros genéticos e métodos de seleção para o melhoramento genético de *Pinus oocarpa* Schiede. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 37(5), 625–636. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2002000500007>

Acesso em: 14 jul. 2023.

SANTOS, W. dos; SILVA, M. S. C. da; DENIZ, L. D.; KIERAS, W. S.; SCHIMIZU, J. Y.; SOUSA, V. A. de; AGUIAR, A. V. de. Identificação de procedências e progênies de *Pinus maximinoi* com potencial produtivo para madeira. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 46, n. 117, p. 127-136, mar. 2018. Disponível em:

<http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/1103155>. Acesso em: 14 jul. 2023

SANTOS, Wanderley dos. Variação genética e desempenho de progênies de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* para produção de madeira e resina. 2014. 98 f.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Faculdade de Engenharia, 2014. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11449/126298>
Acesso em: 15 set. 2023.

SARRIA-VILLA, Rodrigo A.; GALLO-CORREDOR, José A.; BENÍTEZ-BENÍTEZ, Ricardo. Characterization and determination of the quality of rosins and turpentines extracted from *Pinus oocarpa* and *Pinus patula* resin. **Heliyon**, v. 7, n. 8, 2021.

Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e07834> Acesso em: 19 jan. 2024.

SBARDELLA, M. Avaliação da qualidade da madeira de *Eucalyptus dunnii* visando a produção de polpa celulósica (2018) Trabalho de Conclusão de Curso (graduação em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Santa Catarina, Campus Curitibanos. Disponível em:

https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/217869/Marina_Sbardella.pdf?sequence=1&isAllowed=y Acesso em: 11 ago. 2023

SCHIMIDT, S. L. Determinação das propriedades físicas da madeira de *Pinus taeda* e *Eucalyptus grandis*: base para recomendação e uso. (2015) Projeto acadêmico (graduação) Universidade Federal de Santa Catarina. Campus Curitibanos. Ciências Rurais. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/22417> Acesso em: 28 set. 2023

SCHLICHTINHG, R.C. **Caracterização morfológica dos traqueídes da madeira de *Cryptomeria japonica* no sentido medula-casca**. TCC (graduação) - Universidade Federal de Santa Catarina. Campus Curitibanos. Engenharia Florestal (2018). Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/xmlui/handle/123456789/183498> Acesso em: 27 fev.2023

SEBBENN, A. M.; PIRES, C. L. da S.; STORCK, L.; CUSTODIO FILHO, A.; ROSA, P. R. F. da. Variação genética em progênies de meios-irmãos de *Pinus caribaea* Mor. var. *bahamensis* Bar. et Golf. na região de Bebedouro - SP. **Revista do Instituto Florestal**, São Paulo, v. 6, p. 63–73, 1994. DOI: 10.24278/2178-5031.19946503. Disponível em: <https://rif.emnuvens.com.br/revista/article/view/503>. Acesso em: 07 ago 2022.

SECRETARIA DE INFRAESTRUTURA E MEIO AMBIENTE – Instituto Florestal 2021. Disponível em: <https://www.infraestruturameioambiente.sp.gov.br/institutoflorestal/areas-protegidas/estacoes-ecologicas/assis/> Acesso em: 23 ago. 2021.

SILVA, A. H. da *et al.*, Use of experimental design techniques for the optimization of the resin distillation process of *Pinus elliottii*. **Ciência Florestal** [online]. 2021, v. 31, n. 1 pp. 252-270. Disponível em: Epub 30 Apr 2021. ISSN 1980-5098. <https://doi.org/10.5902/1980509840346>. Acesso em: 15 Jan 2024.

SILVA, J. M.; AGUIAR, A. V.; MORI, E. S.; MORAES, M. L. T.. Divergência genética entre progênies de *Pinus caribaea* var. *caribaea* com base em caracteres quantitativos. **Pesquisa Florestal Brasileira**, [S. l.], v. 32, n. 69, p. 69, 2012. Disponível em: <https://pfb.cnpf.embrapa.br/pfb/index.php/pfb/article/view/194>. Acesso em: 10 jan. 2023.

SILVA, P.S.S.; DAL BEM, E.A. Análise da produção de goma-resina entre três espécies tropicais do gênero *Pinus* **Revista Científica Eletrônica de Ciências Aplicadas da FAIT**, ano viii. v 15, n1, maio, 2020.http://fait.revista.inf.br/imagens_arquivos/arquivos_destaque/80t6baJdw3k1lqw_2020-7-15-17-56-1.pdf Acesso em: 27 ago. 2023.

SILVA, S.A.; FERRARI, L.S.; MOREIRA, D.; LANSSANOVA, L.R.; ANSOLIN, R.D.; CIARNOSCHI, LD.; NAKAJIMA, N.Y. Funções de afilamento para *Pinus elliottii* Engelm. Proveniente de condução de regeneração natural. **BIOFIX Scientific Journal** v. 3 n. 1 p. 130-136 2018 disponível em: DOI: [dx.doi.org/10.5380/biofix.v3i1.57782](https://doi.org/10.5380/biofix.v3i1.57782) Acesso em: 29 mar. 2024.

SOUZA, T.S.; SANTOS, W. DENIZ, L.D.; ALVES, A.P.O; SHIMIZU, J.Y.; SOUSA, V.A.; AGUIAR, A.V. Variação genética em caracteres quantitativos em *Pinus caribaea* var. *hondurensis*. **Scientia Forestalis**. Piracicaba, v. 45, n. 113, p. 177-185, mar. 2017 disponível em: [dx.doi.org/10.18671/scifor.v45n113.18](https://doi.org/10.18671/scifor.v45n113.18) Acesso em: 27 ago. 2023.

STUDART-GUIMARÃES, CLAUDIA, LACORTE, CRISTIANO E BRASILEIRO, ANA CRISTINA MIRANDA. Transformação genética em espécies florestais. **Ciência Florestal** [online]. 2003, v. 13, n. 1, pp. 167-178. Disponível em: <https://doi.org/10.5902/198050981735> Acesso em 28 set. 2023.

SUKURNO, A. ZAIRINA, A.; QUARTA, Y.; KURNIASARI, R.; SUMARDI, S.; LEKSONO, A.S.; Yield and components of pine (*Pinus merkusii*) turpentine among age class differences tapping by Borehole method. **J-Pal**, Vol.11, n° 1,2020. Disponível em: <https://jpal.ub.ac.id/index.php/jpal/article/view/464> Acesso em: 17 jan. 2024.

TALGATII M. DA SILVEIRA, A G. OLIVEIRA, L.H.; SANTINI, E.J.; PASA, D.L. Caracterização anatômica de clones de *Eucalyptus* para a produção de papel. **Biofix Scientific Journal** v.5 n.1 p. 65-70 2020. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.5380/biofix.v5i1.67625> Acesso em: 17 jul. 2023.

TAMBARUSSI, E. V. *et al.*, (2018). Análise dialéctica na avaliação do potencial de híbridos de *Pinus elliottii* x *Pinus caribaea* para a formação de populações de melhoramento. **Scientia Forestalis.**, Piracicaba, v. 46, n. 119, p. 395-403, set. 2018 DOI: [dx.doi.org/10.18671/scifor.v46n119.07](https://doi.org/10.18671/scifor.v46n119.07). Acesso em: 17 jul. 2023

TÉO, S. J.; MIGUEL, E. P.; NASCIMENTO, R. G. M. MODELOS DE AFILAMENTO E FORMA DOS FUSTES DE EUCALIPTO, EM DIFERENTES QUALIDADES DE SÍTIO. **Nativa**, [S. l.], v. 6, p. 832–840, 2018. DOI: 10.31413/nativa.v6i0.6247. Disponível em: <https://periodicoscientificos.ufmt.br/ojs/index.php/nativa/article/view/6247>. Acesso em: 29 mar. 2024.

VIDAURRE, G., LOMBARDI, L.R.; OLIVEIRA, J.T.S.; ARANTES, M. D.C. Lenho juvenil e adulto e as propriedades da madeira. **Floresta e Ambiente** 2011. Out/dez.; 18(4): 469-480. Disponível em: <http://doi10.4322/floram.2011.066>. Acesso em 28 set. 2023.

VIVIAN, M. A., DOBNER JÚNIOR, M., MODES, K. S., BELINI, U. L., & VAZ, D. R. (2022). Ciclos de produção de *Pinus taeda* L. com mais de 30 anos: uma alternativa para obtenção de madeira para usos sólidos e estruturais. **Ciência Florestal**, 32(2), 573–596. Disponível em: <https://doi.org/10.5902/1980509842430>. Acesso em: 17 set. 2023

VIVIAN, M. A.; MODES, K. S.; CAETANO, A. P. Potencial da madeira de *Pinus glabra* para produção de polpa celulósica. **Madera bosques**, Xalapa , v. 26, n. 3, e2632058, 2020 . Disponível em: <https://doi.org/10.21829/myb.2020.2632058> Acesso em: 17 jul. 2023.

VIVIAN, M.A.; CARDOSO, A.S.; MODES, K.S.; SILVA JÚNIOR, F.G.; Avaliação do potencial da madeira de *Pinus greggi* para produção de polpa celulósica. **Revista de Ciências Agroveterinárias** Lages, v. 21, n. 1, p. 56-65, 2022. DOI: 10.5965/223811712112022056. Disponível em: <https://www.revistas.udesc.br/index.php/agroveterinaria/article/view/20687>. Acesso em: 04 ago. 2023

VIVIAN, M.A.; SEGURA, T.S.; BONFATTI JÚNIOR, E.A.; SARTO, C. SCHMIDT, F. SILVA JÚNIOR, F.G.; GABOV, K.; FARDIM, P. Qualidade das madeiras de *Pinus taeda* e *Pinus sylvestris* para produção de polpa celulósica kraft. **Sci. For.**, Piracicaba, v. 43, n. 105, p. 183-191, mar. 2015. Disponível em: <https://www.ipef.br/PUBLICACOES/SCIENTIA/nr105/cap18.pdf> Acesso em 15 ago 2023.

CAPÍTULO 2

DIVERGÊNCIA GENÉTICA EM PROGÊNIES DE *Pinus caribaea* var. *bahamensis* COM BASE EM CARACTERES QUANTITATIVOS

2.1 INTRODUÇÃO

A introdução de espécies florestais exóticas favoreceu de modo positivo o desenvolvimento socioeconômico do Brasil, principalmente, em áreas do qual características climáticas e de solo desestimulava o setor agrícola (Sampaio, Resende e Araújo, 2000). O gênero *Pinus* apresenta em sua fisiologia uma boa resistência à seca, são exigentes em luz e permite ser plantados em locais com variações de temperaturas além de apresentar grande versatilidade no que se diz a fertilidade, profundidade e textura do solo, favorecendo seu plantio em diversas condições ambientais (Silva *et al.*, 2019).

Dentre essas espécies florestais plantadas, as de pínus se destacam tanto para produção de madeira quanto de resina. Apesar das áreas plantadas de pínus não terem aumentado ao longo dos últimos anos, os seus plantios vêm ocorrendo em outros estados brasileiros, principalmente para produção de resina. As maiores áreas plantadas de pínus se concentrarem nas regiões Sul e sudeste do país, onde predominam as regiões de clima subtropical e temperado. Nas zonas de clima temperado, os plantios com as espécies *Pinus elliottii* var. *elliottii* e *Pinus taeda* predominam. Já nas zonas de clima tropical e subtropical os plantios com as espécies tropicais (*Pinus caribaea* var. *hondurensis*) e seus híbridos interespecíficos têm apresentado melhor adaptação para as condições edafoclimáticas. Plantios experimentais, testes genéticos, com outras espécies tropicais, variedades e híbridos de pínus são encontrados também nessas zonas, principalmente, com a *Pinus caribaea* var. *bahamensis*

Os plantios e ensaios experimentais de *P. caribaea* var. *bahamensis* tem apresentado um bom potencial de madeira, tendo altos incrementos volumétricos em madeira tanto em regiões próximas ao nível do mar como em regiões de planalto. A espécie também vem se destacando na produção de resina, e sendo considerada em programas de melhoramento em testes de progênies puras e híbridas em regiões

tropicais (Aguiar *et al.*, 2011). No entanto, mesmo com resultados positivos para melhoramento genético, um dos principais obstáculos que impedem a ampla difusão dos plantios comerciais dessa espécie é a baixa produção de sementes (Trianoski, 2012), principalmente, nas regiões de alta altitude. Essa variedade de pínus faz parte do programa de melhoramento genético de pínus produção de madeira e resina.

Nos testes genéticos *P. caribaea* var. *bahamensis* estão sendo mensurados vários caracteres ao mesmo tempo, a fim de potencializar tempo e recursos e também estimar as relações entre eles. As estimativas de correlações possibilitarão selecionar entre vários caracteres aquela de importância para a finalidade do estudo mesmo que esta apresente baixa herdabilidade ou difícil avaliação (Souza, 2021). As relações entre os caracteres facilitam também a tomada de decisão para diversas etapas de um programa de melhoramento. Essas etapas podem ser no âmbito genético, fenotípico ou ambiental (Santos, 2018) o grau de associação entre os caracteres varia de -1 a 1 (Adamich, 2018).

A correlação entre caracteres é um parâmetro de suma importância para os programas de melhoramento genético, pois eles possibilitam a seleção de modo paralelo entre os caracteres desejados (Castro *et al.*, 2019). Quando a correlação ocorre diretamente de observação dos experimentos, a correlação é fenotípica podendo se decompor em genética e ambiental. No estudo de melhoramento de plantas, a correlação genética quantitativa, demonstra uma necessidade de distinção entre as características genéticas e ambientais. A correlação genética é dada pela correlação de valores genéticos das características podendo surgir pela pleiotropia e pelas ligações genéticas, já a correlação ambiental, surge quando há influência do ambiente sobre duas ou mais características, e essa influência pode ser positiva ou negativa (Ferreira, 2022).

A distância de Mahalanobis, leva em consideração as correlações que há entre as variáveis analisadas e não varia em escala (Costa, 2020). Após a obtenção das distâncias genéticas através das distâncias generalizada de Mahalanobis, é realizada a formação de grupos, sendo comumente utilizado o método de Tocher, onde há a utilização de uma matriz de similaridade que identifica qual o par de genótipo que mais se assemelha, formando um grupo inicial e sequencialmente a inclusão de novos genótipos no grupo utilizando o mesmo critério (Grigolo *et al.*, 2018).

Quando se trata de divergência genética entre as populações ou entre progênies, é importante ter uma direção da estratégia de melhoramento que irá se

utilizar pois, identificando o desempenho do material que foi usufruído, é possível ter uma recombinação dos genes para que possam ser explorados (Freitas *et al.*, 2013). As informações obtidas nos estudos de divergência genética informam as perdas genéticas que há por conta do isolamento das populações dos indivíduos, isso gerará consequências para as futuras gerações, o que possibilita o desenvolvimento de estratégias para que haja o incremento e a preservação da diversidade atual da população estudada (Souza, 2021). A avaliação da divergência genética através da quantificação dos indivíduos, quando visado a conservação e/ou o melhoramento genético da espécie estudada, pode ser feita através de um conjunto de caracteres, morfológicos, agronômicos ou morfo-agronômicos, e são inferidos por métodos preditivos, com análises multivariadas (Sousa e Oliveira, 2018).

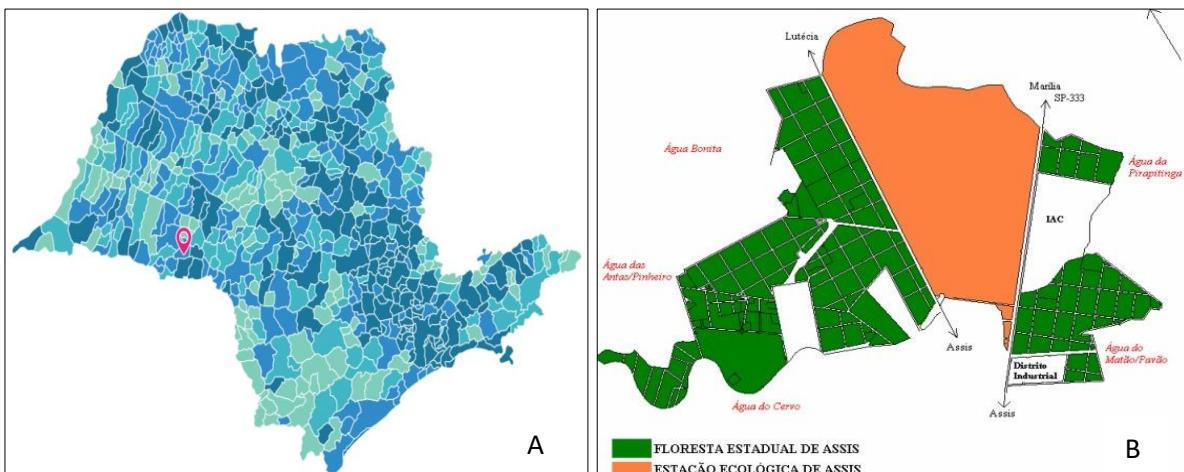
Dessa forma, o objetivo do presente estudo foi estimar as correlações genéticas e fenotípicas entre os caracteres resiníferos, silviculturais e de qualidade da madeira e a divergência genética entre as progênies para definir as propostas de seleção de maneira mais assertiva para produção de sementes com qualidade genética tanto puras quanto híbridas.

2.2 MATERIAL E MÉTODOS

2.2.1 Material

O teste de progênies de *P. caribaea* var. *bahamensis* foi instalado em março de 1988, na Estação Ecológica do município de Assis (Figura 1 A e B), com sementes de polinização aberta, oriundas do programa de melhoramento genético do Instituto Florestal do Estado de São Paulo. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos completos ao acaso, com 72 progênies, uma planta por parcela com 28 repetições, totalizando 2.016 árvores no experimento. O espaçamento foi de 6 x 6 metros, sendo a idade das árvores de 34 anos.

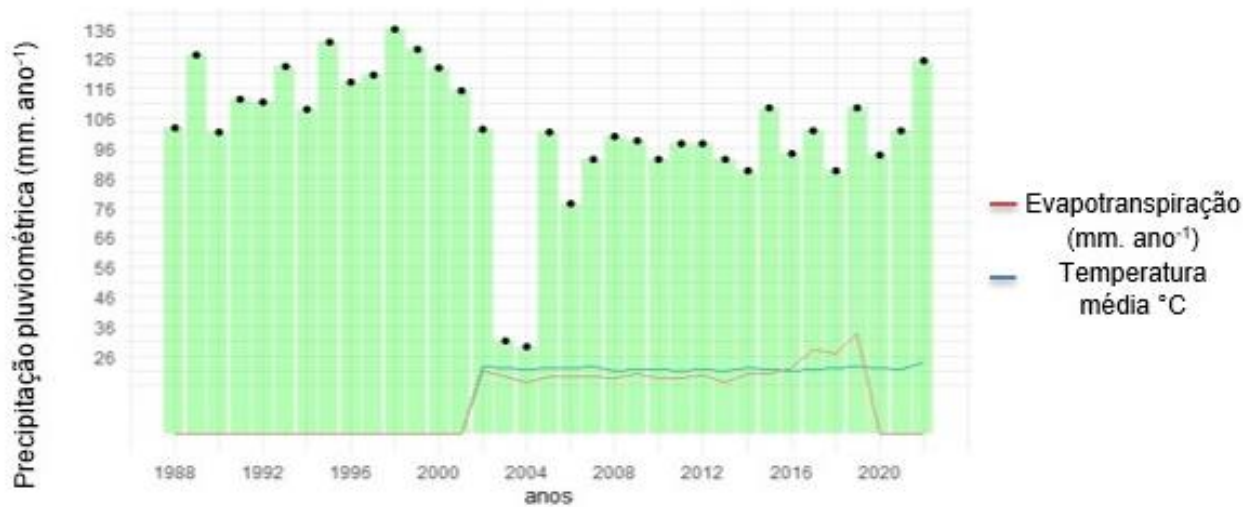
Figura 1 – Localização do município de Assis, SP (A); Mapa da Estação Ecológica de Assis, SP (B)



Fonte: (A) IBGE, 2022; (B) IPA, 2007.

O município de Assis apresenta temperatura média anual entorno de 21°C, índice pluviométrico anual de aproximadamente 1.400 mm, (140 cm³) com chuvas predominantes entre os meses de outubro a março (Figura 2) (Dias, 2022). O solo da Estação Ecológica onde se encontra instalado o experimento é representado por Latossolo vermelho-amarelo (LE1); Podzólico vermelho-amarelo eutrófico, (PV2) e Areia quartzosa álica (AQa) (Secretaria de Infraestrutura e Meio ambiente, 2021).

Figura 2 – Gráfico climatológico de precipitação, temperatura média e evapotranspiração do município de Assis, SP, do ano de 1988 a 2022.



Fonte: O autor.

A vegetação da Estação Ecológica de Assis é caracterizada como cerrado *lato sensu*, tendo uma predominância de uma vegetação arbórea denominada cerradão, e está inserindo no bioma da floresta estacional (Neto *et al.*, 2018).

2.2.2 Métodos

2.2.2.1 Avaliação dos caracteres de crescimento e silviculturais

Os caracteres silviculturais (ângulo e espessura do galho, entrenó, conicidade e forma de fuste) e crescimento (altura total e circunferência à altura do peito) foram avaliados em todas as árvores remanescentes, em novembro de 2020. Para estimativa do volume (m³. árvore⁻¹) e diâmetro à altura do peito (DAP – cm) foram considerados: a altura total, a circunferência à altura do peito (CAP – cm) e o fator de forma, conforme a expressão abaixo:

$$DAP = \frac{CAP}{\pi}$$

A mensuração do volume (m³.arv⁻¹) foi realizado pela expressão abaixo:

$$V = \pi \times (DAP^2 \div 40,000) \times (altura \times fator \ de \ forma)$$

Em que: o fator de forma utilizado foi de 0,47 conforme Sebben *et al.*, (1994).

A conicidade (5-10), a largura entrenós (1-10), o ângulo (2-10) e a espessura dos galhos (1-10), a forma do fuste (1-20) e a presença e ausência de bifurcação foram avaliados a partir de notas que variaram para cada caráter (entre parênteses), do qual são propostas pelo Projeto Cooperativo de Melhoramento de Pinus – PCMP³. Após realizadas as avaliações aplicou-se a somatória de notas de todos os caracteres que também influenciam na qualidade da madeira para desdobro.

2.2.2.2 Velocidade da onda acústica

Equipamentos acústicos com base em ultrassom ajudam na determinação de forma rápida e simples o módulo de elasticidade (MOE), empregando-se para tanto as informações da propagação da velocidade da onda acústica e a densidade da madeira, que pode ser usada na seleção de toras ou árvores (Lindström, Harris e Nakada, 2002). Para mensurar a velocidade da onda acústica foi utilizado um equipamento de ultrassom portátil (Tree Sonic) com duas sondas, a emissora do sinal colocada na base do tronco da árvore e a receptora colocada a 1 m de distância da sonda emissora (Figura 3).

Figura 3 – Equipamento de Ultrassom portátil (Tree sonic) instalado na árvore



Foto: Talita Carvalho de Souza Santos, 2023

³ Notas fornecida pela pesquisadora integrante do projeto, Dr^a Ananda Virginia de Aguiar, em setembro de 2020.

Os três valores emitidos pelo equipamento foram anotados e, posteriormente, calculou-se a velocidade de propagação do som com auxílio da fórmula:

$$V = \frac{1000 \times 1000}{v + 1,4}$$

Em que: V= velocidade (m.s⁻¹); v = velocidade média (Σ das três velocidades); 1,4 = fator de correção. Dos valores mencionados, (1000) é da fórmula e o outro (1000) é devido a um metro de distância que foi adotado de uma sonda a outra que foi transformado em milímetros.

Foi realizado a leitura da velocidade de todas as árvores do plantio e, posteriormente, o cálculo do módulo de elasticidade dinâmico (MOEd) dos indivíduos, empregando-se os valores de densidade aparente das baguetas das árvores amostradas no teste de progênies.

2.2.2.3 Retirada das baguetas

Dos vinte e oito blocos, foram selecionados dez blocos que apresentavam maiores índices de sobrevivência, para a retirada das baguetas, totalizando 457 árvores amostradas. Foram retiradas duas baguetas de cada árvore (Figura 4A) na altura do DAP com auxílio de um trado (Figura 4B). As baguetas foram enviadas as amostras para laboratório para estimar a densidade aparente das amostras.

Esse método de retirada das baguetas consiste na determinação não destrutiva do indivíduo, que proporciona a retirada apenas de uma pequena parte de madeira sem que haja o comprometimento total da árvore (Abjaur *et al.*, 2017). Das 457 árvores que foram avaliadas, 25 árvores com maiores diâmetros foram selecionadas para mensuração dos índices de qualidade para papel e celulose.

Figura 4 – Bagueta recém retirada da árvore (A); Posicionamento do trado no indivíduo (B)



2.2.2.4 Densidade aparente

A densidade aparente (ρ_{12}) foi determinada a 12%⁴ de teor de umidade pela relação entre massa e volume. A massa foi avaliada diretamente pela pesagem das amostras (baguetas), e o volume a partir do volume de água deslocada pela imersão das amostras (Glass e Zelinka, 2010). Foi empregada a seguinte fórmula:

$$\rho_{12} = \frac{M}{V}$$

Em que: ρ_{12} = densidade aparente ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$); M = massa da amostra a 12% de umidade (kg); V = volume da amostra a 12% de umidade (m^3).

⁴ O valor está estipulado conforme a NBR 7190/1997, que especifica para as propriedades de rigidez e resistência da madeira, o valor da umidade de equilíbrio da madeira deve-se encontrar a 12%.

2.2.2.5 Cálculo do módulo de elasticidade dinâmico – MOEd

A partir dos valores de densidade e a velocidade de propagação do som da madeira, foi calculado o módulo de elasticidade dinâmico, com o emprego da seguinte expressão:

$$MOEd = (V^2) \times \rho_{12} \times 10^{-6}$$

Obs: ABNT 2022 classificação para *Pinus* MOE (módulo de elasticidade a flexão)

MOE-> 11.000 MPa classe 3; MOE-> 8.000 MPa classe 2 e MOE-> 5000 MPa classe 1.

Em que: MOEd = Módulo de Elasticidade dinâmico (MPa); V = velocidade da onda acústica (m.s⁻¹); ρ_{12} = densidade (kg.m⁻³).

2.2.2.6 Índice de seleção

O índice de seleção foi dado pela atribuição de pesos diferentes para os caracteres avaliados (forma de fuste, módulo de elasticidade dinâmico, volume, DAP e características silviculturais: ângulo do galho, espessura do galho, entrenó, conicidade). Como a finalidade do melhoramento é madeira para desdobro, os caracteres relacionados a forma do fuste, os caracteres: módulo de elasticidade e volume receberam pesos semelhantes, conforme a expressão abaixo:

$$IS = (0,3 \times \text{forma de fuste}) + (0,2 \times MOEd) + (0,2 \times \text{volume}) + (0,2 \times DAP) \\ + (0,1 \times \text{características silviculturais})$$

Os caracteres foram distribuídos em caracteres de crescimento (DAP, altura e volume), caracteres silviculturais (módulo de elasticidade dinâmico, velocidade, ângulo do galho, espessura do galho, entrenó, conicidade, forma de fuste, soma dos caracteres silviculturais e índice de seleção) e caracteres resiníferos (produção de resina da primeira, segunda e terceira coleta, produção de resina total e produção de resina por estria).

2.2.2.7 Produção de resina

A produção de resina foi avaliada pelo método tradicional, com painel com largura de 18 cm, e, aproximadamente, 19 estrias por ano, com estrias variando de 2 a 3 centímetros. A resina foi coletada de outubro de 2021 a outubro de 2022. Para coleta da resina foi utilizado um saco plástico, de 35 x 25 cm com aproximadamente 35 gramas de capacidade, fixado com um arame ao redor do tronco das árvores. A coleta da resina acumulada nos sacos plásticos foi feita manualmente. Houve a aplicação da pasta de H₂SO₄ para estimular a abertura dos canais resiníferos.

A produção de resina de cada árvore foi coletada três vezes ao ano, a cada troca de saquinhos. A pesagem de resina nas três coletas foi realizada da seguinte maneira: retirou-se o peso inicial do saquinho, posteriormente, anotou-se o peso do saquinho e esvaziou o saquinho para subtrair da próxima pesagem da resina. Para pesagem das resinas foi utilizado uma balança digital de mão (STC-01) da marca Tomate, com precisão de 20 gramas, e com capacidade para 40 Kg. Assim, foram mensurados a produção de resina da primeira, segunda e terceira coletas (4 meses cada em kg), a resina por estria (g), a resina total (após os 12 meses, kg).

2.2.2.8 Estimativa das correlações genéticas e fenotípicas

As correlações genéticas e fenotípicas entre os caracteres avaliados foram estimadas com base nos procedimentos genéticos-estatísticos do software SELEGEN – REML/BLUP desenvolvido por Resende (2007). As correlações genéticas (\hat{r}_g) e fenotípicas (\hat{r}_f) foram estimadas com base nas expressões abaixo:

$$\hat{r}_g = \frac{C\hat{O}V_{a(x,y)}}{\sqrt{\hat{\sigma}_{a(x)} \cdot \hat{\sigma}_{a(y)}}}$$

Em que: $C\hat{O}V_{a(x,y)}$ é a genética aditiva entre os caracteres x e y; $\hat{\sigma}_{a(x)}$ é a variância genética aditiva de x e $\hat{\sigma}_{a(y)}$ é a variância genética aditiva de y.

$$\hat{r}_f = \frac{C\hat{O}V_{f(x,y)}}{\sqrt{\hat{\sigma}_{f(x)} \cdot \hat{\sigma}_{f(y)}}}$$

Em que: $C\hat{O}V_{f(x,y)}$ é a genética fenotípica entre os caracteres x e y; $\hat{\sigma}_{f(x)}$ é a variância fenotípica de x e $\hat{\sigma}_{f(y)}$ é a variância fenotípica de y.

Para a montagem da matriz de correlação foram utilizados os dados obtidos pelo do software Selegen REML/ BLUP (Resende, 2007). E o gráfico dos resultados das associações das variáveis foram utilizando o “software” estatístico R (version 4.2.2), utilizando os pacotes “corrplot” e “ggplot2”.

A significância das correlações fenotípicas e genéticas foi verificado pelo teste t baseado no intervalo de confiança de 99% utilizando o “software” estatístico R (version 4.2.2).

2.2.2.9 Divergência genética e agrupamento de Tocher

A divergência genética foi estimada a partir da distância generalizada de Mahalanobis ($D^2 = D_{ii}^2$). sendo esta expressa pela equação:

$$D_{ii}^2 = \delta' \psi^{-1} \delta$$

Em que: D_{ii}^2 é a distância de Mahalanobis entre i e i', que são os genótipos; $\delta' = [d_1, d_2 \dots d_v]$, sendo $d_j = Y_{ij} - Y_{i'j}$; Ψ = matriz de variância e covariâncias residuais; Y_{ij} = média do i-ésimo genótipo em relação a j-ésima caráter.

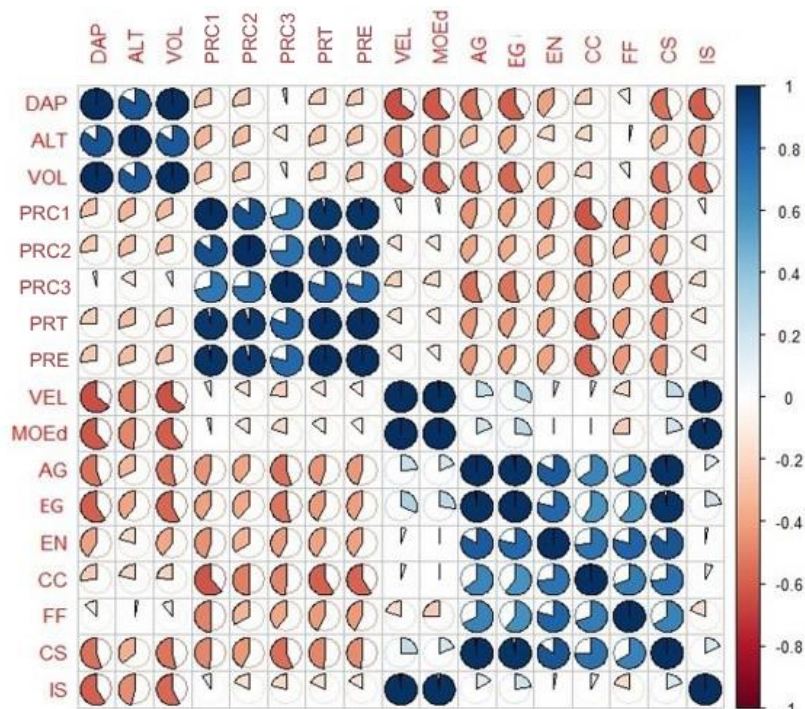
Com base na matriz de distância (D^2) aplicou-se a análise de agrupamento pelo método de otimização de Tocher, onde se adota o critério de avaliação das médias de D^2 (intracluster) deve ser inferior que os valores de D^2 (inter-cluster), sendo utilizado o software SELEGEN – REML/BLUP para obtenção da divergência genética (Cruz, Regazzi e Carneiro, 2004; Santos, 2018).

2.3 RESULTADOS

2.3.1 Correlações genéticas e fenotípicas

As correlações genéticas e fenotípicas entre os caracteres dentro dos grupos foram altas e significativas, porém entre os caracteres dos diferentes grupos foram baixas. Assim, um menor número de caracteres, dentro de cada grupo, deve ser priorizado na seleção dos indivíduos do teste. As correlações genéticas mais expressivas foram observadas entre os seguintes caracteres: crescimento (DAP/ALT (0,57) e ALT/VOL, (0,67)), resiníferos (PRC1/PRC2 (0,62), PRC1/PRT (0,86), PRC1/PRE (0,87), PRC2/PRT(0,85), PRC2/PRE (0,86), PRC3/PRT (0,71), PRC3/PRE (0,69) e PRT/PRE (1,00)), qualidade da madeira (VEL/MOEd (0,97), VEL/IS (0,91), MOEd/IS(0,91)), e silviculturais (AG/GG (0,92), AG/EN (0,54), AG/CS (0,95) AG/CS (0,95), GG/CS (0,91), EN/FF (0,61) E EN/CS (0,76)) (Figura 1); e as fenotípicas foram entre: VOL/DAP (0,96), PRT/PR1C (0,77), PRT/PR2C (0,74), PRT/PR3C (0,62), PRE/PR1C (0,79), PRE/PR2C (0,77), PRE/PRT (1,00), MOEd/VEL (0,97), GG/ AG (0,86), CS/AG (0,91), CS/GG (0,91), IS/VEL (0,94) e IS/MOEd (0,97) (Figura 3).

Figura 3 – Correlações genéticas (diagonal superior) e fenotípicas (diagonal inferior) entre os caracteres resiníferos, crescimento, qualidade da madeira e silviculturais de *Pinus caribaea* var. *bahamensis* aos 34 anos, no município de Assis, SP



DAP: diâmetro altura do peito; ALT: altura; VOL: volume; PRC1: produção de resina primeira coleta; PRC2: produção de resina segunda coleta; PRC3: produção de resina terceira coleta; PRT: produção de resina total; PRE: produção de resina por estria VEL: velocidade MOEd; módulo de elasticidade dinâmico; AG: ângulo do galho; EG: espessura do galho; EN: entrenó; CN: conicidade; FF: forma de fuste; SC: Soma dos caracteres silviculturais; IS: índice de seleção.

Fonte: O autor.

2.3.2 Divergência genética

As estimativas de distâncias de Mahalanobis revelaram divergências significativas entre as progênies. Das 72 progênies, as com maiores e menores divergências entre si foram 69, 47 e 46 ($D^2=69,12$); 28 ($D^2=42,90$) e 31 ($D^2=43,62$), respectivamente (Tabela 1).

Tabela 1 – Estimativa de medidas de distâncias de Mahalanobis (D^2) entre pares de progênies para os caracteres de madeira e resina de *Pinus caribaea* var. *bahamensis* aos 34 anos, no município de Assis, SP (Continua)

Mahalanobis D^2									
Distâncias					Distâncias				
Prog.	Maior	Prog.	Menor	Prog	Prog.	Maior	Prog.	Menor	Prog
58	56,07	69	17,04	44	8	53,07	69	14,83	5
49	62,34	69	13,88	46	22	56,30	69	13,06	5
54	52,34	41	15,38	18	55	63,08	17	19,25	63
57	54,07	13	16,52	23	59	54,20	69	15,41	25
68	60,20	3	18,48	49	46	62,38	69	13,88	49
32	57,55	69	14,58	44	1	55,07	69	9,13	20
41	60,35	17	23,87	44	67	44,77	2	8,36	28
9	60,72	69	16,54	1	31	43,62	41	12,22	52
45	69,09	29	21,29	28	21	64,52	69	14,96	19
29	69,09	45	20,42	70	13	61,43	69	13,70	70
19	49,07	3	14,96	21	5	55,13	69	13,06	22
24	58,71	66	17,52	67	52	56,71	29	12,22	31
14	62,84	4	18,10	19	42	58,92	69	15,99	10
2	66,30	71	22,76	51	40	63,69	64	17,63	32
34	54,99	69	16,34	63	33	68,04	69	14,38	12
63	52,53	69	15,67	28	65	60,86	69	15,49	60
53	50,84	69	14,99	25	27	55,95	17	15,36	30
23	55,08	65	9,05	12	10	58,69	3	14,58	51

Tabela 1 – Estimativa de medidas de distâncias de Mahalanobis (D^2) entre pares de progênies para os caracteres de madeira e resina de *Pinus. caribaea* var. *bahamensis* aos 34 anos no município de Assis, SP. (Conclusão)

Mahalanobis D^2									
Distâncias					Distâncias				
Prog.	Maior	Prog.	Menor	Prog	Prog.	Maior	Prog.	Menor	Prog
4	62,84	14	21,37	10	3	66,22	61	24,70	67
71	66,30	2	21,00	32	48	51,80	29	17,00	39
66	58,71	24	17,35	27	20	55,85	69	9,13	1
69	69,12	43	33,80	67	30	56,97	69	13,68	31
70	44,92	69	8,47	28	39	45,89	47	13,63	37
17	63,08	55	22,10	44	35	54,07	69	16,16	28
72	54,75	17	16,61	57	25	56,42	69	7,51	44
7	62,41	69	18,84	22	28	42,90	69	8,36	67
18	58,41	41	15,38	54	51	49,43	69	14,58	10
61	66,22	3	18,86	70	47	69,12	69	14,08	31
62	64,04	69	14,75	28	44	47,40	69	7,51	25
12	50,15	69	9,05	23	64	63,69	40	17,19	37
11	56,61	69	16,74	30	50	58,73	55	20,41	59
6	58,35	29	17,61	15	60	54,56	45	14,33	39
36	55,26	2	14,77	28	37	50,72	69	13,63	39
26	59,11	29	17,57	38	43	69,12	69	15,71	8
38	64,72	45	17,57	26	56	63,26	2	13,77	5
15	60,30	55	17,61	6	16	59,59	55	15,12	51
Máximo 69,12					Progênies 69, 47, 43				
Mínimo 42,90 e 43,62					Progênie 28 e 31				

Prog: progênie

Fonte: o autor.

2.3.3 Agrupamento de otimização de Tocher

O método de agrupamento permitiu que as progênies fossem separadas em 10 grupos. A maioria das progênies se concentrou no grupo 1, sendo aproximadamente 80,56% (58 progênies). O grupo 2 apresentou cerca de 4,17% (3 progênies), o grupo 3, 4 e 5 apresentaram cerca de 2,78% (2 progênies) e os demais grupos apresentaram cerca de 1,39% (1 progênie) (Tabela 2).

Tabela 2 – Agrupamento baseado no método de aglomeração (Otimização de Tocher) para os caracteres de madeira e resina de *Pinus. caribaea* var. *bahamensis*, aos 34 anos no município de Assis, SP

Grupos	Progênes	Total
	58 49 54 57 68 32 9 19 24 34 63 53 4 66 70 7 18 62	
1	12 11 36 26 15 8 22 59 46 1 67 31 21 13 5 52 42 33	58
	65 27 10 48 20 30 39 35 25 28 51 47 44 64 50 60 37	
	43 56 16	
2	41 71 55	3
3	6 3	2
4	14 40	2
5	45 61	2
6	17	1
7	2	1
8	69	1
9	38	1
10	29	1
TOTAL		72

Fonte: o autor.

2.4 DISCUSSÃO

2.4.1 *Correlações genéticas e fenotípicas*

As correlações genéticas e fenotípicas observadas entre os grupos de caracteres indicam que a mensuração pode ser realizada para um menor número de caracteres, assim como a seleção também deve ser aplicada para os caracteres mais relacionados com a finalidade de produção. Estimativas de correlações mais expressivas entre grupo de caracteres de crescimento também foram observados por Sampaio, Resende e Araújo (2000). Os autores verificaram que as correlações genéticas e fenotípica entre os caracteres de crescimento para DAP, volume e altura total em *P. caribaea* var. *hondurensis* aos cinco anos de idade foram positivas e de alta magnitude. Entretanto, as correlações genéticas entre altura total, diâmetro e volume foram de baixa magnitude com a forma de fuste e diâmetro dos galhos. As correlações genéticas observadas no estudo de Paludzszyn Filho, Fernandes e Resende (2002) para *P. taeda* foi de alta magnitude para altura e diâmetro. As correlações genética e fenotípica para os caracteres de crescimento, resinífero e silvicultural do presente estudo apresentaram alta magnitude, podendo ser utilizados para seleção.

A correlação pode ser definida pela dependência entre as funções de dois ou mais caracteres aleatórios. No âmbito genético, as correlações são causadas pela pleiotropia (é o conjunto de múltiplos efeito de um gene), por ligações gênicas que causam correlação transitória, sobretudo em populações oriundas de cruzamentos entre linhagens distintas (Resende, 2015; Sousa, 2017). Sousa (2017) menciona que os valores das correlações genotípicas e fenotípicas podem variar de -1 a 1, e os valores mais acima de 0,70 são considerados altos. O presente trabalho apresentou associações genéticas e fenotípicas com alta magnitude acima de 0,70 para VOL, PRT, PRE, MOEd, GG, CS e IS. De acordo com os resultados, sugere-se que para os próximos ciclos de melhoramento genético as caracterizações genéticas e as seleções sejam realizadas com base em um ou no máximo dois caracteres de cada grupo, como: volume, produção de resina ou modulo de elasticidade.

2.4.2 Diversidade genética

Com base na distância de Mahalanobis é possível identificar progênies com maior ou menor distâncias entre essas. A distância máxima obtida foi de $D^2 = 69,12$, a qual foi observada entre as progênies 69, 47 e 43. As menores distâncias obtidas foram ($D^2 = 42,90$) e ($D^2 = 43,62$), entre as progênies 28 e 31, respectivamente. Esses indivíduos com maiores distâncias são os que mais contribuíram para a divergência genética. Quando há cruzamento intraespecífico entre indivíduos/progênies divergentes, há uma probabilidade de aumento da variabilidade genética de forma geral da população a longo prazo, e como consequência, há um aumento da capacidade de resposta à pressão seletiva (Ishibashi *et al.*, 2020). Por outro lado, quando há um distanciamento menor entre os indivíduos/progênies, maior será a similaridade genética entre ambos, causando a redução da probabilidade de sucesso para produzir híbridos com grau elevado de heterose (Leite Silva *et al.*, 2019).

A heterose é o fenômeno que concede a grande produtividade na hibridização oriunda do cruzamento de parentais que apresentam alta divergência entre si (Santos *et al.*, 2017). Quando há baixos valores de distância, há grandes chances de não se obter êxito produtivo caso haja cruzamentos entre esses materiais, devido à estreita base genética entre os indivíduos (Lira, 2019).

No trabalho desenvolvido por Silva *et al* (2012) em cinco situações com *P. caribaea* var. *caribaea* foram observadas variações nos valores máximos de distanciamento de Mahalanobis de 0,042 a 7,42, e valores mínimos variando em torno de 0. No trabalho desenvolvido por Moreira (2017) o valor máximo obtido no experimento com *P. caribaea* var. *hondurensis* foi de 41,24 e mínimo de 1,59. Os valores máximos ($D^2= 69,12$) e mínimo ($D^2= 38,84$) do presente estudo foram superiores aos das espécies citadas anteriormente, demonstrando que a população em estudo apresentou alta divergência genética que podem ser exploradas nas próximas gerações de melhoramento da espécie.

2.4.3 Agrupamento de Otimização de Tocher

O método de agrupamento permitiu que as progênes fossem separadas em dez grupos. A maioria das progênes se concentrou no grupo 1, sendo aproximadamente 80,56% (58 progênes). O grupo 2 apresentou cerca de 4,17% (3 progênes), o grupo 3,4 e 5 apresentou cerca de 2,78% (2 progênes) e os demais grupos apresentaram cerca de 1,39% (1 progênie)

Com o agrupamento das progênes podemos ver que o grupo 1 apresentou a maior concentração de indivíduos, diferindo, significativamente, dos demais grupos. O agrupamento de Tocher possibilitou a formação de três grupos no trabalho realizado por Moreira (2017), onde 95% das progênes ficaram agrupadas apenas em um único grupo. Já no trabalho realizado por Santos (2014), concentrou cerca de 60% de indivíduos em um único grupo da área 1, e 90% de indivíduos em um único grupo na área 2. No trabalho realizado por Oliveira *et al.* (2019), a maior concentração de indivíduos foi no grupo 1, o que afirma o relato de Lopes (2020), que diz que o método de agrupamento de otimização de Tocher é composto pela formação de um grupo primário onde o par apresente maior similaridade entre os indivíduos.

No agrupamento de otimização de Tocher realizado por Santos *et al.* (2023), com *P. caribaea* var. *hondurensis*, o agrupamento foi composto por quatro grupos, onde o grupo 1 apresentou a maioria das progênes (93 indivíduos) do estudo. Segundo os autores, a menor divergência genética observada na população pode ser devido aos desbastes seletivos realizados dentro de progênie, e conseqüentemente, a corte de indivíduos com produtividade abaixo da média.

Quando se visa em um programa de melhoramento recuperar a genética do genitor, se deve focar no retrocruzamento das progênes com similaridades genéticas. No entanto, quando o melhoramento genético é focado em ter ganhos genéticos nos ciclos futuros é recomendável que seja realizada a seleção de indivíduos que apresentem maiores produtividades e divergência genética (Santos, 2018).

Nos programas de melhoramento genético, recomenda-se que a seleção das progênes deve ser feita com a maior divergência possível com os caracteres de interesse, a fim de maximizar a possibilidade de ocorrência de indivíduos superiores e ampliar a base genética. (Rader, 2020). Genótipos com menores distâncias entre si, provavelmente, pertencerão ao mesmo grupo, no entanto a seleção de genitores

deverá ser feita em grupos distintos, para priorizar um incremento da variabilidade genética nas próximas gerações (Lira, 2019)

As progênies da população foram agrupadas em 10 grupos, sendo o primeiro com maior quantidade de progênies (58 indivíduos). Com base na literatura, concluiu-se que essa população de *Pinus caribaea* apresentou divergência genética expressiva se comparada com as demais populações da mesma espécie citadas, anteriormente. Isso pode ser explicado pela grande quantidade de caracteres considerados na análise. Diante desse contexto, pode-se sugerir que na caracterização genética de populações base de melhoramento deve ser mensurados um maior número de caracteres relacionados a finalidade de plantio, obtendo assim populações para diversos fins. Por outro lado, as análises multivariadas podem focadas em finalidade.

2.5 CONCLUSÕES

Existem correlações genéticas e fenotípicas positivas entre os caracteres dentro dos grupos de crescimento, silviculturais, qualidade da madeira e resiníferos, nas próximas gerações de melhoramento poderão ser priorizados um menor número de caracteres para mensuração e seleção.

Existem altos índices de divergência entre as progênies, o que indica possibilidade de obtenção de indivíduos mais produtivos para as duas finalidades de melhoramento genético, produção e qualidade de madeira e resina. Assim, para programas de melhoramento, recomenda-se realizar cruzamentos entre indivíduos das progênies dos grupos mais divergentes para que possa obter ganhos genéticos mais expressivos com a seleção.

REFERÊNCIAS

- ABJAUR, E.R. *et al.*, Caracterização química da madeira de *Eucalyptus benthamii* por meio de espectroscopia NIR. **O PAPEL** vol. 78, num. 2, pp. 75 - 81 FEV 2017. Disponível em: http://www.revistaopapel.org.br/noticia-anexos/1487601059_da031e80f6703b43067ad6d9592a1422_718793106.pdf Acesso em: 24 set 2021.
- ADAMICH, D. G. **Correlações genéticas e fenotípicas entre escores visuais e características de carcaça medidas por ultrassom no desmame em animais da raça Brangus** (2018). Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Zootecnia) Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Faculdade de Agronomia. Porto Alegre, 2018. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10183/197364> Acesso em 05 set. 2023
- AGUIAR, A.V. SOUSA, V.A.; FRITZSONS, E. PINTO JUNIOR, J.E. Programa de melhoramento de pinus **Embrapa Floresta**. Dados eletrônicos - Colombo: Embrapa Florestas, 2011. (Documentos / Embrapa Florestas, ISSN 1980-3958; 233). Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/921231/1/Documento233.pdf> Acesso em 31 jan. 2024.
- CASTRO, *et al.*, Estimativas de associação entre caracteres agronômicos na seleção de genótipos de arroz de terras altas. **MAGISTRA**, [S. l.], v. 30, p. 359–367, 2020. Disponível em: <https://periodicos.ufrb.edu.br/index.php/magistra/article/view/4256>. Acesso em: 1 abr. 2024.
- COSTA, F. F. **Agrupamento baseado em um Kernel de Mahalanobis adaptativo** (2020). Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Estatística). Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, PB. Disponível em: https://www.ufpb.br/de/contents/documentos/repositorio_tcc/fernandaflorenciocosta_tcc.pdf Acesso em: 01 abr. 2024.
- CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J.; CARNEIRO, P. C. S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. 3. ed. Viçosa, MG: UFV, 2004. v.1.
- DIAS, W.B.F **Análise dos efeitos do processo de urbanização na microbacia hidrográfica do Córrego do Jacú – Assis – SP**. (Dissertação – Mestrado profissional em Geografia). Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”. Presidente Prudente, 2022. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11449/239381> Disponível em: DOI: [dx.doi.org/10.18671/scifor.v46n120.15](https://doi.org/10.18671/scifor.v46n120.15) Acesso em: 09 out 2023.
- FERREIRA, S.M.P. **Correlações genéticas entre características culturais e enológicas em variedades antigas de videira**. Lisboa: ISA-Universidade de Lisboa, 2022. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrônoma) Disponível em: <http://hdl.handle.net/10400.5/29507> Acesso em 01 abr. 2024.
- FREITAS, T.C.M.; *et al.* Divergência genética entre progênies de *Pinus taeda* por meio de caracteres quantitativos. *In* 7º Congresso Brasileiro de Melhoramento de Plantas. P.483-485. Disponível em <https://www.researchgate.net/publication/267688133> Acesso em 08 mai. 2024.

GLASS S.; ZELINKA S. L. Moisture relations and physical properties of wood. In: ROSS, R. (Ed.). **Wood handbook** – wood as an engineering material. 100th ed. Madison: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, 2010, 508 p. (General Technical Report FPL-GTR-190).

GRIGOLO, S.; FIOREZE, A. C.C. L.; DENARDI, S.; VACARI, J. Implicações da análise univariada e multivariada na dissimilaridade de acessos de feijão comum. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, Lages, v. 17, n. 3, p. 351–360, 2018. DOI: 10.5965/223811711732018351. Disponível em: <https://www.revistas.udesc.br/index.php/agroveterinaria/article/view/9324>. Acesso em: 02 abr. 2024.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Panorama dos municípios** – Assis, SP. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sp/assis/panorama> Acesso em: 01 dez. 2023.

ISHIBASHI, V. *et al.*, Genetic selection of *Pinus taeda* L. through multi-environment trial. **Floresta**, [S.l.], v. 51, n. 1, p. 211-219, dez. 2020. ISSN 1982-4688. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/floresta/article/view/68057>. Acesso em: 20 set. 2023.

IPA – Instituto de Pesquisas Ambientais, Instituto Florestal – Plano de Manejo da Floresta Estadual de Assis – Série Registros n.30 p. 1-80 jun. 2007.

LEITE SILVA, K.; *et al.* Diversidade genética em genótipos de milho de plantio tardio sob diferentes níveis de nitrogênio no Tocantins. **REVISTA DE AGRICULTURA NEOTROPICAL**, [S. l.], v. 3, pág. 92–100, 2019. DOI: 10.32404/rean.v6i3.2327. Disponível em: <https://periodicosonline.uems.br/index.php/agrineo/article/view/2327>. Acesso em: 20 set. 2023.

LINDSTRÖM H.; HARRIS P.; NAKADA R. Methods for measuring stiffness of young trees. **Holz Roh. Werkst.** 60: 165–174. 2002.

LIRA, J.P.E. Caracterização agrônômica e morfológica de genótipos de *Carthamus tinctorius* L. no Mato Grosso – Brasil. 2019.

LOPES, L.S.S. Análise estatística em experimento com medidas repetidas no tempo. 2020. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, MG. Disponível em: <https://poscienciaflorestal.ufv.br/wp-content/uploads/2021/03/LUCAS-SERGIO-DE-SOUSA-LOPES-Mestrado.pdf> Acesso em 20 set. 2023.

MOREIRA, J.P. Produtividade, estabilidade, adaptabilidade e diversidade genética em testes de progênie de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* e *Pinus tecunumanii*. (2017) Tese (doutorado em agronomia). Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho – Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11449/152530> Acesso em 03 ago 2023.

NETO, N.R; RONQUI, R.A; SEIDINGER, L.C; UDULUTSCH, R.G. Climbers of the Estação Ecológica de Assis, State of São Paulo, Brazil: floristics and identification keys. **PhytoKeys**. 2018 May 21;(99):67-84. doi: 10.3897/phytokeys.99.13659. PMID: 29861652; PMCID: PMC5972146

OLIVEIRA, C.S.; PEIXOTO, J.V.M; MOMESSO, M.P.; PEREIRA, L.M; PERES, H.G; MACIEL, G.M. Características de plântulas: dissimilaridade genética entre acessos de pimenta. **Revista Ciência, Tecnologia & Ambiente**. 2019, vol.9, e09114. ISSN 2359-6643 DOI:doi.org/4322/2359-6643.09114. Disponível em: <https://www.revistacta.ufscar.br/index.php/revistacta/article/view/114> Acesso em 02 abr. 2014.

PALUDZYSZYN FILHO, E., FERNANDES, J. S. C.RESENDE, M. D. V. Avaliação e seleção precoce para crescimento de *Pinus taeda*. **Pesquisa Agropecuária Brasileira** [online]. 2002, v. 37, n. 12 pp. 1719-1726. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2002001200007> Acesso em: 31 jan. 2024.

RADER, E. Caracteres tecnológicos e de produção na avaliação da diversidade genética de feijoeiros por técnicas multivariadas e redes neurais artificiais. 2020.Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) Universidade Federal da Grande Dourados. Dourados, MS. Disponível em: https://oasisbr.ibict.br/vufind/Record/BRCRIS_9a7efe4887d95c9a9b562e21437e121d Acesso em: 20 set. 2023.

RESENDE, M. D. V. Matemática e estatística na análise de experimento e no melhoramento genético. Colombo: **Embrapa Florestas**, 2007b. 362 p.

SAMPAIO, P. DE T. B., RESENDE, M. D. V.; ARAÚJO, A. J.. Estimativas de parâmetros genéticos e métodos de seleção para o melhoramento genético de *Pinus caribaea* var. *hondurensis*. **Pesquisa Agropecuária Brasileira** 2000, v. 35, n. 11, pp. 2243-2253. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2000001100017> Acesso em 20 set. 2023.

SANTOS, W. ; ARAÚJO, E. G.; SOUZA, D. C. L.; SILVA, J. R.; RECCO, C. R. S. B.; MORAES, M. L. T. de; AGUIAR, A. V. de. Divergência genética entre progênies de polinização aberta de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* a partir de caracteres quantitativos. **Pesquisa Florestal Brasileira**, [S. l.], v. 36, n. 86, p. 127–133, 2023. DOI: 10.4336/2016.pfb.36.86.920. Disponível em: <https://pfb.cnpf.embrapa.br/pfb/index.php/pfb/article/view/920>. Acesso em: 20 set. 2023.

SANTOS, W. Interação genótipo x ambiente em progênies de *Cordia trichotoma* (Vell.) Arráb. Ex Steud. e *Dalbergia nigra* (Vell) Allemão ex Benth em sistema de plantio misto 2018 Tese (Doutorado em Agronomia). Universidade Estadual Paulista Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Ilha Solteira, SP. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11449/180487> Acesso em: 20 set. 2023.

SANTOS, W.; MACIEL, L. SODRÉ, L. SILVA, R, AFFÉRRRI, F., FREITAS, J PEREIRA, J. (2017). Diversidade genética em genótipos de milho para baixo nível tecnológico em Gurupi, TO. **Revista Tecnologia & Ciência Agropecuária**. 11 21-24. Disponível em: <https://repositorio.uft.edu.br/bitstream/11612/3126/1/Diego%20Anderson%20Drews.pdf> Acesso em: 05 mai 2023.

SECRETARIA de Infraestrutura e Meio ambiente – Instituto Florestal 2021. Disponível em:

<https://www.infraestruturameioambiente.sp.gov.br/institutoflorestal/areas-protegidas/estacoes-ecologicas/assis/> Acesso em: 23 ago. 2021

SEBBENN, A. M.; PIRES, C. L. da S.; STORCK, L.; CUSTODIO FILHO, A.; ROSA, P. R. F. da. Variação genética em progênies de meios-irmãos de *Pinus caribaea* Mor. var. *bahamensis* Bar. et Golf. na região de Bebedouro - SP. **Revista do Instituto Florestal**, São Paulo, v. 6, p. 63–73, 1994. DOI: 10.24278/2178-5031.19946503. Disponível em: <https://rif.emnuvens.com.br/revista/article/view/503>. Acesso em: 07 ago 2022.

SILVA, J. M. da; AGUIAR, A. V. de; MORI, E. S.; MORAES, M. L. T. de. Divergência genética entre progênies de *Pinus caribaea* var. *caribaea* com base em caracteres quantitativos. **Pesquisa Florestal Brasileira**, [S. l.], v. 32, n. 69, p. 69, 2012. Disponível em: <https://pfb.cnpf.embrapa.br/pfb/index.php/pfb/article/view/194>. Acesso em: 20 set. 2023.

SILVA, V. E., *et al* (2019). Produtividade de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* e suas relações com atributos químicos dos solos em região de Cerrado brasileiro. **Ciência Florestal**, 29(1), 292–306. Disponível em: <https://doi.org/10.5902/1980509829367> Acesso em: 08 mai. 2024.

SOUSA, Tiago Vieira. **Diversidade genética, ganhos com seleção e seleção genômica ampla na espécie *Coffea arabica***. 2017. 116 f. Tese (Doutorado em. Genética e Melhoramento) -Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 2017. Disponível em: <http://www.sbicafe.ufv.br/handle/123456789/11194> Acesso em: 20 set. 2023.

SOUSA, T.S. OLIVEIRA, M. do S.P. de Divergência genética entre bacabas-de-leque de uma população de Belém, PA por caracteres da planta. *In: Encontro Amazônico de Agrárias*, 9., 2017, Belém, PA. Anais. Belém, PA: UFRA, 2018. p. 939-943. Disponível em: <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/109104> Acesso em: 08 mai. 2024.

SOUZA, Lara Araujo de. **Correlação genética e análise de trilha em genótipos de algodoeiro de fibra colorida**. 2021. 21 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia) - Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia, 2021. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/handle/123456789/33598> Acesso em: 20 set. 2023.

SOUZA, João Vitor Oliveira de. **Divergência genética entre plantas matrizes e estresses hídrico e salino na germinação de sementes de *Cordia trichotoma* (Vell.) Arráb. ex Steud.** Dissertação (mestrado em genética e melhoramento de plantas) – 2021. 97p.: il. Universidade Estadual Paulista (Unesp) Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, SP 2021. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11449/213972> Acesso em: 08 mai. 2024.

TRIANOSKI, R. **Avaliação da qualidade da madeira de espécies de Pinus tropicais por meio de métodos convencionais e não destrutivos**. Tese (doutorado) - 2012. 553 fls.: il. Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal. Curitiba, PR. Disponível em: <https://acervodigital.ufpr.br/handle/1884/28070> Acesso em: 31 jan. 2024.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A população de *P. caribaea* var. *bahamensis* apresentou alta taxa de variabilidade, poderão ser exploradas para diferentes caracteres. De modo que a seleção genética deverá ser realizada principalmente por conta das diversas finalidades que o plantio apresenta de exploração para madeira e resina.

REFERÊNCIAS

- ALVES, A. *et al.*, Estimativa do módulo de elasticidade global de uma edificação histórica de alvenaria de tijolos maciços pelo método ultrassônico. *In: Congresso Brasileiro de Patologia das Construções*.2016. Belém. **Anais [...]** Belém: CBPAT. 2016. p 1.
- ANDRADE JÚNIOR, J.R.; DIAS, A.A. Classificação estrutural de peças de madeira de *Pinus elliottii* por meio do módulo de elasticidade obtido por ondas de tensão longitudinais. *In: II Congresso Latinoamericano de Estructuras de Madera. Palestras [...]* Buenos Aires, Argentina. Universidade Nacional Noroeste – Buenos Aires. 2017.
- ANJOS, G. L. dos **Inserção do controle de estoque no processo de implantação do planejamento e controle da produção em uma indústria de colofônia e terebintina**. 2022. TCC (Bacharel em Engenharia Industrial Madeireira) Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Faculdade de Engenharia Ilha Solteira, 2022. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11449/236097>. Acesso em 25 set. 2023.
- ASSOCIAÇÃO DOS RESINADORES DO BRASIL – ARESB (2022) A produção de Pine Chemicals Brasileira. Disponível em: <https://www.aresb.com.br/portal/boletim-informativo-novembro-2022/> Acesso em: 20 nov. 2022.
- CAMACHO, V.R. *et al.*, Genetic variation and dispersal patterns in three varieties of *Pinus caribaea* (Pinaceae) in the Caribbean Basin **Plant Ecology and Evolution** 151 (1): 61–76, 2018 Disponível em: <https://doi.org/10.5091/plecevo.2018.1343> Acesso em: 23 set. 2021.
- CARDELINO, R.C. B. **Influência do adesivo na colagem de emenda Finger Joint nos módulos de elasticidade e ruptura da madeira *Pinus caribaea***. 2017 – Monografia (Bacharel em Engenharia Florestal) Universidade de Brasília, Brasília, 2017. Disponível em: <https://bdm.unb.br/handle/10483/18292> Acesso em: 03 ago 2023.
- CARRASCO, E.V.M. *et al.*, Determinação do módulo de elasticidade da madeira em função da inclinação das fibras utilizando tomógrafo acústico. **Revista Matéria**. Art. 11935, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1517-707620170005.0271> Acesso em: 24 mai.2021.
- CONFEDERAÇÃO DA AGRICULTURA E PECUÁRIA DO BRASIL. O Brasil é um dos maiores produtores de Florestas Plantadas do mundo. jul. 2016. Disponível em: <http://www.cnabrasil.org.br/noticias/o-brasil-e-um-dos-maiores-produtores-de-florestas-plantadas-do-mundo>. Acesso em: 03 mai. 2021.
- CRUZ, M. I.. **Rentabilidade econômica de três regimes de manejo de *Pinus taeda* L., em Dionísio Cerqueira – SC**. 2021. 136 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Energia na Agricultura) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel - PR. Disponível em: <https://tede.unioeste.br/handle/tede/5477> Acesso em: 09 out 2023.
- CUNNINGHAM, A. Pine resin tapping techniques used around the world *Research Signpost* 37/ 661 (2), Fort P.O. Trivandrum-695 023 Kerala, India Disponível em:

https://www.academia.edu/32774574/Pine_resin_tapping_techniques_used_around_the_world Acesso em: 29 mar. 2024.

DIAS, A.C.C. *et al.*, Relação entre a densidade básica e as retrações em madeira de teca. **Ciência da Madeira** 9 (1): 37-44, 2018. Disponível em: DOI: 10.12953/2177-6830/rcm.v9n1p37-44 Acesso em: 03 jun. 2021.

DILL, A.F. **Manejo e viabilidade do pólen de *Pinus* spp.** 2016. Graduação (Bacharel em Engenharia Florestal). Universidade Tecnológica do Paraná, Dois Vizinhos, 2016. Disponível em: <http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/11007> Acesso em: 09 out 2023.

FETT NETO, A.G.; NEIS, F.A. Método de identificação precoce de genótipo com alta produção de resina e método para estabelecer florestas resinosas compostas de genótipos superresinosos e homogêneas para resinagem. 2017. República Federativa do Brasil – **Instituto Nacional da Propriedade Industrial**. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/196755/001097245.pdf?sequence=1> Acesso em: 25 mai. 2021.

FURLAN, Rodrigo de Andrade et al. Estrutura genética de populações de melhoramento de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* por meio de marcadores microssatélites. **Bragantia** [online]. 2007, v. 66, n. 4 pp. 553-563. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0006-87052007000400004> Acesso em 31 jan. 2024.

GOWN, D. J. Wood density of *Pinus caribaea* var. *hondurensis* grown in Fiji. New Zeland, 1981. p.244-253.

IBÁ – Indústria Brasileira de Árvores. **Relatório anual 2022**. Disponível em: <https://www.iba.org/datafiles/publicacoes/relatorios/relatorio-anual-iba2022-compactado.pdf>. Acesso em: 16 jan. 2023.

IBÁ - Indústria Brasileira de Árvores. **Relatório anual 2023**. Disponível em: <https://iba.org/datafiles/publicacoes/relatorios/relatorio-anual-iba2023-r.pdf>. Acesso em: 21 set. 2023.

JUNKES, C.F.O. **Bases moleculares da resinagem em *Pinus elliottii***. 2019. Tese (Doutorado em Ciências Biológicas) Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2019. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10183/198850> Acesso em 02 mar. 2023.

KERBER, M.R. **Sistema de microresinagem em *Pinus elliottii* Engelm. Para seleção de adjuvantes indutores de resinose**. 2018 Trabalho de Conclusão de Curso. (Graduação em Biotecnologia Molecular). Universidade do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2018. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10183/198314> Acesso em: 25 set. 2023

LIMA, A.B.; NICOLETTI, M.F.; STEPKA T.F. SILVA, M.T.S.; SOARES, P.R.C. Impactos dendrométricos e psicológicos de um povoamento de *Pinus elliottii* patenteados a produção de resina. Vol. 8 nº 2 (2021). **Advances in Forestry Science**. Disponível em: <https://doi.org/10.34062/afs.v8i2>. Acesso em: 23 fev. 2023

LIMA, I.L. OLIVEIRA, I.R.; BARBOSA, J.A.; RANZINI, M. Variação em propriedades da madeira de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* e *Pinus tecunumanii*. **Advances in**

Forestry Science. Vol.7 n.4 (2020). Disponível em: Doi: <http://dx.doi.org/10.34062/afs.v7i4.10262> Acesso em: 05 mai. 2021.

LUDWIG, R.L. **Qualidade da madeira de *Pinus patula* SCHLTDL. & CHAM para produção de celulose**. 2018 Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Florestal). Universidade Federal de Santa Catarina. Curitibanos, 2018. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/196126> Acesso em: 11 ago. 2021.

MEDEIROS, G.I.B.; FLORINDO, T.J. Melhoramento genérico de *Pinus* no Brasil: Implicações socioeconômicas e ambientais. **Revista Espacios**. Vol.38, nº 28, 2018. Disponível em: <https://www.revistaespacios.com/a17v38n28/a17v38n28p04.pdf> Acesso em: 01 abr. 2022.

OLIVEIRA, X.M.; MAYRINCK, R.C. Estimativas do afilamento de árvores de *Pinus taeda* L. utilizando a modelagem mista. **Multiplicidade das Ciências Agrárias** vol. 2 cap. 3 pag 22- 27. 2022 Disponível em: DOI: 10.47242/978-65-87959-02-3-3 Acesso em 20 ago 2023

PAULINO, P.S.; LIMA, I.L. Densidade básica e dimensões celulares da madeira em clones de *Eucalyptus urophylla*, aos oito anos de idade. **Ciência da Madeira**. 9(1): 9-18, 2018. Disponível em: doi: 10.12953/2177-6830/rcm.v9n1p9-18. Acesso em: 03 jun. 2021.

PEREK, M. *et al.*, Predicted genetic gains for growth traits and wood resistance in *Pinus maximinoi* and *Pinus tecunumanii*. **Crop Breeding and Applied Biotechnology** [online]. 2022, v. 22, n. 2 , e391022213. Available from: <https://doi.org/10.1590/1984-70332022v22n2a23>. Epub 05 Aug 2022. ISSN 1984-7033. <https://doi.org/10.1590/1984-70332022v22n2a23>. Acesso em 05 out 2022.

PIRES, V.C.M.; MARTINS, K.; VILAS BOAS, O.; FREITAS, M.L.M.; SEBBENN, A.M. Viabilidade genética de caracteres silviculturais em progênies de polinização aberta de *Pinus caribaea* var. *bahamensis*. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 41, n. 97, p. 113-119, mar. 2013. Disponível em: <https://www.ipef.br/PUBLICACOES/SCIENTIA/nr97/cap12.pdf>. Acesso em: 26 abr. 2023.

RIBEIRO, E.S. *et al.*, Avaliação de propriedades mecânicas na madeira por meio de métodos destrutivos e não-destrutivos. **Nativa**, v.4, n.2, p.103-106, mar./abr. 2016. Disponível em: DOI: 10.14583/2318-7670.v04n02a09. Acesso em: 26 abr. 2023.

RIOS, P. D. *et al.*, Variação radial e longitudinal da densidade básica da madeira de *Pinus patula*. **Pesquisa Florestal Brasileira**, [S. l.], v. 38, 2018. Disponível em: doi: 10.4336/2018.pfb.38e201501016. Acesso em: 2 jun. 2021.

RUIZ, J.G.C.L **Variedade espacial de atributos químicos do solo em variedades de *Pinus***. 2016. Tese (Doutorado em Ciências do Solo). Universidade Estadual Paulista – Júlio de Mesquita Filho, Jaboticabal, 2016. Disponível em; <http://hdl.handle.net/11449/143079> Acesso em: 14 abr. 2023.

SANTOS, W. dos; ARAÚJO, E. G.; SOUZA, D. C. L.; SILVA, J. R. da; RECCO, C. R. S. B.; MORAES, M. L. T. de; AGUIAR, A. V. de. Divergência genética entre progênies de polinização aberta de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* a partir de

caracteres quantitativos. **Pesquisa Florestal Brasileira**, [S. l.], v. 36, n. 86, p. 127–133, 2023. DOI:10.4336/2016.pfb.36.86.920. Disponível em: <https://pfb.cnpf.embrapa.br/pfb/index.php/pfb/article/view/920>. Acesso em: 20 set. 2023.

SCHLICHTINHG, R.C. **Caracterização morfológica dos traqueídes da madeira de *Cryptomeria japonica* no sentido medula-casca**. TCC (graduação) - Universidade Federal de Santa Catarina. Campus Curitibanos. Engenharia Florestal (2018). Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/xmlui/handle/123456789/183498> Acesso em: 27 fev.2023

SEBBENN, A. M.; PIRES, C. L. da S.; STORCK, L.; CUSTODIO FILHO, A.; ROSA, P. R. F. da. Variação genética em progênies de meios-irmãos de *Pinus caribaea* Mor. var. *bahamensis* Bar. et Golf. na região de Bebedouro - SP. **Revista do Instituto Florestal**, São Paulo, v. 6, p. 63–73, 1994. DOI: 10.24278/2178-5031.19946503. Disponível em: <https://rif.emnuvens.com.br/revista/article/view/503>. Acesso em: 07 ago 2022.

SHIMIZU J.Y. *et al.*, Esforço cooperativo para suporte à silvicultura de *Pinus* no Brasil. In: ENCONTRO BRASILEIRO DE SILVICULTURA, 4., 2018, Ribeirão Preto. Anais. Brasília, DF: Embrapa; Colombo: Embrapa Florestas, 2018. p. 209-211. <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/1092356> 23 ago. 2021.

SHIMIZU, J. Y. (Ed.). *Pinus na silvicultura brasileira*. **Colombo: Embrapa Florestas**, 2008. 223 p. il.

SOUZA, M. V. de. *et al.* (2023). Painéis aglomerados com resíduo de *Pinus caribaea* var. *caribaea* com adesivo bicomponente sustentável. **Ambiente Construído**, 23(3), 263–276. <https://doi.org/10.1590/s1678-86212023000300686> Acesso em: 27 ago. 2023.

VIANA, A.L. *et al.*, Determinação da qualidade da madeira de espécies amazônicas pelo método não destrutivo. **Revista de educação, ciência e tecnologia do IFAM**. Vol. 12, nº 2 – dez. 2018. Disponível em: <http://igapo.ifam.edu.br/ojs/index.php/igapo/article/view/640/496#> Acesso em: mai. 2021.

VIDRANO, B.R.A. **Produção de celulose kraft e papel de madeira de *Pinus taeda* L. *Pinus patula* Schltl & Cham**. (Tese – Doutorado em Ciência Florestal) Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS (2019). Disponível em: <http://repositorio.ufsm.br/handle/1/21023> Acesso em: 03 jul. 2023

ZANELA, W.C. **Plantio de madeira para construção civil enfoque na cultura do *Pinus***. 2021. 40 f. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Agrônoma). Universidade do Sul de Santa Catarina, Tubarão - SC. Disponível em: <https://repositorio.animaeducacao.com.br/bitstream/ANIMA/19524/1/O%20USO%20DA%20MADEIRA%20NA%20CONSTRU%20C%87AO%20CIVIL.pdf> Acesso em 15 ago 2023.