

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

ANDREZA CERIONI BELNIAKI

POTENCIAL FISIOLÓGICO DE SEMENTES DE *Glycine max* E *Pinus taeda*:
DIFERENTES ABORDAGENS A PARTIR DE ANÁLISE DE DADOS

Curitiba

2023

ANDREZA CERIONI BELNIAKI

POTENCIAL FISIOLÓGICO DE SEMENTES DE *Glycine max* E *Pinus taeda*:
DIFERENTES ABORDAGENS A PARTIR DE ANÁLISE DE DADOS

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Área de Concentração em Produção Vegetal, Departamento de Fitotecnia e Fitossanidade, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, como parte das exigências para obtenção do título de Doutor em Ciências.

Orientadora: Profa. Dra. Maristela Panobianco Vasconcellos

Coorientadora: Dra. Elisa Serra Negra Vieira

Curitiba

2023

DADOS INTERNACIONAIS DE CATALOGAÇÃO NA PUBLICAÇÃO (CIP)
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SISTEMA DE BIBLIOTECAS – BIBLIOTECA DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS

Belniaki, Andreza Cerioni

Potencial fisiológico de sementes de *Glycine max* e *Pinus taeda*: diferentes abordagens a partir de análise de dados /
Andreza Cerioni Belniaki . – Curitiba, 2023.

1 recurso online: PDF.

Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Produção Vegetal).

Orientadora: Prof^a. Dr^a Maristela Panobianco Vasconcellos

Coorientadora: Dr^a Elisa Serra Negra Vieira

1. Soja. 2. Pinheiro. 3. Germinação. 4. Sementes - Qualidade.
I. Vasconcellos, Maristela Panobianco. II. Vieira, Elisa Serra Negra. III. Universidade Federal do Paraná. Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Produção Vegetal). IV. Título.

Bibliotecária: Telma Terezinha Stresser de Assis CRB-9/944



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO AGRONOMIA
(PRODUÇÃO VEGETAL) - 40001016031P6

TERMO DE APROVAÇÃO

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação AGRONOMIA (PRODUÇÃO VEGETAL) da Universidade Federal do Paraná foram convocados para realizar a arguição da tese de Doutorado de **ANDREZA CERIONI BELNIAKI** intitulada: **POTENCIAL FISIOLÓGICO DE SEMENTES DE *Glycine max* e *Pinus taeda*: DIFERENTES ABORDAGENS A PARTIR DE ANÁLISE DE DADOS**, sob orientação da Profa. Dra. MARISTELA PANOBIANCO VASCONCELLOS, que após terem inquirido a aluna e realizada a avaliação do trabalho, são de parecer pela sua APROVAÇÃO no rito de defesa.

A outorga do título de doutora está sujeita à homologação pelo colegiado, ao atendimento de todas as indicações e correções solicitadas pela banca e ao pleno atendimento das demandas regimentais do Programa de Pós-Graduação.

CURITIBA, 30 de Janeiro de 2023.

Assinatura Eletrônica

01/02/2023 16:26:20.0

MARISTELA PANOBIANCO VASCONCELLOS
Presidente da Banca Examinadora

Assinatura Eletrônica

01/02/2023 16:34:52.0

ELISA SERRA NEGRA VIEIRA
Avaliador Externo (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA
AGROPECUÁRIA)

Assinatura Eletrônica

01/02/2023 16:59:48.0

ADRIANA MARTINELLI SENEME
Avaliador Externo (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ)

Assinatura Eletrônica

03/02/2023 11:35:21.0

ELENICE FRITZSONS
Avaliador Externo (EMBRAPA FLORESTAS)

Rua dos Funcionários, 1540 - CURITIBA - Paraná - Brasil

CEP 80035-050 - Tel: (41) 3350-5601 - E-mail: pgapv@ufpr.br

Documento assinado eletronicamente de acordo com o disposto na legislação federal Decreto 8539 de 08 de outubro de 2015.

Gerado e autenticado pelo SIGA-UFPR, com a seguinte identificação única: 252750

Para autenticar este documento/assinatura, acesse <https://www.prppg.ufpr.br/siga/visitante/autenticacaoassinaturas.jsp> e insira o código 252750

*À minha família, minha mãe Regina Luzia Cerioni e irmãs
Aos que acreditam no poder de transformação da educação*

DEDICO

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela saúde, por nunca desacreditar, permitir sonhar e realizar. Pelos desafios engrandecedores e oportunidades entregues. E pelas pessoas especiais que sempre coloca no meu caminho.

A minha mãe, Regina Luzia Cerioni, exemplo de liderança, negócios, família, trabalho em equipe, automotivação, fé, pensamento positivo, honestidade, que nunca questionou a importância da educação e incentivou esta jornada. O amor é incondicional e recíproco! Avante, futura advogada!

A minha irmã, Alini Cerioni Belniaki, grande publicitária, muito comprometida com tudo que faz, exemplo de responsabilidade, autoconfiança e autocontrole. Sempre me apoiando nos sonhos mais ousados e nas atividades diárias. Uma grande amiga e companheira da vida toda, que tanto admiro.

A minha irmã, Amanda Cerioni Belniaki, excelente arquiteta e urbanista, com uma habilidade absurda de aprender coisas novas em pouco tempo, extrema precisão e perfeccionismo. Sempre me motivando a acreditar nos sonhos e ser uma pessoa melhor a cada dia. Uma grande amiga e companheira da vida toda, que tanto admiro.

Ao meu pai, João Belniaki, empreendedor e realizador, entusiasmo constante e inquietação.

A minha avó, Almey Clotilde Alvers Cerioni, uma eterna professora que sempre estimulou o estudo constante e a educação como o caminho para melhoria do país e das pessoas.

A minha orientadora, Professora Dra. Maristela Panobianco Vasconcellos, que sempre colocou meus pés no chão, corrigiu cada detalhe, rigorosa e crítica, mas sempre visando formar pessoas e profissionais. Formou mais do que uma agrônoma, estimulou a responsabilidade, compromisso, melhoria contínua e pensamento crítico. Ela me apresentou o fascinante mundo sementeiro, obrigada professora!

À Dra. Elisa Serra Negra Vieira, coorientadora, grande profissional, sementeira, empresária, atenciosa com tendências e que sempre apoiou os sonhos mais ousados. Obrigada pela parceria desde a graduação, pela amizade, pelos conselhos pessoais e profissionais. Sucesso nos negócios e vida longa à Nani.

Ao Dr. Fernando Augusto Henning, um grande profissional e uma pessoa muito colaborativa e criadora de pontes, peça fundamental para o setor sementeiro. Obrigada pela amizade, parceria no Seedthon e pelo incentivo constante para eu concluir o doutorado. É uma grande liderança e referência para muitos.

À professora Dra. Adriana Martinelli Seneme, por sempre contribuir e participar da minha formação profissional desde a graduação, como membro de bancas de TCC, de mestrado e agora de doutorado.

Ao meu grande amigo do CTSEM-UFPR, Thomas Bruno Michelin, profissional que tanto admiro e que me ajudou nas análises de dados e a dar boas risadas. Grande habilidade em aprender coisas novas com rapidez e precisão. Tenho certeza de que terá uma bela jornada profissional e contribuirá de forma brilhante para o setor, como já vem fazendo. Avante Curso Agro R, empreendedor internacional e cientista de dados!

À pesquisadora Dra. Mayla Molinari, por me ajudar em um período crítico do trabalho e da tese, fazendo reuniões constantes, sempre muito disponível e entusiasmada. Uma grande pessoa e profissional.

Aos pesquisadores da Embrapa Florestas, Dr. Marcos Silveira Wrege e Dra. Elenice Fritzsos, pelo apoio nas análises climáticas dos locais de coleta de sementes de *Pinus taeda*, compartilhando suas experiências com estudos prévios de zoneamento climático para o cultivo da espécie.

Às empresas do setor florestal, que forneceram as coordenadas dos pontos de coleta das sementes de *Pinus taeda*.

Às técnicas do Laboratório de Análise de Sementes da UFPR, Roseli do Rocio Beggiora (sempre me apoiou antes das práticas docentes para autoconfiança) e Letícia Gonçalves Maduro pelo apoio, auxílio constante nas atividades e amizade.

Ao Diogo Novakoski, que me auxiliou no levantamento e tabulação dos dados de *Pinus taeda* do LASF da Embrapa Florestas.

Às doutoras e amigas Camila Ribeiro de Souza Grzybowski e Rosemeire Carvalho da Silva, que plantaram a semente de pesquisa durante minha formação na graduação, auxiliaram nas primeiras publicações e área acadêmica sementeira, desde o estágio voluntário no LAS da UFPR.

A todos os coautores de trabalhos técnicos que tive a oportunidade de desenvolver e publicar em parceria, durante este período da pós-graduação.

A todos que me deram oportunidades profissionais e às empresas que já trabalhei, que me ajudaram a ter essa visão atual sobre o setor de sementes, desafios e oportunidades.

A todos os professores e ao PGAPV - Programa de pós-graduação em Produção Vegetal da UFPR, pela oportunidade de desenvolvimento pessoal e profissional. Bem como a Lucimara Antunes e a Tatiana Miranda Borges, da secretaria do PGAPV, pelas inúmeras ajudas e amizade.

À CAPES, pela bolsa concedida no primeiro ano de doutorado e demais anos que pude me dedicar a vida acadêmica.

À Embrapa Florestas e a Embrapa Soja, pelas parcerias científicas e oportunidades de pesquisas multidisciplinares.

Agradeço também a todos que de alguma forma contribuíram para alcançar esta conquista profissional e pessoal.

“O conhecimento é poder. Informação é libertadora. A educação é a premissa do progresso, em cada sociedade, em cada família.” - Kofi Annan.

RESUMO

Sementes vigorosas propiciam uma emergência rápida e uniforme de plântulas a campo e maior probabilidade de sucesso no estabelecimento do estande e conservação durante seu armazenamento, sob ampla variação das condições ambientais. A emergência das plântulas após a semeadura depende diretamente das condições do ambiente e, como estas não são controláveis, a avaliação do potencial fisiológico das sementes deve ser efetuada de maneira eficiente, que permita identificar de forma segura lotes com maior probabilidade de se estabelecerem adequadamente em campo. Por outro lado, sabe-se que a partir da maturação vários fatores afetam o desempenho das sementes até a semeadura, com destaque para as condições climáticas, as quais podem causar distúrbios à formação da semente e prejudicar diretamente o vigor do material. Para este estudo, duas espécies de importância econômica (soja e pinus) foram utilizadas, com os objetivos de: a) realizar uma revisão sistemática visando compilar informações atualizadas e mais promissoras sobre a qualidade de sementes de soja, *traits*, tratamentos e técnicas de análise; b) analisar a influência do clima do local de produção no potencial fisiológico de sementes de *Pinus taeda*. Assim, para a revisão sistemática sobre a qualidade fisiológica de sementes de soja, de 6.899 materiais acadêmicos recuperados, entre os anos de 2017 e 2022, 57 deles foram incluídos no trabalho, sendo separados em três grupos: Grupo 1 - Materiais teóricos abordando *traits* relacionados ao vigor de sementes, que podem ser utilizados em estratégias biotecnológicas e de melhoramento de diferentes espécies; Grupo 2 - Materiais práticos que aplicam técnicas de tratamento de sementes de soja; e Grupo 3 - Materiais práticos que aplicam técnicas para avaliar o vigor em sementes de soja. Para a espécie de *Pinus taeda*, foram levantados os dados de qualidade da semente (vigor, germinação, sementes duras e peso de mil sementes) extraídos de Boletins de Análise de Sementes emitidos pelo Laboratório de Sementes Florestais da Embrapa Florestas, ao longo de 14 anos (2004-2018), para dez locais de produção em três estados (SP, PR, SC). Foram levantados os dados climáticos médios mensais, nos anos e dos locais produção de sementes, sendo eles: temperatura máxima e mínima do ar, precipitação pluviométrica e umidade relativa do ar. Em relação à cultura da soja, foi possível observar que vários genes, proteínas e QTLs estão associados ao vigor das sementes; as técnicas de tratamento de sementes concentram-se no uso de produtos biológicos e processos físicos, porém há carência de estudos validando os benefícios em campo. Dentre os métodos para avaliação do vigor de sementes de soja, destacam-se as técnicas de análise de imagem (luz visível, LIBS, NIR, FTIR, FT-NIR, HSI-NIR, FHSI, Hiperespectral, Espectral de fluorescência) e o

emprego de softwares (Vigor-S®, SVIS®, SAPL®, IJCropSeed, Ilastik, VideometerLab®, MATLAB, ENVI®). Com relação a *Pinus taeda*, conclui-se que o clima do local de produção tem efeito no PMS e na porcentagem de sementes duras. No entanto, os parâmetros de qualidade da semente tiveram correlação fraca com as variáveis climáticas analisadas. Pelos resultados obtidos, conclui-se que o clima do local de produção tem baixa influência na qualidade da semente da espécie.

Palavras-chave: soja, pinus, germinação, vigor, qualidade de semente, ambiente materno.

ABSTRACT

Vigorous seeds provide a rapid and uniform emergence of seedlings in the field and a greater probability of success in the establishment of the stand and conservation during its storage, under a wide variety of environmental conditions. The emergence of seedlings after sowing depends directly on the conditions of the environment and, as these are not controllable, the evaluation of the physiological potential of the seeds should be carried out efficiently, to safely identify lots that are more likely to settle properly in the field. On the other hand, it is known that from maturation several factors affect the performance of the seeds until sowing, especially the climatic conditions, which can cause disturbances to the formation of the seed and directly impair the vigor of the material. For this study, two species of economic importance (soybean and loblolly pine) were used, with the objectives of a) carrying out a systematic review aiming to compile updated and more promising information on the quality of soybean seeds, traits, treatments, and analysis techniques; b) analyze the influence of the climate of the production site on the physiological potential of *Pinus taeda* seeds. Thus, for the systematic review on the physiological quality of soybean seeds, of 6,899 academic materials recovered, between the years 2017 and 2022, 57 of them were included in the study, being separated into three groups: Group 1 - Theoretical materials addressing traits related to seed vigor, which can be used in biotechnological and breeding strategies of different species; Group 2 - Practical materials applying techniques for treating soybean seeds; and Group 3 - Practical materials that apply techniques to evaluate the vigor in soybean seeds. For the species of *P. taeda*, seed quality data (vigor, germination, hard seeds, and weight of one thousand seeds) extracted from Seed Analysis Bulletins issued by the Forest Seed Laboratory of Embrapa Florestas, over 14 years were collected (2004-2018), for ten production sites in three states (SP, PR, SC). The average monthly climatic data were collected in the years and from the seed production sites, namely: maximum and minimum air temperature, rainfall, and relative humidity. Concerning soybean culture, it was possible to observe that several genes, proteins, and QTLs are associated with seed vigor; seed treatment techniques are concentrated in the use of biological products and physical processes, and studies validate the benefits in the field. Among the methods for evaluating the vigor of soybean seeds, we highlight the techniques of image analysis (visible light, LIBS, NIR, FTIR, FT-NIR, HSI-NIR, FHSI, Hyperspectral, fluorescence spectral) and the use of software (Vigor-S, SVIS, SAPL, IJCropSeed, Ilastik, VideometerLab MATLAB, ENVI). Regarding *Pinus taeda*, it is concluded that the climate of the production site affects the PMS and the percentage of hard seeds. However, the seed quality parameters had a weak correlation with the climatic

variables analyzed. From the results obtained, it is concluded that the climate of the production site has a low influence on the seed quality of the species.

Key words: soybean, loblolly pine, germination, vigor, seed quality, maternal environment.

LISTA DE FIGURAS

1. CAPÍTULO I - REVISÃO SISTEMÁTICA - ESTADO DA ARTE: ESTRATÉGIAS PARA AVALIAÇÃO DO VIGOR E PARA PRODUÇÃO DE SEMENTES DE SOJA DE ALTO VIGOR.....	30
FIGURA 1 - PALAVRAS-CHAVE UTILIZADAS PARA BUSCA DOS MATERIAIS ACADÊMICOS PUBLICADOS, ENTRE OS ANOS DE 2017 E 2022, E NÚMERO DE MATERIAIS ACADÊMICOS RESGATADOS POR BUSCA. IMAGEM OBTIDA A PARTIR DO SOFTWARE DE AUTOMAÇÃO HARZING'S PUBLISH OR PERISH NA PLATAFORMA GOOGLE SCHOLAR (HARZING, 2010).....	32
FIGURA 2 - FLUXO DE INFORMAÇÕES PARA A OBTENÇÃO DOS DADOS DE ACORDO COM AS DIRETRIZES DO GUIA PRISMA (2020).....	33
FIGURA 3 - CARACTERÍSTICAS BIOLÓGICAS, BIOQUÍMICAS, GENÉTICAS, FITORMONAIAS, ANTRÓPICAS, AMBIENTAIS E FUTURAS RELACIONADAS AO VIGOR DAS SEMENTES DE SOJA.....	35
FIGURA 4 - FLUXOGRAMA DAS TÉCNICAS DE ANÁLISE DE IMAGEM TESTADAS EM SEMENTES DE SOJA, NO PERÍODO DE 2017 A 2022.....	37
2. CAPÍTULO II - CLIMA DO LOCAL DE PRODUÇÃO E QUALIDADE DE SEMENTES DE <i>Pinus taeda</i>.....	50
FIGURA 1 – LOCALIZAÇÃO DOS PONTOS DE PRODUÇÃO DE SEMENTES DE <i>P. taeda</i> E DAS ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS MAIS PRÓXIMAS.....	55
FIGURA 2 – BOX-PLOT COM DISTRIBUIÇÃO DOS RESULTADOS DE QUALIDADE DE SEMENTES DE <i>P. taeda</i> NOS DIFERENTES LOCAIS DE PRODUÇÃO (CIDADE), E OS RESPECTIVOS VALORES MÉDIOS. A. VIGOR (%). B. GERMINAÇÃO (%)......	58
FIGURA 3 – BOX-PLOT COM DISTRIBUIÇÃO DOS RESULTADOS DE QUALIDADE DE SEMENTES DE <i>P. taeda</i> NOS DIFERENTES LOCAIS DE PRODUÇÃO (CIDADE), E OS RESPECTIVOS VALORES MÉDIOS. A. SEMENTES DURAS (%). B. PESO DE MIL SEMENTES (g).....	60

FIGURA 4 - CALENDÁRIO DA FENOLOGIA REPRODUTIVA DE *P. taeda* NO SUL DO
BRASIL.....63

LISTA DE TABELAS

1. CAPÍTULO I - REVISÃO SISTEMÁTICA - ESTADO DA ARTE: ESTRATÉGIAS PARA AVALIAÇÃO DO VIGOR E PARA PRODUÇÃO DE SEMENTES DE SOJA DE ALTO VIGOR.....	29
TABELA 1 - RESUMO DE ARTIGOS PRÁTICOS DE TRATAMENTOS DE SEMENTES DE SOJA.....	40
2. CAPÍTULO II - CLIMA DO LOCAL DE PRODUÇÃO E QUALIDADE DE SEMENTES DE <i>Pinus taeda</i>.....	50
TABELA 1 – NÚMERO DE LOTES AVALIADOS PELO LABORATÓRIO DE SEMENTES DA EMBRAPA FLORESTAS, POR ANO DE COLETA (2004 A 2018), E OS RESPECTIVOS LOCAIS DE PRODUÇÃO DE SEMENTES DE <i>P. taeda</i>	53
TABELA 2 - CARACTERIZAÇÃO EDAFOCLIMÁTICA DOS LOCAIS DE PRODUÇÃO DE SEMENTES DE <i>P. taeda</i> AVALIADAS.....	54
TABELA 3 - ANÁLISE DE DEVIANCE (ANODEV) DOS PARÂMETROS DE QUALIDADE DA SEMENTE DE SEMENTES DE <i>P. taeda</i> , VIGOR (%), GERMINAÇÃO (%), SEMENTES DURAS (%) E PESO DE MIL SEMENTES (g), EM RELAÇÃO AO LOCAL DE PRODUÇÃO.....	57
TABELA 4 - TABELA DE CORRELAÇÕES DE SPEARMAN ENTRE OS PARÂMETROS DE QUALIDADE DA SEMENTE DE <i>P. taeda</i>	62
TABELA 5 - CORRELAÇÕES DE SPEARMAN ENTRE O VIGOR DE SEMENTES DE <i>P. taeda</i> E AS VARIÁVEIS DE CLIMA NOS MESES DO CALENDÁRIO FENOLÓGICO REPRODUTIVO DA ESPÉCIE, DA POLINIZAÇÃO À COLETA DE SEMENTES, E OS RESPECTIVOS P-VALORES.....	64
TABELA 6 - CORRELAÇÕES DE SPEARMAN ENTRE O GERMINAÇÃO DE SEMENTES DE <i>P. taeda</i> E AS VARIÁVEIS DE CLIMA NOS MESES DO CALENDÁRIO FENOLÓGICO REPRODUTIVO DA ESPÉCIE, DA POLINIZAÇÃO À COLETA DE SEMENTES, E OS RESPECTIVOS P-VALORES.....	64

TABELA 7 - CORRELAÇÕES DE SPEARMAN ENTRE SEMENTES DURAS DE *P. taeda* E AS VARIÁVEIS DE CLIMA NOS MESES DO CALENDÁRIO FENOLÓGICO REPRODUTIVO DA ESPÉCIE, DA POLINIZAÇÃO À COLETA DE SEMENTES, E OS RESPECTIVOS P-VALORES.....65

TABELA 8 - CORRELAÇÕES DE SPEARMAN ENTRE PESO DE MIL SEMENTES (PMS) DE *P. taeda* E AS VARIÁVEIS DE CLIMA NOS MESES DO CALENDÁRIO FENOLÓGICO REPRODUTIVO DA ESPÉCIE, DA POLINIZAÇÃO À COLETA DE SEMENTES, E OS RESPECTIVOS P-VALORES.....66

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO GERAL.....	20
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	22
2.1 IMPORTÂNCIA ECONÔMICA DAS ESPÉCIES ESCOLHIDAS.....	22
2.1.1 <i>Glycine max</i>	22
2.1.2 <i>Pinus taeda</i>	23
2.2 MÉTODOS PARA AVALIAÇÃO DO POTENCIAL FISIOLÓGICO DE SEMENTES.....	24
2.3 FATORES QUE INTERFEREM NO POTENCIAL FISIOLÓGICO DAS SEMENTES PRODUZIDAS.....	26
3. CAPÍTULO I - REVISÃO SISTEMÁTICA - ESTADO DA ARTE: ESTRATÉGIAS PARA AVALIAÇÃO DO VIGOR E PARA PRODUÇÃO DE SEMENTES DE SOJA DE ALTO VIGOR.....	30
4. CAPÍTULO II - CLIMA DO LOCAL DE PRODUÇÃO E QUALIDADE DE SEMENTES DE <i>Pinus taeda</i>.....	50
5. CONCLUSÕES GERAIS.....	73
6. REFERÊNCIAS GERAIS	74
7. APÊNDICES.....	92

APÊNDICES

APÊNDICE 1. Tabela dos coeficientes calculados, utilizados na equação de regressão linear múltipla para o cálculo de temperatura máxima de cada local de produção de sementes de <i>P. taeda</i>	92
APÊNDICE 2. Tabela dos coeficientes calculados, utilizados na equação de regressão linear múltipla para o cálculo de temperatura mínima de cada local de produção de sementes de <i>P. taeda</i>	94
APÊNDICE 3. Tabela de correlações de Spearman entre a altitude dos locais de produção e as variáveis de clima, com os respectivos p-valores.....	96
APÊNDICE 4. Scripts do R utilizados para análise dos dados do capítulo II.....	97

1. INTRODUÇÃO GERAL

A semente de qualidade é o principal insumo da agricultura e um veículo de tecnologia para a lavoura (Marcos-Filho, 2020). Sementes vigorosas têm potencial para uma emergência de plântulas uniforme e um estabelecimento de estande mais rápido, comparado a sementes de menor qualidade, essa diferença de desempenho se intensifica com condições adversas no campo (Rossi et al., 2017). Além disso, sementes vigorosas têm maior potencial de conservação durante o armazenamento, sob ampla variação das condições ambientais (Finch-Savage e Bassel, 2016).

A emergência das plântulas após a semeadura depende diretamente das condições do ambiente e, como estas não são controláveis, a avaliação do potencial fisiológico das sementes deve ser efetuada de maneira eficiente, que permita identificar de forma segura lotes com maior probabilidade de se estabelecerem adequadamente em campo (Krzyzanowski et al., 2020). Por outro lado, sabe-se que a partir da maturação vários fatores afetam o desempenho das sementes até a semeadura, com destaque para as condições climáticas durante o processo de maturação, as quais podem causar distúrbios à formação da semente e prejudicar diretamente seu vigor (Marcos-Filho, 2020).

A soja é o terceiro grão produzido em maior volume no mundo e a principal fonte de proteína em nível mundial (USDA, 2022). O Brasil apresenta-se como o principal produtor e exportador global desta cultura, destacando-se entre as principais commodities agrícolas vendidas internacionalmente pelo país (SECEX, 2023). Comercializada principalmente em forma de grão, óleo ou farelo, ela tem mercado em expansão e expectativa de aumento de área plantada, impactando na necessidade de mais sementes que devem ser produzidas com alto nível tecnológico (CONAB, 2022).

Diante da relevância econômica da soja no cenário nacional e internacional, a pesquisa científica produz constantemente um grande volume de informações sobre tecnologia de sementes da referida espécie. Por isso, faz-se relevante uma revisão sistemática sobre o tema.

O Pinus é o segundo gênero florestal com maior área plantada no Brasil, sendo a espécie silvícola *Pinus taeda* mais utilizada em reflorestamento nos estados de Santa Catarina e Rio Grande do Sul (IBÁ, 2020). Esta espécie é propagada por mudas seminais (Santos et al., 2019), uma vez que a planta produz grande volume anual de sementes (Golle et al., 2010) e possui difícil enraizamento natural (Alcantra et al., 2007; Santos, 2014; Lenzi, 2022).

No entanto, por ser uma gimnosperma, sua semente fica mais exposta a fatores ambientais durante sua formação por não estar protegida por um fruto, além disso, o ciclo reprodutivo da espécie é longo, necessitando, em torno de dois anos desde o desenvolvimento do botão floral até a dispersão da semente madura (Wenger, 1958). Deste modo, mesmo sabendo que o potencial fisiológico da semente é influenciado pelo ambiente (Wu et al., 2017; Weerasekara et al., 2021), há carência de estudos da influência em espécies florestais, pela demora de duração do ciclo e necessidade de avaliar em diferentes anos e locais de produção.

Diante disso, o presente trabalho teve por objetivos: a) realizar uma revisão sistemática sobre qualidade fisiológica de sementes de soja visando compilar informações atualizadas e promissoras sobre *traits*, tratamentos e técnicas de análise; b) analisar a influência do clima do local de produção no potencial fisiológico de sementes de *Pinus taeda*.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 IMPORTÂNCIA ECONÔMICA DAS ESPÉCIES ESCOLHIDAS

2.1.1 *Glycine max*

A soja (*Glycine max* L.) é o terceiro principal grão produzido no mundo e a principal fonte de proteína em nível mundial (USDA, 2022). O primeiro registro da soja no Brasil foi em 1882, entre 1940 e 1960 iniciou-se uma produção restrita da cultura no Brasil e Argentina, e apenas em 1970 começou a expansão comercial da cultura no país impulsionada pelo crescimento da indústria de óleo (Gazzoni e Dall’agnol, 2018). Ou seja, uma cultura relativamente recente no país comparada às culturas centenárias como cana de açúcar, borracha, cacau ou café, que mesmo em pouco tempo, com investimento em tecnologia e pesquisa, a soja se tornou o carro chefe da agricultura nacional, cuja cadeia produtiva movimentou US\$ 100 bilhões/ano (Aprosoja, 2022).

O Brasil é o maior produtor mundial de soja, responsável por 38% da produção global, e o maior exportador da cultura, comercializando 50% do mercado da oleaginosa (ASA, 2022). Atualmente a soja é o principal produto da pauta de exportação brasileira, com uma expectativa de aumento de área plantada de 4,2% na safra 2022/23, com produtividade estimada de 153,54 milhões de toneladas de grão (CONAB, 2022), o que impacta em maior demanda de sementes (Aprosoja, 2022).

Nos últimos 40 anos, a produção nacional de soja quadruplicou, esse aumento de produtividade está relacionado com a qualidade da semente, a qual é veículo de tecnologia para a lavoura (Aprosoja, 2022). O setor sementeiro cresce com a expansão de áreas plantadas e com o aumento da taxa de utilização de sementes (TUS). O crescimento de área de soja avançou 6,6%, de 27,7 milhões de hectares para 29,5 milhões de hectares, de acordo com o último levantamento de safra da Companhia Nacional de Abastecimento (Conab) (Aprosoja MS, 2022).

A produção de sementes de soja na safra 20/21 foi de 3,7 milhões de toneladas e, Taxa de Utilização de Sementes (TUS) de 67%, tendo sido produzidas 43,6 milhões de sacas, o que movimentou o equivalente à 15 bilhões de reais (ABRASEM, 2022). Atualmente, a semente representa 10% no custo da lavoura de soja (Aprosoja Brasil, 2022). Os maiores estados produtores de sementes de soja no Brasil são: Mato Grosso, Goiás, Paraná e Rio Grande do Sul, de acordo com os dados inscritos no RENASEM – Registro Nacional de Sementes e Mudanças (MAPA, 2022).

O setor de sementes de soja sinaliza crescimento e oportunidades, uma vez que além das áreas em expansão, há um mercado potencial para substituição das sementes

piratas ilegais e sementes reservadas para uso próprio, representando uma oportunidade equivalente à 13,5 milhões de hectares, ou seja, 18 milhões de sacas ou 7 bilhões de reais (Menegaz, 2022).

2.1.2 *Pinus taeda*

Pinus está entre os gêneros das espécies florestais mais plantadas no mundo (Sing et al., 2018) e foi introduzido no Brasil pelos imigrantes europeus há mais de um século, em torno de 1880 (Shmidzu et al., 2008). No entanto, seu cultivo comercial em larga escala no país, ocorreu apenas a partir de 1960, com o incentivo fiscal do governo para o plantio de florestas em substituição à exploração de matas nativas (Pichelli, 2020). Com o investimento em pesquisa e tecnologia, atualmente, o Brasil é referência mundial em produtividade de florestas plantadas, com alto volume de produção anual de madeira por área e um curto ciclo (IBÁ, 2021).

No Brasil, a indústria de base florestal exportou cerca de 11,3 bilhões de dólares, responsabilizando-se por 4,3% das exportações do país em 2019, gerando 3,75 milhões de empregos em toda a cadeia e 13 bilhões em arrecadação de tributos (IBÁ, 2023). Em 2020, a área de florestas plantadas no Brasil era equivalente a 9,55 milhões de ha; desta extensão, 18% da área é composta pelo cultivo de *Pinus*, em torno de 1,72 milhões de ha, atrás apenas do Eucalipto (IBÁ, 2021). Dentro do gênero *Pinus*, com mais de 100 espécies, *Pinus taeda* L. é a mais cultivada na região sul e sudeste do Brasil (Picheli, 2020), devido a um conjunto de características, tais como elevada produtividade e rápida adaptação às condições edafoclimáticas regionais, definidas por ocorrências de baixas temperaturas, geadas, solos ácidos e com baixo teor de nutrientes (Dedeck et al., 2008; Shimizu et al., 2008; Schons et al., 2018; Kulmann et al., 2021).

O *Pinus taeda* é uma espécie arbórea nativa da região sul dos Estados Unidos, com excelente adaptação ao sul do Brasil (Schons et al., 2018). Nos estados de Santa Catarina e Paraná, as áreas plantadas de pinus superam as de eucalipto, sendo que 85% dos 1,6 milhões de hectares plantados do gênero no Brasil encontram-se na região sul do país (IBÁ, 2021).

Árvores de *Pinus taeda* possuem diversos tipos de aplicações comerciais, sendo as mais tradicionais os usos para: lenha (carvão ou geração de energia), madeira para serraria, laminadora, fabricação de painéis reconstituídos e compensados, além da produção de resina, celulose e biomassa (Shimizu et al., 2008; Gonzalez-Benecke et al., 2011; Perdue et al., 2017; He et al., 2019; Vivian et al., 2022; IBÁ, 2021).

Por serem produtos, muitos deles, com baixo valor agregado, novas tecnologias e pesquisas aplicando o conceito de biorrefinaria, visam explorar a biomassa de subprodutos florestais para geração de itens mais valorizados, visando substituir os insumos da indústria petroquímica, estimulando a economia verde e geração de novos negócios (Magalhães, 2016). Como alguns exemplos, a utilização da celulose, hemicelulose ou lignina para a produção de bioetanol (Mendes et al., 2021; Yamakawa et al., 2022; Mendes et al. 2021), e casca de pinus para extração de compostos fenólicos com aplicação industrial (Xavier et al., 2021).

Além disso, as florestas plantadas favorecem a economia de baixo carbono, pelos serviços ambientais prestados, como: redução dos gases do efeito estufa atuando como fixador de carbono, fontes de energias renováveis, cultivo como alternativa para recuperar áreas degradadas, reflorestamentos para reduzir o desmatamento de áreas com florestas nativas (Gonzalez-Beneck et al., 2011; Maximo et al., 2022).

Todas essas aplicações comerciais na bioeconomia estimulam a expansão e renovação de áreas de produção de florestas de Pinus, sendo necessário sementes de alta qualidade para a produção de suas mudas (Riikonen e Luoranen, 2018; Oliveira, 20 et al., 2018), uma vez que o *P. taeda* apresenta dificuldade de enraizamento tradicional (Alcantra et al., 2007; Santos, 2014; Lenzi, 2022).

2.2 MÉTODOS PARA AVALIAÇÃO DO POTENCIAL FISIOLÓGICO DE SEMENTES

O potencial fisiológico representa o conjunto de aptidões que permite estimar o sucesso da semente manifestar suas funções vitais sob diferentes condições de ambiente. A determinação correta do potencial fisiológico da semente e a seleção de lotes com alto potencial de desempenho são relevantes para o sucesso do processo de produção, permitindo a escolha de lotes com maior probabilidade de apresentar alto nível de desempenho (Marcos-Filho, 2020).

Para a seleção de lotes de sementes de qualidade e monitoramento, é recomendada a utilização de um programa de controle de qualidade dentro das empresas produtoras, sendo realizado uma bateria de testes desde a pré-colheita até a pré-expedição do lote (Cícero, 1998). Neste processo, diversos tipos de testes podem ser realizados, com destaque para os mais rotineiros, como germinação e teste de tetrazólio, que avaliam a viabilidade das sementes, parâmetro obrigatório para sua comercialização no Brasil (Brasil, 2020).

Essas determinações são realizadas nos Laboratórios de Análise de Sementes (LAS), sendo que no Brasil existem 191 laboratórios registrados no Ministério da

Agricultura credenciados para análise de soja, além dos LAS para controle interno de qualidade dentro das empresas produtoras de sementes (Renasem, 2023).

O teste de germinação avalia o número de plântulas normais obtidas em um determinado período, sendo conduzido em condições ótimas de ambiente, visando determinar o máximo potencial fisiológico da amostra (Brasil, 2009). A condução do teste em condição ideal garante sua reprodutibilidade, porém, muitas vezes superestima o potencial da amostra, resultando em um desempenho inferior quando colocado no campo em condições estressantes, como no teste de emergência em campo (Brasil, 2009).

Os resultados do teste de germinação não são recomendados isoladamente para comparar lotes com relação ao potencial de armazenamento ou estimar o sucesso da semeadura em campo, uma vez que não permitem detectar o progresso da deterioração das sementes, indicando apenas os estádios finais do processo (Marcos-Filho, 2015). Além disso, não diferencia lotes de acordo com a velocidade de germinação (Ranal e Santana, 2006).

Uma alternativa ao teste de germinação é o teste de tetrazólio, que além de avaliar a viabilidade, avalia a vitalidade (se a semente está viva), apresentando como vantagens a rapidez na obtenção do resultado e grande quantidade de informações sobre o tipo de dano, permitindo identificar as principais causas de redução da qualidade (AOSA, 2005). O teste tetrazólio mede indiretamente a respiração das células, logo a viabilidade por meio deste teste pode ser superestimada, comparada ao resultado da germinação e de emergência das plântulas em campo (França-Neto e Krzyzanowski, 2019).

Visando estimar o comportamento da semente sob condições adversas, deve ser realizado o teste de vigor, parâmetro que pode ser definido como a soma das propriedades que determinam o potencial de atividade e desempenho da semente ou lote de sementes durante a germinação e emergência (ISTA, 2020). Conceituado também como o potencial para emergência e desenvolvimento rápidos e uniformes de plântulas normais sob uma ampla gama de condições de campo (AOSA, 2009). O vigor é uma característica complexa que engloba diversas respostas nas sementes, como a germinação, emergência em campo, capacidade de armazenamento e tolerância ao estresse (Sun et al., 2007).

Os testes de vigor podem ser agrupados em: testes físicos que avaliam aspectos morfológicos ou características físicas das sementes possivelmente associadas ao vigor; testes fisiológicos os quais procuram determinar atividade fisiológica específica, cuja manifestação depende do vigor; testes bioquímicos, os quais avaliam alterações bioquímicas associadas ao vigor das sementes; testes de resistência a estresse que

avaliam o desempenho de sementes expostas à condições desfavoráveis de ambiente (Mc Donald, 1975)

O comitê de vigor da AOSA recomenda os seguintes testes para a avaliação do vigor: testes baseados no desempenho de plântulas e velocidade de germinação (Krzyzanowski et al., 2020); crescimento de plântulas e a análise computadorizada de imagens de plântulas (Gomes-junior, 2020); teste de emergência em campo, é conduzido fora das condições controladas do laboratório, podendo ser, conduzido em campo ou casa de vegetação (Brasil, 2009; Krzyzanowski et al., 2020), envelhecimento acelerado tradicional (EAT) e com solução saturada de sal (EASS) (Marcos-filho, 2020); deterioração controlada (Krzyzanowski e Marcos-Filho, 2020); teste de frio (Cícero e Vieira, 2020); germinação a temperatura sub-ótima (cool germination test) (Dias e Marcos-Filho, 2020); teste de tetrazólio (França-Neto e Krzyzanowski, 2019) e condutividade elétrica (Vieira e Marcos-Filho, 2020).

Além dos testes tradicionalmente utilizados, a automatização da avaliação da qualidade de sementes é uma tendência crescente (Pereira et al., 2020; Larios et al., 2020a). Isso apresenta potencial para avaliação da qualidade física, fisiológica e sanitária de sementes de diversas culturas (Mortensen et al., 2021). No entanto, os testes tradicionais ainda são necessários e devem ser complementados com novas técnicas de análise de imagem (Sasidharan et al., 2019).

Assim, com a análise automatizada de raio-x, imagem térmica, espectroscopia Raman, termografia do infravermelho, imagem de autofluorescência, espectroscopia no infravermelho por transformada de Fourier, espectroscopia no infravermelho próximo e outras técnicas, é possível avaliar o vigor da semente de maneira precisa e eficiente (Medeiros et al., 2020b; Rhaman e Cho, 2016; Xia et al., 2019; Silva et al., 2021; Larios et al., 2020a; Venkatesan et al., 2020; Michelon et al., 2023).

2.3 FATORES QUE INTERFEREM NO POTENCIAL FISIOLÓGICO DAS SEMENTES PRODUZIDAS

Estresses ambientais, bióticos e abióticos, são prejudiciais para a produtividade das culturas em geral, sendo as consequências mais graves na produção de sementes, principalmente nas fases mais críticas do desenvolvimento, como florescimento, fecundação, enchimento de grão e pré-colheita (Marcos-Filho, 2015). Diante desta sensibilidade maior, existem diversos trabalhos estudando a influência do ambiente

materno no desenvolvimento de sementes (Wulf, 1995; Gutterman, 2000; Baskin e Baskin, 2019; Weerasekara et al., 2021).

Um dos fatores que pode influenciar na qualidade da semente produzida é o nível de fertilidade do solo, uma vez que plantas bem nutridas podem produzir sementes maiores e de maior qualidade. No entanto, algumas plantas seguem um princípio de compensação, no qual, dentro de certos limites têm a capacidade de compensar seu crescimento vegetativo e equilibrar com o reprodutivo (Delouche, 1972). Além disso, a textura e estrutura dos solos são importantes devido a sua influência no desenvolvimento do sistema radicular da planta, bem como o seu efeito na drenagem da água do solo. Embora a fertilidade natural do solo possa ser manejada com adubação, o desbalanço nutricional pode causar um favorecimento do crescimento vegetativo da planta.

A luminosidade também interfere na qualidade de sementes produzidas, pois está relacionada diretamente com o processo de fotossíntese, sendo maior a quantidade de fotoassimilados da planta disponíveis para transferir às sementes. No entanto, para que ocorra essa translocação, a planta segue uma relação fonte (região produtora de fotoassimilados) para dreno (região de crescimento ou armazenamento), qualquer disfunção na planta, pode interferir na rota do enchimento de matéria seca para a semente (Taiz et al., 2017). Além disso, em algumas culturas fotossensíveis, a luminosidade influencia diretamente na formação e retenção de flores (Taiz et al., 2017).

A deficiência hídrica afeta o metabolismo, o crescimento da planta e dependendo do estágio fenológico, a produção de sementes. Fases críticas são a antese e a fecundação, quando a falta de água restringe a liberação do pólen e receptividade do estigma, reduzindo o número de sementes formadas e, em casos mais graves, o óvulo pode ser abortado após fecundação devido à falta de sacarose (Marcos-Filho, 2020). Algumas espécies conseguem compensar quando o florescimento ocorre em período prolongado. A seca prolongada, e a baixa disponibilidade de água no solo na fase de transferência de assimilados, podem reduzir o tamanho da semente (Marcos-filho, 2015).

O período de transferência de massa seca da planta-mãe para as sementes é uma etapa importante do processo de desenvolvimento, pois neste momento, vários mecanismos de proteção são produzidos e acumulados na semente para garantir o vigor e a tolerância ao estresse após a dispersão, como antioxidantes, pigmentos, degradação da clorofila e proteínas (Groot, 2022). Além disso, variações climáticas neste período podem afetar diretamente o vigor (Penfield e MacGregor, 2017).

Como, por exemplo, o excesso de precipitação na pré-colheita favorece o desenvolvimento de microrganismos que aumentam a deterioração (Marcos-Filho, 2015).

Ao mesmo tempo, o déficit hídrico na planta força uma maturação mais rápida, formando sementes prematuras, com menor densidade e qualidade fisiológica comprometida, sendo esse resultado intensificado quando associado com altas temperaturas neste período, sendo um padrão consolidado nas plantas cultivadas (Marcos-Filho, 2020).

A maioria das espécies cultivadas é vulnerável ao estresse térmico pré e pós-fertilização, e qualquer exposição a temperaturas acima do ideal para a espécie pode resultar em perdas significativas na produção de sementes. Como resposta ao estresse térmico, a planta sintetiza proteínas de choque térmico (HSPs) para proteger as células da membrana celular da planta, preservando a integridade celular e reduzindo a deterioração e favorecendo a manutenção da qualidade fisiológica. No entanto, existe um número relativamente pequeno de estudos do efeito de regime das temperaturas no desenvolvimento das sementes (Haptom et al, 2013).

O estresse por temperaturas elevadas durante a fase de pré e pós-fertilização, gera um desequilíbrio na relação fonte e dreno da planta, impactando em interações entre açúcares, hormônios e espécies reativas de oxigênio em vários pontos do fluxo de sacarose. Além disso, os processos reprodutivos masculinos são mais propensos a anormalidades sob alta temperatura em vários estágios de desenvolvimento (Kumar et al., 2022).

A colheita antecipada em relação à época de maturidade determina deficiência no desempenho das sementes, ainda não completamente maduras, com menor acúmulo de massa seca e, conseqüentemente, menor vigor. Essa observação é corriqueira na prática da produção de sementes, pois a formação incompleta deve provocar maior sensibilidade à deterioração (Marco-Filho, 2015). O vigor da semente aumenta progressivamente com o avanço da maturidade fisiológica (Bewley et al., 2013). Logo, a determinação do ponto de maturidade fisiológica é fundamental para o ponto ideal de colheita das sementes (Groot, 2022).

Além disso as plantas têm um *tradeoff* entre crescimento e reprodução em situações de estresse, o que justifica a hipótese de investimento terminal em árvores, para adequação à mudança de alocação de recursos da sobrevivência, ou seja, quanto maior as condições estressantes, maior a produção de sementes (Lauder et al., 2019).

O vigor é uma característica complexa influenciada por vários genes, embora não tenha uma proteína específica relacionada ao vigor, existem diversos genes candidatos a melhorar o vigor de sementes elencados na revisão de Wu et al (2017). Diante disso, outro fator relevante é a influência da genética na qualidade fisiológica das sementes, pode ser mensurada em função da herdabilidade, ou seja, a estimativa da contribuição

genética para a variação em uma determinada característica entre indivíduos, sendo expressa em valores que variam de 0 a 1, sendo 0 indica que a característica não é influenciada pela genética e 1 indica que a característica é totalmente controlada pelos genes.

Existe variação genética entre as espécies e clones para os parâmetros de qualidade de sementes, logo a herdabilidade das características varia, e também em função da metodologia utilizada.

3. CAPÍTULO 1. REVISÃO SISTEMÁTICA - ESTADO DA ARTE: ESTRATÉGIAS PARA AVALIAÇÃO DO VIGOR E PARA PRODUÇÃO DE SEMENTES DE SOJA DE ALTO VIGOR

RESUMO – Foi realizada uma abordagem sistemática com o objetivo de compilar informações atualizadas e mais promissoras sobre a qualidade de sementes de soja, traits, tratamentos e técnicas de análise. Dentre 6.899 materiais acadêmicos recuperados, entre os anos de 2017 e 2022, 57 deles foram incluídos no estudo, sendo separados em três grupos: Grupo 1 - Materiais teóricos abordando traits relacionados ao vigor de sementes, que podem ser utilizados em estratégias biotecnológicas e de melhoramento de diferentes espécies; Grupo 2 - Materiais práticos que aplicam técnicas de tratamento de sementes de soja; e Grupo 3 - Materiais práticos que aplicam técnicas para avaliar o vigor em sementes de soja. A partir da abordagem realizada, foi possível observar que vários genes, proteínas e QTLs estão associados ao vigor das sementes. As técnicas de tratamento de sementes concentram-se no uso de produtos biológicos e físicos; porém, há carência de estudos validando esses benefícios em campo. Dentre os métodos para avaliação do vigor de sementes de soja, destacam-se as técnicas de análise de imagem (luz visível, LIBS, NIR, FTIR, FT-NIR, HSI-NIR, FHSI, Hiperespectral, Espectral de fluorescência) e o emprego de softwares (Vigor-S®, SVIS®, SAPL®, IJCropSeed, Ilastik, VideometerLab®, MATLAB, ENVI®).

Termos para indexação: *Glycine max*, germinação, métodos não destrutivos, classificação de semente, qualidade de semente.

Introdução

A produção de sementes de soja de alto vigor está cada vez mais tecnificada, exigindo esforços e atualização constante de técnicas que envolvam todas as etapas do processo, ou seja, a genética, o manejo, o tratamento e a análise da qualidade da semente. Esse desafio aumenta, uma vez que o vigor é uma característica fisiológica complexa, controlada por vários *loci* e altamente influenciada pelo ambiente (Wu et al., 2017).

Neste sentido, estratégias no campo da biotecnologia, tais como transgenia, edição gênica, localização de hubs gênicos via metodologias ômicas (Smolikova et al., 2020), micro-RNAs (Dahka and Sharma, 2021) e estratégias no campo do melhoramento clássico (Rajani et al., 2017), vêm sendo avaliadas em conjunto com as

estratégias consolidadas das boas práticas da produção de sementes em campo (Rao et al., 2017). Adicionalmente, é crescente o número de pesquisas e técnicas de manejo voltadas para o tratamento das sementes, em diferentes momentos do plantio e da pós-colheita, que também têm demonstrado benefícios para manutenção do vigor e aumento com “efeito priming” (Bareke, 2018; Rifna et al., 2019).

Entretanto, ainda que práticas de manejo adequadas contribuam significativamente para a produção de sementes de alta qualidade, durante a produção e o armazenamento (Rao et al., 2017), o vigor é altamente influenciado por fatores biológicos e genéticos, e depende da quantidade de reserva transferida da planta-mãe para a semente (Arora et al., 2018; Bareke, 2018). A soja, por exemplo, por possuir elevado teor de proteínas e óleo presentes na semente, é bastante vulnerável à degradação bioquímica, fato que dificulta a manutenção da sua qualidade fisiológica na entressafra (Louwaars and Jonge, 2021).

Com novas técnicas para produção de sementes de elevada qualidade, as formas de avaliação devem acompanhar o processo produtivo e a pesquisa, para trazer respostas mais assertivas, rápidas e com menor subjetividade. Logo, a avaliação tradicional dos lotes de sementes de soja com os testes convencionais, tais como tetrazólio, germinação, envelhecimento acelerado, emergência em campo, teste de frio, condutividade elétrica e comprimento de plântulas, não é automatizada, sendo destrutiva e com exigência de treinamento especializado. Assim, deverão ser complementadas com novas técnicas de análise de imagem (Kapadia et al., 2017).

Ao longo da última década, os avanços nos recursos computacionais e o desenvolvimento de novos algoritmos permitiram a análise de grandes conjuntos de dados multidimensionais, para implementar sistemas de suporte à tomada de decisão cada vez mais precisos (Baek et al., 2019; Xia et al., 2021; Xiao, 2022). Essa revolução da era *big data* têm impactado a cadeia de valor, à medida que o uso de sistemas de análise de dados possibilita usar conjuntos de dados não estruturados de sementes para obter *insights*, para decisões do melhoramento de culturas (Daniel, 2020). Novas soluções de visão computacional, combinadas com algoritmos de inteligência artificial, podem ajudar a reconhecer padrões em imagens biológicas, reduzindo a subjetividade e otimizando o processo de análise (Medeiros et al., 2020b). Da mesma forma, a integração de conjuntos de dados de imagens de fenótipo de sementes, com dados de domínios genômicos e ambientais, podem ser usados para obter *insights* para reprodução inteligente (Sharma et al., 2021).

Pode ser destacado, também, a fenotipagem de alto rendimento e o uso de software para monitorar a variação nas características de sementes, aplicáveis no controle de qualidade na produção de sementes (ElMasry et al., 2019; Mortensen et al., 2021). A compreensão genômica e as interações moleculares na dinâmica da formação de sementes de qualidade são indispensáveis para o avanço do melhoramento genético e da produção (Dwivedi, et al., 2021)

Quando se refere às sementes de soja, verificam-se muitas novidades; entretanto, há necessidade de compilar as informações disponíveis para avançar na tecnologia de sementes de maneira global. Neste sentido, a presente revisão teve por objetivos levantar: a) os avanços na parte genética e de traits relacionados; b) a tendência atual para o tratamento de sementes e seus resultados nos componentes de rendimento e na qualidade de sementes; c) as novas tecnologias na avaliação da qualidade. Todo esse contexto visando direcionar as novas pesquisas em tecnologia de sementes de soja, apresentando formas integradas para avaliação da qualidade.

Material e Métodos

A busca por materiais acadêmicos foi realizada por meio de revisão sistemática (Cogo, et al., 2020), sendo a bibliografia selecionada por meio do software de automação *Harzing's Publish or Perish* na plataforma *Google Scholar* (Harzing, 2010).

O critério de elegibilidade consistiu em selecionar materiais a partir de palavras-chave contextualizadas ao tema proposto (Cogo, et al., 2020). As palavras-chave utilizadas para busca no banco de dados podem ser observadas na Figura 1. Foram recuperados apenas materiais acadêmicos publicados entre os anos de 2017 e 2022.

Search terms	Source	Papers
✓ improve seed vigor or increase seed vigor and soybean and yield from 2017 to 2022	Google Scholar	1000
✓ improve seed yield or increase seed yield and soybean and vigor from 2017 to 2022	Google Scholar	1000
✓ soy* and seed production or seed quality and vigor and yield and crispr from 2017 to 2021	Google Scholar	994
✓ soy* and seed production or seed quality and vigor and yield and crispr from 2022 to 2022	Google Scholar	87
✓ soy* and seed production or seed quality and vigor and yield and plant breeding from 2017 to 2021	Google Scholar	995
✓ soy* and seed production or seed quality and vigor and yield and plant breeding from 2022 to 2022	Google Scholar	620
✓ soy* and seed production or seed quality and vigor and yield and mai or interference ma from 2017 to 2021	Google Scholar	848
✓ soy* and seed production or seed quality and vigor and yield and mai or interference ma from 2022 to 2022	Google Scholar	50
✓ soy* and seed production or seed quality and vigor and yield and transgenic from 2017 to 2021	Google Scholar	996
✓ soy* and seed production or seed quality and vigor and yield and transgenic from 2022 to 2022	Google Scholar	309

Figura 1. Palavras-chave utilizadas para busca dos materiais acadêmicos publicados, entre os anos de 2017 e 2022, e número de materiais acadêmicos resgatados por busca. Imagem obtida a partir do software de automação *Harzing's Publish or Perish* na plataforma *Google Scholar* (Harzing, 2010).

O fluxograma contendo informações da obtenção e triagem dos dados foi delineado de acordo com o guia PRISMA para revisão sistemática (Page et al., 2021). Os materiais

foram divididos em três grupos: Grupo 1 - Materiais teóricos abordando análise, melhoria e características envolvidas no vigor de sementes de diferentes espécies, sendo este grupo utilizado para o embasamento teórico do manuscrito; Grupo 2 - Materiais práticos que aplicam técnicas de tratamento de sementes de soja; e Grupo 3 - Materiais práticos que aplicam técnicas para avaliar o vigor de sementes de soja.

Resultados e Discussão

Foram identificadas um total de 6.899 publicações acadêmicas, sendo que destas, 6.842 foram excluídas a partir do título ou resumo, baseando a exclusão na presença de termos de busca descontextualizados ao tema proposto. Títulos não pertinentes ao assunto abordado foram removidos diretamente, e títulos pertinentes tiveram seus resumos analisados para confirmar a exclusão ou inclusão. Um total de 57 materiais apresentaram os termos de busca contextualizados ao tema proposto, sendo 22 incluídos na construção teórica e 35 incluídos na construção prática.

Dentre os materiais práticos com enfoque em soja, foram avaliados como critério de seleção apenas artigos publicados em revistas indexadas na Scopus e classificadas nos Quartis (Q1 e Q2) no Scimago, pelo rigor científico dos periódicos e impacto das publicações. Destes, 23 artigos tratavam de técnicas no tratamento de sementes, 12 tratavam sobre técnicas de análise de vigor de sementes de soja (Figura 2).

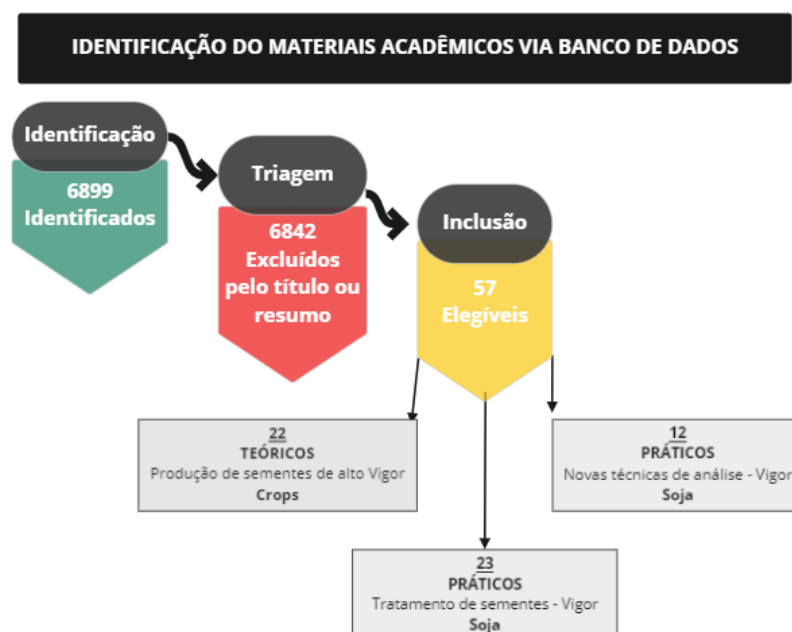


Figura 2. Fluxo de informações para a obtenção dos dados de acordo com as diretrizes do guia PRISMA (2020).

Traits relacionados ao vigor de sementes, que podem ser utilizados em estratégias biotecnológicas e de melhoramento

Nas últimas décadas, vários genes, proteínas e QTLs associados ao vigor das sementes foram identificados em diversas espécies (Wu et al., 2017; Kofsky et al., 2020; Rasheed et al., 2021; Reed et al., 2022; Arif et al., 2022).

Tocoferol (vitamina E), ácido ascórbico (vitamina C) e proteínas PER são reguladores da longevidade das sementes, por meio de seu efeito inibitório no acúmulo de espécies reativas de oxigênio (ROS), mantendo assim a estabilidade do genoma da planta (Zhou et al., 2020). Os genes *LIG* e *OGG1* e a via BER também estão envolvidos na manutenção da estabilidade do genoma e da longevidade das sementes em diversas culturas. Assim como o gene *ASPG1-1*, que participa da proteção de estruturas de proteínas para manter a longevidade das sementes (Zhou et al., 2020).

Os oligossacarídeos da família da rafinose (RFOs) também mostraram ser importantes para a manutenção da longevidade das sementes, enquanto os genes *RS* e *GOLS* são reguladores positivos da longevidade pela via RFO (Zhou et al., 2020).

Em soja, foi observado que o aumento da expressão de genes que codificam para chaperonas protetoras, incluindo as HSPs, estão envolvidos no aumento de longevidade das sementes (Arif et al., 2022). Já foram identificados na espécie 27 fatores de transcrição que apresentaram perfis de expressão altamente correlacionados com a longevidade de sementes (Arif et al., 2022); enzimas antioxidantes como SOD, CAT, GR e isômeros de tocoferol (Sooganna et al., 2021). Em adição, sementes de soja de alta qualidade fisiológica apresentam elevado nível de expressão de genes que codificam enzimas envolvidas na respiração, como álcool desidrogenase (ADH), malato desidrogenase (MDH) e fosfoglucoisomerase (PGI) que podem ser quantificadas pela técnica de PCR em tempo real (qRT-PCR) (Baldoni et al., 2019).

Outros fatores intrínsecos à planta, como teores de enxofre e de cisteína, estão positivamente relacionados à qualidade fisiológica das sementes (Mondal et al., 2022). Foi descoberto, também, que alguns mRNAs longos acumulados em sementes maduras parecem estar relacionados à manutenção da longevidade e germinação das sementes. Entretanto, o tipo de mRNA que se acumula nas sementes é afetado pelo hormônio vegetal ácido abscísico (ABA) e por fatores ambientais, e a maioria deles se acumula nas sementes na forma de monossomos (Sano et al., 2020).

Muitos estudos envolvendo a compreensão dos mecanismos moleculares subjacentes à fisiologia do rendimento das culturas, e dos processos limitantes do rendimento em condições de campo, vêm tentando elucidar quais combinações de alelos

favoráveis são necessárias para a melhoria do rendimento e vigor de sementes de soja (Vogel et al., 2021). Alguns abordam mecanismos da deterioração de sementes durante o transporte e armazenamento, apontando que tais estudos podem viabilizar a identificação de pontos-chave envolvidos na melhoria da viabilidade e do vigor das sementes (Chhabra and Singh, 2019; Ebone et al., 2019). Mecanismos como esses envolvem a perda de qualidade das sementes, como a perda da capacidade de proteção e permeabilidade de membrana, peroxidação lipídica e produção de ROS; aumento da acidez das gorduras; aumento da atividade enzimática, consumo de reservas e danos ao material genético (Chhabra and Singh, 2019; Ebone et al., 2019; Ratajczak et al., 2019). Adicionalmente, que permitam identificar novos marcadores de vigor de sementes, como por exemplo o gene AOX, que demonstrou em diversas espécies ser um excelente marcador de vigor, sendo um candidato para *prebreeding* e estimativa do vigor de sementes (Mohanapriya et al., 2017).

As pesquisas encontradas na literatura demonstraram muitas possibilidades que podem ser exploradas, a fim de identificar novas estratégias para melhoria do vigor de sementes (Figura 3).

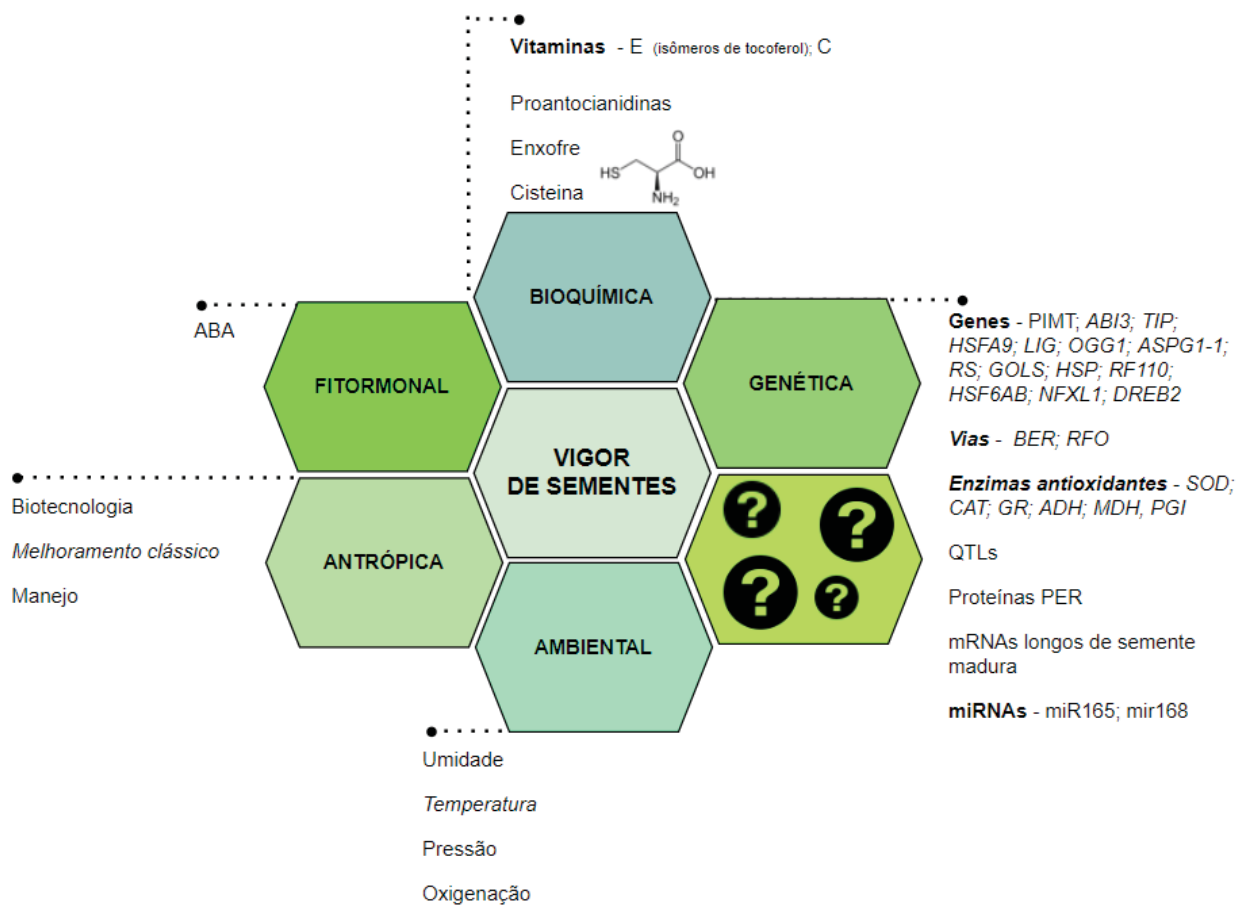


Figura 3. Características biológicas, bioquímicas, genéticas, fitormonais, antrópicas, ambientais e futuras relacionadas ao vigor das sementes de soja.

Tecnologias utilizadas no tratamento de sementes de soja

As tecnologias que visam a produção de sementes mais vigorosas podem ser divididas em métodos de: a) **pré-colheita** - que se referem a manejos realizados na planta-mãe ainda no campo; b) **pós-colheita** (*Seed enhancements*), realizados diretamente na semente, por meio da aplicação de produtos fitossanitários químicos ou biológicos, além de diferentes formas de tratamento; c) **pós-semeadura** - realizados no momento do plantio e, após ele, para aumentar a viabilidade e o vigor das sementes, para produção em casa de vegetação e campo (Taylor et al., 2021).

Nesta revisão, foram focadas as tecnologias aplicadas diretamente na semente (pós-colheita e pós-semeadura) para aumentar o vigor, agrupadas em Biológicas (Bio), Físicas, Nutrientes (Nutri), Químicas (Quím) e Nanotecnologia (Nano), conforme levantamento da Tabela 1.

O levantamento indica uma tendência de estudos relacionados à aplicação de produtos biológicos na semente, microrganismos isolados do solo com ação enraizadora e fixadora de nutrientes, promotoras do crescimento vegetal (PGPR) e seus respectivos reflexos na germinação, emergência, desempenho de plântula em condições ideais ou algum tipo de estresse ambiental (Gregorio et al., 2017; Nazari et al., 2019; Khomari et al., 2018; Queiroz Rego et al., 2018; Tavanti et al., 2020; Abati et al., 2020; Paul and Rakshit, 2021; Sheteiwiy et al., 2021).

Os trabalhos agrupados por tratamentos físicos revelaram o potencial de novas tecnologias como campo eletromagnético, laser, o uso do plasma para tratar a semente ou tratar a água que será embebida a semente (Asghar et al., 2017; Kataria et al., 2017; Porto et al., 2018; Michalak et al., 2019; Foroughbakhch et al., Pérez-Pizá et al., 2019; Švubová et al., 2021; Mamlic et al., 2021).

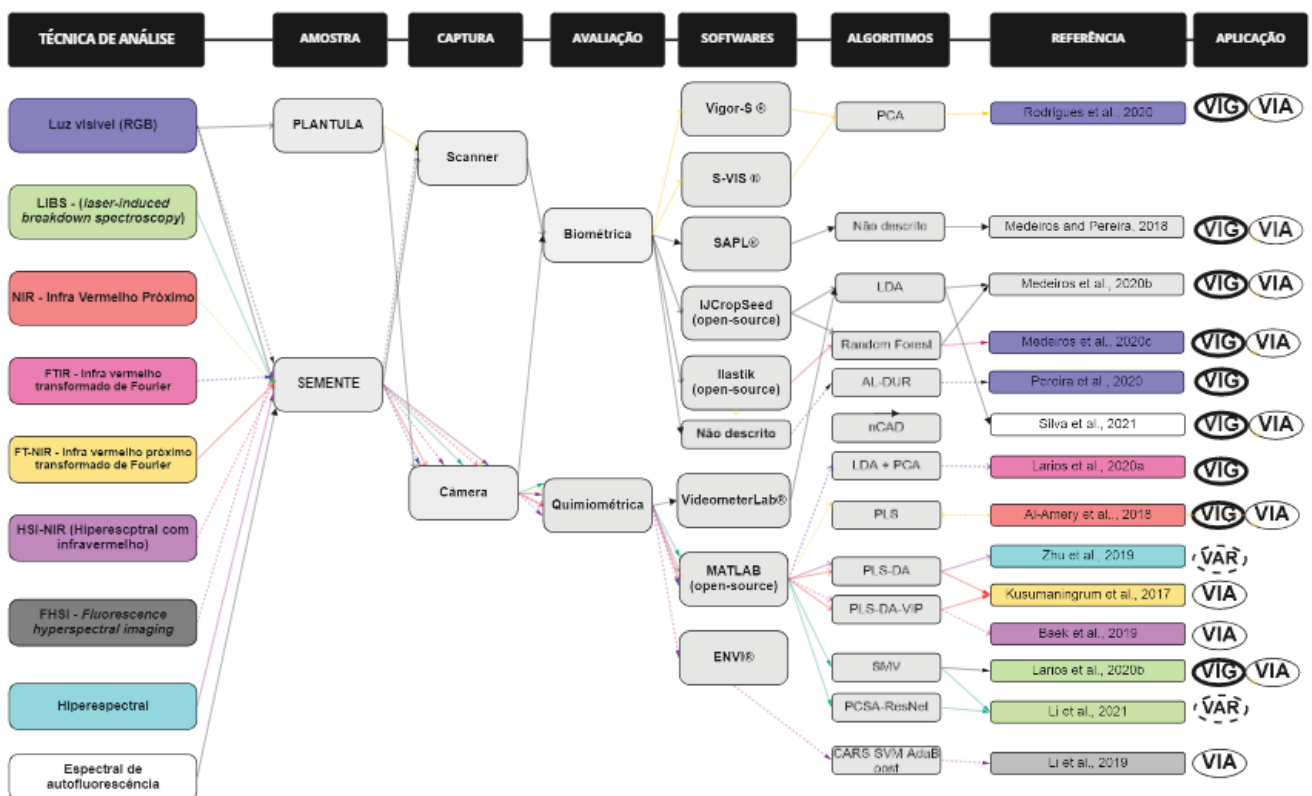
Os tratamentos químicos são, na sua maioria, os tradicionais, com fungicidas, inseticidas, nematicidas e polímeros comerciais, com marca registrada e ampla utilização, avaliando-se como ajustes de processos durante o tratamento podem impactar na qualidade de sementes de soja (Khomari et al., 2018; Abati et al., 2020; Alsamadany and Ahmed, 2022).

Outro destaque está relacionado ao aumento de estudos com nanotecnologia no tratamento de sementes de soja (Kumari et al., 2019; Afsheen et al., 2020), seja como veículo ou polímero para imobilização bacteriana (Gregorio et al., 2017).

Novas tecnologias na avaliação do vigor das sementes de soja

A automatização da avaliação da qualidade de sementes é uma tendência do setor sementeiro (Pereira et al., 2020; Larios et al., 2020a), a qual apresenta potencial para avaliação da qualidade física, fisiológica e sanitária de sementes de diversas culturas (Mortensen et al., 2021).

Embora existam diferentes técnicas de análise de imagem, há um processo padrão entre elas que pode ser organizado em etapas conforme disposto na Figura 4. O processo de automatização pode ser dividido nas seguintes etapas básicas: preparação das amostras, calibração do sistema de imagem, aquisição de imagens, segmentação de regiões de interesse, extração de características das imagens de regiões de interesse e análise das características extraídas (Mortensen et al., 2021).



LEGENDA: PCA – (Principal Component Analysis); LDA (Linear Discriminant Analysis) ; RF (Random Forest) e SVM (Support Vector Machine); AL-DUR (Active Learning through Diversity, Uncertainty and Representativeness) ; AdaBoost (algoritmo de reforço adaptativo); PLS-DA-VIP (Partial Least Squares - Discriminant Analysis - Variable importance in projection); PCSA-ResNet (Propagation Coefficient Synchronous Adaptive Resnet). VIA – Viabilidade; VIG – Vigor; VAR – Variedades. Sistema de Análise de Plântulas - SAPL®.

Figura 4. Fluxograma das técnicas de análise de imagem testadas em sementes de soja, no período de 2017 a 2022.

O nome da técnica de análise geralmente está relacionado ao tipo de Luz que é utilizado para iluminar a amostra, dependendo do comprimento de onda e da interação com a matéria. A Câmera pode ser entendida como a forma de captura da imagem; neste sentido, outros fatores podem interferir, como a lente, o tipo da câmera, o sensor, o ambiente em que foi capturada a imagem. Se a luz interage com a amostra e há um sensor para captar essa radiação emitida, podem ser realizadas análises quimiométricas (composição química relacionada com a qualidade da semente e a distribuição espacial dos componentes), caso contrário, apenas biométricas (tamanho, formato, cor, textura, danos visuais). Depois da obtenção da imagem é necessário processar os dados, utilizando softwares de análises estatísticas, desenvolvidos especificamente para sementes e plântulas ou mais genéricos, utilizando diversos algoritmos para classificação (categorização/clusterização) calibrados para serem utilizados para aprendizado de máquina, chamados de Inteligência Artificial. Melhorar o processo de aprendizagem de máquina, pode ser supervisionado e ativo, aumentando a precisão da classificação com auxílio de intervenção humana durante a calibração (Pereira et al., 2020).

Vários esforços têm sido realizados na tentativa de automatizar o processo de análise, a fim de reduzir seus problemas intrínsecos. As técnicas de análises não destrutivas (Figura 4) podem variar em função do método para geração da imagem.

Outro software de acesso aberto disponível é o *IJCropSeed*, o qual pode ser utilizado para avaliar a integridade dos tecidos e a morfometria da semente; além disso, a viabilidade e o vigor da semente podem ser avaliados indiretamente por meio da análise automatizada de radiografias de sementes (Medeiros et al., 2020a).

A *LIBS (laser-induced breakdown spectroscopy)* - capaz de avaliar o teor de nutrientes das sementes (Larios et al., 2020b).

A *imagem espectral de autofluorescência* - classificar sementes de soja com diferentes níveis de vigor, apresentando forte correlação entre os dados espectrais de autofluorescência e diversos indicadores de qualidade, como germinação precoce e tolerância das sementes a condições estressantes, além de uma correlação perfeita entre a emissão de fluorescência e os fenóis totais no embrião (Silva et al., 2021b).

A técnica de *FTIR (Fourier transform infrared spectroscopy)*, associada a métodos quimiométricos e *machine learning*, capazes de apontar que proteínas, ácidos graxos e amido foram as principais moléculas responsáveis pela discriminação do vigor dos lotes, conseguindo ser discriminadas com alta precisão, próximo à 100% (Larios et al., 2020a).

O NIR é uma técnica que ajuda a avaliar várias características das sementes de forma não destrutiva, como a qualidade, a sanidade, a deterioração, viabilidade, vigor,

incluindo proteína, amido e composição de ácidos graxos, bem como danos bióticos e abióticos, requer pouco tempo de preparo da amostra e tem alto rendimento (Kusumaningrum et al., 2018).

Para o processamento dos dados e classificação das amostras a partir das imagens, é necessário o uso de algoritmos classificadores, que dependendo do objetivo da classificação podem ser de vários tipos, sendo os que apresentam alto desempenho para a análise de imagens na classificação de sementes e plântulas de soja, assistidas por *machine learning*, estão descritos na Figura 4.

Outras técnicas inovadoras levantadas, porém, sem o uso de análise de imagem, que vem sendo estudadas para a avaliação da qualidade de sementes de soja, são: o perfil de COVs (compostos carbonílicos de baixa massa molecular) (gases e voláteis) e substâncias orgânicas solúveis em água (enzimas e polissacarídeos), liberados durante a embebição, e utilizado como biomarcadores (fingerprint). Silva et al. et al., (2021) desenvolveram um equipamento para avaliar o vigor de sementes por meio da respiração de sementes, medindo a concentração de CO₂ liberada, quando embebidas em água.

Existem outras técnicas levantadas nesta revisão, que ainda não foram testadas em sementes de outras culturas além da soja, como o *SeedGerm* para análise de imagem com hardware e software (Matlab) (Colmer et al., 2020); a técnica de Raio-X; Imagem térmica; Eletric nose (Rhaman e Cho, 2016; Umarani et al., 2020); Espectroscopia Raman e Termografia do Infravermelho (Xia et al., 2019).

Tabela 1. Resumo de artigos práticos de tratamentos de sementes de soja.

Grupo – Tratamento da semente					Tratamentos	Aumento		Referências
Bio	Fis	Nut	Qui	Nano		CP	QS	
INOC					<i>Bradyrhizobium japonicum</i> / <i>Azospirillum brasilense</i>	X	X	Queiroz Rego et al. (2018)
INOC					<i>Bacillus amyloliquefaciens</i> / Arbuscular Mycorrhizal Fungi (AMF)	X		Sheteiwy et al. (2021)
INOC			NP		Metal sulphide nanoparticles		X	Afshen t al. (2020)
INOC					<i>Bacillus subtilis</i>		X	Tavanti et al. (2020)
INOC	BION				Biopriming com <i>Trichoderma harzianum</i> (estresse salino NaCl)			Khomari et al. (2018)
INOC			NP		<i>Trichoderma viride</i> BHU-2953 para aumentar absorção de P)	X		Paul and Rakshit (2021)
EF					Nanoemulsão de Zinco-funcionalizado com timol	X		Kumari et al. (2019)
INOC	BION	RC			Campo eletrostático (diferentes valores de corrente direta) (carbendazim + thiram) (imidacloprid o+ tiocarbamato) / (abamectina) / (cobalto (peridiam) / (cinetina + ácido giberélico) e inoculante (<i>Bradyrhizobium japonicum</i>)		X	Mamlıc et al. (2021)
MF	BIOIN				Campo eletromagnético alternado combinado com extrato de alga		X	Michalak et al. (2019)
INOC	BION				(quitosana + alginato/PEG) e inoculante comercial (HiStick® Soy) com <i>Bradyrhizobium japonicum</i>	X		Jarecki (2021)
UV					Doses diferentes de radiação UV-C e UV-B		X	Foroughbakhch et al. (2019)
MF					Magnetopriming /Mancozeb / pó de folha de Neem / óleo de Neem		X	Kataria et al. (2017)
	BION				Vitamina E - priming		X	Alsamadany and Ahmed (2022)
		RC			Fipronil / Estrobulirina / Piraclostrobina/ Benzimidazol / Thiophanato-metil /Carboxamida/ Fluxapiroxade		-	Khomari et al. (2017)
	PRIM				Ácido salicílico		X	Nazari et al. (2019)
INOC		PVANF			Rhizobacteria (Pantoea agglomerans ISIB55 e Burkholderia caribensis ISIB40) immobilizado em nanofibras		X	Gregorio et al. (2017)
	NTP				Tempo / 50Hz / Atmosfera (gases condutores) / Barreira		X	Pérez-Pizá et al. (2019)
PAW +US					Plasma ativado em água e tecnologias de ultrasom		X	Porto et al. (2018)
MF + LSR					TS laser (HeNe comp. de onda de 632 nm e 1 mW/cm2) e campo magnético		X	Asghar et al. (2017)
CAPP					Pressão de plasma atmosférico frio		X	Štubová et al. (2021)

- 1 LEGENDA: Bio – Biológico / Nutri – Nutricional / Quim – Químico / Nano – nanotecnologia. INOC – Inoculação / TS – Tratamento de sementes / PRI – Priming / PLNT – Plasma Não
- 2 Térmico / CE – Campo Elétrico / PAW - Água ativada por plasma (PAW) / UV - ultrassom / LSR – Laser / PPAF – Plasma de Pressão Atmosférica Frio / CME – Campo Magnético Estático. / BIOIN – Bioinsumos / QR – químicos registrados comerciais. CR – Componentes de rendimento / QS – Qualidade da semente.
- 3

Perspectivas futuras e conclusão

- Diversos traits vem sendo estudados e relacionados ao vigor de sementes, que podem ser utilizados em estratégias biotecnológicas, como genes e proteínas candidatos ao melhoramento e avaliados junto às pesquisas de produção de sementes, para otimização das respostas das pesquisas em qualidade de sementes.
- As técnicas de tratamento de sementes com produtos biológicos e tratamentos físicos são as mais estudadas; porém, há carência de estudos validando os resultados e benefícios em campo.
- Outros softwares para análise e processamento dos dados, não citados nos trabalhos para soja, podem ser usados como R, ImageJ, Análise em JAVA.
- Os equipamentos de espectroscopia ainda têm alto valor. Quais as limitações das novas tecnologias de análise de sementes? Tem boa reprodutibilidade?
- Os equipamentos precisam ser validados para várias espécies e diferentes cultivares, antes de ser utilizadas a campo.
- Com as novas tecnologias para automatização das análises, quais as habilidades necessárias do novo profissional de controle de qualidade de sementes?
- Como perspectivas futuras, as pesquisas de tecnologia de sementes devem tentar agregar esses fatores para ter uma visão global da qualidade de sementes. Além disso, na produção de sementes em campo, é necessário levantar todo o conjunto de dados de produção, para se poder gerar novas ideias que agreguem a qualidade, manejo, posicionamento de cultivares e programas de melhoramento.

Referências

- ABATI, J.; BRZEZINSKI, C.R.; ZUCARELI, C.; WERNER, F.; HENNING, A.A.; HENNING, F.A. Physiological potential of soybean industrially treated with different spray volumes and dry powder. *Australian Journal of Crop Science*, v.14, n.5, p.836-841, 2020.
- AFSHEEN, S.; NASEER, H.; IQBAL, T.; ABRAR, M.; BASHIR, A.; IJAZ, M. Synthesis and characterization of metal sulphide nanoparticles to investigate the effect of nanoparticles on germination of soybean and wheat seeds. *Materials Chemistry and Physics*, v.252, p.123216, 2020.

AL-AMERY, M.; GENEVE, R.; SANCHES, M.; ARMSTRONG, P.; MAGHIRANG, E., LEE, C. HILDEBRAND, D. Near-infrared spectroscopy used to predict soybean seed germination and vigour. *Seed Science Research*, v.28, n.3, p.245-252, 2018.

ALSAMADANY, H.; AHMED, Z. Assessing aging impact on growth potential of Vitamin E primed soybean seeds via biochemical profiling. *Saudi Journal of Biological Sciences*, v.29, n.5, p.3717-3726, 2022.

ASGHAR, T.; JAMIL, Y.; HAQ, Z.; NISAR, J.; SHAHID, M. Comparison of Heshingle bondNe laser and sinusoidal non-uniform magnetic field seed pre-sowing treatment effect on *Glycine max* (Var 90-I) germination, growth and yield. *Journal of Photochemistry and Photobiology b: Biology*, v.166, p.212-217, 2017.

ARIF, M.A.R.; AFZAL, I.; BÖRNER, A. Genetic aspects and molecular causes of seed longevity in plants - A Review. *Plants*, v.11, p.598. 2022.

ARORA, R.N. Assessment of genetic diversity for yield and seedling traits in soybean (*Glycine max* L. Merrill). *Electronic Journal of Plant Breeding*, v.9, n.1, p.355-360, 2018.

BAEK, I.; KUSUMANINGRUM, D.; KANDPAL, L.M.; LOHUMI, S.; MO, C.; KIM, S.M.; CHO, B. Rapid measurement of soybean seed viability using Kernel-based multispectral image analysis. *Sensors*, v.19, n.2, p. 271, 2019.

BALDONI, A.; VON-PINHO, E.V.R.; SANTOS, H.O.; MARQUES, T.L.; PEREIRA, R.W. Gene expressions analysis of seed physiological quality in soybean cultivars. *Journal of Agricultural Science*, v.11, n.2, p.408-419, 2019.

BAREKE, T. Biology of seed development and germination physiology. *Advances in Plants & Agricultural Research*, v.8, n.4, p.336, 2018.

CHHABRA, R.; SINGH, T. Seed aging, storage and deterioration: An irresistible physiological phenomenon. *Agricultural Reviews*, v.40, n.3, 2019.

COLMER, J.; O'NEILL, C.M.; WELLS, R.; BOSTROM, A.; REYNOLDS, D.; WEBSDALE, D.; SHIRALAGI, G.; LU, W.; LOU, Q.; CORNU, T.L.; BALL, J.; RENEMA, J.; FLORES, G.A.; BENJAMINS, R.; PENFIELD, S.; ZHOU, J. SeedGerm: a cost-effective phenotyping platform for automated seed imaging and machine-learning based phenotypic analysis of crop seed germination. *New Phytologist*, v.228, n.2, p.778-793, 2020.

COGO, F.D. *Introdução à revisão sistemática e meta-análise aplicadas à agricultura* Editora UEMG. 2020. 65p.

DANIEL, I.O. Advances in big data analytics and applications in seed technology. In: TIWARI, A.K. (Ed.) *Advances in Seed Production and Management*, p.419-438, 2020.

DHAKA, N.; SHARMA, R. MicroRNA-mediated regulation of agronomically important seed traits: a treasure trove with shades of grey! *Critical Reviews in Biotechnology*, v.41, n.4, p.594-608, 2021.

DWIVEDI, S.L.; SPILLANE, C.; LOPEZ, F.; AYLE, B.T.; ORTIZ, R. First the seed: Genomic advances in seed science for improved crop productivity and food security. *Crop Science*, v.61, n.3, p.1501-1526, 2021.

EBONE, L.A.; CAVERZAN, A.; CHAVARRIA, G. Physiologic alterations in orthodox seeds due to deterioration processes. *Plant Physiology and Biochemistry*, v.145, p.34-42, 2019.

ELMASRY, G.; MANDOUR, N.; AL-REJAIE, S.; BELIN, E.; ROUSSEAU, D. Recent applications of multispectral imaging in seed phenotyping and quality monitoring - An overview. *Sensors*, v.19, n.5, p.1090, 2019.

FOROUGHBAKHCH, R P.; BACÓPULOS, E.M.; BENAVIDES, A.M.; SALAS, L.R.C; NGANGYO, M.H. Ultraviolet radiation effect on seed germination and seedling growth of common species from northeastern Mexico. *Agronomy*, v.9, n.269, e-269, 2019.

GREGORIO, P.R.; MICHAVILA, G.; RICCIARDI, M.L.; SOUZA, B.C.; POMARES, M.F.; SACCOL, S.E.L.; PEREIRA, C.; VINCENT, P.A. Beneficial rhizobacteria immobilized in nanofibers for potential application as soybean seed bioinoculants. *PLoS ONE*, v.12, n.5, e0176930, 2017.

HARZING, A.W. *The publish or perish book* Melbourne: Tarma Software Research Pty Limited, 2010. 266p.

JARECKI, W. Soybean response to seed coating with chitosan + alginate/PEG and/or inoculation. *Agronomy*, v.11, n.9, p.1737, 2021.

KAPADIA, V.; SASIDHARAN, N.; KALYANRAO, P. Seed image analysis and its application in seed science research. *Advances in Biotechnology & Microbiology*, v.7, n.2, P.555709, 2017.

KATARIA, S.; BAGHEL, L.; GURUPRASAD, K.N. Pre-treatment of seeds with static magnetic field improves germination and early growth characteristics under salt stress in maize and soybean. *Biocatalysis and agricultural biotechnology*, v.10, p.83-90, 2017.

KHOMARI,S.; GOLSHAN-DOUST, S.; SEYED-SHARIFI, R.; DAVARI, M. Improvement of soybean seedling growth under salinity stress by biopriming of high-vigour seeds with salt-tolerant isolate of *Trichoderma harzianum* *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science*, v.46, n.2, p.117-132, 2018.

KOFSKY, J.; ZHANG, H.; SONG, B-H. Genetic architecture of early vigor traits in wild soybean. *International Journal of Molecular Sciences*, v.21, n.9, p.3105, 2020.

KUMARI, S.; CHOUDHARY, R.C.; KUMARASWAMY, R.V.; BHAGAT, D.; PAL, A.; RALIYA, R.; BISWAS, P.; SAHARAN, V. Zinc-functionalized thymol nanoemulsion for promoting soybean yield. *Plant Physiology and Biochemistry*, v.145, p.64-74, 2019.

KUSUMANINGRUM, D.; LEE, H.; LOHUMI, S.; MO, C.; KIM, M.S.; CHO, B. Non-destructive technique for determining the viability of soybean (*Glycine max*) seeds using FT-NIR spectroscopy. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, v.98, n.5, p.1734-1742, 2017.

LARIOS, G.; NICOLODELLI, G.; RIBEIRO, M.; CANASSA, T.; REIS, A.R.; OLIVEIRA, S.L.; ALVES, C.Z.; MARANGONIA, B.S.; CENA, C. Soybean seed vigor discrimination by using infrared spectroscopy and machine learning algorithms. *Analytical Methods*, v.12, n.35, p.4303-4309, 2020a.

LARIOS, G. S.; NICOLODELLI, G.; SENESI, G.S.; RIBEIRO, M.C.S.; XAVIER, A.A.P.; MILORI, D.M.B.P.; ALVES, C.Z.; MARANGONI, B.S.; CENA, C. Laser-induced breakdown spectroscopy as a powerful tool for distinguishing high-and low-vigor soybean seed lots. *Food Analytical Methods* , v.13, n.9, p.1691-1698, 2020b.

LI, Y.; SUN, J.; WU, X.; CHEN, Q.; LU, B.; DAI, C. Detection of viability of soybean seed based on fluorescence hyperspectral and CARS-SVM-AdaBoost model. *Journal of Food Processing and Preservation*, v.43, n.12, e14238, 2019.

LI, X.; HE, Z.; LIU, F.; CHEN, R. Fast identification of soybean seed varieties using laser-induced breakdown spectroscopy combined with convolutional neural network. *Frontiers in Plant Science*, p.2180, 2021.

LOUWAARS, N.; JONGE, B. Regulating seeds a challenging task. *Agronomy*, v.11, n.11, p. 2324, 2021.

MAMLIC, Z.; MAKSIMOVIC, I.; CANAK, P.; MAMLIC, G.; DJUKIC, V.; VASILJEVIC, S.; DOZET, G. The use of electrostatic field to improve soybean seed germination in organic production. *Agronomy*, v.11, n.8, p.1473, 2021.

MEDEIROS, A.D.; PEREIRA, M.D. SAPL®: a free software for determining the physiological potential in soybean seeds. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, v.48, n.3, 2018.

MEDEIROS, A.D.; SILVA, L.J.; SILVA, J.M.; DIAS, D.C.F.S.; PEREIRA, M.D. IJCropSeed: an open-access tool for high-throughput analysis of crop seed radiographs. *Computers and Electronics in Agriculture*, v.175, p.105555, 2020a.

MEDEIROS, A.D.; CAPOBIANGO, N.P.; SILVA, J. M.; SILVA, L.J.; SILVA, C.B.; DIAS, D.C.F.S. Interactive machine learning for soybean seed and seedling quality classification. *Scientific Reports*, v.10, n.1, p.1-10, 2020b.

MICHALAK, I.; LEWANDOWSKA, S.; NIEMCZYK, K.; DETYNA, J.;BUJAK, H. ARIK, P.; BARTNICZAK, A. Germination of soybean seeds exposed to the static/alternating magnetic field and algal extract. *Engineering in Life Science*, v.19, p. 986- 999, 2019.

MOHANAPRIYA, G.; BHARADWAJ, R.; NOCEDA, C.; COSTA, J.H.; KUMAR, S.R.; SATHISHKUMAR, R.; THIERS, K.L.L.; SANTOS MACEDO, E.; SILVA, S.; ANNICCHIARICO, P.; GROOT, S.P.C.; KODDE, J.; KUMARI, A.; GUPTA, K.J.; ARNHOLDT-SCHMITT, B. Alternative oxidase (AOX) senses stress levels to coordinate auxin-induced reprogramming from seed germination to somatic embryogenesis - a role relevant for seed vigor prediction and plant robustness. *Frontiers in Plant Science*, p.1134, 2019.

MONDAL, S.; RAMANIK, K.; PANDA, D.; DUTTA, D.; KARMAKAR, S.; BOSE, B. Sulfur in Seeds: An Overview. *Plants*, v.11, n.3, p.450, 2022.

MORTENSEN, A.K.; GILSUM, R.; JØRGENSEN, J.R.; BOELT, B. The use of multispectral imaging and single seed and bulk near-infrared spectroscopy to characterize seed covering structures: Methods and applications in seed testing and research. *Agriculture*, v.11, n.4, p.301, 2021.

NAZARI, R.; PARSA, S.; AFSHARI, R.T.; MAHMOODI; SEYYEDI, S.M. Salicylic acid priming before and after accelerated aging process increases seedling vigor in aged soybean seed. *Journal of Crop Improvement*, v.34, n.2, p.218-237, 2019.

PAGE, M.J.; MOHER, D.; BOSSUYT, P.M.; BOUTRON, I.; HOFFMANN, T.C.; MULROW, C.D. PRISMA 2020 explanation and elaboration: updated guidance and exemplars for reporting systematic reviews. *BMJ*, v.372, n.160, 2021.

PAUL, S.; RAKSHIT, A. Effect of seed bio-priming with *Trichoderma viride* Strain BHU-2953 for enhancing soil phosphorus solubilization and uptake in soybean (*Glycine max*). *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, v.21, p.1041-1052, 2021.

PEREIRA, D.F; BUGATTI, P.H.; LOPES, F.M.; SOUZA, A.L.S.M.; SAITO, P.T.M. Assessing active learning strategies to improve the quality control of the soybean seed vigor. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, v.68, n.2, p.1675-1683, 2020.

PÉREZ-PIZÁ, M.C; PREVOSTO, L.; GRIJALBA, P.E.; ZILLI, C.G.; CEJAS, E.; MANCINELLI, B.; BALESTRASSE, K.B. Improvement of growth and yield of soybean plants through the application of non-thermal plasmas to seeds with different health status. *Heliyon*, v.5, n.4, e01495, 2019.

PORTO, C.L.; ZIUZINA, D.; LOS, A.; BOEHM, D.; PALUMBO, F.; FAVIA, P.; TIWARI, B.; BOURKE, P.; CULLEN, P.J. Plasma activated water and airborne ultrasound treatments for enhanced germination and growth of soybean. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, v.49, p.13-19, 2018.

QUEIROZ REGO, C. H.; CARDOSO, F.B.; CÂNDIDO, A.C.S.; TEODORO, P.E.; ALVES, C.Z. Co-inoculation with and increases yield and quality of soybean seeds. *Agronomy Journal*, v.110, n.6, p.1-8, 2018.

RAJANI, K.; KUMAR, R.R.; RANJAN, T.; KUMAR, A. Global approaches for identification of markers of seed quality. *International Journal of Advances in Agricultural Science and Technology*, v.4, n.4, p.29-43, 2017.

RAO, N.K.; DULLOO, M.E.; ENGELS, J.M.M. A review of factors that influence the production of quality seed for long-term conservation in genebanks. *Genetic Resources and Crop Evolution*, v.64, n.5, p.1061-1074, 2017.

RASHEED, A.; YUHONG, G.; ZHOU, Z.; GARDINER, J.J.; ILYAS, M.; PIWU, W.; GILLANI, S.F.G.; BATOOL, M.; JIAN, W. Role of conventional and molecular techniques in soybean yield and quality improvement: A critical review. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, v.49, n.4, p.12555-12555, 2021.

RATAJCZAK, E.; MAŁECKA, A.; CIERESZKO, I.; STASZAK, A.M. Mitochondria are important determinants of the aging of seeds. *International Journal of Molecular Sciences*, v.20, n.7, p.1568, 2019.

REED, R. C.; BRADFORD, K. J.; KHANDAY, I. Seed germination and vigor: ensuring crop sustainability in a changing climate. *Heredity*, v.128, p.450-459, 2022.

RHAMAN, A.; CHO, B. Assessment of seed quality using non-destructive measurement techniques: a review. *Seed Science Research*, v.26, n.4, p.285-305.

RIFNA, E.J.; RAMANAN, K.R.; MAHENDRAN, R. Emerging technology applications for improving seed germination. *Trends in Food Science & Technology*, v.86, p.95-108, 2019.

RODRIGUES, M.; GOMES-JUNIOR, F. G.; MARCOS-FILHO, J. Vigor-S: system for automated analysis of soybean seed vigor. *Journal of Seed Science*, v.42, e202042039, 2020.

SANO, N.; RAJJOU, L.; NORTH, H.M. Lost in translation: Physiological roles of stored mRNAs in seed germination. *Plants*, v.9, n.3, p.347, 2020.

SHARMA, M.; KAUSHIK, P.; CHAWADE, A. Frontiers in the solicitation of machine learning approaches in vegetable science research. *Sustainability*, v.13, n.15, p.8600, 2021.

SHETEIWY M.S.; ABD ELGAWAD, H.; XIONG, Y.C.; MACOVEI, A.; BRESTIC, M.; SKALICKY, M.; SHAGHALEH, H.; ALHAJ HAMOUD, Y.; EL-SAWAH, A.M. Inoculation with *Bacillus amyloliquefaciens* and mycorrhiza confers tolerance to drought stress and improve seed yield and quality of soybean plant. *Physiologia Plantarum*, v.172, n.4, p.2153-2169, 2021.

SILVA, J.G.; GADOTTI, G.I.; MORAES, D.M.; SILVA, A.H.M.; CAVALCANTE, J.A.; MENEGHELLO, G.E. Equipment to assess vigor in soybean seeds using CO₂ produced during respiration. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.25, p.353-358, 2021a.

SILVA, C.B.; OLIVEIRA, N.M.; CARVALHO, M.E.A.; MEDEIROS, A.D.; NOGUEIRA, M.L.; REIS, A.R. Autofluorescence-spectral imaging as an innovative method for rapid, non-destructive and reliable assessing of soybean seed quality. *Scientific Reports*, v.11, n.1, p.1-12, 2021b.

SMOLIKOVA, G.; GORBACH, D.; LUKASHEVA, E.; MAVROPOLO-STOLYARENKO, G.; BILOVA, T.; SOBOLEVA, A.; TSAREV, A.; ROMANOVSKAYA, E.; PODOLSKAYA, E.; ZHUKOV, V.; TIKHONOVICH, I.; MEDVEDEV, S.; HOEHENWARTER, W.; FROLOV, A. Bringing new methods to the seed proteomics platform: challenges and perspectives. *International Journal of Molecular Sciences*, v.21, n.23, p.9162, 2020.

SOOGANNA, S.K.; LAMICHANEY, J.A.; ANAND, S.S.; LAL, S.K. Tocopherols and antioxidants assay to understand the mechanism of soybean seed longevity. *Legume Research - An International Journal*, v.1, p.7, 2021

ŠVUBOVÁ, R.; SLOVÁKOVÁ, Ľ.; HOLUBOVÁ, Ľ.; ROVŇANOVÁ, D.; GÁLOVÁ, E.; TOMEKOVÁ, J. Evaluation of the impact of cold atmospheric pressure plasma on soybean seed germination. *Plants*, v.10, n.1, p.177, 2021.

TAVANTI, T.R.; TAVANTI, R.F.R.; GALINDO, F.S.; SIMÕES, L.; DAMETO, L.S.; SÁ, M.E. Yield and quality of soybean seeds inoculated with *Bacillus subtilis* strains. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.24, n.1, 2020.

TAYLOR, A.G.; AMIRKHANI, M.; HILL, H. Modern seed technology. *Agriculture*, v.11, n.7, p.630, 2021.

UMARANI, R.; BHASKARAN, M.; VANITHA, C.; TILAK, M. Fingerprinting of volatile organic compounds for quick assessment of vigour status of seeds. *Seed Science Research*, v.30, n.2, p.112-121, 2020.

VOGEL, J.T.; LIU, W.; OLHOFT, P.; CRAFTS-BRANDER, S.J.; PENYCOOKE, J.C.; CRISTHIANSEN, N. Soybean yield formation physiology - a foundation for precision breeding based improvement. *Frontiers in Plant Science*, v.12, 2021.

WU, X.; NING, F.; HU, X.; WANG, W. Genetic modification for improving seed vigor is transitioning from model plants to crop plants. *Frontiers in Plant Science*, v.8, p.8, 2017.

XIA, Y.; XU, Y.; LI, J.; ZHANG, C.; FAN, S. Recent advances in emerging techniques for non-destructive detection of seed viability: A review. *Artificial Intelligence in Agriculture*, v.1, p.35-47, 2019.

XIAO, Q.; BAI, X.; ZHANG, C.; YONG, H. Advanced high-throughput plant phenotyping techniques for genome-wide association studies: A review. *Journal of Advanced Research*, v.35, p.215-230, 2022.

ZHOU, W.; CHEN, F.; LUO, X.; DAI, Y.; YANG, Y.; ZHENG, C.; YANG, W.; SHU, K. A matter of life and death: molecular, physiological, and environmental regulation of seed longevity. *Plant, Cell & Environment*, v.43, n.2, p.293-302, 2020.

4. CAPÍTULO II – CLIMA DO LOCAL DE PRODUÇÃO E QUALIDADE DE SEMENTES DE *Pinus taeda*

RESUMO – *Pinus* é o segundo gênero florestal com maior área cultivada no Brasil, com destaque para *Pinus taeda*, a espécie mais plantada na região sul e sudeste do país. Por ser propagada por mudas seminais, são necessárias sementes de alto potencial fisiológico para garantir um bom plantio. A qualidade das sementes é uma característica complexa e influenciada pelo ambiente de produção. Além disso, por ser uma gimnosperma, não possui fruto para proteger as sementes das condições ambientais adversas durante sua formação. Somado a uma fenologia reprodutiva complexa típica dos pinheiros, com um ciclo reprodutivo da espécie demorando até 22 meses, do pleno florescimento até a maturação, a semente é exposta a condições ambientais adversas por um longo período. O objetivo deste trabalho foi realizar um estudo para analisar a influência do clima do local de produção no potencial fisiológico de sementes de *Pinus taeda*. Realizou-se um levantamento de dados de qualidade (vigor, germinação, sementes duras e peso de mil sementes (PMS)) extraídos de Boletins de Análise de Sementes emitidos pelo Laboratório de Sementes Florestais da Embrapa Florestas, ao longo de 14 anos (2004-2018), de dez locais de produção em três estados (SP, PR, SC). Foram levantados os dados climáticos mensais das estações meteorológicas do Inmet e Simepar mais próximas aos locais de coleta, nos respectivos anos do ciclo reprodutivo da planta. Foram utilizados dados médios mensais de precipitação pluviométrica (mm), temperatura máxima e mínima do ar (°C) e umidade relativa do ar (%). Como os locais onde foram obtidos os dados de qualidade das sementes não correspondiam aos das estações meteorológicas, foi necessário estimá-los para os locais de produção, utilizando duas técnicas diferentes conforme a variável climática. Para os dados de qualidade de sementes foi realizado um Modelo Linear Generalizado com distribuição binomial para os dados de germinação, vigor e sementes duras, exceto PMS com distribuição gama. A análise de deviance apresentou diferença significativa do local de produção para sementes duras e o PMS. Pelos resultados obtidos, conclui-se que o clima do local de produção tem baixa influência na qualidade da semente de *Pinus taeda*.

Palavras-chave: Pinaceae, pinus, germinação, vigor, qualidade, procedência.

INTRODUÇÃO

O cultivo de florestas plantadas ganha destaque no cenário nacional, sendo a madeira reflorestada um produto sustentável, fixador de carbono e uma alternativa para energias renováveis e biorrefinarias, além da aplicação na indústria madeireira tradicional. O Brasil é referência mundial em tecnologia de manejo e produtividade de florestas plantadas. Nos estados de Santa Catarina e Paraná, as áreas plantadas de pinus superam as de eucalipto, sendo que 85% dos 1,6 milhões de hectares plantados com o gênero no Brasil encontram-se na região sul do país (IBÁ, 2021).

Dentro do gênero *Pinus*, com mais de 100 espécies, *Pinus taeda* L., é a espécie que mais tem se destacado na região sul e sudeste do Brasil (Picheli, 2020), devido a um conjunto de características, tais como elevada produtividade e grande plasticidade às condições edafoclimáticas regionais, tolerante a geadas e períodos de alagamento e déficit hídrico, solos ácidos e com baixo teor de nutrientes (Dedeck et al., 2008; Shimizu et al., 2008, Higa et al., 2008; Souza et al., 2022).

Para expansão e renovação de áreas de produção de *P. taeda* são necessárias sementes de alta qualidade para a produção de mudas (Riikonen e Luoranen, 2018; Tigabu et al., 2019). O potencial fisiológico das sementes, mais especificamente o vigor, é uma característica complexa controlada por vários genes e influenciada pelo ambiente (Wu et al., 2017; Weerasekara et al., 2021). Na produção de sementes de uma espécie florestal, devem ser considerados fatores climáticos, edáficos, localização geográfica, genéticos, tratos silviculturais, espaçamento e danos causados por patógenos (Almqvist e Jansson, 2015; Oliveira et al., 2018; Parisi et al., 2019).

O pinus é uma espécie monóica de reprodução cruzada, dispersão anemófila, além disso, por ser uma espécie gimnosperma, não possui fruto para proteger as sementes das condições ambientais adversas durante sua formação, crescendo dentro dos cones, que são as flores femininas (Marcos-Filho, 2015). Somado a isso, nas coníferas, tanto o tegumento quanto o endosperma, têm origem materna, além de uma fenologia reprodutiva complexa, típica dos pinheiros, com um ciclo reprodutivo com duração de 18-22 meses, quase dois anos, do aparecimento do estróbilo até liberação das sementes (Jankoviski, 1985; Willian, 2009; Mattalana-ramirez et al., 2021).

Diante deste longo período à campo, existem estudos relatando a influência do ambiente da planta mãe, no ciclo reprodutivo até a formação de sementes, de diversas espécies do gênero pinus: *P. banksiana* (Despland e Houle, 1997), *P. halepensis* (Matziris, 1998; Ayari e khouja, 2014), *P. longaeva* (Yakovlev et al., 2012) e *P. pinaster* (Zas et al., 2013; Cendán et al., 2013) e do local de produção *P. ponderosa* (Bernet et al.,

1997) e *P. pinaster* (Wahid e Bounoua, 2013). No entanto, não há nada especificamente relacionado ao clima do local de produção e a avaliação do potencial fisiológico. Diante deste longo período de formação da semente, a interferência do ambiente nesse processo é inevitável, justificando a necessidade de estudar o efeito do clima durante todo o período reprodutivo da espécie.

Há na literatura alguns trabalhos estimando a influência de mudanças climáticas na produção florestal (Koralewski et al., 2015), no crescimento de *Pinus taeda* e produtividade de madeira (Schmidting et al., 1994; Bizon, 2006; Frajat et al., 2015; Lu et al., 2019), mas há carência de estudos voltados para o efeito na qualidade de sementes. Estudos relacionados ao clima e produção de sementes estão mais direcionados para tentar compreender e estimar o impacto das mudanças climáticas na reprodução da espécie (Haptom et al, 2013; Koralewski et al., 2015; Hamptom, 2016).

O objetivo deste trabalho foi analisar a influência do clima do local de produção no potencial fisiológico (germinação, vigor, sementes duras e PMS) de sementes de *Pinus taeda*.

MATERIAL E MÉTODOS

Dados da qualidade de sementes

Foi realizado um levantamento de dados da qualidade fisiológica das sementes de *Pinus taeda*, extraídos da ficha de análise das amostras analisadas com emissão de Boletins de Análise de Sementes, gerados pelo Laboratório de Sementes Florestais da Embrapa Florestas, ao longo de 18 anos (2002 a 2020). A base de dados estava arquivada em pastas armazenadas no Laboratório para gestão da qualidade, e os dados de interesse foram digitadas manualmente e tabulados em planilhas eletrônicas.

Das 226 amostras de sementes de *P. taeda* analisadas neste período, foram descartados os resultados de qualidade de amostras recebidas de fora do país, como Estados Unidos (14 lotes) e Argentina (2 lotes); além de amostras cujas empresas não tinham o registro do local exato de produção (37 lotes). Outro critério de seleção foi o de excluir dados de qualidade de locais que possuíam menos de seis lotes analisados por cidade no período de 2002-2020, para obter valores mais representativos de cada região, sendo descartadas as amostras de Monte Carlo-SC (2 lotes), Ponta Grossa-PR (1 lote), Lapa-PR (1 lote), São Mateus do Sul-PR (2 lotes) e Angatuba-SP (1 lote). Portanto, foram selecionadas para o estudo da influência do clima do local de produção, amostras de dez

localidades diferentes, coletadas no período de 2004 a 2018, totalizando 171 lotes em 14 anos (Tabela 1).

Tabela 1. Número de lotes avaliados pelo Laboratório de Sementes da Embrapa Florestas, por ano de coleta (2004 a 2018), e os respectivos locais de produção de sementes de *P. taeda*.

Local de produção		Número de lotes de sementes de <i>P. taeda</i> analisados por ano de coleta														Total	
Cidade	Estado	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017		2018
Paranapanema	SP	-	-	-	-	-	-	-	-	8	-	-	-	-	-	-	(8)
Campo Belo do Sul	SC	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	9**	-	-	-	(10)
Rio Negrinho	SC	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	2	1	2	5	(12)
Três Barras	SC	10	3	-	-	2	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	(16)
Ponte Alta do Norte	SC	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	5	9	-	-	-	(15)
Otacílio Costa	SC	-	-	-	-	-	-	-	-	3	1	2	-	-	-	-	(6)
Campo do Tenente	PR	-	-	-	1	2	-	1	1	-	-	-	1	-	1	1	(8)
Arapoti	PR	-	-	-	1	-	-	2	7	2	1	-	7	-	12	-	(32)
Turvo	PR	1	-	-	-	-	-	-	1	4	2	4	-	2	3	1	(18)
Telêmaco Borba	PR	-	-	-	-	-	-	-	-	22	22***	-	2**	-	-	-	(46)

“*” O asterisco indica quantos pontos diferentes de coleta de sementes tiveram naquela cidade, quando está sem “**” foi coletado de um único ponto. O valor (Total) corresponde ao número de lotes analisados no período de 2004 a 2018.

Durante a coleta de informações, foram tabulados dados da qualidade de amostras de sementes enviadas por 11 empresas do setor florestal, as quais foram contatadas para a obtenção das coordenadas geográficas precisas dos locais de produção das sementes enviadas. A partir dessas coordenadas, foram determinadas as cidades dos locais de coleta (IBGE, 2018) para agrupamento dos locais de produção.

Os parâmetros da qualidade fisiológica registrados neste levantamento foram: germinação com e sem pré-esfriamento (3-5°C, por 21 dias), sendo as leituras realizadas em quatro contagens semanais, com duração do teste de até 28 dias; vigor (1° + 2° contagens do teste de germinação, as quais correspondem aos 7 e 14 dias, respectivamente); peso de mil sementes e porcentagem de sementes duras (Brasil, 2009). Vale ressaltar que para a análise dos dados, foi utilizado sempre o maior resultado de vigor e germinação, independente se era com ou sem pré-resfriamento.

Caracterização dos locais de produção

Os locais de produção de sementes foram caracterizados a partir do levantamento de informações de altitude, classificação do clima da localidade por Köppen e classe de solo. Os dados de altitude de cada local de produção foram determinados por meio da coordenada geográfica da área de produção de sementes, para as cidades nas quais que havia mais de um ponto de coleta, foi utilizada a altitude média (Tabela 2).

Tabela 2. Caracterização edafoclimática dos locais de produção das sementes de *P. taeda* avaliadas.

Local de produção			Características do local			Referência
Cidade	Estado	Altitude (m)	Clima (Kopen)	Classe de solo		
Paranapanema	SP	635	Cwa Quente com inverno seco	Latossolo Vermelho	(Fritzens et al., 2012)	
Campo Belo do Sul	SC	1002	Cfb Temperado sem estação seca	Terra Bruna Estruturada		
Rio Negrinho	SC	823	Cfa Quente sem estação seca	Cambissolo Húmico	(Wrege et al., 2012; Bognola, 2007; Brum, 1979; Marques, 2007 Embrapa, 2013)	
Três Barras	SC	799	Cfa Quente sem estação seca	Cambissolo/Latossolo		
Ponte Alta do Norte	SC	1033	Cfb Temperado sem estação seca	Latossolo		
Otacílio Costa	SC	870	Cfb Temperado sem estação seca	Cambissolo Húmico		
Campo do Tenente	PR	817	Cfb Temperado sem estação seca	Cambissolo Húmico	(Nitsche et al., 2019); Coutinho et al., 2017; Oliveira et al., 208; Embrapa, 2013; Dedecek, et al., 2008; Moro, 2007)	
Arapoti	PR	786	Cfa Quente sem estação seca	Cambissolo		
Turvo	PR	1089	Cfb Temperado sem estação seca	Cambissolo		
Telêmaco Borba	PR	769	Cfb Temperado sem estação seca	Cambissolo / Latossolo		

Os tipos climáticos dos locais de produção segundo a classificação de Köppen são: Cwa – Tropical de altitude, verões quentes e úmidos e invernos moderados a frescos com temperaturas relativamente estáveis ao longo do ano; Cfa - subtropical, com temperatura média do mês mais frio inferior a 18 °C e temperatura média do mês mais quente maior que 22 °C; O Cfb é o clima temperado com verão ameno, chuvas bem distribuídas no ano e risco de geada (Wrege et al., 2011);

Dados do clima

A Figura 1 ilustra os pontos correspondentes às estações meteorológicas e aos locais de produção de sementes de *P. taeda* analisados neste estudo.



Figura 1. Localização dos pontos de produção de sementes de *P. taeda* e das estações meteorológicas mais próximas.

Fonte: Mapa elaborado por Marcos Wrege (2023) no software ArcMap 10.1, utilizando sistemas de informações geográficas - SIG.

Foram obtidos dados diários de clima, coletados com a mesma metodologia, das estações meteorológicas mais próximas aos locais de produção de sementes do Inmet (Instituto Nacional de Meteorologia) e Simepar (Sistema de Tecnologia e Monitoramento Ambiental do Paraná) e calculadas as médias mensais. Os dados levantados foram: temperatura máxima e mínima do ar (°C), precipitação pluviométrica (mm) e umidade relativa do ar (%), além de altitude (m) e coordenadas geográficas (graus decimais) de cada estação meteorológica, para o período de 16 anos (2002-2018), abrangendo todos

os meses de formação de semente de *P. taeda*, compreendendo 20-22 meses que antecedem a colheita de todas as safras analisadas.

Para obter as informações climáticas precisas dos locais de coleta das sementes, os dados foram tabulados e tratados, completando as falhas e os erros com os dados médios do mês correspondente. Como os locais com os dados de qualidade das sementes não correspondiam aos das estações meteorológicas, foi necessário estimá-los para os locais de onde havia os dados de qualidade das sementes, utilizando duas técnicas diferentes conforme a variável climática.

O primeiro método utilizado para estimar as temperaturas do ar baseou-se em regressões lineares múltiplas, em que foram relacionadas as temperaturas do ar com a latitude, a longitude e a altitude de cada local, podendo-se estimar as temperaturas em função da latitude, da longitude e da altitude (wrege et al., 2011).

$$\text{Temperatura do ar} = a + (b \times \text{latitude}) + (c \times \text{longitude}) + (d \times \text{altitude})$$

onde: a- constante; b- coeficiente da latitude; c- coeficiente da longitude; d- coeficiente da altitude.

Para as demais variáveis de clima (precipitação pluviométrica e umidade relativa), foram utilizados os dados das estações meteorológicas mais próximas, climatologicamente homogêneas, ou seja, quando a distância era semelhante entre duas estações, foi escolhida a com altitude mais próxima ao local de produção das sementes.

Análise de dados de qualidade fisiológica das sementes

Os testes de avaliação da qualidade fisiológica das sementes de *P. taeda* foram conduzidos em delineamento inteiramente casualizado, com quatro repetições. Foi realizado o teste de Shapiro-wilk para testar a normalidade dos dados. Como nenhum dado de parâmetro de qualidade de semente atendeu aos pressupostos de normalidade, mesmo após tentativa de transformação de dados, foi utilizado um MGL (modelo linear generalizado). A análise de deviance (ANODEV) foi realizada para identificar as diferenças na qualidade das sementes entre os locais de produção. Para os dados em porcentagem, vigor, germinação e sementes duras, foi utilizado a distribuição *Binomial* (Michelon et al., 2019), já para os valores de Peso de Mil Sementes (g) foi considerada a distribuição gama, por proporcionar um ajuste mais adequado ao padrão dos dados.

Foi feito um Box-plot com a distribuição dos dados de cada parâmetro de qualidade avaliado, sendo que para os dados com diferença significativa na ADENOV, foi utilizado o

teste de *Tukey* (5%) para comparações múltiplas de parâmetros de qualidade de sementes com locais de produção (cidades).

Para responder se alguma variável climática teve efeito na qualidade das sementes, foi utilizada a correlação de *Spearman* (dados não normais) e calculado o p-valor para testar a significância. Em todas as análises foram utilizados os valores das quatro repetições de cada teste e não o valor médio, para não perder informações e ter mais representatividade em locais e anos com poucos lotes analisados. As análises foram realizadas usando o programa R pacote Development Core Team (R *Foundation for Statistical Computing*, versão 3.5.2).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Qualidade fisiológica das sementes e local de produção

De acordo com a análise de deviance, para germinação e vigor não houve diferença significativa em relação aos locais de produção, enquanto para sementes duras e peso de mil sementes houve diferença significativa (Tabela 3).

Tabela 3. Análise de deviance (ANODEV) dos parâmetros de qualidade de sementes de *P. taeda*, (vigor (%), germinação (%), sementes duras (%)) e peso de mil sementes (g), em relação ao local de produção.

Vigor					
Fonte de variação	Grau de liberdade	Deviance resíduo	Grau de liberdade do resíduo	Dev	Pr(>Chi)
Nulo			638	155,72	
Local de produção	9	16,592	677	139,13	0,0555 ns
Germinação					
Fonte de variação	Grau de liberdade	Deviance resíduo	Grau de liberdade do resíduo	Dev	Pr(>Chi)
Nulo			677	102,450	
Local de produção	9	7,9414	608	94,488	0,5401 ns
Sementes duras					
Fonte de variação	Grau de liberdade	Deviance resíduo	Grau de liberdade do resíduo	Dev	Pr(>Chi)
Nulo			666	118,85	
Local de produção	9	18,198	657	100,68	0,03294*
Peso de Mil Sementes					
Fonte de variação	Grau de liberdade	Deviance resíduo	Grau de liberdade do resíduo	Dev	Pr(>Chi)
Nulo			502	11,0854	
Local de produção	8	1,2403	494	9,8451	1,452e-05***

Níveis de significância: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1. ns. Não significativo.

A distribuição das repetições de cada amostra de sementes de *P. taeda* e o respectivo valor médio do vigor e germinação, de cada local de produção estão apresentadas na Figura 2. Na Figura 2B, é possível visualizar uma concentração dos valores médios de germinação próximos à 70%, ou seja, ao padrão mínimo de comercialização para a espécie (Mapa, 1984), sendo que das 10 cidades avaliadas, apenas Campo Belo do Sul e Telêmaco Borba tiveram a média abaixo de 70% (Figura 2B).

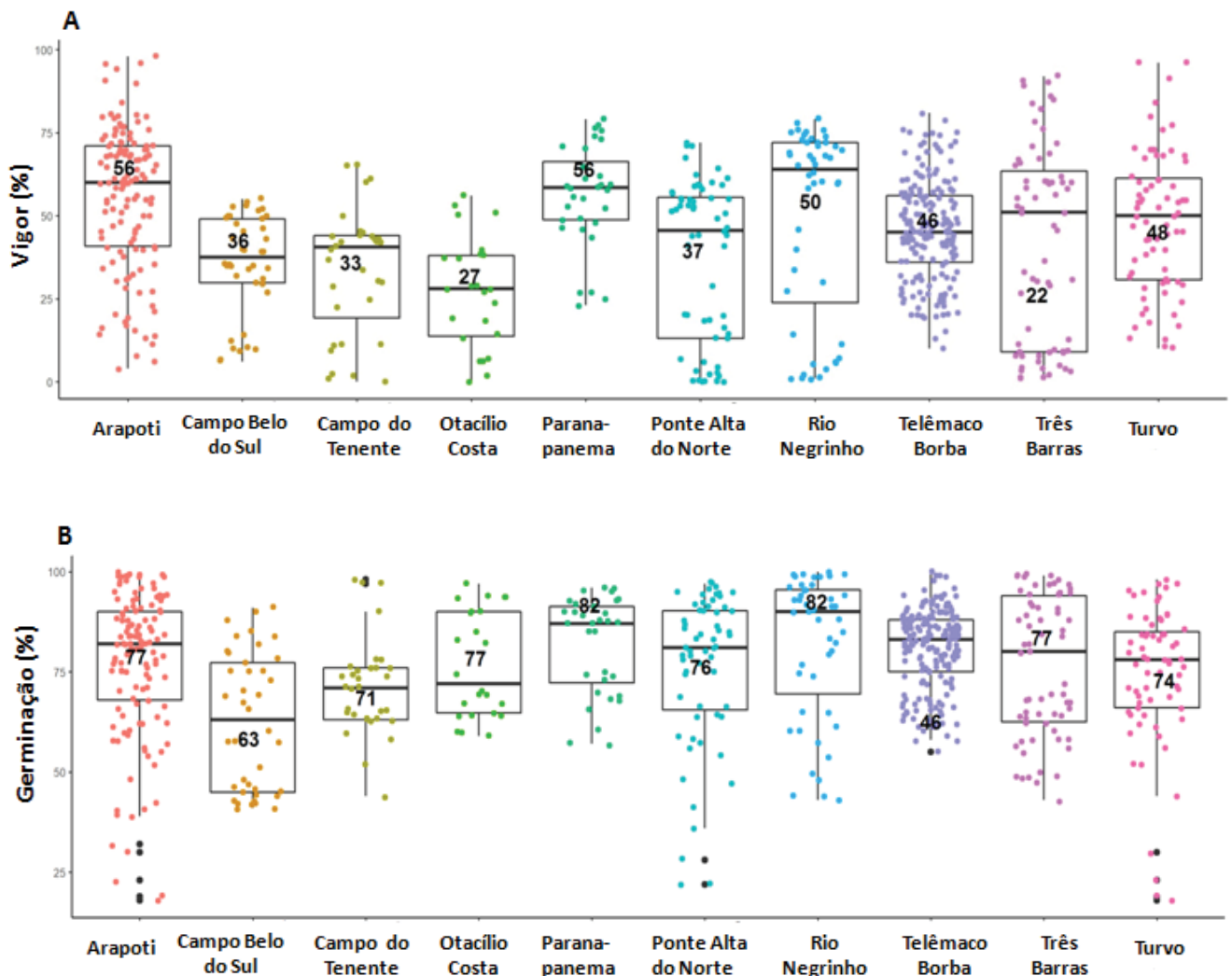


Figura 2. Box-plot com distribuição dos resultados de qualidade de sementes de *P. taeda* nos diferentes locais de produção (cidade), e os respectivos valores médios. A. Vigor (%). B. Germinação (%).

O resultado não significativo para o local de produção com o vigor e a viabilidade das sementes pode ser explicado por várias razões. Uma delas, segundo resultados de Biernaski et al. (2019), no qual concluíram que a germinação e vigor de sementes de *P.*

maximinoi tem correlação forte com a densidade aparente dos cones (abaixo de 1,0 g/cm³), sendo a qualidade influenciada pela coleta próxima ao ponto de maturidade fisiológica (PMF), para *P. taeda* o PMF ocorre com a densidade aparente próxima a 0,88 g/cm³ (Barnett, 1976).

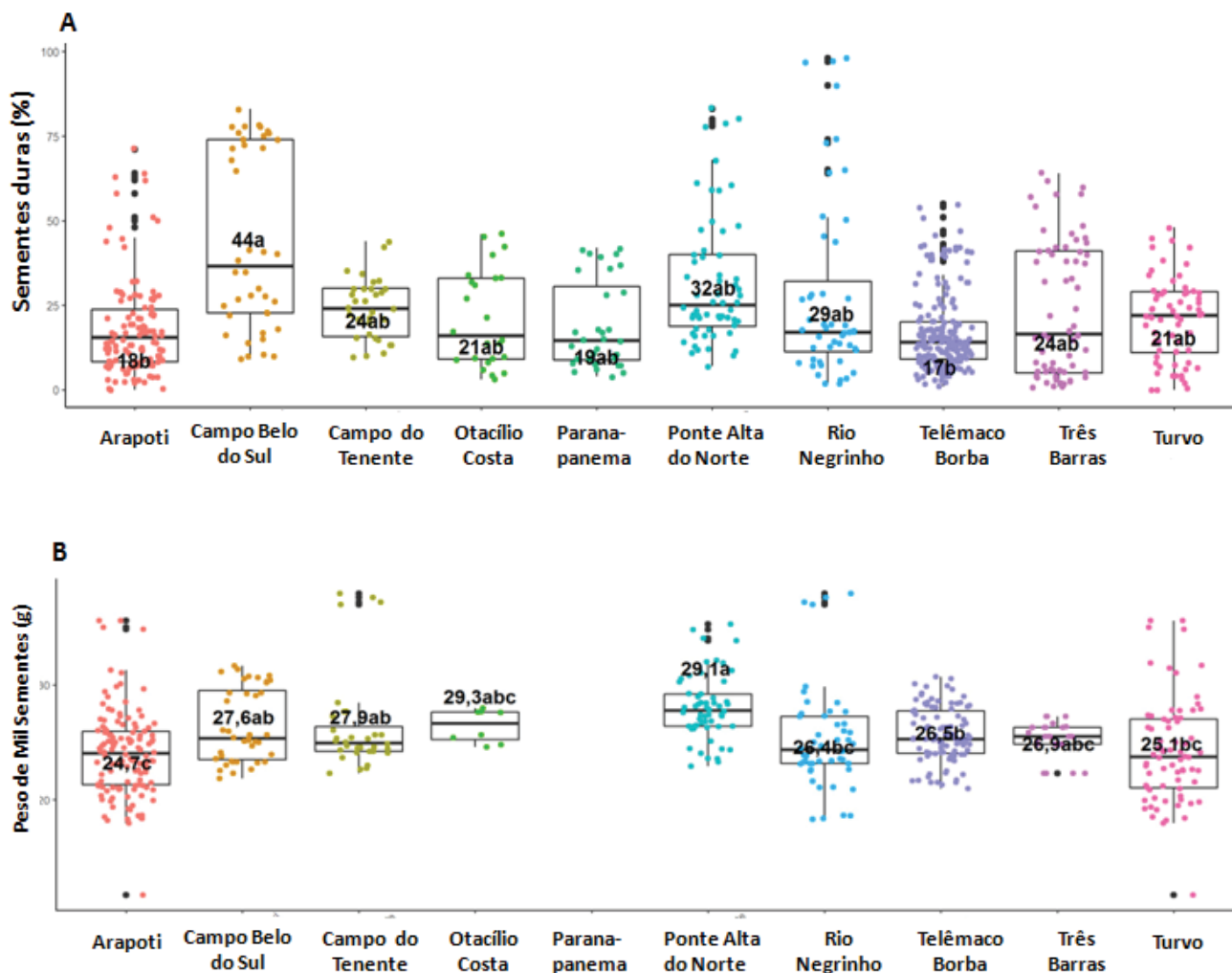
Além disso, a variação da maturação pode ocorrer em função do genótipo (Biernaski, 2018). Sendo a diversidade genética das matrizes, outro fator que pode explicar a grande variação dos resultados da qualidade fisiológica da semente dentro do mesmo local de produção e no mesmo ano de coleta. Corroborando com trabalho de Cancela (2017) que observou diferenças significativas entre matrizes e clones com relação à velocidade de emergência e porcentagem de emergência de sementes de *p. taeda*.

A fonte de variação dos dados em função da genética dos pomares de sementes não pôde ser isolada neste estudo, uma vez que em levantamento com as empresas produtoras de sementes de *Pinus taeda*, verificou-se que as principais procedências dos materiais no Brasil são dos Estados Unidos (Alabama, Georgia, Carolina do Norte, Carolina do Sul, Texas, West Virginia e Mississippi) e África do Sul (Rhodesia e CLN) (Aguiar et al., 2011); porém, em muitos pomares não se sabe a origem dos materiais ou se há misturas. A maioria vem do leste e sudeste dos EUA, local de origem da espécie (Picheli, 2020). Além disso, os lotes das sementes analisadas podem ter sido compostos por várias famílias.

Outro fator relevante que pode ter influenciado para o local de produção não ter sido significativo para germinação e vigor, é que as áreas de coleta de sementes estavam todas dentro das áreas recomendadas no zoneamento agroclimático de *P. taeda* na região Sul do Brasil, ou seja, fora da zona de risco climático para produção da espécie (Wrege et al., 2011), não havendo anos com condições climáticas atípicas extremas, no período observado. Justificando resultado divergente encontrado por Cendán et al. (2013), que verificou que ambientes maternos de produção contrastantes influenciaram na germinação de sementes de *P. pinaster*.

Com relação à porcentagem de sementes duras houve diferença significativa em função dos locais de produção, sendo que as localidades com menor porcentagem, ou seja, melhor qualidade, foram Arapoti-PR e Telêmaco Borba-PR e a com maior porcentagem de sementes duras foi Campo Belo do Sul-SC (Figura 3A). Corroborando com os resultados de Bernet et al., (1997), onde identificou que a dormência da semente de *Pinus ponderosa* varia de acordo com a localização geográfica, uma vez que o

ambiente materno é a chave para controlar os níveis de dormência em sementes (Finch-Savage e Bassel, 2016).



*Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si, de acordo com o teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

Figura 3. Box-plot com distribuição dos resultados de qualidade de sementes de *P. taeda* nos diferentes locais de produção, e os respectivos valores médios. A. Sementes duras (%). B. Peso de mil sementes (g).

As sementes duras são um problema frequente em sementes de *P. taeda*. São aquelas que permanecem sem absorver água até final do teste de germinação estão com aspecto de sementes recém colocadas no substrato, isto é, não intumescidas, podendo ser considerada um tipo de dormência (Brasil, 2009; ISTA, 2019).

Em trabalho com sementes de *P. pinaster*, verificou-se que o efeito do ambiente materno variou em função do genótipo, indicando que também existe variação genética na sensibilidade ao ambiente materno para produção de sementes (Cendán et al., 2013).

O Peso de Mil Sementes também foi uma variável influenciada pelo local de produção, sendo que as sementes produzidas próximas à cidade de Ponte Alta do Norte apresentaram o maior valor de PMS de 29,1g, Telêmaco Borba o PMS foi de 26,4g, e o menor valor observado foi em Arapoti de 24,7g (Figura 3B). Corroborando com os resultados de Wahid e Bounoua (2013), em que o PMS de *P. pinaster* variou em função do local de produção.

Além disso, a grande variação do PMS dentro do mesmo local e safra, pode ser em função do clone, assim como foi visto no trabalho de Oliveira et al. (2018) avaliando o efeito dos clones na produção de sementes no mesmo pomar de produção de sementes. A influência genética justifica-se pelo PMS ser uma característica herdabilidade forte a média em outras espécies de pinus, como *P. halepensis* $H-2=0,73$ (Matziris, 1998) e *P. sylvestris* L. $h=0,57$ (Sivacioğlu, 2010), indicando a presença de correlação entre genótipo e fenótipo.

De acordo com Schimdt (2000) a influência genética parece ser significativa no peso das sementes e no grau de dormência, com a origem materna da semente sendo o principal fator relacionado. Isso ocorre, uma vez que em coníferas, a variação média do peso de sementes é resultado da combinação do: genótipo diplóide do embrião; genótipo haplóide do megagametófito herdado pela mãe; efeitos ambientais do local de produção (Clair e Adams, 1991). Segundo Barnett (1996) do peso total da semente de uma conífera, apenas 15% do peso é ocupado pelo embrião, ou seja, que possui componente genético masculino.

Além da variação genética, o sítio de produção também pode influenciar no PMS, conforme verificado com *P. radiata*, que a produção em locais com bons níveis de fertilidade do solo e chuva abundante produziram lotes com maior PMS (Griffin, 1975). Também pode estar relacionado ao tipo de manejo da área de coleta de sementes, em Pomares de Coletas de Sementes tem melhores características de copa dominantes, produzindo sementes mais pesadas em estudo com *P. strobus* (Noaland, 2005). Adubação mineral nitrogenada de *Pinus sylvestris* teve correlação positiva com número de cones e com o peso médio de mil sementes (Karlsson e Orlander, 2002)

Os valores de correlação entre os parâmetros de qualidade das sementes (Tabela 4).

Tabela 4. Tabela de correlações de *Spearman* entre os parâmetros de qualidade da semente de *P. taeda*.

	Vigor	Germinação	Duras	PMS	Altitude
Vigor	1,000	0,553	-0,477	-0,337	-0,182
Germinação	-	1,000	-0,669	-0,180	-0,175
Duras	-	-	1,000	0,347	0,391
PMS	-	-	-	1,000	0,144
Altitude	-	-	-	-	1,000

*Todas as correlações foram significativas, com p-valor<0,01.

A correlação da germinação com vigor foi positiva, de 0,553, ou seja, quanto maior a germinação, maior o vigor. Resultado esperado, uma vez que embora o teste de vigor geralmente seja avaliado com a primeira contagem da germinação, as Regras para Análise de Sementes permitem que a primeira contagem vigor tenha um desvio de um a três dias (Brasil, 2009), por isso, neste trabalho foi utilizado a soma da primeira e segunda contagens, uma vez que o pico de germinação da espécie ocorre em torno de 14 dias após a semeadura (Michelon et al., 2021). Já a correlação entre sementes duras e vigor (-0,477); e germinação; (-0,669) foram negativas, e fortes, uma vez que foram avaliadas no mesmo teste (Brasil, 2009).

A correlação entre PMS e vigor de -0,337, embora fraca, nos levanta a hipótese de que sementes de *P. taeda* mais leves são mais vigorosas. Esse resultado corrobora com a correlação positiva de 0,347 entre PMS e sementes duras, ou seja, quanto maior o PMS maior pode ser a porcentagem de sementes duras. Resultados que reforçam a relação do peso da semente e dormência (Barnet, 1997). A superação de dormência diminui a síntese de proteínas com alto peso molecular (Schneider e Gifford, 1994). Em trabalho com *P. taeda* também foi encontrado que sementes com peso maior germinaram mais rápido, porém a germinação total foi menor quase não aparecendo diferença (Dunlap e Barnett, 2011).

A correlação positiva de 0,391, entre altitude do local de produção e porcentagem de sementes duras, indica que a locais com maiores altitudes podem produzir maior número de sementes duras, ou seja, o clima do local de produção pode interferir na intensidade da dormência das sementes.

Clima e qualidade fisiológica das sementes

Para as análises de correlações entre clima do local de produção e qualidade fisiológica das sementes, foram usados dados elaborados a partir de equações de regressão, todos os coeficientes calculados para temperatura máxima e mínima (Apêndice 1 e 2).

Para entender qual a fase do ciclo de reprodutivo de *Pinus taeda* tem interferência do clima, com duração de 18-22 meses (Wenger, 1958), é necessário detalhar o calendário fenológico reprodutivo da espécie no sul do Brasil (Figura 4).

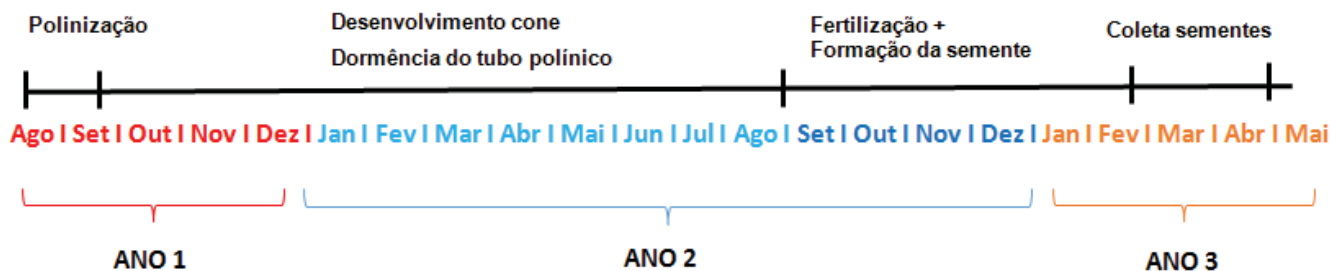


Figura 4. Calendário da fenologia reprodutiva de *P. taeda* no sul do Brasil.

O ciclo reprodutivo da espécie inicia com a floração no fim do inverno, quando a temperatura começa a subir e os primórdios do estróbilo, que originarão o cone, se desenvolvem (Schultz, 1997). Nos meses de agosto a setembro inicia-se a polinização, que por ser anemófila necessita de tempo quente e mais seco para manter a viabilidade do pólen transportado.

Quando o pólen chega nos estróbilos femininos abertos e receptivos, ocorre a liberação da gota de polinização que hidrata o grão de pólen e estimula a germinação. Os grãos de pólen são capturados para dentro, e a micrópila e o estróbilo feminino se fecham após a polinização. Ali dentro o tubo polínico começa a germinar, mas cessa seu crescimento entra em um período de dormência no frio. Enquanto isso o gametófito feminino continua em formação, expandindo-se lentamente até seu tamanho máximo e formando múltiplos arquegônios.

A fertilização ocorre mais de um ano depois, quando o tubo polínico atinge o arquegônio no verão do ano seguinte à polinização. A fase de maturação da semente, quando a planta-mãe começa a transferir fotoassimilados. Os cones maduros são colhidos em outubro, aproximadamente 4 meses após a fertilização e 18 meses após a polinização. (Mattalana-ramirez et al., 2021)

O vigor apresentou correlação significativa com diversas variáveis de clima, no entanto, as correlações foram fracas não ultrapassando o valor máximo de 0,36, sendo as variáveis de

temperatura com maiores correlações comparado à precipitação e umidade relativa do ar (Tabela 5).

Tabela 5. Correlações de Spearman entre o vigor de sementes de *P. taeda* e as variáveis de clima nos meses do calendário fenológico reprodutivo da espécie, da polinização à coleta de sementes, e os respectivos p-valores.

Meses	JAN		FEV		MAR		ABR		MAI		JUN		JUL		AGO		SET		OUT		NOV		DEZ		
	corr	p-valor	corr	p-valor	corr	p-valor	corr	p-valor	corr	p-valor	corr	p-valor	corr	p-valor	corr	p-valor	corr	p-valor	corr	p-valor	corr	p-valor	corr	p-valor	
Vigor	Precipitação pluviométrica																								
Ano 1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-0,10	0,25	-0,04	0,64	0,01	0,01	0,13	0,47	0,10	0,00
Ano 2	-0,07	0,39	0,12	0,00	<u>-0,31</u>	0,00	-0,19	0,00	-0,08	0,91	0,00	0,23	0,16	-	0,00	0,08	0,03	<u>-0,31</u>	0,00	-0,12	0,00	0,10	0,25	-0,13	0,67
Ano 3	-0,05	0,61	-0,05	0,90	-0,17	0,00	0,08	0,06	-0,08	0,86	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Vigor	Temperatura máxima																								
Ano 1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,05	0,00	0,03	0,01	0,12	0,00	0,06	0,00	0,00	0,06
Ano 2	0,23	0,00	0,19	0,00	0,26	0,00	0,15	0,00	0,25	0,00	0,20	0,00	0,24	0,00	0,24	0,00	0,26	0,00	0,20	0,00	0,19	0,00	0,14	0,00	0,00
Ano 3	0,03	0,00	0,10	0,00	0,28	0,00	<u>0,32</u>	0,00	<u>0,31</u>	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Vigor	Temperatura mínima																								
Ano 1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,04	0,79	0,05	0,01	0,08	0,87	0,05	0,90	0,07	0,87
Ano 2	0,29	0,00	0,18	0,00	0,29	0,00	0,27	0,00	0,21	0,00	0,23	0,09	0,19	0,05	0,26	0,01	0,21	0,08	0,24	0,00	0,21	0,00	0,18	0,00	0,00
Ano 3	0,21	0,00	0,27	0,00	<u>0,36</u>	0,00	0,26	0,01	<u>0,31</u>	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Vigor	Umidade relativa do ar																								
Ano 1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-0,01	0,01	0,05	0,78	0,03	0,25	0,10	0,48	0,13	0,02
Ano 2	0,03	0,06	0,01	0,28	-0,07	0,22	0,02	0,18	0,08	0,58	0,05	0,08	0,12	0,35	0,13	0,58	0,00	0,01	-0,06	0,00	-0,07	0,00	0,09	0,28	0,28
Ano 3	-0,04	0,00	-0,08	0,00	0,07	0,16	0,05	0,33	0,11	0,03	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

*As correlações destacadas em **negrito** e sublinhadas são significativas ($p < 0,5$) e $corr > 0,3$ ou $< -0,3$.

Vermelho – período de polinização.

Azul claro – dormência do tubo polínico e desenvolvimento do cone.

Azul escuro – fertilização e desenvolvimento da semente.

Laranja – pré-coleta e coleta de sementes.

Às correlações da germinação com as condições climáticas, também foram semelhantes ao vigor, com várias significativas, mas muito fracas para explicar a variação resultados (Tabela 6).

Tabela 6. Correlações de Spearman entre a germinação de sementes de *P. taeda* e as variáveis de clima nos meses do calendário fenológico reprodutivo da espécie, da polinização à coleta de sementes, e os respectivos p-valores.

Meses	JAN		FEV		MAR		ABR		MAI		JUN		JUL		AGO		SET		OUT		NOV		DEZ		
	corr	p-valor	corr	p-valor	corr	p-valor	corr	p-valor	corr	p-valor	corr	p-valor	corr	p-valor	corr	p-valor	corr	p-valor	corr	p-valor	corr	p-valor	corr	p-valor	
Ger.	Precipitação pluviométrica																								
Ano 1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,10	0,42	-0,09	0,01	-0,21	0,00	0,08	0,26	-0,10	0,01
Ano 2	-0,23	0,00	-0,01	0,05	-0,12	0,00	-0,07	0,05	-0,09	0,08	0,17	0,00	0,13	0,52	0,02	0,07	-0,11	0,02	-0,23	0,00	-0,18	0,00	-0,03	0,19	0,19
Ano 3	-0,21	0,02	-0,06	0,13	-0,26	0,00	-0,22	0,00	-0,12	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ger.	Temperatura máxima																								
Ano 1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,13	0,00	0,12	0,00	0,21	0,00	0,21	0,00	0,16	0,00
Ano 2	<u>0,31</u>	0,00	0,25	0,00	0,23	0,00	0,17	0,00	0,26	0,00	<u>0,33</u>	0,00	0,20	0,00	<u>0,34</u>	0,00	<u>0,34</u>	0,00	<u>0,35</u>	0,00	0,23	0,00	<u>0,31</u>	0,00	0,00
Ano 3	0,04	0,05	0,13	0,02	0,28	0,00	0,26	0,00	0,25	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ger.	Temperatura mínima																								
Ano 1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,06	0,04	0,06	0,25	0,12	0,00	0,08	0,13	0,09	0,08
Ano 2	0,04	0,84	0,05	0,00	0,09	0,15	0,10	0,09	0,14	0,00	0,21	0,00	0,07	0,64	0,19	0,00	0,11	0,00	0,17	0,00	0,15	0,00	0,15	0,00	0,00
Ano 3	0,10	0,00	0,26	0,00	0,21	0,00	0,20	0,00	<u>0,33</u>	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ger.	Umidade relativa do ar																								
Ano 1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,02	0,53	-0,06	0,93	-0,26	0,00	-0,20	0,00	-0,19	0,00
Ano 2	-0,03	0,01	-0,28	0,00	-0,27	0,00	0,16	0,13	0,12	0,01	0,23	0,00	0,26	0,00	0,02	0,88	-0,06	0,11	-0,24	0,00	-0,18	0,01	-0,06	0,35	0,35
Ano 3	-0,29	0,00	-0,06	0,68	0,68	0,09	-0,08	0,02	0,24	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

*As correlações destacadas em **negrito** e sublinhadas são significativas ($p < 0,5$) e $corr > 0,3$ ou $< -0,3$. Ger. Germinação.

Vermelho – período de polinização.

Azul claro – dormência do tubo polínico e desenvolvimento do cone.

Azul escuro – fertilização e desenvolvimento da semente.

Laranja – pré-coleta e coleta de sementes.

As correlações (acima de 0,30) entre a temperatura máxima com a germinação e o vigor, corroboram com estudo com *Pinus banksiana*, nas quais as variáveis reprodutivas estão positivamente relacionadas às altas temperaturas durante as três safras necessárias para a produção de sementes (Despland e Holle, 1997). Em estudo com Pinus, avaliando a influência do clima na produção de sementes, sugeriu que a produção é maior após o clima quente da primavera durante a polinização (Wright et al., 2021). Além disso, a temperatura durante megagametogênese pós-meiótica e a maturação da semente muda epigeneticamente o crescimento dos embriões, influenciando a germinação (Yakovlev et al., 2012). Por outro lado, o estresse térmico na formação de sementes reflete na redução do peso das sementes (Bewley et al., 2013).

Já as correlações de sementes duras tiveram mais valores significativos e superiores à 0,3, com as temperaturas máximas e mínimas do ano 2, ou seja, durante o período de desenvolvimento do cone e maturação da semente (Tabela 7).

Tabela 7. Correlações de Spearman entre sementes duras de *P. taeda* e as variáveis de clima nos meses do calendário fenológico reprodutivo da espécie, da polinização à coleta de sementes, e os respectivos p-valores.

Meses	JAN		FEV		MAR		ABR		MAI		JUN		JUL		AGO		SET		OUT		NOV		DEZ		
	Corr	p-valor	corr	p-valor	corr	p-valor	corr	p-valor	corr	p-valor	corr	p-valor	corr	p-valor	corr	p-valor	corr	p-valor	corr	p-valor	corr	p-valor	corr	p-valor	
Duras	Precipitação pluviométrica																								
Ano1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-0,15	0,25	0,25	0,00	0,07	0,09	-0,26	0,00	0,21	0,00
Ano2	0,28	0,00	-0,08	0,00	0,16	0,00	-0,12	0,22	0,12	0,18	-0,05	0,12	-0,29	0,02	0,14	0,00	0,23	0,01	0,26	0,00	0,37	0,00	-0,11	0,00	
Ano3	0,30	0,00	0,16	0,00	0,33	0,00	0,21	0,00	0,22	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Duras	Temperatura máxima																								
Ano1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-0,02	0,00	-0,04	0,68	-0,11	0,00	-0,08	0,13	-0,01	0,03
Ano2	-0,23	0,01	-0,27	0,00	-0,35	0,00	-0,27	0,00	-0,34	0,00	-0,46	0,00	-0,34	0,00	-0,46	0,00	-0,45	0,00	-0,43	0,00	-0,32	0,00	-0,43	0,00	
Ano3	0,00	0,29	-0,03	0,86	-0,13	0,05	-0,37	0,00	-0,37	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Duras	Temperatura mínima																								
Ano1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-0,06	0,03	-0,03	0,96	-0,12	0,00	-0,06	0,64	-0,07	0,50
Ano2	-0,20	0,01	-0,31	0,00	-0,30	0,00	-0,29	0,00	-0,26	0,00	-0,36	0,00	-0,28	0,00	-0,36	0,00	-0,24	0,00	-0,33	0,00	-0,35	0,00	-0,39	0,00	
Ano3	-0,31	0,00	-0,27	0,00	-0,36	0,00	-0,41	0,00	-0,28	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Duras	Umidade relativa do ar																								
Ano1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-0,11	0,05	0,07	0,88	0,24	0,00	0,23	0,00	0,05	0,11
Ano2	0,03	0,04	0,21	0,00	0,30	0,00	-0,12	0,82	-0,10	0,00	-0,27	0,00	-0,20	0,00	0,18	0,00	0,27	0,00	0,30	0,00	0,37	0,00	-0,05	0,11	
Ano3	0,32	0,00	-0,11	0,02	-0,13	0,01	0,13	0,01	-0,20	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	

*As correlações destacadas em **negrito** e sublinhadas são significativas ($p < 0,5$) e $\text{corr} > 0,3$ ou $\text{corr} < -0,3$.

Vermelho – período de polinização.

Azul claro – dormência do tubo polínico e desenvolvimento do cone.

Azul escuro – fertilização e desenvolvimento da semente.

Laranja – pré-coleta e coleta de sementes.

Para PMS as correlações foram significativas, mas muito fracas, ou seja, estes parâmetros não explicam a diferença significativa do PMS por local de produção (Tabela 8).

Tabela 8. Correlações de Spearman entre peso de mil sementes (PMS) de *P. taeda* e as variáveis de clima nos meses do calendário fenológico reprodutivo da espécie, da polinização à coleta de sementes, e os respectivos p-valores.

Mês	JAN		FEV		MAR		ABR		MAI		JUN		JUL		AGO		SET		OUT		NOV		DEZ		
	corr	p-valor	corr	p-valor	corr	p-valor	corr	p-valor	corr	p-valor	corr	p-valor	corr	p-valor	corr	p-valor	corr	p-valor	corr	p-valor	corr	p-valor	corr	p-valor	
PMS																									
Precipitação pluviométrica																									
Ano1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,15	0,00	-0,02	0,52	0,03	0,63	-0,21	0,00	-0,17	0,00
Ano2	-0,01	0,66	-0,09	0,03	0,14	0,00	0,08	0,16	-0,14	0,01	0,07	0,13	-0,16	0,00	-0,10	0,02	0,22	0,00	0,06	0,28	-0,07	0,18	0,06	0,27	
Ano3	0,02	0,49	0,08	0,20	-0,02	0,78	-0,18	0,00	0,01	0,85	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
PMS																									
Temperatura máxima																									
Ano1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,04	0,27	0,04	0,40	0,02	0,53	0,02	0,61	0,03	0,39	
Ano2	-0,20	0,00	-0,18	0,00	-0,21	0,00	-0,15	0,01	-0,27	0,00	-0,20	0,00	-0,28	0,00	-0,17	0,00	-0,26	0,00	-0,13	0,01	-0,15	0,01	-0,06	0,40	
Ano3	-0,13	0,01	-0,04	0,58	-0,17	0,00	-0,34	0,00	-0,34	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
PMS																									
Temperatura mínima																									
Ano1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,15	0,00	0,08	0,06	0,10	0,09	0,10	0,04	0,03	0,43	
Ano2	-0,30	0,00	-0,24	0,00	-0,27	0,00	-0,19	0,00	-0,28	0,00	-0,17	0,00	-0,11	0,02	-0,14	0,00	-0,16	0,00	-0,13	0,00	-0,12	0,00	-0,15	0,00	
Ano3	-0,18	0,00	-0,03	0,59	-0,26	0,00	-0,22	0,00	-0,09	0,04	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
PMS																									
Umidade relativa do ar																									
Ano1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,11	0,01	0,02	0,73	-0,14	0,01	-0,20	0,00	-0,17	0,00	
Ano2	-0,04	0,57	-0,07	0,10	-0,07	0,23	-0,08	0,21	-0,16	0,01	0,03	0,32	0,06	0,06	0,00	0,56	0,04	0,10	0,03	0,22	0,06	0,03	-0,19	0,00	
Ano3	-0,06	0,53	0,03	0,25	0,03	0,25	-0,10	0,07	-0,14	0,02	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	

*As correlações destacadas em **negrito** e sublinhadas são significativas ($p < 0,5$) e $corr > 0,3$ ou $< -0,3$.

Vermelho – período de polinização.
Azul claro – dormência do tubo polínico e desenvolvimento do cone.
Azul escuro – fertilização e desenvolvimento da semente.
Laranja – pré-coleta e coleta de sementes.

Os atributos de clima podem ter tido baixa correlação com a qualidade de sementes, uma vez que os locais de produção estão em regiões recomendadas ou preferenciais para o cultivo da espécie, de acordo com o zoneamento agroclimático todas dentro dos valores médios indicados para região de plantio de uma espécie de clima temperado (Higa et al., 2008). No entanto, a qualidade de semente é altamente influenciada pelo ambiente e genética (Weerasekara et al., 2021).

CONCLUSÃO

O local de produção pode influenciar a qualidade de sementes de *P. taeda*, apenas para o PMS e porcentagem de sementes duras. O clima do local de produção tem baixa influência na qualidade da semente de *Pinus taeda*.

AGRADECIMENTOS

Ao INMET – Instituto Nacional de Meteorologia e ao Simepar – Sistema de Tecnologia e Monitoramento Ambiental do Paraná pelos dados climáticos fornecidos para este estudo.

A Embrapa Florestas pelo fornecimento dos dados históricos de qualidade de sementes, para este estudo.

As empresas de *Pinus taeda* do setor florestal que forneceram as coordenadas dos locais de produção para a realização do estudo.

REFERÊNCIAS

AGUIAR, A.V.; SOUSA, V.A.; FRITZSONS, E.; PINTO JÚNIOR, J.E. Programa de melhoramento de pinus da Embrapa Florestas, Embrapa Florestas, documento 233, 2011. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/61074/1/Documento-233.pdf>

ALMQVIST, C.; JANSSON, G. Effects of pruning and stand density on cone and pollen production in an experimental *Pinus sylvestris* seed orchard. *Silva Fennica*, v.49 n.4, id 1243, 2015.

ANDERSSON L.; MILBERG P. Variation in seed dormancy among mother plants, populations and years of seed collection. *Seed Science Research*, v.8, p. 29–38, 1998.

BASKIN, J.; BASKIN, C. How much influence does the paternal parent have on seed germination? *Seed Science Research*, v.29, n.1, p.1-11, 2019.

BARNETT, J.P. How seed orchard culture affects seed quality: experience with the southern pines. *Forestry Chron.* v.72, p.469-473, 1996.

BARNETT, J.P. Cone and seed maturation of southern pines. U.S. Department of Agriculture, New Orleans, v. 11, p.1-12, 1976.

BATKHUU, N.-O.; LEE, D. K.; TSOGTBAATAR, J.; PARK, Y. D. Seed quality of Siberian larch (*Larix sibirica* Ldb.) from geographically diverse seed sources in Mongolia. *Scandinavian Journal of Forest Research*, v.25, n.8, p.101-108, 2010.

BIERNASKI, F.A.; NOGUEIRA, A.C.; TAMBARUSSI, E.V.; WEBER, R.L.M.; MIRANDA, L.; AURÉLIO, M.; STAHL, J. Influence of collection time and cone specific gravity on the quality of *Pinus maximinoi* H. E. Moore seeds. *Scientia Forestalis*, v. 47, n.124, p. 714-723, 2019.

BRAGA, J.G.Z.P.; SOUZA, B.M.; AGUIAR, A.V.; POLLNOW, M.F.M.; CARVALHO, A.G.M.; TAMBARUSSI, E. V. Genetic parameters and genotype × environment interaction in *Pinus taeda* clonal tests, *Forest Ecology and Management*, v. 474, e118342, 2020.

BRASIL. Ministério Da Agricultura Pecuária e Abastecimento. Gabinete do Ministro. Portaria nº 18 de 25 de Janeiro de 1984. Regulamenta o Decreto 81, 771 de 7 de Janeiro de 1978 e considerando o deliberado na XX Reunião Ordinária da Comissão Nacional de Sementes e Mudas - CONASEM. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 27 dez, 1984.

BRASIL. MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. BRASIL. Regras para Análise de Sementes. Brasília: MAPA, 2009. 395p.

BRUM, E.T. Relações entre a altura dominante e fatores do sítio, em povoamentos de *Pinus elliottii* engelm. na região de Ponte Alta do Norte, SC. Dissertação de mestrado em Engenharia Florestal, UFPR, 1979.

BOGNOLA, I.A.; LAVORANTI, O.J.; HIGA, A.R.; COUTINHO, R.T.; BOBKO, A. JUNIOR, U.R. Dispersão de sementes, regeneração e rebrota de *Pinus taeda* no planalto norte do Estado de Santa Catarina, Brasil.

BOGNOLA, I.A. Unidades de manejo para *Pinus taeda* no planalto norte catarinense, com base em características do meio físico. Tese de doutorado. Pós-Graduação em Engenharia Florestal, 2007.

COOKE, J.; COOKE, B.; GIFFORD, D. Loblolly pine seed dormancy: constraints to germination. *New Forests*, v.23, p.239–256, 2002.

CHMURA, D.J.; ROŻKOWSKI, R.; CHAŁUPKA, W. Growth and phenology variation in progeny of Scots pine seed orchards and commercial seed stands. *European Journal of Forest Research*, v.131, p.1229–1243, 2012.

COUTINHO, R.T.; BESPALHOK FILHO, J.C.; FRITSCH NETO, R.; FRIZZO, C. Viabilidade da seleção precoce de *Pinus taeda* L. em diâmetro a altura do peito em programa de melhoramento genético. *Scientia Forestalis*, v.45, n.113, p.205-219, 2017.

COWLEY, J.M.; MCNEIL, D.L.; LUI, K.Y.; BARSBY, J.P.; CIANI, S.; CERNE, V.; BURTON, R.A. Rain events at maturity severely impact the seed quality of psyllium (*Plantago ovata* Forssk.), *Journal of Agronomy and Crop Science*, v.208, n.4, p.567-581, 2022.

DORNELAS, J. F. et al. Physiological quality of seeds of two native tree species subjected to water stress at different phenological stages. *Ciência Florestal*, v. 25, n. 3, p. 745-756, 2015.

DESPLAND, E.; HOULLE, G. Climate Influences on Growth and Reproduction of *Pinus banksiana* (Pinaceae) at the Limit of the Species Distribution in Eastern North America. *American Journal of Botany*, v.84, n.7, p.928, 1997.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 3 ed. Brasília: *Embrapa Solos*, 2013. 353 p.

FARJAT, A.E.; ISIK, F.; REICH, B.J.; WHETTEN, R.W.; MCKEAND, S.E. Modeling climate change effects on the height growth of loblolly pine, *Forest Science*, v.61, n.4, p. 703-715, 2015.

FERNANDO, D.D. The pine reproductive process in temperate and tropical regions, *New Forests*, v. 45, n.3, 2014.

GUTTERMAN, Y. Maternal effects on seeds during development. *Seeds: the ecology of regeneration in plant communities*, 2ed. CABI Publishing Wallingford, England, 2000.

HAMPTON, J.G.; BOELT, B.; ROLSTON, M.P.; CHASTAIN, T.G. Effects of elevated CO₂ and temperature on seed quality. *Journal of Agricultural Science*, v.151, n.2, p.154-162, 2013.

HAMPTON, J.G.; CONNER, A.J.; BOELT, B.; CHASTAIN, T.G.; ROLSTON, P. Climate change: seed production and options for adaptation. *Agriculture*, v.6, n.33, 2016.

IBÁ. INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES. Relatório IBÁ 2021 ano base 2020. Brasília, 2021. 176p.

ISTA. International Rules for Seed Testing, International Seed Testing Association, Bassersdorf, Switzerland, 2019.

KAMESWARA RAO, N.; DULLOO, M.E.; ENGELS, J.M.M. A review of factors that influence the production of quality seed for long-term conservation in genebanks. *Genet Resour Crop Evol*, v.64, p.1061–1074, 2017.

KORALEWSKI, T.E.; WANG, H.-H.; GRANT, W.E.; BYRAM, T.D. Plants on the move: Assisted migration of forest trees in the face of climate change. *Forest Ecology and Management*, v.344, p.30–37, 2015.

LEAL-SÁENZ, A.; WARING, K.M.; ÁLVAREZ-ZAGOYA, R.; HERNÁNDEZ-DÍAZ, J.C.; LÓPEZ-SÁNCHEZ, C.A.; MARTÍNEZ-GUERRERO, J.H.; WEHENKEL, C. Assessment and

models of insect damage to cones and seeds of *Pinus strobiformis* in the Sierra Madre occidental, Mexico. *Frontiers Plant Science*, v.29, n.12, p.628795, 2021.

LIU, Y.; EL-KASSABY, Y.A. Timing of seed germination correlated with temperature-based environmental conditions during seed development in conifers. *Seed Science Research*, v.25, p.29–45, 2014.

LU, M.; KRUTOVSKY, K.V.; LOOPSTRA, C.A. Predicting Adaptive Genetic Variation of Loblolly Pine (*Pinus taeda* L.) Populations under projected future climates based on multivariate models, *Journal of Heredity*, v.110, n.7, p.857-865, 2019.

MATALLANA-RAMIREZ, L.P.; WHETTEN, R.W.; SANCHEZ, G.M.; PAYN, K.G. Breeding for Climate Change Resilience: A Case Study of Loblolly Pine (*Pinus taeda* L.) in North America. *Front. Plant Sci.*, v.12, e606908, 2021.

MATZIRIS, D. Genetic variation in cone and seed characteristics in a clonal seed orchard of Aleppo pine grown in Greece. *Silvae Genetica*, v.47, ed.1, p.34-41, 1998.

MICHELON, T.B.; TACOONELI, C.; VIEIRA, E.S.N.; PANOBIANCO, M. *Eucalyptus cloeziana* seed count data: a comparative analysis of statistical models, *Ciência e Agrotecnologia*, v.43, n.4. 2020.

MICHELON, T.B.; SANTOS, F.S.; BELNIAKI, A.C.; VIEIRA, E.S.N. PANOBIANCO, M. Time reduction to evaluate *Pinus taeda* seeds germination by time-to-event analysis. *Scientia Agricola*. v.79, n.6, e20210092, 2022.

MICHELON, T. VIEIRA, E. S. N.; PANOBIANCO, M. Spectral imaging and chemometrics applied at phenotyping in seed science studies: a systematic review, *Seed Science Research*, p.1-14, 2023.

MORA, A.L.; PINTO JR, J.E.; FONSECA, S.M.; KAGEYAMA, P.Y. Aspectos da produção de sementes de espécies florestais, Instituto de pesquisas e estudos florestais, IPEF-Série técnica, v.2, n.6, p.1-60,1981.

MORO, L. Produtividade, ciclagem de nutrientes e índices do sistema dris em plantios de pinus submetidos à adubação NPK em três idades. Tese de doutorado em Ciência do solo, UDESC, 2007.

NEALE, D. B., WEGRZYN, J. L., STEVENS, K. A., ZIMIN, A. V., PUIU, D., CREPEAU, M. W., LANGLEY, C. H. Decoding the massive genome of loblolly pine using haploid DNA and novel assembly strategies. *Genome Biology*, v.15, n.3, p-59. 2014.

PICHELLI, K. Pinus. Transferência de tecnologia florestal. Maio/2020. Disponível em: <https://www.embrapa.br/en/florestas/transferencia-de-tecnologia/pinus/perguntas-e-respostas#:~:text=O%20g%C3%AAnero%20Pinus%20apresenta%20mais,Sul%20e%20Sudeste%20do%20pa%C3%ADs>.

RIIKONEN, J.; LUORANEN, J. Seedling production and the field performance of seedlings. *Forests*, v.9, n.12, p.740, 2018.

SALEHANI, M.K.; MAHMOUDI, J.; MAHDAVI, S.K.H.; HABIBZADEH, R. The effect of altitude on breaking seed dormancy and stimulation of seed germination of Persian hogweed (*Heracleum persicum*). *Afr J Tradit Complement Altern Med.*, v.10, n.6, p.555-558, 2013.

SCHNEIDER, W. L.; GIFFORD, D. J. Loblolly pine seed dormancy. I. The relationship between protein synthesis and the loss of dormancy. *Physiologia plantarum*, v.90, n.2, p.246–252, 1994.

SILVEIRA, V.; BALBUENA, T.S.; SANTA-CATARINA, C.; FLOH, E.I.S.; GUERRA, M.P.; HANDRO, W. Biochemical changes during seed development in *Pinus taeda* L. *Plant Growth Regulation*, v.44, p.147-156 2004.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I.; MURPHY, A. Fisiologia e desenvolvimento vegetal. 6.ed. Porto Alegre: Artmed, 2017. 888 p.

WAHID, N.; BOUNOUA, L. Relationships between seed weight, germination potential and biochemical reserves of Maritime Pine in Morocco: Elements for Tree Seedlings Improvement, 2013.

WEERASEKARA, I.; SINNIHAH, U.R.; NAMASIVAYAM, P.; NAZLI, M.H.; ABDURAHMAN, S.A.; GHAZALI, M.N. The influence of seed production environment on seed development and quality of soybean (*Glycine max* (L.) Merrill). *Agronomy*, v.11, p.1430, 2021.

WILLIAMS, C.G. Pollination and Fertilization. *Conifer Reproductive Biology*, p.91–105, 2009.

WREGGE, M. S. STEINMETZ, S.; REISSER JUNIOR, C.; ALMEIDA, I. R. de. Atlas climático da região Sul do Brasil: Estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul. Pelotas: Embrapa Clima Temperado; Colombo: Embrapa Florestas, 2011. 336 p.

WU, X.; NING, F.; HU, X.; WANG, W. Genetic modification for improving seed vigor is transitioning from model plants to crop plants. *Frontiers in Plant Science*, v.8, p.8, 2017. DOI:10.3389/fpls.2017.00008

WULFF, R.D. Environmental maternal effects on seed quality and germination. Kigel J. & Galili G. Seed development and germination Marcel Dekker New York, 1995.

YAKOVLEV, I., FOSSDAL, C. G., SKRØPPA, T., OLSEN, J. E., JAHREN, A. H., & JOHNSEN, Ø. An adaptive epigenetic memory in conifers with important implications for seed production. *Seed Science Research*, v.22, n.2, p.63–76, 2012.

YEATES, S.J., LAWN, R.J., AND ADKINS, S.W. Prediction of weather damage of mungbean seed in tropical Australia: I. relation between seed quality, weather, and reproductive development. *Australian Journal of Agricultural Research*, v.51. p.637-648, 2000.

ZAS, R.; CENDÁN, C.; SAMPEDRO, L. Mediation of seed provisioning in the transmission of environmental maternal effects in Maritime pine (*Pinus pinaster* Aiton). *Heredity*, v.111, p.248–255, 2013.

5. CONCLUSÕES GERAIS

Com a revisão sistemática para sementes de soja, pode-se concluir que a partir da abordagem realizada, foi possível observar que vários genes, proteínas e QTLs estão associados ao vigor das sementes; as técnicas de tratamento de sementes concentram-se no uso de produtos biológicos e físicos, porém há carência de estudos validando esses benefícios em campo. Dentre os métodos para avaliação do vigor de sementes de soja, destacam-se as técnicas de análise de imagem (luz visível, LIBS, NIR, FTIR, FT-NIR, HSI-NIR, FHSI, Hiperespectral, Espectral de fluorescência) e o emprego de softwares (Vigor-S®, SVIS®, SAPL®, IJCropSeed, Ilastik, VideometerLab®, MATLAB, ENVI®).

Com base nos dados de levantamento histórico de 14 anos de dados de controle de qualidade de sementes de *Pinus taeda*, conclui-se que o peso de mil sementes e porcentagem de sementes duras sofreram influência do local de produção, porém, com baixa correlação com as variáveis climáticas durante os anos de ciclo reprodutivo, indicando que existem outros fatores que devem ser estudados.

6. REFERÊNCIAS GERAIS

ABATI, J.; BRZEZINSKI, C.R.; ZUCARELI, C.; WERNER, F.; HENNING, A.A.; HENNING, F.A. Physiological potential of soybean industrially treated with different spray volumes and dry powder. *Australian Journal of Crop Science*, v.14, n.5, p.836-841, 2020.

ABRASEM. Associação Brasileira de Sementes. 2022. Disponível em: <http://www.abrasem.com.br/estatisticas/#>

AFSHEEN, S.; NASEER, H.; IQBAL, T.; ABRAR, M.; BASHIR, A.; IJAZ, M. Synthesis and characterization of metal sulphide nanoparticles to investigate the effect of nanoparticles on germination of soybean and wheat seeds. *Materials Chemistry and Physics*, v.252, p.123216, 2020.

ALCANTRA, G.B.; RIBAS, L.L.F.; HIGA, A.R.; RIBAS, K.C.Z.; KOEHLER, H.S. efeito da idade da muda e da estação do ano no enraizamento de miniestacas de *Pinus taeda* L. *Revista Árvore*, v.31, n.3, p.399-404, 2007.

ALMQVIST, C.; JANSSON, G. Effects of pruning and stand density on cone and pollen production in an experimental *Pinus sylvestris* seed orchard. *Silva Fennica*, v.49 n.4, id 1243, 2015.

ALSAMADANY, H.; AHMED, Z. Assessing aging impact on growth potential of Vitamin E primed soybean seeds via biochemical profiling. *Saudi Journal of Biological Sciences*, v.29, n.5, p.3717-3726, 2022.

ANDERSSON L.; MILBERG P. Variation in seed dormancy among mother plants, populations and years of seed collection. *Seed Science Research*, v.8, p. 29–38, 1998.

ARIF, M.A.R.; AFZAL, I.; BÖRNER, A. Genetic aspects and molecular causes of seed longevity in plants - A Review. *Plants*, v.11, p.598. 2022.

AOSA. Association of Official Seed Analysts. AOSA Rules for testing seeds. 2021.

AOSA. Association of Official Seed Analysts. 2009. *Seed Vigor Testing Handbook*. AOSA, Ithaca, NY, USA. <https://analyzeseeds.com/product/seed-vigor-testing-handbook-2017/>

AOSA. Association of Official Seed Analysts . Tetrazolium Testing Handbook. 2005. http://gsem.weebly.com/uploads/9/3/5/1/9351412/tetrazolium_testing_handbook__2001-2005_-_part_ii.pdf

ASA. American Soybean Association. Soystats 2022 – A reference guide to important facts and figures, 2022. - <https://soygrowers.com/wp-content/uploads/2022/06/22ASA-002-Soy-Stats-Final-WEB.pdf>

APROSOJA. Associação dos Produtores de Sementes de Soja. 2022. Disponível em: <https://aprosojabrasil.com.br/a-soja/economia/>

APROSOJA Brasil. Custo de produção de soja safras 18/19 e 19/20. 2022 - https://aprosojabrasil.com.br/wp-content/uploads/2019/05/4-CUSTOS-18.19_19.20.pdf

ARORA, R.N. Assessment of genetic diversity for yield and seedling traits in soybean (*Glycine max* L. Merrill). *Electronic Journal of Plant Breeding*, v.9, n.1, p.355-360, 2018.

ASGHAR, T.; JAMIL, Y.; HAQ, Z.; NISAR, J.; SHAHID, M. Comparison of Heshingle bondNe laser and sinusoidal non-uniform magnetic field seed pre-sowing treatment effect on *Glycine max* (Var 90-I) germination, growth and yield. *Journal of Photochemistry and Photobiology b: Biology*, v.166, p.212-217, 2017.

AYARI, A.; KHOUJA, M. L. Ecophysiological variables influencing Aleppo pine seed and cone production: a review. *Tree Physiology*, v.34, n.4, 426–437, 2014.

BAEK, I.; KUSUMANINGRUM, D.; KANDPAL, L.M.; LOHUMI, S.; MO, C.; KIM, S.M.; CHO, B. Rapid measurement of soybean seed viability using Kernel-based multispectral image analysis. *Sensors*, v.19, n.2, p. 271, 2019.

BALDONI, A.; VON-PINHO, E.V.R.; SANTOS, H.O.; MARQUES, T.L.; PEREIRA, R.W. Gene expressions analysis of seed physiological quality in soybean cultivars. *Journal of Agricultural Science*, v.11, n.2, p.408-419, 2019.

BAREKE, T. Biology of seed development and germination physiology. *Advances in Plants & Agricultural Research*, v.8, n.4, p.336, 2018. DOI: 10.15406/apar.2018.08.00335

BARRICHELO, L.E.; KAGEYAMA, P.Y.; SPELTZ, R.M.; BONISH, H.J.; BRITO, J.O.; FERREIRA, M. Estudos de procedências de *Pinus taeda* visando seu aproveitamento industrial. IPEF n.15, p.1-14, 1977.

BARNETT J.P. 1996. How seed orchard culture affects seed quality: experience with the southern pines. *Forestry Chron.* 72: 469–473.

BASKIN, J.; BASKIN, C. How much influence does the paternal parent have on seed germination? *Seed Science Research*, v.29, n.1, p.1-11, 2019.

BATKHUU, N.-O.; LEE, D. K.; TSOGTBAATAR, J.; PARK, Y. D. Seed quality of Siberian larch (*Larix sibirica* Ldb.) from geographically diverse seed sources in Mongolia. *Scandinavian Journal of Forest Research*, v.25, n.8, p.101–108, 2010.

BRAGA, P.L.; MANTOVANI, A.; BRONDANI, G. E. Influence of temperature and photoperiod on the seed production of *Araucaria angustifolia*. *Revista Árvore*, v.44, n.2, e440204, 2020.

BIERNASKI, F.A.; NOGUEIRA, A.C.; TAMBARUSSI, E.V.; WEBER, R.L.M.; MIRANDA, L.; AURÉLIO, M.; STAHL, J. Influence of collection time and cone specific gravity on the quality of *Pinus maximinoi* H. E. Moore seeds. *Scientia Forestalis*, v. 47, n. 124, p. 714-723, 2019.

BEWLEY, J.D.; BRADFORD, K.J.; HILHORST, H.W.M.; NONOGAKI, H. Seeds: Physiology of Development, Germination and Dormancy. New York, NY: Springer, 2013.

BRASIL, 2022. RENASEM – Registro Nacional de Sementes e Mudas. <https://sistemasweb.agricultura.gov.br/renasem/>

BRASIL. DECRETO Nº 10.586, DE 18 DE DEZEMBRO DE 2020. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2020/decreto/D10586.htm

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. *Regras para análise de sementes*. Brasília, DF, 2009. 398 p.

BRAGA, R.C.; Paludeto, J.G.Z.; Souza, B.M.; Aguiar, A.V.; Pollnow, M.F.M; Carvalho, A.G.M.; Tambarussi, E.V. Genetic parameters and genotype × environment interaction in *Pinus taeda* clonal tests, *Forest Ecology and Management*, v. 474, e-118342, 2020. DOI: 10.1016/j.foreco.2020.118342.

BOGNOLA, I.A.; LAVORANTI, O.J.; HIGA, A.R.; COUTINHO, R.T.; BOBKO, A. JUNIOR, U.R. Dispersão de sementes, regeneração e rebrota de *Pinus taeda* no Planalto Norte do Estado de Santa Catarina, Brasil. DOI: 10.4336/2018.pfb.38e201801651

BOGNOLA, I.A.; DEDECEK, R.A.; LAVORANTI, O.J.; HIGA, A.R. Influência de propriedades físico-hídricas do solo no crescimento de *Pinus taeda*. *Pesquisa Florestal Brasileira*, v. 30, n. 61, p. 37-49, 2010. DOI: 10.4336/2010.pfb.30.61.37

BOGNOLA, I.A. Unidades de manejo para *Pinus taeda* I. no planalto norte catarinense, com base em características do meio físico. Tese de doutorado. Pós-Graduação em Engenharia

Florestal, 2007. http://www.floresta.ufpr.br/pos-graduacao/defesas/pdf_dr/2007/t227_0256-D.pdf

BRUM, E.T. Relações entre a altura dominante e fatores do sítio , em povoamentos de pinus *elliottii* engelm. na região de Ponte Alta do Norte, SC. Dissertação de mestrado em Engenharia Florestal, UFPR, 1979. <https://acervodigital.ufpr.br/bitstream/handle/1884/42041/D%20-%20ELIEGE%20TEREZINHA%20BRUM.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

BRAGA, J.G.Z.P.; SOUZA, B.M.; AGUIAR, A.V.; POLLNOW, M.F.M.; CARVALHO, A.G.M.; TAMBARUSSI, E. V. Genetic parameters and genotype × environment interaction in *Pinus taeda* clonal tests, *Forest Ecology and Management*, v. 474, e118342, 2020. DOI: 10.1016/j.foreco.2020.118342

BRASIL. Ministério Da Agricultura Pecuária e Abastecimento. Gabinete do Ministro. Portaria nº 18 de 25 de Janeiro de 1984. Regulamenta o Decreto 81, 771 de 7 de Janeiro de 1978 e considerando o deliberado na XX Reunião Ordinária da Comissão Nacional de Sementes e Mudas - CONASEM. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 27 dez, 1984.

BRASIL. MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. BRASIL. Regras para Análise de Sementes. Brasília: MAPA, 2009. 395p.

CHHABRA, R.; SINGH, T. Seed aging, storage and deterioration: An irresistible physiological phenomenon. *Agricultural Reviews*, v.40, n.3, 2019.

CENDÁN, C.; SAMPEDRO, L.; ZAS, R. The maternal environment determines the timing of germination in *Pinus pinaster*. *Environmental and Experimental Botany*, 94, 66–72, 2013.

CICERO, S.M. Establishment of seed quality control programs, *Scientia agrícola*, v.55, p.34-38, 1998.

COGO, F.D. *Introdução à revisão sistemática e meta-análise aplicadas à agricultura*. Editora UEMG. 2020. 65p.

COLMER, J.; O'NEILL, C.M.; WELLS, R.; BOSTROM, A.; REYNOLDS, D.; WEBSDALE, D.; SHIRALAGI, G.; LU, W.; LOU, Q.; CORNU, T.L.; BALL, J.; RENEMA, J.; FLORES, G.A.; BENJAMINS, R.; PENFIELD, S.; ZHOU, J. SeedGerm: a cost-effective phenotyping platform for automated seed imaging and machine-learning based phenotypic analysis of crop seed germination. *New Phytologist*, v.228, n.2, p.778-793, 2020.

CONAB – Companhia nacional de abastecimento. Acompanhamento da safra brasileira. Grão safra 22/23 - 2º levantamento 2022, 2022. https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos/item/download/45077_bf66ebb079ea1dafbb9fcd0b884d0e

COOKE, J.; COOKE, B.; GIFFORD, D. Loblolly pine seed dormancy: constraints to germination. *New Forests*, v.23, p.239–256, 2002.

COUTINHO, R.T.; BESPALHOK FILHO, J.C.; FRITSCH NETO, R.; FRIZZO, C. Viabilidade da seleção precoce de *Pinus taeda* L. em diâmetro a altura do peito em programa de melhoramento genético. *Scientia Forestalis*, v.45, n.113, p.205-219, 2017.

COWLEY, J.M.; MCNEIL, D.L.; LUI, K.Y.; BARSBY, J.P.; CIANI, S.; CERNE, V.; BURTON, R.A. Rain events at maturity severely impact the seed quality of psyllium (*Plantago ovata* Forssk.), *Journal of Agronomy and Crop Science*, v.208, n.4, p.567-581, 2022.

DANIEL, I.O. Advances in big data analytics and applications in seed technology. In: TIWARI, A.K. (Ed.) *Advances in Seed Production and Management*, p.419-438, 2020.

DEDECEK, R.A.; FIER, I.S.N.; SPELTZ, R.; LIMA, L.C.S. Influência do sítio no desenvolvimento do *Pinus taeda* L. aos 22 anos: estado nutricional das plantas, *Floresta*, Curitiba, PR, v. 38, n. 2, abr./jun. 2008.

DE PÁDUA, G.P.; DE FRANÇA-NETO, J.B.; CARVALHO, M.; DE LAENE, M.; KRZYZANOWSKI, F.C.; GUIMARÃES, R.M. Incidence of green soybean seeds as a function of environmental stresses during seed maturation. *Rev. Bras. Sementes*, v.31, p.150–159, 2009.

DORNELAS, J. F.; SOARES, G. A.; MANTOVANI, E. C. Physiological quality of seeds of two native tree species subjected to water stress at different phenological stages. *Ciência Florestal*, v.25, n.3, p.745-756, 2015.

DHAKA, N.; SHARMA, R. MicroRNA-mediated regulation of agronomically important seed traits: a treasure trove with shades of grey! *Critical Reviews in Biotechnology*, v.41, n.4, p.594-608, 2021.

DWIVEDI, S.L.; SPILLANE, C.; LOPEZ, F.; AYLE, B.T.; ORTIZ, R. First the seed: Genomic advances in seed science for improved crop productivity and food security. *Crop Science*, v.61, n.3, p.1501-1526, 2021.

EBONE, L.A.; CAVERZAN, A.; CHAVARRIA, G. Physiologic alterations in orthodox seeds due to deterioration processes. *Plant Physiology and Biochemistry*, v.145, p.34-42, 2019.

ELMASRY, G.; MANDOUR, N.; AL-REJAIE, S.; BELIN, E.; ROUSSEAU, D. Recent applications of multispectral imaging in seed phenotyping and quality monitoring - An overview. *Sensors*, v.19, n.5, p.1090, 2019.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 3 ed. Brasília: Embrapa Solos, 2013. 353 p.

FARJAT, A.E.; ISIK, F.; REICH, B.J.; WHETTEN, R.W.; MCKEAND, S.E. Modeling climate change effects on the height growth of loblolly pine, *Forest Science*, v.61, n.4, p.703–715, 2015.

FAO. Planted Forests and Trees Working Papers The Potential for Fast-Growing Commercial Forest Plantations to Supply High Value Roundwood. Forestry department. 2005. Disponível em: <https://www.fao.org/forestry/8949-035048d436d27054de59765e336c75826.pdf>

FERNANDO, D.D. The pine reproductive process in temperate and tropical regions, *New Forests*, v. 45, n.3, 2014.

FINCH-SAVAGE, W.E.; BASSEL, G.W. Seed vigour and crop establishment: extending performance beyond adaptation. *Journal of Experimental Botany*, v.67, n.3, p.567–591, 2015.

FRANÇA-NETO, J.B.; KRZYZANOWSKI, F.C. Tetrazolium: an important test for physiological seed quality evaluation. *Journal of seed science*, v. 41, n.3, 2019.

FRITZSONS, E.; AGUIAR, A.V.; GRABIAS, J.; FREITAS, M.L.M.; WREGGE, M.S.; MANTOVANI, L.E. Zoneamento climático para plantio experimental de *Pinus maximinoi* no Estado de São Paulo. *Pesquisa florestal Brasileira*, v.32, n.69, p. 79-92, 2012.

FOROUGHBAKHCH, R P.; BACÓPULOS, E.M.; BENAVIDES, A.M.; SALAS, L.R.C; NGANGYO, M.H. Ultraviolet radiation effect on seed germination and seedling growth of common species from northeastern Mexico. *Agronomy*, v.9, n.269, e-269, 2019.

GOLLE, D.P.; REINIGER, L.R.S.; CURTI, A.R.; HANAUER, J.G.; WALDOW, D.A.G. Substratos alternativos e tratamentos pré-germinativos na germinação in vitro de sementes de *Pinus taeda* L. *Revista Árvore*, v.34, n.1, 2010.

GAZZONI, D.L.; DALL'AGNOL, A. A saga da soja: de 1050 a.C. a 2050 d.C. Brasília, DF: Embrapa, 199p, 2018. www.embrapa.br/soja/saga-da-soja

GREGORIO, P.R.; MICHAVILA, G.; RICCIARDI, M.L.; SOUZA, B.C.; POMARES, M.F.; SACCOL, S.E.L.; PEREIRA, C.; VINCENT, P.A. Beneficial rhizobacteria immobilized in nanofibers for potential application as soybean seed bioinoculants. *PLoS ONE*, v.12, n.5, e0176930, 2017.

GROOT, S. P. C. Seed maturation and its practical implications. *Seed Science and Technology*, v.50, n.1, p.141-151, 2022.

GONZALEZ-BENECKE, C.A.; MARTIN, T.A.; JOKELA, E.J.; TORRE, R.D.L. A Flexible Hybrid Model of Life Cycle Carbon Balance for Loblolly Pine (*Pinus taeda* L.) *Management Systems. Forests*, v.2, p.749-776, 2011.

HAMPTON, J.G.; BOELT, B.; ROLSTON, M.P.; CHASTAIN, T.G. Effects of elevated CO₂ and temperature on seed quality. *Journal of Agricultural Science*, v.151, n.2, p.154-162, 2013.

HAMPTON, J.G.; CONNER, A.J.; BOELT, B.; CHASTAIN, T.G.; ROLSTON, P. Climate Change: Seed Production and Options for Adaptation. *Agriculture*, v.6, n.33, 2016.

HARZING, A.W. *The publish or perish book*. Melbourne: Tarma Software Research Pty Limited, 2010. 266p.

HE, N.; YOO, S.; MENG, J.; YILDIZ, O.; BRADFORD, P.D.; PARK, S.; GAO, W. Engineering biorefinery residues from loblolly pine for supercapacitor applications, *Carbon*, v.120, p.304-312, 2017.

IBÁ. INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES. Relatório IBÁ 2021 ano base 2020. Brasília, 2021. 176 p.

IBÁ – Indústria Brasileira de Árvores. Dados estatísticos, 2023. Acessado 28/12/2023. Disponível em: <https://www.iba.org/dados-estatisticos>

INMET - Instituto Nacional de Meteorologia. Estação Meteorológica de Observação de Superfície Automática, Brasília, DF, Brasil. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=estacoes/estacoesAutomaticas> Acesso em: Agosto de 2022.

ISTA - International Seed Testing Association. 2020. International Rules for Seed Testing. ISTA, Bassersdorf, Germany.

JARECKI, W. Soybean response to seed coating with chitosan + alginate/PEG and/or inoculation. *Agronomy*, v.11, n.9, p.1737, 2021.DOI: 10.3390/agronomy11091737

JESUS, M.A.; REIS, V.M.A.; SAMPAIO, F.R.; POSSE, F.L.; BARBOSA, R.M. Quality control charts in the processing of soybean seeds, *Journal of Seed Science*, v.43, 2021.

KAPADIA, V.; SASIDHARAN, N.; KALYANRAO, P. Seed image analysis and its application in seed science research. *Advances in Biotechnology & Microbiology*, v.7, n.2, p.555709, 2017.

KAMESWARA RAO, N.; DULLOO, M.E.; ENGELS, J.M.M. A review of factors that influence the production of quality seed for long-term conservation in genebanks. *Genet Resour Crop Evol* , v.64, p.1061–1074, 2017.

KARLSSON C, ORLANDER G. Mineral nutrients in needles of *Pinus sylvestris* seed trees after release cutting and their correlations with cone production and seed weight. *For Ecol Manag* v.166: p.183–191, 2002.

KATARIA, S.; BAGHEL, L.; GURUPRASAD, K.N. Pre-treatment of seeds with static magnetic field improves germination and early growth characteristics under salt stress in maize and soybean. *Biocatalysis and agricultural biotechnology*, v.10, p.83–90, 2017.

KHOMARI,S.; GOLSHAN-DOUST, S.; SEYED-SHARIFI, R.; DAVARI, M. Improvement of soybean seedling growth under salinity stress by biopriming of high-vigour seeds with salt-tolerant isolate of *Trichoderma harzianum*. *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science*, v.46, n.2, p.117-132, 2018.

KOFSKY, J.; ZHANG, H.; SONG, B-H. Genetic architecture of early vigor traits in wild soybean. *International Journal of Molecular Sciences*, v.21, n.9, p.3105, 2020.

KORALEWSKI, T.E.; WANG, H.-H.; GRANT, W.E.; BYRAM, T.D. Plants on the move: Assisted migration of forest trees in the face of climate change. *Forest Ecology and Management*, v.344, p.30–37, 2015.

KULMANN, M.S.D.S.; DICK, G.; VALDIR SCHUMACHER, M. Litterfall and accumulated nutrients in *Pinus taeda* plantation and native forest in southern Brazil. *Forests*, v.12, n.1791, 2021.

KUMARI, S.; CHOUDHARY, R.C.; KUMARASWAMY, R.V.; BHAGAT, D.; PAL, A.; RALIYA, R.; BISWAS, P.; SAHARAN, V. Zinc-functionalized thymol nanoemulsion for promoting soybean yield. *Plant Physiology and Biochemistry*, v.145, p.64-74, 2019.

KUMAR, S.; THAKUR, M.; MITRA, R.; BASU, S.; ANAND, A. Sugar metabolism during pre- and post-fertilization events in plants under high temperature stress. *Plant Cell Rep.* v.41, n.3, p.655-673, 2021.

KUSUMANINGRUM, D.; LEE, H.; LOHUMI, S.; MO, C.; KIM, M.S.; CHO, B. Non-destructive technique for determining the viability of soybean (*Glycine max*) seeds using FT-NIR spectroscopy. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, v.98, n.5, p.1734-1742, 2017.

LARIOS, G. S.; NICOLODELLI, G.; SENESI, G.S.; RIBEIRO, M.C.S.; XAVIER, A.A.P.; MILORI, D.M.B.P.; ALVES, C.Z.; MARANGONI, B.S.; CENA, C. Laser-induced breakdown spectroscopy as a powerful tool for distinguishing high-and low-vigor soybean seed lots. *Food Analytical Methods*, v.13, n.9, p.1691-1698, 2020b.

LARIOS, G.; NICOLODELLI, G.; RIBEIRO, M.; CANASSA, T.; REIS, A.R.; OLIVEIRA, S.L.; ALVES, C.Z.; MARANGONIA, B.S.; CENA, C. Soybean seed vigor discrimination by using infrared spectroscopy and machine learning algorithms. *Analytical Methods*, v.12, n.35, p.4303-4309, 2020a.

LARIOS, G.; NICOLODELLI, G.; RIBEIRO, M.; CANASSA, T.; REIS, A.R.; OLIVEIRA, S.L.; ALVES, C.Z.; MARANGONIA, B.S.; CENA, C. Soybean seed vigor discrimination by using infrared spectroscopy and machine learning algorithms. *Analytical Methods*, v.12, n.35, p.4303-4309, 2020a.

LI, X.; HE, Z.; LIU, F.; CHEN, R. Fast identification of soybean seed varieties using laser-induced breakdown spectroscopy combined with convolutional neural network. *Frontiers in Plant Science*, p.2180, 2021.

LENZI, 2022. Reportagem. madeiratotal.com.br/westrock-inova-com-plantio-clonal-de-pinus-taeda-em-escala-operacional-em-suas-florestas-plantadas/

LEAL-SÁENZ, A.; WARING, K.M.; ÁLVAREZ-ZAGOYA, R.; HERNÁNDEZ-DÍAZ, J.C.; LÓPEZ-SÁNCHEZ, C.A.; MARTÍNEZ-GUERRERO, J.H.; WEHENKEL, C. Assessment and models of insect damage to cones and seeds of *Pinus strobiformis* in the Sierra Madre occidental, Mexico. *Frontiers Plant Science*, v.29, n.12, p.628795, 2021.

LINKIES, A.; GRAEBER, K.; KNIGHT, C.; LEUBNER-METZGER, G. The evolution of seeds. *New Phytol.* V.186, p.817–831, 2010.

LOUWAARS, N.; JONGE, B. Regulating seeds a challenging task. *Agronomy*, v.11, n.11, p. 2324, 2021.

LU, M.; LOOPSTRA, C.A.; KRUTOVSKY, K.V. Detecting the genetic basis of local adaptation in loblolly pine (*Pinus taeda* L.) using whole exome-wide genotyping and an integrative landscape genomics analysis approach, *Ecology and evolution*, 2019.

LU, M.; KRUTOVSKY, K.V.; LOOPSTRA, C.A. Predicting Adaptive Genetic Variation of Loblolly Pine (*Pinus taeda* L.) Populations under projected future climates based on multivariate models, *Journal of Heredity*, v.110, n.7, p.857–865, 2019.

MAGALHÃES, W.L. As florestas plantadas oferecem mais do que madeira e energia, reportagem revista Gazeta do Povo. Disponível em: <https://www.gazetadopovo.com.br/economia/energia-e-sustentabilidade/as-florestas-plantadas-oferecem-mais-do-que-madeira-e-energia-b9cde0zom7g2b3r27whkymw13/>

MALTA, D.S.; LIMA, G.G.; ARANTES, M.S.T.; LACERDA, A.E.B.; MATHIAS, A.L.; MAGALHÃES, W.L.E.; MASSON, M.L. Linking geographical origin with nutritional, mineral, and visual properties of pinhão (*Araucaria angustifolia* seed) from the south of Brazil. *Journal of food science*, v.87, n.10, p.4738-4750, 2022.

MATALLANA-RAMIREZ, L.P.; WHETTEN, R.W.; SANCHEZ, G.M.; PAYN, K.G. Breeding for Climate Change Resilience: A Case Study of Loblolly Pine (*Pinus taeda* L.) in North America. *Front. Plant Sci.*, v.12, e606908, 2021.

MAMLIC, Z.; MAKSIMOVIC, I.; CANAK, P.; MAMLIC, G.; DJUKIC, V.; VASILJEVIC, S.; DOZET, G. The use of electrostatic field to improve soybean seed germination in organic production. *Agronomy*, v.11, n.8, p.1473, 2021.

MAPA. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento [MAPA]. 1984. Ordinance nº 18, January 25, 1984 = Portaria nº 18, de 25 de janeiro de 1984. MAPA, Brasília, DF, Brazil. Available at: https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/insumos-agropecuarios/insumos-agricolas/sementes-e-mudas/publicacoes-sementes-e-mudas/PortariaN18de25dejaneirode1984_Florestais_Padres.pdf

MARCOS-FILHO, J. Testes de vigor: importância e utilização. In: Francisco Carlos Krzyzanowski; Roberval Daiton Vieira; José de Barros França-Neto; Julio Marcos-Filho. (Org.). *Vigor de sementes: conceitos e testes*. 2ed. Londrina: ABRATES, 2020, p.16-76.

MARCOS-FILHO, J. Fisiologia de sementes de plantas cultivadas. ABRATES, 2020.

MARCOS-FILHO, 2015. Seed vigor testing: an overview of the past, present and future perspective. *Scientia Agricola*, v.72, n.4, p.363-374, 2015.

MAXIMO, Y.I.; HASSEGAWA, M.; VERKERK, P.J.; MISSIO, A.L. Forest Bioeconomy in Brazil: potential innovative products from the forest sector. *Land*, v.11, p.1297, 2022.

MATZIRIS, D. Genetic variation in cone and seed characteristics in a clonal seed orchard of Aleppo pine grown in Greece. *Silvae Genetica*, v.47, ed.1, p.34-41, 1998.

MEDEIROS, A.D.; CAPOBIANGO, N.P.; SILVA, J. M.; SILVA, L.J.; SILVA, C.B.; DIAS, D.C.F.S. Interactive machine learning for soybean seed and seedling quality classification. *Scientific Reports*, v.10, n.1, p.1-10, 2020b. DOI: 10.1038/s41598-020-68273-y

MEDEIROS, A.D.; SILVA, L.J.; SILVA, J.M.; DIAS, D.C.F.S.; PEREIRA, M.D. IJCropSeed: an open-access tool for high-throughput analysis of crop seed radiographs. *Computers and Electronics in Agriculture*, v.175, p.105555, 2020a. DOI: 10.1016/j.compag.2020.105555

MENDES, C.V.T.; MOREIRA, R.; PORTUGAL, A.; CARVALHO, M.G.V.S. Biorefining of *Pinus pinaster* stump wood for ethanol production and lignin recovery, *Chemical engineering and technology*. v.44, n.6, p. 1043-1050, 2021.

MENEGAZ, W. Importância do profissional no setor sementeiro. Palestra ministrada no 21º Congresso Brasileiro de sementes. <https://www.cbsementes.com/palestras>

MENEZES, L.F.G., SADER, R., BORGHETTI, F.; SILVA, J.A.A. Nitrogen fertilization on the production and quality of *Eucalyptus grandis* seeds. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.50, n.9, p.841-848, 2015.

MICHALAK, I; LEWANDOWSKA, S.; NIEMCZYK, K.; DETYNA, J.;BUJAK, H. ARIK, P.; BARTNICZAK, A. Germination of soybean seeds exposed to the static/alternating magnetic field and algal extract. *Engineering in Life Science*, v.19, p. 986– 999, 2019.

MICHELON, T.B.; SANTOS, F.S.; BELNIAKI, A.C.; VIEIRA, E.S.N.; PANOBIANCO, M. Time reduction to evaluate *Pinus taeda* seeds germination by time-to-event analysis. *Note Scientia agrícola*, v.79, n.6, 2022.

MICHELON, T.; VIEIRA, E.S.N.; PANOBIANCO, M. Spectral imaging and chemometrics applied at phenotyping in seed science studies: A systematic review. *Seed Science Research*, p.1-14, 2023.

MOHANAPRIYA, G.; BHARADWAJ, R.; NOCEDA, C.; COSTA, J.H.; KUMAR, S.R.; SATHISHKUMAR, R.; THIERS, K.L.L.; SANTOS MACEDO, E.; SILVA, S.; ANNICCHIARICO, P.; GROOT, S.P.C.; KODDE, J.; KUMARI, A.; GUPTA, K.J.; ARNHOLDT-SCHMITT, B. Alternative oxidase (AOX) senses stress levels to coordinate auxin-induced reprogramming from seed germination to somatic embryogenesis – a role relevant for seed vigor prediction and plant robustness. *Frontiers in Plant Science*, p.1134, 2019.

MONDAL, S.; RAMANIK, K.; PANDA, D.; DUTTA, D.; KARMAKAR, S.; BOSE, B. Sulfur in Seeds: An Overview. *Plants*, v.11, n.3, p.450, 2022.

MORA, A.L.; PINTO JR, J.E.; FONSECA, S.M.; KAGEYAMA, P.Y. Aspectos da produção de sementes de espécies florestais, Instituto de pesquisas e estudos florestais, IPEF-Série técnica, v.2, n.6, p.1-60, 1981.

MORTENSEN, A.K.; GILSUM, R.; JØRGENSEN, J.R.; BOELT, B. The use of multispectral imaging and single seed and bulk near-infrared spectroscopy to characterize seed covering structures: Methods and applications in seed testing and research. *Agriculture*, v.11,n.4, p.301, 2021.

NAZARI, R.; PARSA, S.; AFSHARI, R.T.; MAHMOODI; SEYYEDI, S.M. Salicylic acid priming before and after accelerated aging process increases seedling vigor in aged soybean seed. *Journal of Crop Improvement*, v.34, n.2, p.218-237, 2019.

NITSCHKE, P.R.; CARAMORI, P.H.; RICCE, W.S.; PINTO, L.F.D. Atlas climático do Estado do Paraná. IAPAR. 2019. Disponível em: <https://www.idrparana.pr.gov.br/system/files/publico/agrometeorologia/atlas-climatico/atlas-climatico-do-parana-2019.pdf>

NEALE, D. B., WEGRZYN, J. L., STEVENS, K. A., ZIMIN, A. V., PUIU, D., CREPEAU, M. W., LANGLEY, C. H. Decoding the massive genome of loblolly pine using haploid DNA and novel assembly strategies. *Genome Biology*, v.15, n.3, R59. 2014.

OLIVEIRA, L.K.F.; NOGUEIRA, A.C.; HIGA, A.R. Produtividade de cones e sementes em um pomar clonal de *Pinus taeda*, *Advances in Forestry Science*, v.5, n.2, p.293-298, 2018.

PAGE, M.J.; MOHER, D.; BOSSUYT, P.M.; BOUTRON, I.; HOFFMANN, T.C.; MULROW, C.D. PRISMA 2020 explanation and elaboration: updated guidance and exemplars for reporting systematic reviews. *BMJ*, v.372, n.160, 2021.

PARISI, J.J.D.; SANTOS, A.F.; BARBEDO, C.J.; MEDINA, P.F. Patologia de sementes florestais: danos, detecção e controle, uma revisão, *Summa Phytopathologica*, v. 45, n. 2, p. 129-133, 2019.

PAUL, S.; RAKSHIT, A. Effect of seed bio-priming with *Trichoderma viride* Strain BHU-2953 for enhancing soil phosphorus solubilization and uptake in soybean (*Glycine max*). *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, v.21, p.1041–1052, 2021.

PERDUE, J.H.; STANTURF, J.A.; YOUNG, T.M.; HUANGC , X.; DOUGHERTYD , D.; PIGOTTD , M.; GUO, Z. Profitability potential for *Pinus taeda* L. (loblolly pine) short-rotation bioenergy plantings in the southern USA. *Forest Policy and economics*, v.83, p.146-155, 2017.

PEREIRA, D.F; BUGATTI, P.H.; LOPES, F.M.; SOUZA, A.L.S.M.; SAITO, P.T.M. Assessing active learning strategies to improve the quality control of the soybean seed vigor. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, v.68, n.2, p.1675-1683, 2020.

PÉREZ-PIZÁ, M.C; PREVOSTO, L.; GRIJALBA, P.E.; ZILLI, C.G.; CEJAS, E.; MANCINELLI, B.; BALESTRASSE, K.B. Improvement of growth and yield of soybean plants through the application of non-thermal plasmas to seeds with different health status. *Heliyon*, v.5, n.4, e01495, 2019.

PICHELLI, K. Pinus. Transferência de tecnologia florestal. Maio/2020. Disponível em: <https://www.embrapa.br/en/florestas/transferencia-de-tecnologia/pinus/perguntas-e-respostas#:~:text=O%20g%C3%AAnero%20Pinus%20apresenta%20mais,Sul%20e%20Sudeste%20do%20pa%C3%ADs.>

PORTO, C.L.; ZIUZINA, D.; LOS, A.; BOEHM,D.; PALUMBO, F.; FAVIA, P.; TIWARI,B.; BOURKE,P.; CULLEN, P.J. Plasma activated water and airborne ultrasound treatments for enhanced germination and growth of soybean. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, v.49, p.13-19, 2018.

QUEIROZ REGO, C. H.; CARDOSO, F.B.; CÂNDIDO, A.C.S.; TEODORO, P.E.; ALVES, C.Z. Co-inoculation with and increases yield and quality of soybean seeds. *Agronomy Journal*, v.110, n.6, p.1-8, 2018.

- RANAL, M.A.; SANTANA, D.C. How and why to measure the germination process? *Brazilian Journal Botany*, v.29, n.1, 2006.
- RAJANI, K.; KUMAR, R.R.; RANJAN, T.; KUMAR, A. Global approaches for identification of markers of seed quality. *International Journal of Advances in Agricultural Science and Technology*, v.4, n.4, p.29-43, 2017.
- RAO, N.K.; DULLOO, M.E.; ENGELS, J.M.M. A review of factors that influence the production of quality seed for long-term conservation in genebanks. *Genetic Resources and Crop Evolution*, v.64, n.5, p.1061-1074, 2017.
- RASHEED, A.; YUHONG, G.; ZHOU, Z.; GARDINER, J.J.; ILYAS, M.; PIWU, W.; GILLANI, S.F.G.; BATOOL, M.; JIAN, W. Role of conventional and molecular techniques in soybean yield and quality improvement: A critical review. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, v.49, n.4, p.12555-12555, 2021.
- RATAJCZAK, E.; MAŁECKA, A.; CIERESZKO, I.; STASZAK, A.M. Mitochondria are important determinants of the aging of seeds. *International Journal of Molecular Sciences*, v.20, n.7, p.1568, 2019.
- REED, R. C.; BRADFORD, K. J.; KHANDAY, I. Seed germination and vigor: ensuring crop sustainability in a changing climate. *Heredity*, v.128, p.450-459, 2022.
- RENASSEM. Registro Nacional de Sementes e Mud. 2023. Disponível em: <https://sistemasweb.agricultura.gov.br/renasem>
- RIIKONEN, J.; LUORANEN, J. Seedling production and the field performance of seedlings. *Forests*, v.9, n.12, p.740, 2018.
- RHAMAN, A.; CHO, B. Assessment of seed quality using non-destructive measurement techniques: a review. *Seed Science Research*,
- RIFNA, E.J.; RAMANAN, K.R.; MAHENDRAN, R. Emerging technology applications for improving seed germination. *Trends in Food Science & Technology*, v.86, p.95-108, 2019.
- ROSSI, R.F.; CAVARIANI, C.; FRANÇA-NETO, J.B. Vigor de sementes, população de plantas e desempenho agrônomo de soja. *Revista de ciências agrárias*, v. 60, n. 3, 2017.
- SALEHANI, M.K.; MAHMOUDI, J.; MAHDAVI, S.K.H.; HABIBZADEH, R. The effect of altitude on breaking seed dormancy and stimulation of seed germination of Persian hogweed (*Heracleum persicum*). *Afr J Tradit Complement Altern Med.*, v.10, n.6, p.555-558, 2013.

SANO, N.; RAJJOU, L.; NORTH, H.M. Lost in translation: Physiological roles of stored mRNAs in seed germination. *Plants*, v.9, n.3, p.347, 2020.

SANTOS, V.M. Enraizamento de estacas de *Pinus taeda* L. a partir de jardim clonal formado com mudas obtidas por embriogênese somática. Especialista em Gestão Florestal no curso de Pós-Graduação em Gestão Florestal do Departamento de Economia Rural e Extensão, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

SCHONS, C.T.; COSTA, E.A.; FINGER, C.A.G. The influence of competition in the growth-climate relationship of *pinus taeda*: a case study in southern brazil, *Floresta*, v. 49, n. 3, p. 513-522, 2019.

SECEX - Secretaria de Comércio Exterior. Publicação Semanal. Balança Comercial Brasileira. 1º semana de janeiro de 2023. Disponível em: <https://balanca.economia.gov.br/balanca/semanal/Nota.pdf>

SHARMA, M.; KAUSHIK, P.; CHAWADE, A. Frontiers in the solicitation of machine learning approaches in vegetable science research. *Sustainability*, v.13, n.15, p.8600, 2021.

SHIMIZU, J.Y. Pínus na silvicultura brasileira. Colombo : Embrapa Florestas, 2008. 223 p.

SHETEIWY M.S.; ABD ELGAWAD, H.; XIONG, Y.C.; MACOVEI, A.; BRESTIC, M.; SKALICKY, M.; SHAGHALEH, H.; ALHAJ HAMOUD, Y.; EL-SAWAH, A.M. Inoculation with *Bacillus amyloliquefaciens* and mycorrhiza confers tolerance to drought stress and improve seed yield and quality of soybean plant. *Physiologia Plantarum*, v.172, n.4, p.2153-2169, 2021.

SILVA, C.B.; OLIVEIRA, N.M.; CARVALHO, M.E.A.; MEDEIROS, A.D.; NOGUEIRA, M.L.; REIS, A.R. Autofluorescence-spectral imaging as an innovative method for rapid, non-destructive and reliable assessing of soybean seed quality. *Scientific Reports*, v.11, n.1, p.1-12, 2021b.

SILVA, J.G.; GADOTTI, G.I.; MORAES, D.M.; SILVA, A.H.M.; CAVALCANTE, J.A.; MENEGHELLO, G.E. Equipment to assess vigor in soybean seeds using CO2 produced during respiration. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.25, p.353-358, 2021a.

SIVACIOĞLU, A. Genetic variation in seed and cone characteristics in a clonal seed orchard of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) grown in Kastamonu-Turkey, *Romanian Biotechnological letters*, v.16, n.6, 2010.

SILVEIRA, V.; BALBUENA, T.S.; SANTA-CATARINA, C.; FLOH, E.I.S.; GUERRA, M.P.; HANDRO, W. Biochemical changes during seed development in *Pinus taeda* L.. *Plant Growth Regulation*, v.44, p.147–156 2004.

SMOLIKOVA, G.; GORBACH, D.; LUKASHEVA, E.; MAVROPOLO-STOLYARENKO, G.; BILOVA, T.; SOBOLEVA, A.; TSAREV, A.; ROMANOVSKAYA, E.; PODOLSKAYA, E.; ZHUKOV, V.; TIKHONOVICH, I.; MEDVEDEV, S.; HOEHENWARTER, W.; FROLOV, A. Bringing new methods to the seed proteomics platform: challenges and perspectives. *International Journal of Molecular Sciences*, v.21, n.23, p.9162, 2020.

SOOGANNA, S.K.; LAMICHANEY, J.A.; ANAND,S.S.; LAL, S.K. Tocopherols and antioxidants assay to understand the mechanism of soybean seed longevity. *Legume Research - An International Journal*, v.1, p.7, 2021.

SOUZA, B.M.; AGUIAR, A.V.; DAMBRAT, H.M.; GALUCHA, S.C.; TAMBARUSSI, E.V.; SESTREM, M.S.C.; TOMIGIAN, D.S.; FREITAS, M.L.M; VENSON, I.; TORRES-DINI, D.; LONGUI, E.L. Effects of previous land use on genotype-by-environment interactions in two loblolly pine progeny tests, *Forest Ecology and Management*, v. 503, 2022.

ŠVUBOVÁ, R.; SLOVÁKOVÁ, Ľ.; HOLUBOVÁ, Ľ.; ROVŇANOVÁ, D.; GÁLOVÁ, E.; TOMEKOVÁ, J. Evaluation of the impact of cold atmospheric pressure plasma on soybean seed germination. *Plants*, v.10, n.1, p.177, 2021.

SUN, Q.; WANG, J. H.; SUN, B.Q. Advances on seed vigor physiological and genetic mechanisms. *Agric. Sci. China* v.6, p.1060–1066, 2007.

TAVANTI, T.R.; TAVANTI, R.F.R.; GALINDO, F.S.; SIMÕES, L; DAMETO, L.S.; SÁ, M.E. Yield and quality of soybean seeds inoculated with *Bacillus subtilis* strains. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.24, n.1, 2020.

TAYLOR, A.G.; AMIRKHANI, M.; HILL, H. Modern seed technology. *Agriculture*, v.11, n.7, p.630, 2021. DOI: 10.3390/books978-3-0365-1769-8

UMARANI, R.; BHASKARAN, M.; VANITHA, C.; TILAK, M. Fingerprinting of volatile organic compounds for quick assessment of vigour status of seeds. *Seed Science Research*, v.30, n.2, p.112-121, 2020. DOI: 10.1017/S0960258520000252

USDA - United States Department of agriculture. World Agricultural Production. Circular series, december, 2022. Disponível em: <https://apps.fas.usda.gov/psdonline/circulars/production.pdf>

- VIVIAN, M.A.; DOBNER JÚNIOR, M.; MODES, K. S.; BELINI, U.L.; VAZ, D.R. 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*, v.32, n.2, 573–596, 2022.
- VOGEL, J.T.; LIU, W.; OLHOFT, P.; CRAFTS-BRANDER, S.J.; PENYCOOKE, J.C.; CRISTHIANSEN, N. Soybean yield formation physiology – a foundation for precision breeding based improvement. *Frontiers in Plant Science*, v.12, 2021.
- WEERASEKARA, I.; SINNIHAH, U.R.; NAMASIVAYAM, P.; NAZLI, M.H.; ABDURAHMAN, S.A.; GHAZALI, M.N. The influence of seed production environment on seed development and quality of soybean (*Glycine max* (L.) Merrill). *Agronomy*, v.11, p.1430, 2021.
- WILLIAMS, C.G. Pollination and Fertilization. *Conifer Reproductive Biology*, p.91–105, 2009.
- WREGE, M. S. STEINMETZ, S.; REISSER JUNIOR, C.; ALMEIDA, I. R. de. Atlas climático da região Sul do Brasil: Estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul. Pelotas: Embrapa Clima Temperado; Colombo: Embrapa Florestas, 2011. 336 p.
- WULFF, R.D. Environmental maternal effects on seed quality and germination. Kigel J. & Galili G. Seed development and germination Marcel Dekker New York, 1995.
- WENGER, K.F. Silvical characteristics of loblolly pine. Station Paper n. 98. *Southeastern Forest Experiment Station*, 1985. Disponível em: <https://www.dnr.sc.gov/marine/mrri/acechar/speciesgallery/Plants/LoblollyPine/index.html>
- WRIGHT, M. C., VAN MANTGEM, P., STEPHENSON, N. L., DAS, A. J., & KEELEY, J. E. Seed production patterns of surviving Sierra Nevada conifers show minimal change following drought. *Forest Ecology and Management*, 480, 118598, 2021.
- WU, X.; NING, F.; HU, X.; WANG, W. Genetic modification for improving seed vigor is transitioning from model plants to crop plants. *Frontiers in Plant Science*, v.8, p.8, 2017.
- XAVIER, L.; BARRENENGOA, M.; DIESTE, A. et al. Valorization of *Pinus taeda* bark: source of phenolic compounds, tannins and fuel. *European Journal of Wood Products*, v.79, p.1067–1085, 2021.
- XIA, Y.; XU, Y.; LI, J.; ZHANG, C.; FAN, S. Recent advances in emerging techniques for non-destructive detection of seed viability: A review. *Artificial Intelligence in Agriculture*, v.1, p.35–47, 2019.

XIAO, Q.; BAI, X.; ZHANG, C.; YONG, H. Advanced high-throughput plant phenotyping techniques for genome-wide association studies: A review. *Journal of Advanced Research*, v.35, p.215-230, 2022.

YAMAKAWA; C. K.; D'IMPERIO, I.; BONFIGLIO, F.; MUSSATTO, S.I. Valorization of *Pinus taeda* hemicellulosic hydrolysate for the production of value-added compounds in an ethanol biorefinery, *Fuel*, v.315, n.15, 2022.

YAKOVLEV, I., FOSSDAL, C. G., SKRØPPA, T., OLSEN, J. E., JAHREN, A. H., & JOHNSEN, Ø. An adaptive epigenetic memory in conifers with important implications for seed production. *Seed Science Research*, v.22, n.2, p.63–76, 2012.

YEATES, S.J., LAWN, R.J., AND ADKINS, S.W. Prediction of weather damage of mungbean seed in tropical Australia: I. relation between seed quality, weather, and reproductive development. *Australian Journal of Agricultural Research*, v.51. p.637-648, 2000.

YOON S. H.; MACEWAN K.; HEININGEN, A. V. Hot-water pre-extraction from loblolly pine (*Pinus taeda*) in an integrated forest products biorefinery, *Tappi. J.*2008762732

ZAS, R.; CENDÁN, C.; SAMPEDRO, L. Mediation of seed provisioning in the transmission of environmental maternal effects in Maritime pine (*Pinus pinaster* Aiton). *Heredity*, v.111, p.248–255, 2013.

7. APÊNDICES

APÊNDICE 1. Tabela dos coeficientes calculados, utilizados na equação de regressão linear múltipla para o cálculo de temperatura máxima de cada local de produção de sementes de *P. taeda*.

Coeficientes da temperatura máxima													
Ano	Coef	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
2004	A	0,20	28,21	11,41	20,46	46,88	18,57	25,45	17,10	18,05	24,23	29,71	21,68
2004	B	0,60	0,75	0,41	0,38	0,64	-0,01	0,68	0,32	0,78	0,85	0,88	0,84
2004	C	-0,82	-0,32	-0,47	-0,25	0,26	0,04	-0,18	-0,17	-0,48	-0,40	-0,33	-0,50
2004	B	-0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-0,01	-0,01	-0,01
2004	r2	0,98	0,99	0,98	0,99	1,00	0,99	0,99	0,96	0,98	1,00	0,98	1,00
2005	a	20,53	14,04	31,02	38,88	23,51	14,88	41,98	17,21	57,52	37,51	13,54	13,70
2005	b	0,63	0,51	0,67	0,79	0,30	0,11	0,14	-0,35	1,12	0,83	0,29	0,43
2005	c	-0,44	-0,55	-0,25	-0,11	-0,09	-0,16	0,44	0,16	0,22	-0,11	-0,36	-0,45
2005	b	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-0,01
2005	r2	0,99	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,98	0,76	0,97	0,95	0,96	0,98
2006	a	75,58	72,40	64,67	74,53	97,83	73,34	60,51	102,35	59,68	51,60	71,34	55,16
2006	b	1,86	2,07	2,14	2,94	3,37	2,69	3,28	3,56	3,05	3,05	2,97	1,99
2006	c	0,04	-0,13	-0,32	-0,44	-0,07	-0,25	-0,80	-0,11	-0,75	-0,98	-0,56	-0,46
2006	b	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-0,01
2006	r2	0,72	0,61	0,59	0,59	0,70	0,54	0,55	0,65	0,67	0,69	0,72	0,64
2007	a	33,94	66,76	84,78	80,04	92,06	96,36	92,01	85,96	87,95	102,75	58,29	59,59
2007	b	1,53	2,28	2,42	2,49	2,79	3,26	3,27	3,61	3,57	3,58	2,64	2,47
2007	c	-0,67	-0,36	-0,05	-0,13	0,08	-0,05	-0,10	-0,47	-0,49	-0,23	-0,67	-0,57
2007	b	-0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-0,01	0,00
2007	r2	0,62	0,67	0,62	0,69	0,74	0,59	0,64	0,66	0,66	0,74	0,65	0,62
2008	a	116,21	132,80	113,98	85,81	104,76	108,99	124,93	112,97	110,90	98,18	100,39	102,15
2008	b	-0,54	-0,42	0,18	0,62	0,52	1,26	0,90	0,93	1,29	1,25	1,19	0,74
2008	c	2,08	2,35	1,70	0,88	1,40	1,17	1,65	1,34	1,12	0,84	0,90	1,11
2008	b	0,00	0,00	0,00	-0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2008	r2	0,25	0,27	0,12	0,39	0,32	0,36	0,21	0,33	0,39	0,45	0,45	0,34
2009	a	64,15	99,12	99,32	107,74	138,13	122,73	118,93	145,23	122,29	99,25	88,36	106,56
2009	b	-0,01	0,34	0,34	0,53	0,81	0,95	1,26	0,74	1,32	0,84	0,08	0,28
2009	c	0,70	1,23	1,22	1,36	1,93	1,61	1,37	2,11	1,32	1,08	1,12	1,40
2009	b	-0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-0,01	0,00
2009	r2	0,34	0,39	0,37	0,36	0,48	0,32	0,51	0,34	0,54	0,36	0,39	0,39
2010	a	101,61	122,42	108,41	94,67	118,14	102,03	138,69	147,60	127,70	118,09	119,37	108,07
2010	b	0,13	0,11	0,47	0,65	0,67	0,91	1,17	1,12	1,18	1,05	0,48	0,53
2010	c	1,38	1,79	1,36	1,06	1,59	1,18	1,79	1,98	1,49	1,34	1,58	1,33
2010	b	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-0,01	0,00
2010	r2	0,41	0,44	0,39	0,40	0,54	0,35	0,53	0,41	0,52	0,43	0,41	0,44
2011	a	124,51	118,08	58,58	85,89	99,29	90,42	105,36	127,11	139,60	85,40	96,49	93,99
2011	b	0,14	0,48	0,47	0,43	0,71	0,98	1,10	1,54	1,40	0,59	0,51	0,63
2011	c	1,83	1,54	0,41	0,97	1,18	0,93	1,15	1,37	1,64	0,88	1,14	0,99
2011	b	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2011	r2	0,39	0,45	0,27	0,34	0,42	0,31	0,41	0,45	0,43	0,36	0,33	0,36
2012	a	67,40	104,20	99,46	100,34	98,19	71,95	98,74	102,06	115,71	127,87	89,59	100,81
2012	b	-0,07	0,14	0,16	0,57	0,41	0,88	1,03	0,66	0,98	1,23	0,31	0,30
2012	c	0,79	1,39	1,31	1,19	1,31	0,59	1,06	1,23	1,32	1,41	1,07	1,26
2012	b	-0,01	-0,01	-0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2012	r2	0,32	0,35	0,31	0,39	0,39	0,32	0,37	0,29	0,36	0,46	0,32	0,32
2013	a	77,83	93,89	81,49	88,86	113,96	83,37	91,91	113,54	91,23	73,65	87,20	102,05
2013	b	0,12	0,17	0,54	0,44	0,69	0,65	0,51	1,20	0,95	0,70	0,55	0,39

2013	c	0,92	1,20	0,80	1,04	1,49	0,91	1,17	1,23	0,88	0,59	0,92	1,25
2013	B	-0,01	-0,01	-0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2013	r2	0,33	0,35	0,39	0,30	0,44	0,40	0,24	0,35	0,35	0,35	0,34	0,33
2014	A	127,11	113,21	84,49	81,50	109,13	103,76	97,14	140,09	109,52	117,68	81,26	78,64
2014	B	0,10	0,11	0,29	0,57	0,54	0,98	0,68	0,96	0,85	0,93	0,52	0,29
2014	C	1,88	1,58	0,96	0,81	1,45	1,16	1,19	1,89	1,27	1,34	0,80	0,83
2014	B	0,00	-0,01	-0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-0,01
2014	r2	0,37	0,36	0,32	0,38	0,48	0,45	0,33	0,33	0,40	0,37	0,33	0,35
2015	A	123,72	84,78	59,80	68,99	77,11	88,53	122,02	112,94	105,49	99,74	79,11	74,46
2015	b	0,35	0,08	0,13	0,65	0,62	0,87	0,30	0,43	0,92	1,36	0,74	0,15
2015	c	1,68	1,05	0,54	0,52	0,77	0,92	1,92	1,54	1,12	0,81	0,68	0,82
2015	b	0,00	-0,01	-0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-0,01
2015	r2	0,43	0,35	0,29	0,38	0,47	0,35	0,26	0,28	0,46	0,52	0,44	0,34
2016	a	76,02	91,61	83,65	107,82	89,00	90,66	116,23	115,83	115,41	102,07	100,02	94,68
2016	b	0,02	0,11	0,44	0,55	0,69	0,87	0,86	0,94	0,77	0,91	0,58	0,33
2016	c	0,92	1,17	0,86	1,32	1,01	1,01	1,50	1,43	1,46	1,07	1,17	1,14
2016	b	0,00	0,00	-0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2016	r2	0,30	0,36	0,36	0,32	0,47	0,30	0,29	0,32	0,31	0,39	0,30	0,34
2017	a	82,29	103,80	74,33	85,92	90,28	92,92	103,97	89,67	124,61	110,55	85,82	88,23
2017	b	-0,06	-0,05	0,47	0,48	0,61	0,64	0,36	0,74	0,73	0,67	0,35	0,09
2017	c	1,07	1,47	0,67	0,96	1,04	1,12	1,48	0,98	1,61	1,35	0,98	1,14
2017	b	0,00	-0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2017	r2	0,26	0,35	0,26	0,34	0,49	0,30	0,20	0,28	0,28	0,35	0,29	0,28
2018	a	91,05	96,70	114,81	92,02	111,09	113,00	99,64	132,90	114,25	90,45	82,04	87,15
2018	b	0,09	0,23	0,53	0,22	0,52	1,00	0,82	0,89	0,87	1,03	0,41	0,12
2018	c	1,19	1,26	1,45	1,18	1,49	1,35	1,14	1,79	1,37	0,80	0,87	1,05
2018	b	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-0,01
2018	r2	0,34	0,32	0,37	0,27	0,36	0,42	0,29	0,37	0,38	0,42	0,30	0,26

APÊDICE 2. Tabela dos coeficientes calculados, utilizados na equação de regressão linear múltipla para o cálculo de temperatura mínima de cada local de produção de sementes de *P. taeda*.

		Coeficientes da temperatura mínima											
Ano	Coef	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
2004	a	4,06	31,02	13,75	20,74	42,65	14,97	22,15	12,81	14,58	25,63	27,75	22,85
2004	b	0,52	0,65	0,34	0,30	0,51	-0,17	0,43	-0,03	0,46	0,68	0,72	0,67
2004	c	-0,68	-0,18	-0,36	-0,18	0,25	0,07	-0,10	-0,06	-0,36	-0,26	-0,27	-0,36
2004	d	-0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-0,01	-0,01	-0,01
2004	r2	0,99	0,99	0,98	0,99	1,00	1,00	0,99	0,93	0,94	1,00	0,99	1,00
2005	a	21,01	13,72	32,36	36,53	20,75	10,49	38,85	13,44	52,88	33,60	11,71	15,24
2005	b	0,52	0,44	0,54	0,65	0,16	-0,03	0,01	-0,50	0,97	0,74	0,22	0,42
2005	c	-0,35	-0,49	-0,13	-0,07	-0,05	-0,15	0,47	0,19	0,22	-0,12	-0,33	-0,39
2005	d	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-0,01
2005	r2	1,00	1,00	1,00	1,00	0,99	1,00	0,98	0,77	0,97	0,95	0,95	0,98
2006	a	43,58	52,25	48,92	49,20	67,01	59,11	65,97	78,70	86,51	8,51	27,99	30,57
2006	b	-1,45	-1,20	-1,25	-0,83	-0,63	-1,24	-1,23	-1,42	-0,83	-1,03	-1,03	-1,33
2006	c	1,12	1,19	1,16	1,03	1,40	1,54	1,70	2,04	1,87	0,26	0,65	0,79
2006	d	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2006	r2	0,40	0,41	0,32	0,41	0,47	0,28	0,20	0,24	0,27	0,22	0,23	0,42
2007	a	27,10	32,14	54,94	61,30	63,52	71,81	57,12	41,72	55,96	37,83	28,38	35,88
2007	b	-1,10	-1,23	-1,59	-0,97	-0,94	-1,35	-0,97	-1,11	-1,21	-1,10	-1,18	-1,30
2007	c	0,60	0,78	1,45	1,31	1,46	1,87	1,43	1,10	1,36	0,89	0,74	0,93
2007	d	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2007	r2	0,41	0,37	0,40	0,31	0,21	0,25	0,15	0,17	0,21	0,24	0,22	0,30
2008	a	6,17	9,49	-3,00	-10,48	-9,38	16,00	-18,48	-6,45	-24,05	-17,34	-33,09	-53,24
2008	b	0,11	0,09	0,33	0,84	0,92	1,58	0,62	0,74	1,00	0,74	0,49	0,48
2008	c	-0,35	-0,28	-0,63	-1,02	-0,91	-0,68	-0,92	-0,81	-1,29	-1,13	-1,33	-1,75
2008	d	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-0,01	-0,01	-0,01
2008	r2	0,20	0,16	0,25	0,56	0,37	0,55	0,15	0,32	0,46	0,51	0,43	0,37
2009	a	-18,57	-2,10	-13,21	-9,99	22,24	28,15	27,33	14,49	0,01	-19,64	-27,57	-3,72
2009	b	0,58	0,53	0,48	0,64	0,87	1,19	1,49	1,09	1,01	0,83	0,23	0,61
2009	c	-1,11	-0,77	-0,95	-0,91	-0,29	-0,24	-0,46	-0,52	-0,87	-1,19	-1,13	-0,83
2009	d	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-0,01	0,00
2009	r2	0,48	0,37	0,31	0,32	0,34	0,47	0,62	0,36	0,50	0,45	0,22	0,38
2010	a	3,65	13,83	6,23	4,61	27,66	-1,69	43,59	20,70	8,96	-18,39	4,18	3,73
2010	b	0,46	0,37	0,62	0,79	0,68	0,76	0,92	0,55	0,88	0,87	0,80	0,78
2010	c	-0,62	-0,38	-0,62	-0,67	-0,09	-0,67	0,13	-0,13	-0,60	-1,17	-0,71	-0,75
2010	d	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-0,01	0,00	0,00
2010	r2	0,43	0,32	0,41	0,44	0,37	0,33	0,38	0,14	0,36	0,50	0,37	0,49
2011	a	19,66	24,25	7,03	4,24	20,80	7,05	27,43	18,76	-16,63	-9,25	-25,09	-10,11
2011	b	0,46	0,40	0,86	0,73	0,85	0,88	1,14	1,26	1,02	0,76	0,70	0,82
2011	c	-0,29	-0,17	-0,71	-0,67	-0,29	-0,51	-0,26	-0,52	-1,14	-0,96	-1,24	-1,02
2011	d	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-0,01	0,00	0,00
2011	r2	0,30	0,33	0,45	0,46	0,35	0,25	0,35	0,44	0,36	0,46	0,36	0,37
2012	a	-18,70	3,62	1,72	21,88	24,37	25,73	16,73	7,20	9,31	6,39	-18,33	0,04
2012	b	0,46	0,42	0,82	0,84	0,92	1,17	1,28	0,68	1,20	0,89	0,70	0,55
2012	c	-1,04	-0,59	-0,78	-0,36	-0,26	-0,35	-0,54	-0,49	-0,73	-0,71	-1,14	-0,74
2012	d	-0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-0,01	0,00
2012	r2	0,37	0,27	0,33	0,45	0,39	0,53	0,43	0,17	0,31	0,36	0,37	0,33
2013	a	-13,82	2,73	8,45	19,46	41,98	35,34	36,07	15,56	-4,31	-16,69	-6,52	-0,73
2013	b	0,73	0,39	0,76	1,15	1,17	1,02	1,27	1,26	0,96	0,90	0,81	0,72
2013	c	-1,08	-0,59	-0,64	-0,52	-0,03	-0,08	-0,12	-0,54	-0,88	-1,17	-0,95	-0,82
2013	d	-0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2013	r2	0,42	0,42	0,54	0,40	0,40	0,45	0,40	0,34	0,32	0,42	0,41	0,34
2014	a	16,24	26,34	16,35	5,71	27,65	31,31	24,37	22,59	12,02	-23,09	-17,05	-7,11
2014	b	0,52	0,71	0,76	0,78	0,75	1,04	0,86	1,26	0,81	0,75	0,68	0,66
2014	c	-0,38	-0,27	-0,48	-0,67	-0,14	-0,18	-0,19	-0,42	-0,51	-1,23	-1,10	-0,92
2014	d	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2014	r2	0,28	0,30	0,46	0,50	0,40	0,47	0,33	0,34	0,35	0,32	0,38	0,42
2015	a	8,69	8,45	-1,52	-9,76	12,24	19,12	64,83	24,16	20,25	-11,51	6,30	6,45
2015	b	0,65	0,49	0,63	0,88	0,70	1,30	0,65	0,76	1,11	0,97	0,84	0,45

2015 c	-0,61	-0,53	-0,78	-1,02	-0,43	-0,52	0,75	-0,19	-0,50	-1,12	-0,72	-0,55
2015 d	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2015 r2	0,37	0,44	0,45	0,43	0,36	0,45	0,24	0,18	0,41	0,51	0,55	0,39
2016 a	-10,95	8,72	13,41	16,92	21,74	15,11	14,50	18,08	-0,84	-11,90	-17,12	-3,07
2016 b	0,58	0,33	0,84	0,62	0,95	1,47	1,15	1,20	0,94	0,84	0,92	0,64
2016 c	-0,96	-0,47	-0,58	-0,37	-0,34	-0,64	-0,50	-0,49	-0,79	-1,05	-1,21	-0,83
2016 d	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-0,01	-0,01	0,00
2016 r2	0,37	0,31	0,50	0,28	0,51	0,59	0,36	0,42	0,38	0,54	0,49	0,43
2017 a	-3,34	9,37	-6,80	8,36	19,55	22,28	28,48	1,31	8,12	6,03	-13,65	-10,37
2017 b	0,58	0,41	0,84	0,88	0,82	0,96	1,15	1,00	0,70	0,95	0,98	0,65
2017 c	-0,81	-0,49	-1,00	-0,64	-0,35	-0,30	-0,20	-0,76	-0,53	-0,73	-1,15	-0,98
2017 d	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-0,01
2017 r2	0,42	0,31	0,54	0,45	0,38	0,42	0,30	0,38	0,17	0,50	0,46	0,48
-												
2018 a	-1,81	20,12	8,88	6,99	9,50	35,78	5,43	20,14	13,89	-2,63	-8,76	-5,07
2018 b	0,60	0,65	0,73	0,71	0,74	1,45	1,06	1,23	0,71	0,91	0,71	0,80
2018 c	-0,78	-1,17	-0,64	-0,59	-0,49	-0,26	-0,67	-0,47	-0,41	-0,89	-0,95	-0,95
2018 d	0,00	-0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2018 r2	0,49	0,47	0,49	0,31	0,31	0,60	0,33	0,48	0,33	0,57	0,40	0,37

APÊNDICE 3. Tabela de correlações de spearman entre a altitude dos locais de produção e as variáveis de clima, com os respectivos p-valores.

CORRELAÇÕES DE ALTITUDE																		
Meses	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	Ano					
	p-valor	p-valor	p-valor	p-valor	p-valor	p-valor	p-valor	p-valor	p-valor	p-valor	p-valor	p-valor	p-valor					
Corr	corr	corr	corr	corr	corr	corr	corr	corr	corr	corr	corr	corr	corr					
Precipitação pluviométrica																		
Ano 1	-0,02	0,47	0,30	0,39	0,34	0,20	-0,32	-0,13	0,33	0,12	0,09	0,48	0,70	0,49	0,32	0,37	0,00	
Ano 2	0,48	0,22	0,10	-0,10	0,24	0,00	-0,12	0,30	0,40	0,00	0,58	0,00	0,55	0,00	-0,21	0,01	0,61	0,00
Ano 3	0,51	0,35	0,51	0,36	0,47	0,22	-0,10	0,31	0,27	0,00	0,38	0,00	-0,15	0,00	0,17	0,00	0,60	0,00
Temperatura máxima																		
Ano 1	-0,59	-0,12	-0,20	-0,20	-0,34	0,00	-0,29	-0,27	-0,28	0,00	-0,33	0,00	-0,22	0,00	-0,23	0,00	-0,30	0,00
Ano 2	-0,47	-0,64	-0,76	-0,77	-0,61	0,00	-0,67	-0,74	-0,60	0,00	-0,80	0,00	-0,80	0,00	-0,77	0,00	-0,77	0,00
Ano 3	-0,49	-0,40	-0,37	-0,67	-0,71	0,00	-0,15	-0,56	-0,71	0,00	-0,83	0,00	-0,73	0,00	-0,38	0,00	-0,75	0,00
Temperatura mínima																		
Ano 1	-0,53	-0,18	-0,27	0,29	-0,28	0,00	-0,24	-0,27	-0,30	0,00	-0,26	0,00	-0,23	0,00	-0,25	0,00	-0,26	0,00
Ano 2	-0,46	-0,75	-0,67	-0,69	-0,18	0,00	-0,52	0,00	-0,53	0,00	-0,13	0,19	-0,60	0,00	-0,69	0,00	-0,51	0,00
Ano 3	-0,72	-0,51	-0,28	-0,62	-0,35	0,00	-0,64	0,00	-0,53	0,00	-0,62	0,00	-0,73	0,00	-0,36	0,00	-0,65	0,00
Umidade relativa do ar																		
Ano 1	-0,09	-0,56	-0,23	-0,30	-0,15	0,12	-0,20	0,07	-0,48	0,00	-0,33	0,98	-0,04	0,00	0,10	0,00	0,03	0,00
Ano 2	0,12	0,16	0,16	-0,30	-0,34	0,64	-0,55	0,00	0,09	0,00	0,26	0,00	0,41	0,00	0,47	0,00	-0,20	0,00
Ano 3	0,28	-0,42	-0,39	0,04	-0,40	0,11	-0,55	0,00	-0,15	0,09	0,02	0,00	0,30	0,00	0,14	0,00	0,26	0,00

*As correlações destacadas em negrito são significativas (p<0,5) e corr>0,3 ou <-0,3.

APÊNDICE 4. Scripts do R utilizados para análise dos dados do capítulo II.

*Rodar os pacotes: library(ggplot2); library(emmeans); library(multcomp)

LM

vigor

```
dados$vigor_percent <- dados$Vigor/100
modelo <- glm(dados$vigor_percent~Cidade, data=dados, family = "binomial")
anova(modelo, test="Chisq")
```

```
ggplot(dados) + aes(x=as.factor(Cidade), y=Vigor) +
  geom_boxplot(aes(fill=Cidade), show.legend = FALSE) +
  geom_jitter(width = 0.25, size=1.2, show.legend = FALSE)+
  theme_classic(base_size = 8)+
  theme(axis.text.x = element_text(angle = 45, vjust = 0.6)) +
  ggtitle("A")+
  ylab("Vigor")+
  xlab("")
ggsave("vigor_cidade.tiff", width = 3000, units ="px")
```

germinacao

```
dados$germ_percent <- dados$Germicao/100
modelo <- glm(dados$germ_percent~Cidade, data=dados, family = "binomial")
anova(modelo, test="Chisq")
```

```
ggplot(dados) + aes(x=as.factor(Cidade), y=Germicao) +
  geom_boxplot() +
  geom_jitter(width = 0.25, aes(color=Cidade), size=1.2, show.legend = FALSE)+
  theme_classic(base_size = 8)+
  theme(axis.text.x = element_text(angle = 45, vjust = 0.6)) +
  ggtitle("B")+
  ylab("Germinação")+
  xlab("")
ggsave("germ_cidade.tiff", width = 3000, units ="px")
```

#duras

```
dados$duras_percent <- dados$Duras/100
modelo <- glm(dados$duras_percent~Cidade, data=dados, family = "binomial")
anova(modelo, test="Chisq")
#como houve diferença, fez-se a separação das médias
medias <- emmeans(modelo, specs = ~Cidade, type="response")
library(multcomp) # facilitar a visualização por meio das "letras"
multcomp::cld(medias, Letters = LETTERS, reversed = TRUE) # mostrando as médias
com as "letras"
plot(medias, xlab="média")
```

```
ggplot(dados) + aes(x=as.factor(Cidade), y=Duras) +
  geom_boxplot() +
  geom_jitter(width = 0.25, aes(color=Cidade), size=1.2, show.legend = FALSE)+
  theme_classic(base_size = 8)+
  theme(axis.text.x = element_text(angle = 45, vjust = 0.6)) +
  ggtitle("C")+
  ylab("Duras")+
  xlab("")
```

```
xlab("")
ggsave("Duras_cidade.tiff", width = 3000, units = "px")
```

#PMS

```
modelo <- glm(PMS~Cidade, data=dados, family="Gamma")
anova(modelo, test="F")
medias <- emmeans(modelo, specs = ~Cidade, type="response")
library(multcomp) # facilitar a visualização por meio das "letras"
multcomp::cld(medias, Letters = LETTERS, reversed = TRUE) # mostrando as médias
com as "letras"
```

```
# rode a linha abaixo para remover as linhas em que o PMS não existe. Por exemplo,
parapanema não tem PMS, logo fica um buraco no gráfico.
dados <- dados[!is.na(dados$PMS),]
```

```
ggplot(dados) + aes(x=as.factor(Cidade), y=PMS) +
  geom_boxplot() +
  geom_jitter(width = 0.25, aes(color=Cidade), size=1.2, show.legend = FALSE)+
  theme_classic(base_size = 8)+
  theme(axis.text.x = element_text(angle = 45, vjust = 0.6)) +
  ggtitle("D")+
  ylab("Peso de Mil Sementes")+
  xlab("")
ggsave("pms_cidade.tiff", width = 3000, units = "px")
```

#CORRELAÇÕES

```
library(ggcorrplot)
library(ggplot2)
# lendo os dados
dados <- read.csv("dados_tese.csv", sep=";", header=T)
# tirando variáveis que não são usadas para a correlação
dados <- subset(dados, select=-c(ANO, Remetente, Empresa.amostra, Cidade, Ponto,
Lote, Individuo, N.amostra, Lote, Safra, Rep, Procedencia, Latitude, Longitude, Estado))
# matriz de correlação
correlacao <- cor(dados, method="spearman", use = "complete.obs")
# matriz de p valores
p_corr<- cor_pmat(dados, method="spearman", use = "complete.obs")
# transformando as matrizes em data frames
correlacao <- as.data.frame(correlacao)
p_corr <- as.data.frame(p_corr)
# criando novo data frame para cada variável de qualidade
vigor <- data.frame(var=row.names(correlacao), cor=correlacao[,1], sig=p_corr[,1]<0.05)
germinacao <- data.frame(var=row.names(correlacao), cor=correlacao[,2],
sig=p_corr[,2]<0.05)
duras <- data.frame(var=row.names(correlacao), cor=correlacao[,3], sig=p_corr[,3]<0.05)
pms <- data.frame(var=row.names(correlacao), cor=correlacao[,4], sig=p_corr[,4]<0.05)
```

vigor

```
ggplot(vigor) +
  # mudar tamanho dos pontos em size
  aes(y=cor, x=var, color=sig)+geom_point(size=1.5) +
  labs(color = "p<0.05") + xlab("Variável") +
```

```

ylab("Correlação de Spearman") +
# mudar tamanho do texto em base_size
theme_classic(base_size = 6)+ theme(axis.text.x = element_text(angle = 90, vjust = 0.5,
hjust=1)) +
geom_hline(yintercept = 0) +
ggtitle("A")

```

```

# vai salvar no seu ambiente de trabalho, mudar o nome do documento e o tamanho do
grafico
ggsave("vigor_cor.tiff", width = 3000, units ="px")

```

germinacao

```

ggplot(germinacao) +
  aes(y=cor, x=var, color=sig)+geom_point(size=1.5) +
  labs(color = "p<0.05") + xlab("Variável") +
  ylab("Correlação de Spearman") +
  theme_classic(base_size = 6)+ theme(axis.text.x = element_text(angle = 90, vjust = 0.5,
hjust=1)) +
  geom_hline(yintercept = 0) +
  ggtitle("B")

```

```

# vai salvar no seu ambiente de trabalho, mudar o nome do documento e o tamanho do
grafico
ggsave("germinacao_cor.tiff", width = 3000, units ="px")

```

duras

```

ggplot(duras) +
  aes(y=cor, x=var, color=sig)+geom_point(size=1.5) +
  labs(color = "p<0.05") + xlab("Variável") +
  ylab("Correlação de Spearman") +
  theme_classic(base_size = 6)+ theme(axis.text.x = element_text(angle = 90, vjust = 0.5,
hjust=1)) +
  geom_hline(yintercept = 0) +
  ggtitle("C")

```

```

# vai salvar no seu ambiente de trabalho, mudar o nome do documento e o tamanho do
grafico
ggsave("duras_cor.tiff", width = 3000, units ="px")

```

#PMS

```

ggplot(pms) +
  aes(y=cor, x=var, color=sig)+geom_point(size=1.5) +
  labs(color = "p<0.05") + xlab("Variável") +
  ylab("Correlação de Spearman") +
  theme_classic(base_size = 6)+ theme(axis.text.x = element_text(angle = 90, vjust = 0.5,
hjust=1)) +
  geom_hline(yintercept = 0) +
  ggtitle("D")

```

```

# vai salvar no seu ambiente de trabalho, mudar o nome do documento e o tamanho do
grafico
ggsave("pms.tiff", width = 3000, units ="px")

```