

ESTIMATIVA DA DEPRESSÃO ENDOGÂMICA EM *Psidium guajava*
VIA ATRIBUTOS DE SEMENTES UTILIZANDO FAMÍLIAS S_0 , S_1 e S_2

MARIANA QUINTAS MAITAN

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO NORTE FLUMINENSE DARCY
RIBEIRO

CAMPOS DOS GOYTACAZES - RJ
MARÇO – 2022

ESTIMATIVA DA DEPRESSÃO ENDOGÂMICA EM *Psidium guajava*
VIA ATRIBUTOS DE SEMENTES UTILIZANDO FAMÍLIAS S₀, S₁ e S₂

MARIANA QUINTAS MAITAN

“Tese apresentada ao Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, como parte das exigências para obtenção do título de Doutora em Produção Vegetal”.

Orientador: Prof. Alexandre Pio Viana

CAMPOS DOS GOYTACAZES - RJ
MARÇO – 2022

FICHA CATALOGRÁFICA

UENF - Bibliotecas

Elaborada com os dados fornecidos pela autora.

M232 Maitan, Mariana Quintas.

Estimativa da depressão endogâmica em *Psidium guajava* via atributos de sementes utilizando famílias S_0 , S_1 e S_2 / Mariana Quintas Maitan. - Campos dos Goytacazes, RJ, 2022.

91 f.

Inclui bibliografia.

Tese (Doutorado em Produção Vegetal) - Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias, 2022.

Orientador: Alexandre Pio Viana.

1. Germinação. 2. Autofecundação. 3. Endogamia. 4. Vigor. 5. Goiabeira. I. Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. II. Título.

CDD - 630

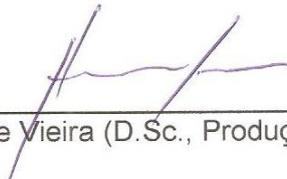
ESTIMATIVA DA DEPRESSÃO ENDOGÂMICA EM *Psidium guajava*
VIA ATRIBUTOS DE SEMENTES UTILIZANDO FAMÍLIAS S₀, S₁ e S₂

MARIANA QUINTAS MAITAN

“Tese apresentada ao Centro de Ciências e
Tecnologias Agropecuárias da Universidade
Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro,
como parte das exigências para obtenção do
título de Doutora em Produção Vegetal”

Aprovada em 24 de março de 2022

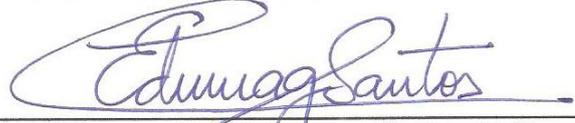
Comissão Examinadora:



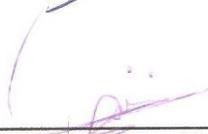
Prof. Henrique Duarte Vieira (D.Sc., Produção Vegetal) – UENF



Profª. Flavia Alves da Silva (D.Sc., Genética e Melhoramento de Plantas) – UENF



Prof. Carlos Eduardo Magalhães dos Santos (D.Sc., Genética e Melhoramento) –
UFV



Prof. Alexandre Pio Viana (D.Sc., Produção Vegetal) – UENF
(Orientador)

Dedico

A MINHA FAMÍLIA

“Aquele que oferta a semente ao que semeia, e pão ao que tem fome, também vos suprirá e multiplicará a semente e fará desenvolver os frutos da vossa fidelidade.”

II Coríntios

9:10

AGRADECIMENTOS

Principalmente a Deus, por proporcionar tantas conquistas em minha vida e me guiar sempre para o caminho certo.

À minha família pelo apoio, pelo amor e pela companhia.

Ao Prof. Alexandre Pio Viana e Henrique Duarte Vieira pela orientação, pelos ensinamentos e pela confiança.

A Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro - UENF pela oportunidade de cursar o Doutorado.

Aos amigos de laboratório e campo.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

Obrigado.

SUMÁRIO

| | |
|---|----|
| RESUMO | vi |
| ABSTRACT | ix |
| 1. INTRODUÇÃO | 1 |
| 2. REVISÃO DE LITERATURA | 4 |
| 2.1. Aspectos gerais da cultura da goiabeira | 4 |
| 2.1.1. Melhoramento genético da Goiabeira..... | 8 |
| 2.1.2. Programa de Melhoramento genético da Goiabeira na UENF..... | 9 |
| 2.2. Germinação de Sementes | 12 |
| 2.3. Depressão por endogamia..... | 15 |
| 3. OBJETIVOS..... | 17 |
| 3.1. Objetivos gerais..... | 17 |
| 3.2. Objetivos específicos | 17 |
| 4. TRABALHOS | 19 |
| 4.1. Physiological responses of seeds from full-sib guava families to different substrate temperatures | 19 |
| RESUMO..... | 19 |
| ABSTRACT | 20 |
| INTRODUCTION..... | 21 |
| MATERIAL E METHODS | 22 |
| RESULTS E DISCUSSION | 23 |

| | |
|--|----|
| CONCLUSION | 30 |
| ACKNOWLEDGMENT | 30 |
| REFERENCES | 30 |
| 4.2. Seleção, estimativa de parâmetros genéticos e dissimilaridade genética em famílias S ₂ de <i>P.guajava</i> via atributos de sementes | 33 |
| RESUMO..... | 33 |
| ABSTRACT | 34 |
| INTRODUÇÃO | 35 |
| MATERIAL E MÉTODOS | 37 |
| RESULTADOS E DISCUSSÃO..... | 41 |
| CONCLUSÃO..... | 50 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 50 |
| 4.3. Estimativa da depressão endogâmica em <i>Psidium guajava</i> via atributos de sementes utilizando famílias S ₀ , S ₁ e S ₂ | 53 |
| RESUMO..... | 53 |
| ABSTRACT | 54 |
| INTRODUÇÃO | 55 |
| MATERIAL E MÉTODOS | 56 |
| RESULTADOS E DISCUSSÃO..... | 60 |
| CONCLUSÃO..... | 66 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 66 |
| 5. RESUMO E CONCLUSÕES | 69 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | 71 |

RESUMO

MAITAN, Mariana Quintas; D.Sc.; Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro; Março de 2022; Estimativa da depressão endogâmica em *Psidium guajava* via atributos de sementes utilizando famílias S₀, S₁ e S₂; Professor Orientador: Alexandre Pio Viana.

Devido às condições edafoclimáticas do Brasil o cultivo de *Psidium guajava* ocupa um importante espaço no agronegócio. Com avanços na área do melhoramento genético, dessa cultura, uma estratégia a ser utilizada é a endogamia, que tem como vantagem a fixação de alelos favoráveis, mas em alguns casos, podendo causar depressão por endogamia, levando a efeitos deletérios na população. Dessa forma, a pesquisa tem por objetivo principal avaliar se a goiabeira sofre depressão endogâmica via qualidade fisiológica de sementes em famílias endogâmicas S₁ e S₂ e uma testemunha de polinização aberta S₀. Entretanto, dois outros trabalhos foram realizados para dá suporte a esta pesquisa, o primeiro teve como objetivo determinar a melhor temperatura e o melhor substrato para condução de testes laboratoriais em sementes de goiaba sob controle genético, visando sua maior qualidade fisiológica e alto vigor, o segundo trabalho, teve como finalidade estimar os parâmetros genéticos e prever os valores genéticos individuais para 55 genótipos S₂ de goiaba e estimar a dissimilaridade genética com base em atributos fisiológicos de sementes visando selecionar os genótipos mais vigorosos e divergentes. Para o primeiro experimento, utilizou-se delineamento experimental

inteiramente casualizado, em esquema fatorial 5 x 4, constituído pela combinação de cinco temperaturas e quatro substratos com oito repetições de 50 sementes. Foram avaliadas a germinação, o índice de velocidade de germinação e as sementes não germinadas vivas. As temperaturas alternadas de 20-30 e 25-35 °C e os substratos rolo de papel, sobre papel e entre areia são as condições adequadas para condução de testes de germinação com sementes de goiaba. Prosseguiu-se então com segundo experimento onde, os genótipos S₂ avaliados foram obtidas por meios de autofecundação de genótipos S₁ do programa de melhoramento genético da goiabeira na Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. O experimento foi delineado em quatro blocos com 55 genótipos S₂. As características avaliados foram germinação, índice de velocidade de emergência, teste de envelhecimento acelerado, peso de mil semente, comprimento de radícula, comprimento da parte aérea. As estimativas de parâmetros genéticos e a seleção dos melhores genótipos com base no valor genético foi realizada utilizando o método estatístico dos modelos mistos através do programa Selegen- REML/BLUP e a divergência genética foi estimada com base na distância euclidiana média, utilizando o programa Genes. Pela avaliação dos BLUPs individuais, os genótipos S₂ que contribuíram na obtenção de ganhos para maioria das características em avaliação, foram: 5, 31, 85, 214, 369, 393, 398, 442, 443, 444, 449 e 529, sugerindo potencial para gerar genótipos vigorosos, com alto poder germinativo. Através da dissimilaridade genética foi possível formar cinco grupos distintos, o cruzamento entre os grupos é indicado para obtenção de populações segregantes superiores. Para realização do terceiro trabalho onde se pesquisou a possibilidade de depressão endogâmica via atributos de sementes, os genótipos S₁ foram obtidos através autofecundação e os genótipos S₀ de polinização aberta, onde as plantas que deram origem as essas sementes são provenientes de cruzamentos controlados biparentais. Os genótipos S₂ avaliados foram obtidas por meios de autofecundação de genótipos S₁. O delineamento experimental utilizado foi inteiramente ao acaso, com quatro repetições e 50 sementes. Foram avaliados germinação, índice de velocidade de emergência, teste de envelhecimento acelerado, peso de mil semente, comprimento de radícula, comprimento da parte aérea, área, diâmetro máximo e mínimo e circularidade das sementes. O efeito da depressão por endogamia foi estimado através do coeficiente de endogamia e intervalo de confiança. A depressão por endogamia ocorreu

apenas para segunda geração de autofecundação (S_2), entretanto não houve redução significativa para caracteres como germinação, envelhecimento acelerado.

ABSTRACT

MAITAN, Mariana Quintas; D.Sc.; Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro; March of 2022; Estimation of inbreeding depression in *Psidium guajava* via seed attributes using S_0 , S_1 and S_2 families; Adviser: Alexandre Pio Viana.

Due to the edaphoclimatic conditions in Brazil, the cultivation of *Psidium guajava* occupies an important space in agribusiness. With advances in the area of genetic breeding of this culture, a strategy to be used is inbreeding lines, which has the advantage of fixing favorable alleles, but in some cases, it can cause depression by inbreeding, leading to deleterious effects in the population. Thus, the main objective of the research is to evaluate whether guava suffers inbreeding depression via physiological seed quality in inbred families S_1 and S_2 and an open pollination control S_0 . However, two other works were carried out to support this research, the first one aimed to determine the best temperature and the best substrate for conducting laboratory tests on guava seeds under genetic control, aiming at their higher physiological quality and high vigor. The second study aimed to estimate genetic parameters and predict individual genetic values for 55 guava genotypes S_2 and estimate genetic dissimilarity based on physiological seed attributes in order to select the most vigorous and divergent genotypes. For the first experiment, a completely randomized design was used, in a 5 x 4 factorial scheme, consisting of the combination of five temperatures and four substrates with eight replications of

50 seeds. Germination, germination speed index and live non-germinated seeds were evaluated. The alternating temperatures of 20-30 and 25-35 °C and the substrates paper roll, on paper and between sand are the appropriate conditions for conducting germination tests with guava seeds. We then proceeded with the second experiment, where the genotypes S_2 evaluated were obtained by means of self-pollination of genotypes S_1 from the guava genetic improvement program at the Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. The experiment was designed in four blocks with 55 genotypes S_2 . The evaluated characteristics were germination, emergence speed index, accelerated aging test, thousand seed weight, radicle length, shoot length. The estimates of genetic parameters and the selection of the best genotypes based on the genetic value was performed using the statistical method of mixed models through the Selegen-REML/BLUP program and the genetic divergence was estimated based on the average Euclidean distance, using the Genes software. By evaluating the individual BLUPs, the genotypes S_2 that contributed to obtaining gains for most of the characteristics under evaluation were: 5, 31, 85, 214, 369, 393, 398, 442, 443, 444, 449 and 529, suggesting potential to generate vigorous genotypes with high germination power. Through the genetic dissimilarity it was possible to form five distinct groups, the crossing between the groups is indicated to obtain superior segregating populations. In order to carry out the third work, where the possibility of inbreeding depression by seed attributes was investigated, the genotypes S_1 were obtained through self-pollination and the S_0 genotypes of open pollination, where the plants that gave rise to these seeds come from controlled biparental crosses. The genotypes S_2 evaluated were obtained by means of self-pollination of genotypes S_1 . The experimental design used was completely randomized, with four replications and 50 seeds. Germination, emergence speed index, accelerated aging test, thousand seed weight, radicle length, shoot length, area, maximum and minimum diameter and seed circularity were evaluated. The effect of inbreeding depression was estimated using the inbreeding coefficient and confidence interval. Inbreeding depression occurred only for the second generation of self-fertilization (S_2), however there was no significant reduction for characters such as germination, accelerated aging.

1. INTRODUÇÃO

A goiabeira (*Psidium guajava* L.) é originária da região do México, Ilhas Caribenhas e América do Sul. Devido sua rusticidade está amplamente distribuída em países de clima tropical e subtropical (Gonzaga Neto, 2007, Mehmood et al., 2014). A goiabeira pertence à família das Mirtaceae, do gênero *Psidium* onde estão alocados 183 espécies (Oliveira et al., 2012, Sobral et al., 2012).

O Brasil é o maior produtor de goiaba vermelha e o terceiro maior produtor mundial de goiabas, atrás apenas da China e da Índia, segundo a Food and Agriculture Organization of the United Nations (Rajan e Hudedamani, 2019, Castro e Ribeiro, 2020). Entretanto a exportação in natura ainda é muito pequena, devido ao alto grau de perecibilidade da fruta, sendo assim, produtos processados, como sucos concentrados, poupa, doces e geleias, tem maior aceitação no mercado internacional (IBRAF, 2016, Castro e Ribeiro, 2020).

Em 2017, a goiaba foi a sétima fruta mais produzida no País (Agriannual, 2019) e as cultivares mais cultivadas são Paluma, Rica, Pedro Sato, Kumagai, Sassaoka, Ogawa, Yamamoto, Século XXI e Cortibel (Natale et al., 2009), sendo os estados de São Paulo, Pernambuco e Minas Gerais os mais produtivos, responsáveis por aproximadamente 80 % da produção nacional, estando o Estado do Rio de Janeiro em sexto lugar (Castro e Ribeiro, 2020, IBGE, 2021).

A goiaba é uma fruta de dupla finalidade, sendo consumida tanto in natura quanto processada como de sucos, néctares, polpas, sorvetes, geleias, compotas e várias outros produtos, dessa forma, ela vem ganhando grande importância nas

regiões tropicais e subtropicais do Brasil, devido além da dupla aptidão dos frutos ela também possuir preço acessível e disponibilidade de oferta por um longo período de tempo durante o ano (Maia et al., 2002, Flori, 2015, Parmar et al., 2018). Outras características de valores nutricionais como importante fonte de vitamina C, cujo o teor, nessa fruta, é seis vezes maior que em outros frutos cítricos, contem vitamina A e vitaminas do complexo B, como a tiamina e a niacina, altos teores de açúcares, são ricas em sais minerais como fósforo, cálcio, potássio e ferro e também são ricas em fibras, possuem de licopeno, um importante carotenoide que ajuda no combate a doenças cardiovasculares e características funcionais anticancerígenas, somando ao seu sabor e aroma agradável, tornam a goiaba essa fruta de grande importância (Gonzaga Neto, 2007, Lima et al., 2008, Pommer et al., 2013)

Programas de melhoramento genético da goiabeira devem trabalhar com intuito de lançar uma cultivar com atributos mistos, para indústria e consumo in natura. No início de um programa de melhoramento é interessante trabalhar com plantas que apresente variabilidade genética, mas com elevado potencial agrônomo, propagadas via semente. A propagação via sementes origina pomares heterogêneos, e com produção mais tardio em relação aos pomares propagados de forma vegetativa, este são homogêneos e de produção mais precoce, sendo esta característica de grande valia para o produtor. Em pomares onde é realizado o plantio com mudas propagadas vegetativamente é observado menor variabilidade das características do ponto de vista econômico e de manejo (Gomes et al., 2010, Kareem et al., 2013, Costa et al., 2019). Para o melhoramento genético de uma espécie torna-se muito importante a variabilidade genética de uma população, para seleção de genótipos com características agrônomicas superiores e manter a variabilidade de uma população.

De acordo com Falconer e Mackay (1996) o cruzamento entre indivíduos aparentados ou autofecundados, provoca aumento da homozigose e decréscimo da heterozigose na descendência, o que seria uma alternativa para a obtenção de frutos homogêneos em pomares comerciais. Porém, estudos relacionados aos efeitos ocasionados pela autofecundação em goiabeiras são escassos, visto que esta é uma cultura ainda pouco explorada á nível de pesquisa. Assim, torna-se de relevante importância a avaliação dos efeitos causados pela endogamia, pois será

possível analisar a ocorrência ou não de depressão por endogamia, já que o objetivo do programa de melhoramento da goiabeira da UENF é fixar alelos favoráveis por meio das autofecundações, obter linhagens e/ou explorar a heterose através de hibridações.

Com isso, o presente estudo possibilitará um elevado impacto nos programas de melhoramento da goiabeira, pois possibilitará a condução de populações endogâmicas de goiabeiras, situação inédita nesta fruteira, visto que não há nenhuma referência de programas de melhoramento que trabalhem neste sentido no Brasil e no mundo. Sendo assim, a UENF é pioneira na condução de famílias endogâmicas S_1 e S_2 .

A depressão endogâmica é gerada a partir de cruzamentos entre aparentados e autofecundações em que caracteres são afetados pelo aumento de genes mutantes em homozigose recessiva e aumento da homozigose em alelos nos loci com melhor desempenho em heterozigose, causando redução de seu valor adaptativo (Charlesworth e Willis, 2009).

A depressão por endogamia pode afetar de forma negativa diferentes variáveis de uma planta, indo da taxa de germinação das sementes a produção de frutos da planta (Charlesworth e Charlesworth, 1987, Husband e Schemske, 1996, Frankham et al., 2002). Os impactos deletério da depressão por endogamia são maiores em campo, do que em condições experimentais, assim níveis de depressão por endogamia aumentam com subseqüentes autofecundações, estratégia usada pelo melhoramento genético (Frankham et al., 2002).

Portanto, este trabalho tem por objetivo principal estimar o efeito da depressão endogâmica, com relação qualidade física e fisiológica de sementes da goiabeira, sendo a primeira pesquisa a relacionar depressão endogâmica em *P. guajava*. Buscou-se também, elaborar um estudo para determinar as melhores temperaturas e substratos para condução de testes laboratoriais de análise de rotina em sementes de goiabeira, visando sua maior qualidade fisiológica, segundo as Regras de Análise de Sementes (Brasil, 2009).

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Aspectos gerais da cultura da goiabeira

A Goiabeira, *Psidium guajava* L., pertence à família das Mirtáceas, que está alocada no gênero *Psidium* na qual contém outras 183 espécies (Sobral et al., 2012), de árvores pequenas ou arbustos, sendo 20 destas frutíferas bastante conhecidas, como a pitanga, jabuticaba, o jambo, araçás (Oliveira et al., 2012). A goiabeira é originária da região tropical do continente americano, sendo provavelmente originária entre o sul do México e norte da América do Sul, onde ainda pode ser encontrada (Gonzaga Neto, 2007).

Os dados de produção mundial de goiaba estão agrupados com a cultura da manga e do mangostão, e colocam o Brasil em sétima posição, atrás da Índia, Indonésia, China, México, Paquistão e Malawi (Faostat, 2019). Entretanto, alguns autores afirmam que o Brasil é o terceiro maior produtor de goiaba no mundo, ficando atrás apenas da Índia e do México (Rajan e Hudedamani, 2019). Em 2020, o Brasil produziu 566.293 mil toneladas de goiabas, sendo o estado do Rio de Janeiro responsável por 23.815 mil toneladas (IBGE, 2021).

A goiaba se tornou-se uma das frutas de maior importância nas regiões tropicais e subtropicais no Brasil devido seu aroma e sabor agradável, também pelo elevado valor nutricional, preço acessível e disponibilidade de oferta por um longo período de tempo durante o ano; além de poder ser consumida in natura, a goiaba também é utilizada na indústria de processamento de sucos, néctares, polpas,

sorvetes, geleias, compotas e várias outros produtos (Maia et al., 2002, Flori, 2015, Parmar et al., 2018).

A goiaba também é uma importante fonte de vitamina C, cujo o teor, nessa fruta, é seis vezes maior que em outros frutos cítricos, contem vitamina A e vitaminas do complexo B, como a tiamina e a niacina, altos teores de açúcares, são ricas em sais minerais como fósforo, cálcio, potássio e ferro, e também são ricas em fibras, além de licopeno, um importante carotenoide que ajuda no combate a doenças cardiovasculares e características funcionais anticancerígenas (Gonzaga Neto, 2007; Lima et al., 2008; Pommer et al., 2013). As folhas e frutos também são notáveis por suas propriedades medicinais (Gutiérrez et al., 2008).

No Brasil a preferência para consumo in natura são por goiabas de polpa vermelha, enquanto o mercado internacional prefere goiabas de polpa branca, em desacordo com a produção brasileira de goiaba (Gonzaga Neto, 2007). Sobre a qualidade dos frutos, a acidez total titulável aceitável deve estar entre 1,5 a 2,0%, o teor de sólidos solúveis totais deve estar entre 12 a 20 °Brix, para maior aceitação do mercado consumidor (Oliveira et al., 2012).

Para o consumo in natura, as cultivares que mais se destacam no Brasil são 'Paluma', 'Rica', 'Sassaoka', 'Pedro Sato', 'Cortibel' e 'Século XXI'; que foram desenvolvidas por instituições de pesquisas e a partir de seleções de produtores (Gonzaga Neto, 2007, Pommer et al., 2006, Santos et al., 2011). Essas cultivares apresentam frutos com coloração de polpa vermelha ou rosada, elevada durabilidade pós-colheita, tornando-as preferidas pelo mercado (Gonzaga Neto, 2007, Flori, 2015). Para o mercado de exportação, destaca-se as cultivares de polpa branca 'Ogawa Branca', 'Chinesa', 'Kumagai' 'White Selection of Florida', 'Banaras' e 'Iwao', além de possuírem maior vida útil pós-colheita (Gonzaga Neto, 2007, Sampaio, 2011).

A goiabeira é uma planta perene, vai de um arbusto a árvore, podendo atingir de três a oito metros em pomares adultos quando conduzida sem poda. Possuem raízes adventícias primárias que formam uma camada densa superficial no solo (77% do sistema radicular). As raízes adventícias secundárias podem atingir profundidade de até cinco metros, quando propagadas via semente, enquanto as propagadas via estaquia as raízes secundárias localiza-se na camada mais superficial do solo (Gonzaga Neto, 2007).

As plantas possuem troncos e ramos com casca lisa, podendo ser

amarronzadas ou esverdeada, mantendo – se aderida quando viva e se soltam em finas camadas quando secas (Medina, 1991). As folhas apresentam variações na forma e no tamanho, sendo na maioria das vezes simples, opostas, de formato elíptico – oblongo, grossas, coriáceas, de coloração verde-amarelada, pecioladas e caem após a maturação (Pereira, 1995).

As flores das goiabeiras são brancas, perfeitas, ou seja, possuem órgão femininos e masculinos, e podem surgir isoladas ou em grupos de dois a três botões nas axilas das folhas de ramos novos, mas que estejam maduros, geralmente após a poda, pois a goiabeira produz flores apenas em ramos vegetativos emergentes. A ocorrência dos botões florais surgirem de maneira isolada ou agrupada depende de fatores ambientais (Gonzaga Neto, 2007).

Nas flores de goiaba o cálice é completo, tem pelos e é persistente, com quatro a seis lobos. As pétalas em número de quatro ou cinco, são brancas, obviadas e côncavas. Como as flores são hermafroditas, com androceu formado por muitos estames livres e com filetes brancos, dispostos em ruas no disco. As anteras são de forma variável e apresentam duas tecas rimosas. O gineceu é gamocarpelar, com ovário ínfero, inteiramente soldado ao receptáculo floral, tetralocular, contendo numerosos óvulos e placenta marginal (Pereira e Martinez Júnior, 1986, Pereira, 1995)

O fruto é do tipo baga, circundada pelos lobos do cálice, apresentado formato ovulado, piriforme e arredondado, com diâmetro de quatro a dez centímetros e peso variando de 100 a 450 gramas. A polpa é carnuda, de espessura variável, podendo apresentar diversas colorações, como branca, creme, amarelada, rósea, vermelho. As sementes são numerosas, amareladas, reniformes, duras, com embrião curvo e com tamanho de dois a três milímetro (Jaiswal e Jaiswal, 2005).

Existe pouco estudo sobre as taxas de autogamia e alogamia das espécies de *Psidium*, ou seja, a goiaba apresenta-se como alógoma com alta taxa de autogamia ou vice-versa. Dessa forma o sistema de reprodução da goiabeira é considerado misto, autógamas – alógamas (Medina, 1991). Segundo Soubihe et al. (1962) a taxa de autofecundação é maior que a taxa de fecundação cruzada (25,7 a 41,3%). A fecundação cruzada, ou seja, necessita de intervenção de insetos ou do vento para produzir frutos, é mais benéfica para goiabeira, podendo aumentar em até 40% a sua produção em relação a autofecundação, provavelmente devido

a auto – incompatibilidade parcial (Alves e Freitas, 2007). Assim, em função desses requerimentos de polinização, recomendam a presença de agentes polinizadores nos pomares, especialmente abelhas, cujos comportamentos de forrageamento promovem a polinização cruzada, sendo ela o principal agente polinizador (Alves e Freitas, 2007, Gonzaga Neto, 2007).

A frutificação depende do cultivar, mas, na maioria das vezes, começa no segundo ou terceiro ano depois do plantio no local definitivo, quando o pomar é implantado por mudas propagadas por semente (Gonzaga Neto, 2001). Para Gonzaga Neto (2007), em pomares em que as mudas são propagadas vegetativamente, ou seja, por estaca ou enxertia, iniciam a frutificação com até seis a oito meses de idade, depois do transplante para o local definitivo. Da mesma forma, Oliveira et al. (2012) observaram uma redução ainda maior do tempo para frutificação em mudas formadas via estaquia, onde os botões florais surgem com 47 a 70 e a floração ocorre entre 71 e 84 dias após a poda, e o pegamento dos frutos ocorre em torno de 90 dias após a poda.

A goiabeira é considerada uma planta rústica e nativa dos trópicos, apresenta fácil adaptação as variações ambientais, pouco exigente em relação ao solo, podendo se desenvolver em condições adversas de clima (Pereira e Martinez Júnior, 1986, Gongatti Netto et al., 1996), e apesar de não ter grande porte, possui elevada capacidade produtiva quando comparada a outras frutíferas (Natale et al., 1996).

Em regiões de clima tropical, a goiabeira se prolifera com facilidade, pode florescer e frutificar continuamente, ou seja, durante todo ano, desde haja disponibilidade hídrica no solo, tendo a produção destinada a produtos artesanais na produção de doces caseiros, até a industrial na produção de sucos (Medina et al., 1991, Ide et al., 2001).

A cultura da goiabeira é bastante resistente à seca e as altas temperaturas, podendo tolerar até 46 °C, porém é muito sensível ao frio e não tolera geadas, temperaturas a baixo de 12 °C limitam a produção por inibir a produção de brotos. A faixa ideal para produção e comercial situa – se entre 25 °C e 28 °C, sendo a considerado ideal para esta espécie a temperatura média anual de 25 °C. A goiabeira é uma cultura que exige calor e luminosidade para se desenvolver e produzir bem, pois são fatores que influenciam diretamente na fotossíntese da planta (Teixeira et al., 2001).

2.1.1. Melhoramento genético da Goiabeira

A história do melhoramento genético da goiabeira é semelhante à da sua origem, pois durante a introdução da cultura em várias partes do mundo pelos navegadores, que mesmo sem conhecimento prévio, estava fazendo o melhoramento genético da espécie, por meio da seleção de plantas que produziam frutos com caracteres mais atrativos (Pereira e Nachtigal, 2003).

As primeiras cultivares de goiabeira para consumo in natura surgiu de forma semelhante aos navegadores que chegaram ao Brasil, em que produtores de origem japonesa durante muito tempo selecionavam plantas cujo os frutos obtiveram características desejáveis e a adequadas a comercialização, sendo fixada por meio da propagação vegetativa. Essa seleção por meio dos produtores japoneses propiciou o desenvolvimento de cultivares importante como Kumagai, Ogawa, Pedro Sato e Sassaoka (Pereira e Nachtigal, 2003).

No Brasil, o melhoramento genético da goiabeira teve início com os trabalhos de doutoramento desenvolvidos por Soubihe Sobrinho, na Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, da Universidade de São Paulo, publicados em 1951. Esse trabalho foi importante para que outros pesquisadores despertassem o interesse por essa fruteira e continuassem o melhoramento da goiabeira. Para o melhoramento genético da goiabeira Soubihe Sobrinho, destaca a realização de três processos: i) por homogeneização dos tipos, por autofecundação (processo sexual) ou por enxertia (processo assexual); ii) pela recombinação de novos tipos por cruzamentos e fixação, no caso de genes recessivos, e por seleção em F_2 ou após retrocruzamento, no caso de genes dominantes; e iii) poliploidia.

Para Pereira e Nachtigal (2002) os métodos de melhoramento aplicados a cultura da goiaba são basicamente seleção e hibridização. Os mesmo autores consideram que a goiaba para uma boa aceitação deve possuir massa do fruto maior que 200 g, polpa vermelha, rendimento de polpa superior a 80%, sólidos solúveis acima de 10 °Brix, conteúdo de vitamina C de 300 mg de ácido ascórbico por 100 g de polpa, mínimo de células petrificadas, planta de crescimento baixo e aberto, plantas e frutos resistente a pragas e doenças e produções superando 30 t ha⁻¹.

Os objetivos do melhoramento da goiabeira podem ter diferentes

seguimentos, pois irá depender da destinação que o fruto terá, podendo ser para consumo in natura, indústria e misto, onde o último abrange os dois primeiros mercados. Atualmente os produtores tem optados pelo sistema de cultivo para consumo misto, pois permite que frutos de melhor qualidade sejam destinados a mesa, agregando assim maior valor, e o restante da produção a indústria de processamento de sucos, geleias, doces (Pereira e Nachtigal, 2002).

Muitas instituições de pesquisas realizam vários trabalhos para lançar cultivares promissoras ao mercado consumidor. O programa de melhoramento genético da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinária/Universidade Estadual Paulista (UNESP), desenvolveram cultivares como Paluma, Século XXI e Rica, para cultivo comercial como goiabeira de dupla finalidade (Pereira et al., 2003).

A cultivar Cortibel foi resultado de trabalhos em parceria da Universidade Federal do Espírito Santo (UFES) com a empresa Frucafé, originadas pela seleção em pomar de polinização aberta de origem seminal de genótipos produtivos (Coser et al., 2014). A cultivar Pedro Sato foi selecionada a partir de pés francos, no Estado do Rio de Janeiro, sendo esta uma cultivar destinada a consumo in natura difundida em toda região sudeste.

Dessa forma em relação à planta, o melhoramento deve identificar genótipos mais produtivos, adaptados a diferentes condições ambientais e resistência a pragas, doenças e problemas fisiológicos.

2.1.2. Programa de melhoramento genético da goiabeira na UENF

Com a necessidade de desenvolver cultivares de goiaba com características superiores para consumo in natura e para indústria, na região Norte Fluminense fez com que a Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, considerando o elevado potencial do fruto da goiabeira e a baixa disponibilidade de cultivares desenvolvidas por programas de melhoramento genético que atendam às necessidades dos produtores, desenvolve a cerca de 14 anos o programa de melhoramento que visa o desenvolvimento de novas cultivares de goiaba (PMGG-UENF) (Figura 1).

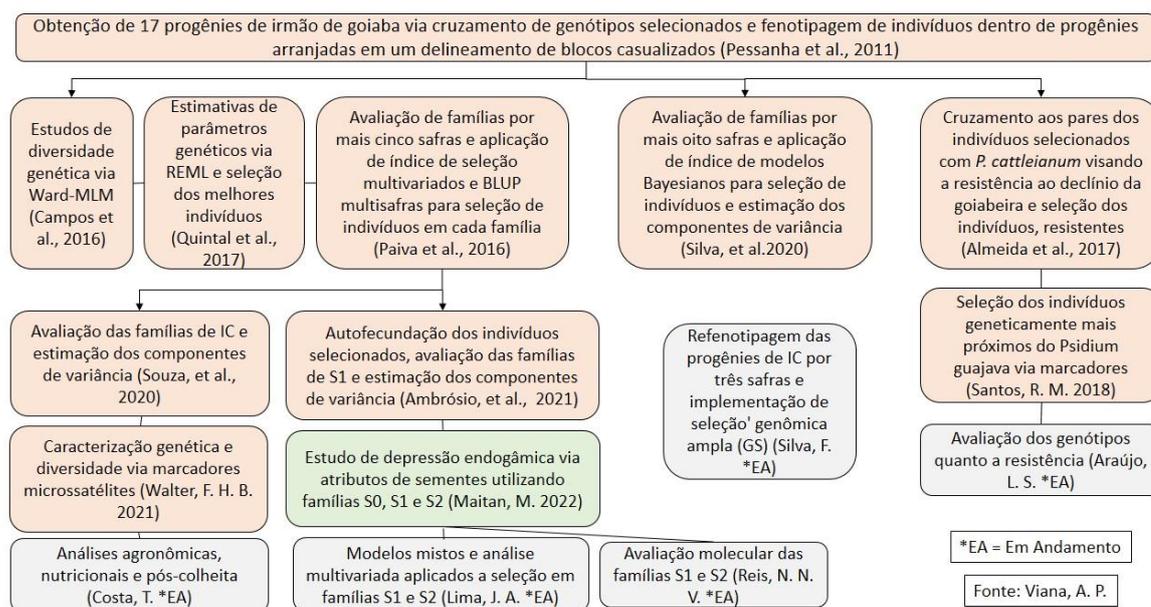


Figura 1: Fluxograma do programa de melhoramento genético da goiabeira em desenvolvimento pela UENF.

O programa tem por objetivo a obtenção de populações segregantes oriundas de cruzamentos entre *P. guajava* e genótipos silvestres resistentes a nematoides (*Meloidogyne enterolobii*; *M. mayaguensis*), que em complexo com o fungo *Fusarium solani* Mart. Sacc ocasiona a morte prematura dos pomares de goiabeiras das regiões norte e noroeste do estado do Rio de Janeiro (Oliveira, 2017). Além disso o programa desenvolve populações segregantes via cruzamentos intraespecíficos, avaliando famílias de irmãos-completos, S₁ e S₂.

O PMGG-UENF teve início em 2008, com um trabalho de pré-melhoramento realizado por Pessanha (2011), com a coleta de 17 acessos de *P. guajava* em pomar de polinização aberta para desenvolver trabalhos ligados à diversidade do gênero, citogenética interespecíficas e diversidade genética de híbridos desenvolvidos, sua análise permitiu indicar genitores geneticamente distantes, os quais são ideais para cruzamentos, pois alcançam maior feito da heterose nas progênies.

Em continuidade a pesquisa Campos et al., (2016) quantificaram a divergência genética entre 138 acessos de goiabeiras do banco de germoplasma da UENF, com base em descritores morfológicos, quantitativos e qualitativos

através do procedimento Ward-Modified Location Model (Ward-MLM). Posteriormente, Quintal et al., (2017) utilizaram os mesmos genitores de Pessanha et al., (2011) para obtenção de 17 famílias por cruzamentos controlados com intuito de selecionar progênies segregantes de goiabeiras, via modelos mistos baseado em estimadores REML/BLUP.

Em continuidade ao programa e Paiva et al., (2017) compararam diferentes métodos de seleção entre e dentro de progênies, utilizando a seleção direta e indireta, o índice de seleção e os modelos mistos, a fim de estimar os parâmetros genéticos pelo método da máxima verossimilhança restrita (REML), sendo os melhores genótipos ranqueados pelo melhor preditor linear não viesado (BLUP), além de quantificar a repetibilidade das variáveis analisadas.

Silva et al. (2020) avaliaram os parâmetros genéticos das 17 famílias obtidas por Pessanha et al. (2011) e compararam a abordagem bayesiana com a metodologia frequentista. Assim, puderam concluir que a inferência bayesiana forneceu o melhor ajuste do modelo para o conjunto de dados analisados, o que permitiu a seleção das melhores famílias para dar continuidade ao programa.

Pelo fato da goiabeira ter sistema reprodutivo misto, foram obtidas duas novas populações, ambas com origem da população obtida por Pessanha et al. (2011). Uma população foi estabelecida por Souza et al. (2020), onde avaliaram 11 famílias de irmãos-completos e parâmetros genéticos foram estimados pelo procedimento dos modelos mistos, além da divergência genética estimada com base na distância euclidiana média entre os indivíduos selecionados via BLUP. A média da maioria dos genótipos selecionados superou a média dos pais, confirmando que a estratégia de obtenção de famílias de irmãos-completos foi eficaz em gerar ganhos no processo de melhoramento da goiaba.

Esta população está sendo estudada e caracterizada para maiores informações genética e de diversidade via marcadores microsatélites, bem como sua análise agrônômica, nutricional e pós-colheita dos frutos. Também está sendo realizado a refenotipagem das progênies de IC por três safras e implementação de seleção genômica (GS).

A outra população conta com 18 famílias endogâmicas que foram conduzidas por Ambrósio et al. (2021), na qual utilizaram o procedimento estatístico REML/BLUP para estimar os parâmetros genéticos e índices de seleção via modelos mistos. O índice multiplicativo apresentou o maior ganho de seleção em

relação ao índice aditivo, mostrando-se eficaz na identificação das famílias com qualidade e produção superiores simultaneamente.

Silva et al. (2021), estimaram os parâmetros genéticos e quantificaram a diversidade genética em 42 genótipos S₂, obtidos a partir de famílias de goiabeiras S₁ selecionadas via REML/BLUP por Ambrósio et al. (2021), por meio de características baseadas na resposta germinativa, testes de vigor e análise de fenotipagem digital, método Ward-MLM. Através desta pesquisa, os genótipos mais divergentes e com alto potencial de germinação podem ser recomendados para futuros cruzamentos ou autofecundados para obtenção de novas linhagens no programa de melhoramento de goiabeiras.

Em continuação ao programa de melhoramento genético da goiaba, o presente estudo foi dividido em duas partes, onde na primeira foi realizado testes de rotina de análise de sementes de goiaba sob controle genético, verificando o efeito da temperatura e do substrato na germinação de sementes de goiaba de famílias de irmãos completos (Maitan et al., 2020), visando uma metodologia adequada para dar andamento a segunda parte do trabalho.

A segunda parte deste trabalho teve como objetivo verificar a ocorrência de depressão endogâmica, via atributos de sementes, utilizando as famílias S₀, S₁ e S₂ de goiabeira do programa de melhoramento genético da UENF.

Estas populações endogâmicas S₁ e S₂ ainda estão sob avaliações para seleção mais eficiente dos melhores indivíduos via modelos mistos e análise multivariada e avaliação molecular.

2.2. Germinação de Sementes

Atualmente nos plantios comerciais a propagação da goiabeira é via reprodução assexuada, por estaquia, mas, para programas de melhoramento genético é necessário o uso das sementes para desenvolver novas cultivares. Entretanto, apesar dos trabalhos na área de tecnologia de sementes terem progredido bastante nas últimas décadas no Brasil, ainda é pouco expressivo ao que diz respeito as sementes de frutíferas, limitando as pesquisas de análise de sementes e dificultando o acesso a informações sobre a qualidade física e fisiológica. Apesar da importância da goiabeira, e seu intenso cultivo no Brasil, não há recomendação para testes de germinação nas Regras para Análise de

Sementes (Brasil, 2009).

A germinação é a primeira característica a ser considerada para a qualidade fisiológica em um lote de sementes. Segundo a Regra de Análise de Sementes, germinação é definida pela emergência e desenvolvimento das estruturas essenciais do embrião, para originar uma planta normal sob condições favoráveis de campo. Dessa forma, a germinação é caracterizada pela retomada das atividades metabólicas do eixo embrionário, levando a emissão da radícula, que irá depender dos processos fisiológicos da semente em resposta aos fatores ambientais regentes, como água, luz, temperatura e oxigênio (Carvalho e Nakagawa 2012, Brasil, 2009).

A água é essencial na germinação das sementes, pois a absorção de água resulta na reidratação dos tecidos, sendo fundamental para o início do processo de germinação, conseqüentemente a respiração e atividades metabólicas também irão aumentar, fornecendo energia e nutrientes necessário para retomada do crescimento do embrião. Outro fator de grande importância é a luz, a resposta das sementes a luz é controlada pelo fitocromo, podendo ser fotoblásticas positivas, fotoblásticas negativas ou neutras. No processo de germinação a temperatura influencia agindo sobre a velocidade e uniformidade de germinação, estando relacionada a absorção de água e sobre as reações bioquímicas que determinaram todo o processo. Outro elemento essencial é o oxigênio que funciona como combustível no processo de degradação as substâncias de reserva das sementes para o fornecimento de nutrientes e energia para o desenvolvimento do eixo embrionário (Carvalho e Nakagawa 2012).

O processo de germinação é constituído por três fases. A Fase I, é caracterizada pela rápida absorção da água, promovido pelo gradiente de potencial hídrico entre a semente e o ambiente no qual está exposta e ao aumento da taxa respiratória. Ainda na fase I, ocorre ativações enzimáticas e quebra das substâncias de reserva mais simples para que ocorra o crescimento inicial do embrião. A Fase II, é marcada pela redução drástica na absorção de água, ocorre também a quebra de compostos de reservas maiores e o eixo embrionário permanece estável. Na Fase III ocorre a reorganização das substâncias para formação do novo citoplasma, do protoplasma e da parede celular, levando assim ao início do crescimento radicular resultando na rápida absorção de água, por fim levando a germinação da semente (Carvalho e Nakagawa, 2012, Marcos Filho, 2015).

Em trabalhos objetivando determinar uma metodologia ideal para determinação da temperatura, do substrato e do tempo para o teste de germinação em sementes de *Psidium guajava* L. Alves et al. (2015) utilizou as seguintes temperaturas: 20; 25 e 30 °C constantes e 20-30 °C alternada e os seguintes substratos: rolo de papel, sobre papel, entre areia e sobre areia. Concluiu-se que o teste de germinação em sementes de goiaba pode ser realizado à temperatura alternada de 20-30 °C, no substrato rolo de papel, sobre papel ou sobre areia e com contagem final aos 23 dias da semeadura.

Gentil et al. (2018) avaliaram o desempenho de sementes de *Psidium friedrichsthalianum* (O. Berg) Nied. em diferentes temperaturas de germinação e variação da umidade do armazenamento das sementes dessa espécie, em dois ensaios. No primeiro, foram avaliadas seis temperaturas (15, 20, 25, 30, 35 e 40 °C) e, no segundo, sementes com diferentes graus de umidade (15,4; 9,8; 9,0; 8,4 e 8,2%) foram armazenadas em recipientes herméticos a 20 °C, durante 0, 1, 3, 6, 9 e 12 meses. A temperatura que favoreceu a germinação de sementes foi de 20 e 25 °C, alcançando 93 e 87% respectivamente, onde também foram observados os mais altos índices de velocidade de germinação (2,58 e 2,56) e menores tempos de germinação (37,9 e 36,9 dias, respectivamente). As temperaturas de 30 e 35 °C mantiveram as sementes quiescentes, enquanto a de 40 °C foi letal. No armazenamento, foi verificado que as sementes toleraram dessecação até 8,2% de água, podendo ser armazenadas em recipientes herméticos a 20 °C, por 12 meses, com germinação superior a 70%. O conhecimento das condições que proporcionam germinação rápida e uniforme das sementes de goiaba é extremamente importante para fins de semeadura.

Outro fator de grande importância na germinação é o vigor, que está relacionado em determinar o desempenho das sementes durante a emergência e desenvolvimento de plântulas. Alguns fatores pode influenciar diretamente no vigor das sementes como fatores ambientais, genéticos, armazenamento, danos mecânicos, microrganismo, insetos, entre outros (Carvalho e Nakagawa, 2012).

Os testes de vigor são amplamente utilizados para diferenciar os níveis de vigor entre as sementes. Estes testes são classificados em métodos diretos e métodos indiretos (Carvalho e Nakagawa, 2012). Com o objetivo de padronizar a avaliação das sementes, o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento estabeleceu as Regras para Análise de Sementes, que determinam os protocolos

a serem seguidos para obter-se resultados seguros, precisos e uniformes, para que possam ser usados para comparar os resultados de diferentes amostras de sementes (Brasil, 2009).

Entre os testes de vigor em sementes, podemos destacar o teste de envelhecimento acelerado, índice de velocidade de germinação, teste tetrazólio, comprimento de plântulas. O teste de envelhecimento acelerado é realizado para prever o potencial de armazenamento das sementes, ele baseia-se no princípio da aceleração da taxa de deterioração das sementes através de sua exposição a níveis elevados de temperatura e umidade relativa do ar (Marcos Filho, 2015). O índice de velocidade de germinação determina o vigor das amostras quanto a velocidade de germinação em condições controladas, seguindo as condições do teste de germinação (Carvalho e Nakagawa, 2012, Nakagawa, 1999).

O teste tetrazólio é um teste bioquímico que tem como principal objetivo determinar indiretamente a atividade respiratória nas células que compõem os tecidos das sementes, predizendo sua viabilidade. Nesse teste as sementes são embebidas em uma solução incolor de 2,3,5 trifenil cloreto ou brometo de tetrazólio, indicadora do processo de respiração. Com a realização do teste, as sementes podem ser classificadas como viável ou não viável e também verificar os tipos de danos sofridos pela semente através da intensidade da coloração vermelha e tipo de lesão ocorrida (Brasil, 2009).

O Comprimento de plântulas avalia o comprimento médio das plântulas normais ou de suas partes como hipocótilo, epicótilo e raiz primária e relaciona o desenvolvimento da plântula com o vigor das sementes. O teste deve ser realizado em condições controladas de laboratório de acordo com as condições estabelecidas para o teste de germinação da espécie (Carvalho e Nakagawa, 2012, Nakagawa, 1999)

2.3. Depressão por Endogamia

A endogamia é um fenômeno decorrente de sistema de cruzamento entre indivíduos aparentados. Os efeitos prejudiciais da endogamia em plantas e animais são conhecidos há muitos anos. A depressão endogâmica não se expressa em plantas autógamas, como ocorre nas alógamas, a maioria das espécies alógamas apresenta depressão por endogamia devido à alta concentração de

heterozigiosidade, entretanto, alógamas com mecanismos de auto incompatibilidade a autofecundação é inexistente e conseqüentemente a endogamia também. Para as espécies de sistema misto de reprodução, como a goiabeira, o efeito da depressão está relacionado com a taxa de autofecundação natural que é intermediário aos efeitos que ocorrem nas autógamias e alógamas (Borém, 2017, Borém, 2021).

A endogamia pode acarretar em diversas conseqüências como o aumento da homozigose, devido ao avanço de gerações com indivíduos aparentados para fixação dos caracteres; alteração da frequência genotípica, no entanto sem modificação na frequência alélica; aparecimento de características indesejáveis ou anomalias em espécies alógamas; perda de vigor generalizada da planta, ou seja depressão por endogamia, tendo conseqüência redução da produtividade; redistribuição da variância genética à medida que aumenta a homozigose, elevando assim a variância genética entre as linhagens e diminuindo dentro das linhagens (Borém, 2017, Borém, 2021).

No melhoramento de plantas a endogamia é usualmente empregada para fixação de um genótipo, mas este fenômeno, pode acarretar na depressão por endogamia, ocorrendo diminuição do valor fenotípico de uma população, ou seja, diminuição no valor adaptativo de um indivíduo, devido à expressão de genes deletérios que se encontravam encobertos nos heterozigotos nas gerações anteriores levando a perda de vigor, devido aos cruzamentos entre descendentes em algumas plantas alógamas (Borém, 2017, Borém, 2021).

Segundo Vencovsky e Barringa (1992), estimativas de depressão endogâmica podem ser utilizadas para avaliar populações quanto às suas potencialidades para o melhoramento genético. Populações que apresentam médias altas e nenhuma ou pouca depressão endogâmica para os caracteres de interesse, têm grande potencial para obtenção de linhagens superiores para síntese de futuros híbridos.

Dessa forma, neste trabalho a obtenção de linhagens endogâmicas consiste na autofecundação de indivíduos superiores por vários ciclos de seleção para caracteres de interesse, ocasionando à fixação do genótipo, visto que a goiabeira é uma planta com sistema de reprodução misto.

3. OBJETIVOS

3.1. Objetivos gerais

O presente estudo tem por objetivo avaliar famílias endogâmicas de goiabeiras S_1 e S_2 , com a finalidade de verificar a existência de depressão endogâmica pela qualidade física e fisiológica de sementes.

3.2. Objetivos específicos

Trabalho 1 – Respostas fisiológicas de sementes de famílias de irmãos completos de goiabeira a diferentes substratos e temperaturas

Objetivou-se comparar a germinação de sementes de goiabeira, estruturadas em progênies de irmãos completos, sob diferentes substratos (sobre papel, entre papel, sobre areia, entre areia) e temperaturas (25, 30, 35, 20-30 e 25-35 °C), avaliando as características físicas e fisiológicas.

Trabalho 2 – Seleção, estimativa de parâmetros genéticos e dissimilaridade genética em famílias S_2 de *P. guajava* via atributos das sementes

Objetivou-se estimar parâmetros genéticos e predizer valores genéticos individuais para 55 genótipos S_2 de goiabeira por meio da metodologia de modelos mistos (REML/BLUP).

Estimar a dissimilaridade genética com base em atributos fisiológicos de sementes visando selecionar os genótipos mais vigorosos e divergentes para o

programa de melhoramento genético da goiabeira.

Trabalho 3 – Estimativa da depressão endogâmica em *Psidium guajava* via atributos de sementes utilizando famílias S₀, S₁ e S₂.

Objetivou-se estimar a depressão endogâmica nas famílias S₁ e S₂, através das atributos físicos e fisiológicos de sementes.

4. TRABALHOS

4.1. Respostas fisiológicas de sementes de famílias de irmãos completos de goiabeira a diferentes substratos de temperaturas

Physiological responses of seeds from full-sib guava families to different substrate temperatures

RESUMO

Maitan, M.Q., Viana, A.P., Vieira, H.D., Silva, C.C.A, Rodrigues, D.L., Leal, L.S.S. (2020) Physiological responses of seeds from full-sib guava families to different substrate temperatures. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 42:1-8.

A goiaba é uma fruta de importância no Brasil e no mundo. No entanto, as pesquisas ainda precisam avançar na área de melhoramento genético e na tecnologia de sementes, que é fator fundamental na busca de novos genótipos produtivos e com potencial germinativo, dando apoio à continuidade dos programas de melhoramento. Na busca de metodologia para teste de análise de rotina de sementes de goiaba sob controle genético, objetivou-se avaliar o efeito da temperatura e do substrato na germinação de sementes de goiaba oriundas de famílias de irmãos completos. O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, em esquema fatorial 5 x 4, constituído pela combinação

de cinco temperaturas (25; 30; 35; 20-30 e 25-35 °C) e quatro substratos (rolo de papel; sobre papel; entre areia e sobre areia), com oito repetições de 50 sementes. Foram avaliadas a germinação, o índice de velocidade de germinação e as sementes não germinadas vivas. As temperaturas alternadas de 20-30 e 25-35 °C e os substratos rolo de papel, sobre papel e entre areia são as condições adequadas para condução de testes de germinação com sementes de goiaba.

Palavras chave: *Psidium guajava*, germinação, índice de velocidade de germinação.

ABSTRACT

Guava is an important fruit in Brazil and worldwide. However, research has yet to advance on its breeding and seed technology, an essential factor for the development of productive genotypes with germination potential, which would support the continuity of breeding programs. In search of a methodology for routine analysis testing of guava seeds under genetic control, this study examined the effect of temperature and substrate on the germination of guava seeds from full-sib families. The experiment was laid out in a completely randomized design with a 5 × 4 factorial arrangement consisting of the combination of five temperatures (25, 30, 35, 20-30 and 25-35 °C) and four substrates (paper roll, on paper, in sand and on sand), with eight replicates of 50 seeds. Germination, germination speed index and live ungerminated seeds were evaluated. The alternating temperatures of 20-30 and 25-35 °C and the paper roll, on-paper and in-sand substrates are adequate conditions for germination tests with guava seeds.

Key words: *Psidium guajava*, germination, germination speed index.

INTRODUCTION

Guava (*Psidium guajava* L.) is an important fruit for Brazil and worldwide, due both to its fresh consumption and the great demand by the sweets industry. Brazil is one of the largest producers of red guava in the world.

Guava breeding programs are aimed at increasing yield (ALMEIDA et al., 2019) or developing resistance to some disease (GOMES et al., 2017). The crop is propagated in commercial orchards via cuttings, which are used to produce seedlings that allow the formation of uniform orchards (SINGH, 2007). However, in the breeding of this crop, plants are multiplied using seeds to ensure greater genetic variability (PEREIRA; KAVATI, 2011).

Due to its high allogamy rate, guava is highly heterozygous (ALVES; FREITAS, 2007). When full-sib families are obtained by crosses in pairs, the homozygosity of the population is increased. Uniform inbred lines can be obtained from self-pollination processes, considering that this process results in decreased genetic variance within lines and increased variance between lines (BORÉM et al., 2017). The main test used to evaluate seed quality is the germination test, which is followed by seed vigor tests. Nevertheless, for many fruit crops, including guava, information for routine germination analysis testing is not provided in the International Rules for Seed Testing. Through a set of procedures, these rules aim to analyze seed quality and standardize such procedures (BRASIL, 2009).

Because germination is regulated by the interaction between seed physiological processes and environmental conditions, it differs across plant species. A successful germination process requires favorable water, temperature, light, oxygen and substrate conditions (MONDO et al., 2010).

Temperature exerts a great influence on the germination process, interfering with water absorption by the seeds; chemical reactions that regulate metabolism; and the speed, percentage and uniformity of germination (CARVALHO; NAKAGAWA, 2012; MARCOS FILHO, 2015). To define the ideal temperature for germination, it is important that the seeds be able to express their full physiological potential in the formation of normal seedlings (BRANCALION et al., 2008).

Another factor of great relevance in the germination process is the choice

of the substrate, which should exhibit a good relationship between water availability and aeration. The ideal substrate should facilitate the count and evaluation of seedlings, considering also the size, shape and requirements of the seed that will be analyzed (BRASIL, 2009).

Therefore, the present study was conducted to determine the ideal substrate and temperature for germinating guava seeds from full-sib families, according the International Rules for Seed Testing (BRASIL, 2009).

MATERIAL AND METHODS

The seeds used in this study originated from fruits from the orchard of the Breeding Program of the Universidade Estadual Norte Fluminense Darcy Ribeiro.

Fifty ripe fruits from full-sib families were harvested at random in March 2018. The seeds were removed manually and washed in running water over a steel-mesh sieve by the rubbing method. Once extracted, the seeds were laid on paper towel to dry for 48 h, at room temperature. Subsequently, the water content of the seeds was determined by oven-drying at 105 ± 3 °C, for 24 h, using four replicates of three grams of seeds. Thousand-seed weight was determined by weighing eight replicates of 1000 seeds on a scale with four decimal places. Both procedures were undertaken in accordance with the Rules for Seed Testing (BRASIL, 2009).

The tests were conducted in a germination chamber set to provide a photoperiod of 8 h. Five temperatures (25 °C, 30 °C, 35 °C and the alternating temperatures of 20-30 °C and 25-35 °C) and four germination substrates (paper roll, on-paper, in-sand and on-sand) were tested. (BRASIL, 2009). For the paper roll substrate, two sheets of germination paper were moistened with distilled water at the ratio of 2.5 times the weight of the non-moistened paper and arranged in a roll (BRASIL, 2009). For the on-paper substrate, each of the eight replicates of 50 seeds was placed in transparent acrylic boxes measuring 11 × 11 × 3 cm. These contained two sheets of paper, which were cut, sterilized and moistened with distilled water at the ratio of 2.5 times the weight of the dry paper (BRASIL, 2009).

For the in-sand and on-sand substrates, plastic boxes measuring 11 × 11 × 5 cm were used. The substrates were moistened with distilled water until reaching 60% of field capacity (BRASIL, 2009). The 50 seeds of the eight replicates were

deposited at a depth of 1 cm, and those to be used for the on-sand treatment were simply laid on the substrate.

The effect of substrates and temperatures was evaluated by germination tests, whereby the seeds were counted on alternate days and only the seedlings with an aerial part 1 cm long were considered a germinated seed. Germination speed index (GSI) was also determined, by using the formula described by Maguire (1962) after the end of the 27-day test, when germination, the number of live ungerminated seeds and the number of dead seeds stabilized. To identify live seeds among those that did not germinate, they were subjected to the tetrazolium test. This procedure consisted of immersing ungerminated seeds sectioned lengthwise with a scalpel in aqueous solution of tetrazolium bromide at a concentration of 1% for 4 h, in a closed container without incident light, to stain the live tissues (BRASIL, 2009).

The experiment was laid out in a completely randomized design with a 5 × 4 factorial arrangement (temperatures × substrates) with 50 seeds and eight replicates. Means were compared by Tukey's test at the 5% probability level, using Sisvar (System for Analysis of Variance) software (FERREIRA, 2008).

RESULTS AND DISCUSSION

The guava seeds showed a water content of approximately 11.5% and a 1,000-seed weight of 14.40 g. The interaction between temperatures and substrates was significant for all analyzed variables (Table 1).

Table 4. Summary of analysis of variance for germination test (G), germination speed index (GSI) and live ungerminated seeds (LUS) as a percentage of guava seeds at five temperatures in the four substrates

| Source of variation | Means square | | | |
|------------------------------|--------------|---------------|--------------|---------------|
| | F | G | GSI | LUS |
| Replicate | 7 | 45.796429* | 3.367292* | 95.996429* |
| Substrate | 3 | 14434.691667* | 607.802420* | 11205.091667* |
| Temperature | 4 | 27602.937500* | 1139.627735* | 27990.537500* |
| Substrate x Temperature | 12 | 5017.920833* | 218.150594* | 2815.487500* |
| Residue | 133 | 42.954323 | 3.368795 | 90.003947 |
| Coefficient of variation (%) | | 16.26 | 23.54 | 17.75 |

* Significant at 5% probability by the F test ($P < 0.05$); DF = degrees of freedom

According to the guava seed germination test, at the alternating temperatures of 20-30 °C and 25-35 °C, germination values higher than 90% were found in the paper roll, on-paper and in-sand substrates, as opposed to the on-sand substrate (Figure 1). However, at the constant temperatures of 25, 30 and 35 °C, the best germination substrate was in sand, although the germination percentage was lower than 40% (Figure 1).

These results are similar to those found by Alves et al. (2015), who observed that guava seeds reach higher germination values at the alternating temperatures of 20-30 °C in the paper roll, on paper, on-sand and in-sand substrates, when compared with the constant temperatures of 20, 25 and 30 °C. In this study, the same was not observed with the on-sand substrate, due to the difficulty in maintaining seed moisture. Other authors, such as Pereira and Andrade (1994), examined the germination of *P. guajava* seeds and observed that the alternating temperatures of 20-30 °C and 15-35 °C provided higher germination values than the constant temperatures of 25 and 30 °C using the paper roll, vermiculite and on-paper substrates.

Freitas et al. (2012) also conducted germination experiments with guava seeds and observed higher germination values at the alternating temperatures of 20-30 °C as compared with the constant temperatures of 20 and 30 °C, using the on-paper substrate. Those authors used root emergence as a trait for evaluation in the germination test. This germination assessment methodology likely contributed

to the marked increase in germination percentage.

Sugahara and Takaki (2004) stated that guava seeds exhibit higher germination percentages when subjected to alternating temperatures. The authors induced germination under light and dark conditions and observed that, in the latter condition, a 5 °C variation was sufficient to induce germination, but a 10 °C variation caused an even greater increase in germination percentage under white light. However, the highest germination values were seen in the range of 15 °C. This result confirms the efficiency of alternating temperatures in increasing germination rate in guava seed.

According to Bewley and Black (1982), alternating temperatures cause the seed integument to expand and retract, resulting in small cracks that allow the entry of water into the seed. The seed germination process is complex and involves reactions and phases, which are directly affected by temperature, altering the water absorption speed and metabolic reactions that make reserves available for seedling development (NAKAGAWA, 2012; MARCOS-FILHO, 2015).

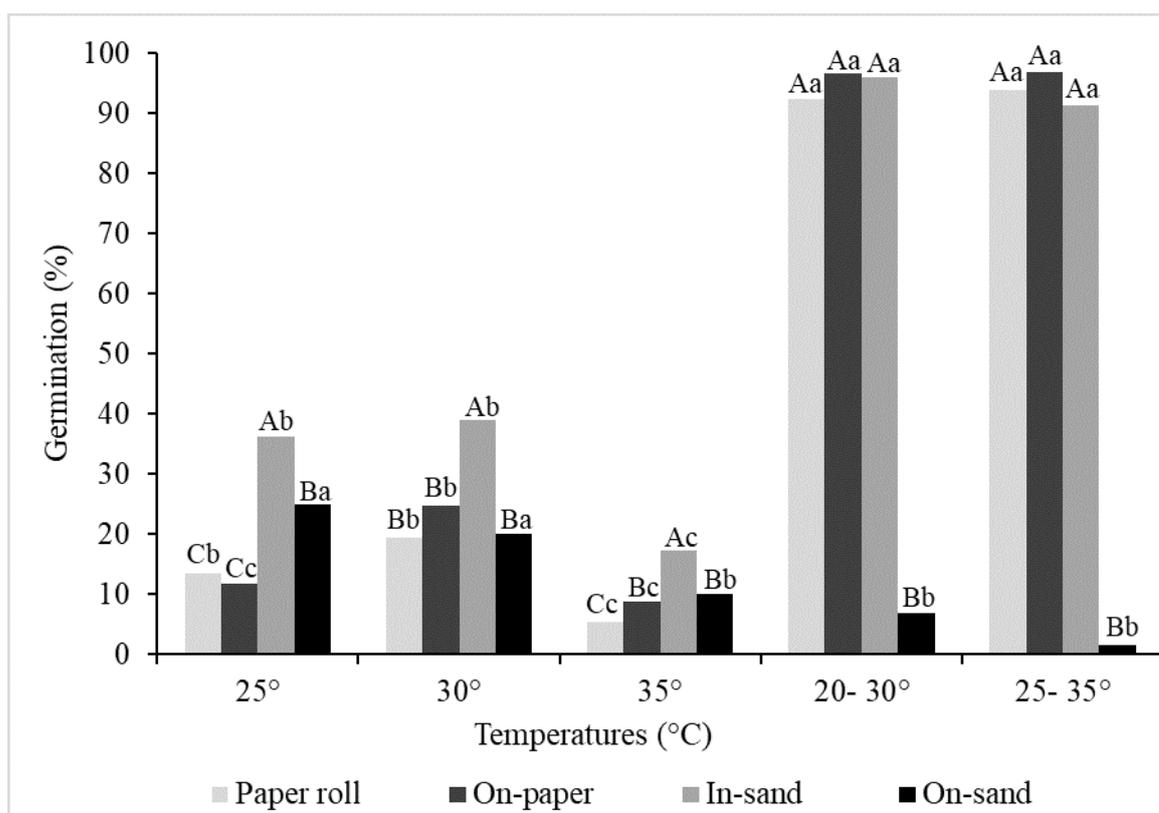


Figure 1. Germination (%) of guava seeds as a function of temperatures and substrates.

-Means followed by the same letter do not differ statistically from each other. Uppercases letters compare substrates and lowercase letters compare temperatures, by Tukey's test at $P < 0.05$.

Temperature changes allow enzymes, proteins, promoting and inhibiting substances, membrane permeability and other functions to operate at different temperature peaks. Thus, they induce alterations in membrane permeability and in enzymes acting in the germination process. Lower temperatures accelerate the activity of some enzymes, but can also reduce metabolic activity (CORBINEAU, 2008; RIX et al., 2015).

The seed germination process mobilizes nutrient reserves in the seeds through enzymes, especially those that degrade carbohydrates and cellulose (BHUSHAN et al., 2013). Guava seeds have a higher cellulose content which tends to decrease with germination and which is consumed together with starch. The main roles of cellulase are to digest the cell wall, enabling cell dissolution for radicle emergence, and to produce reserve carbohydrates to be used in seedling growth (LING et al., 2017). For this entire process to take place, ideal light, temperature, oxygen and water conditions must be present.

Because the germination process is closely related to the supply of water to the seeds, the substrate to be used must meet this requirement. In the present study, the best substrates were paper roll, on paper and in sand, especially at the alternating temperatures of 20-30 °C and 25-35 °C. Those substrates provided greater water availability to the seeds, which resulted in higher germination values (Figure 1). Some studies investigating germination in *P. guajava* seeds presented similar results. Pereira and Andrade (1994) observed that, in the experimental conditions used in their study, sand was the best substrate for the germination of guava seeds. In contrast, Freitas et al. (2012) concluded that paper and the commercial substrates Bioplant and Plantmax were superior for the germination of the same species. Alves et al. (2015) observed that the best substrates for germination of guava seeds were paper roll or sand, which are very similar results as compared with those obtained in the current study.

The on-sand substrate provided less water to the seeds, considerably reducing germination. This was due to the smaller contact surface between the seed and the sand grains, which hindered water absorption by the seed. Therefore, despite being a possible indication by the Rules of Seed Testing (BRASIL, 2009), this substrate is not recommended for the germination of guava seeds in this study, mainly at alternating temperatures (Figure 1).

For the alternating temperatures of 25-35 °C, the highest germination speed indices (GSI) were obtained with the paper roll and on-paper substrates: 5.26 and 5.20, respectively. For the alternating temperatures of 20-30 °C, the result was statistically equal for the paper roll, on-paper and in-sand substrates, ranging from 4.80 to 4.43. However, at the constant temperatures of 25 and 30 °C, GSI was higher only for the in-sand substrate (1.88 at both temperatures), differing from the other substrates. For the temperature of 35 °C, no difference was detected between the analyzed substrates, since this temperature severely affected seed germination percentage, which was less than 18% in all substrates. (Figure 2).

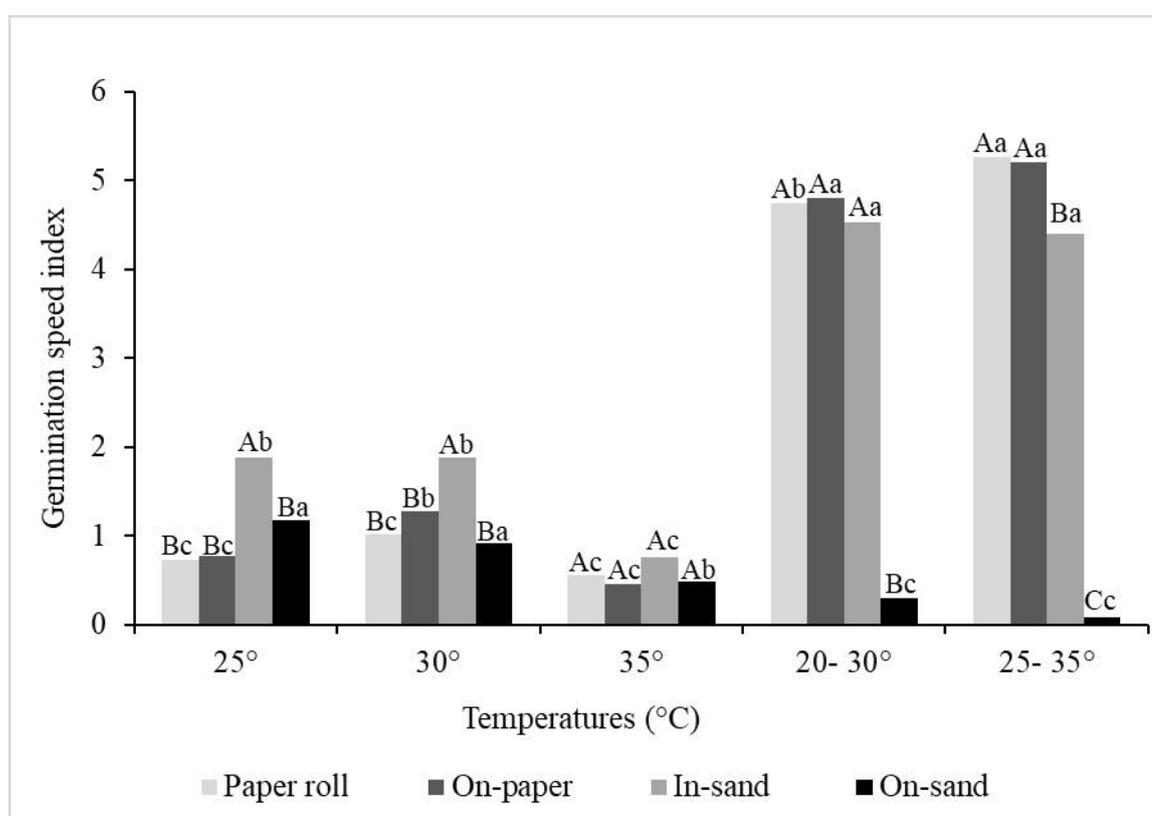


Figure 2. Germination speed index of guava seeds as a function of temperatures and substrates.

-Means followed by the same letter do not differ statistically from each other. Uppercases letters compare substrates and lowercase letters compare temperatures, by Tukey's test at $P < 0.05$.

The germination test lasted 27 days, when the number of germinated seeds stabilized. For the temperature of 25 °C, germination began at 13 days of testing for the paper roll, on-paper and in-sand substrates. At the temperatures of 30 and 35 °C, germination started at 15 days of testing for all substrates.

At the alternating temperatures of 20-30 °C, in the paper roll and on-paper substrates, the seeds started to germinate at 15 days. Those set to germinate at the

temperatures of 25-35 °C started germination at 11 days in the paper roll and on-paper substrates after the start of the test. These results demonstrate that guava seeds start to germinate earlier at the alternating temperatures of 25-35 °C and with those substrates.

According to Freitas et al. (2012), the alternating temperatures of 20-30 °C provided the fastest germination speeds in guava seeds on the paper substrate. Likewise, Alves et al. (2015) obtained the best GSI results in guava seeds using the alternating temperatures of 20-30 °C in the paper roll, on-paper and on-sand substrates. Gentil et al. (2018) studied *Psidium friedrichsthalianum* and obtained higher GSI and shorter germination times at the constant temperatures of 20 and 25 °C. However, the authors did not test alternating temperatures, which emphasizes the importance of associating the effect of different genotypes on the obtained responses, in this type of study.

At the alternating temperatures of 20-30 °C and 25-35 °C, the results for germination on paper roll, on paper and in sand were higher than those obtained on sand. The same was true for GSI, except for the in-sand substrate, whose response was lower than that shown by the on-paper substrate, yet superior to that obtained with the on-sand treatment (Figures 1 and 2).

At the end of the test, all ungerminated seeds from all treatments were transferred to germination chambers with temperature set to 25-35 °C, using paper roll as a substrate, for 15 days. The seeds in the treatments involving the temperatures of 25, 30 and 35 °C reached germination values higher than 70%, and so did those at the temperatures of 20-30 °C and 25-35 °C on sand, suggesting that they were in a state of dormancy (CARVALHO; NAKAGAWA, 2012).

Germination is regulated by the interaction between seed physiological stage and environmental conditions, and each plant species responds differently. However, for the process to occur, water, temperature, light and oxygen must be available (MONDO et al., 2010). Of those factors, temperature directly interferes with all biochemical reactions and physiological processes, which will in turn influence germination speed and percentage (CARVALHO; NAKAGAWA, 2012; MARCOS FILHO, 2015).

Most of the seeds under constant temperatures were not able to conclude phase II, because, in addition to water availability, temperature is a crucial factor for them to reach the end of this phase (BEWLEY et al., 2013). This fact may be related

to oxygen availability, since, at temperatures above 25 °C, oxygen becomes less water-soluble, with small quantities reaching the embryo. Another important factor is that high temperatures trigger thermal stress in the embryo and favor seed deterioration (ZUCARELI et al., 2009). The substrate was another factor altered by the temperature change, since all seeds were arranged on paper roll, which increased the contact area between seed and substrate, greatly affecting germination speed and complete germination (CARVALHO; NAKAGAWA, 2012).

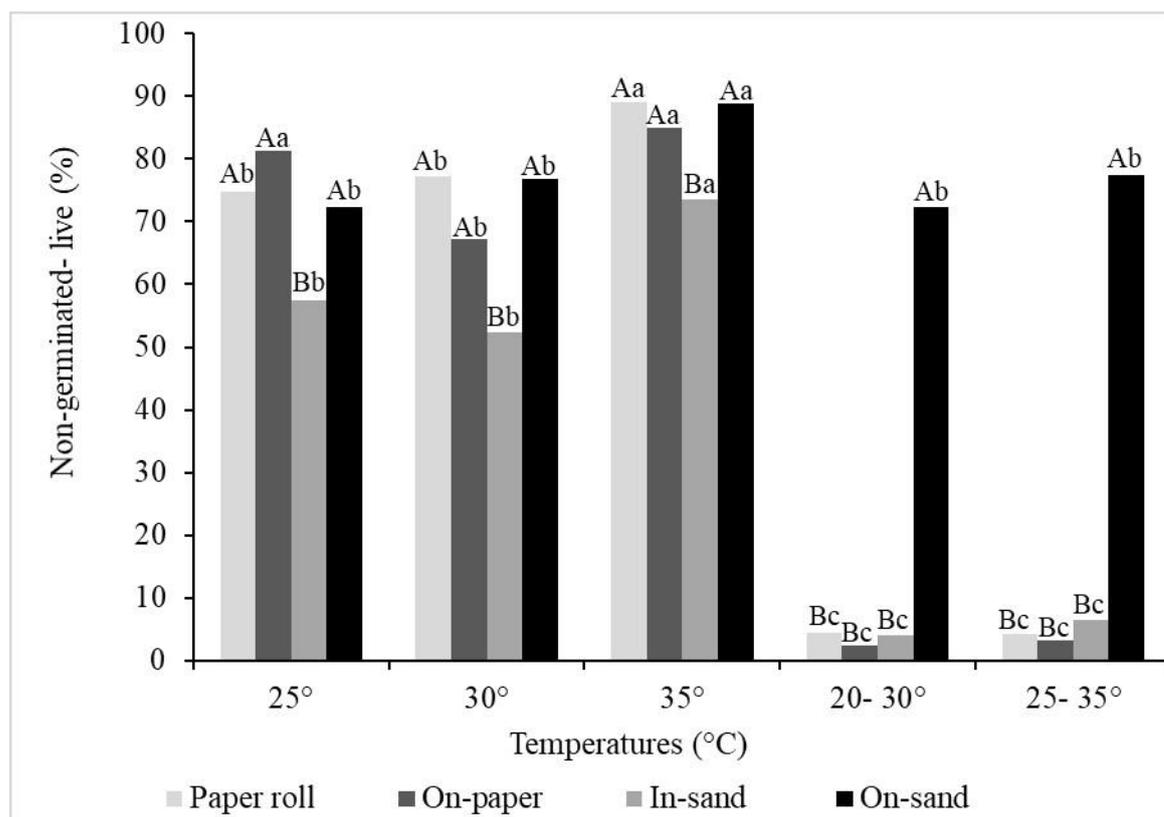


Figure 3. Live ungerminated seeds (%) of guava as a function of temperatures and substrates.

-Means followed by the same letter do not differ statistically from each other. Uppercases letters compare substrates and lowercase letters compare temperatures, by Tukey's test at $P < 0.05$.

When the ungerminated seeds were transferred to the paper roll substrate and kept at the temperatures of 25-35 °C, they left this dormancy state, completed phase II and started phase III, thus concluding the germination process. The ideal temperature for the germination of seeds of a given species should be defined as the maximum potential of germination and formation of normal seedlings, since the water absorption speed and biochemical reactions will be favored (BRANCALION et al., 2008; MARCOS FILHO, 2015).

At the alternating temperatures of 20-30 °C and 25-35 °C, the on-sand substrate showed a higher number of live seeds that did not germinate, as this substrate proved to be inefficient for the germination of guava seeds at these temperatures, but did not cause death of the majority of the seeds. The same occurred at the fixed temperatures of 25, 30 and 35 °C, in which the highest numbers of ungerminated live seeds were found in the paper roll, on-paper and on-sand substrates, which showed the worst germination responses (Table 3).

CONCLUSION

The germination test for guava seeds should be carried out at the alternating temperatures of 20-30 °C or 25-35 °C using the paper roll, on-paper or in-sand substrates.

ACKNOWLEDGMENT

This study was financed in part by the Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) – Finance Code 001 and Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro (FAPERJ).

REFERENCES

- ALMEIDA, C.L.P.; VIANA, A.P.; SANTOS, E.A.; QUINTAL, S.S.R. repetibility in guava: how many evaluations is necessary for selection the best guava tree? *Functional Plant Breeding Journal*, v.1, n.2, p.51-60, 2019.
- ALVES, C.Z.; SILVA, J.B.; CÂNDIDO, A.C.S. Metodologia para a condução do teste de germinação em sementes de goiaba. *Revista Ciência Agronômica*, v.46, n.3, p.615-621, 2015.
- ALVES, J.E.; FREITAS, B.M. Requerimentos de polinização da goiabeira. *Ciência Rural*, v.37, n.5, p.1281-1286, 2007.
- BEWLEY, J.D.; BLACK, M. *Physiology and biochemistry of seed in relation to germination: viability, dormancy and environmental control*. Berlin: Springer-Verlag, 1982. 375p.

- BEWLEY, J.D.; BRADFORD, K.J.; HILHORST, H.W.M.; NONOGAKI, H. Seeds: physiology of development germination and dormancy. New York: Springer, 2013. 392p.
- BHUSHAN, B.; PAL, A.; SINGH, A. Effect of lead on protein dissolution and phosphate mobilization in germinating oat [*Avena sativa* (L.) cv. HJ-8] seeds. *Indian Journal Agricultural Research*, v.47, p.402-410, 2013.
- BORÉM, A.; MIRANDA, G.V.; FRITSCHÉ-NETO, R. Melhoramento de plantas. 7ed. Viçosa: Ed.UFV. 2017. 543p.: il.
- BRANCALION, P.H.S.; NOVENBRE, A.D.L.C.; RODRIGUES, R.R.; CHAMMA, H.M.C.P. Efeito da luz e de diferentes temperaturas na germinação de sementes de *Heliovarpus pipayanensis* L. *Revista Árvore*, v.32, n.2, p.225-232, 2008.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Regras para análise de sementes. Brasília: Mapa/ACS, 2009. 395p.
- CARVALHO, N.M.; NAKAGAWA, J. Sementes: ciência, tecnologia e produção. 5ed. Jaboticabal: FUNEP, 2012. 588p.
- CORBINEAU, F. Markers of seed quality: from present to future. *Seed Science Research*, v.22, p.61-68, 2012.
- FERREIRA, D.F. SISVAR- um programa para análises e ensino de estatística. *Revista Científica Symposium*, v.6, p.36-41, 2008.
- FREITAS, A.R.; LOPES, J.C.; MACIEL, K.S.; VENÂNCIO, L.P. Germinação de sementes de goiaba em função dos substratos e regime de temperaturas. *Enciclopédia Biosfera*, v.8, n.14, p.615, 2012.
- GENTIL, D.F.O.; FERREIRA, S.A.N.; REBOUÇAS, E.R. Germination of *Psidium friedrichsthalianum* (O. Berg) Nied. seeds under different temperature and storage conditions. *Journal of Seed Science*, v.40, n.3, p.246-252, 2018.
- GOMES, V.M.; RIBEIRO, R.M.; VIANA, A.P.; SOUZA, R.M.; SANTOS, E.A.; RODRIGUES, D.L.; ALMEIDA, O.F. Inheritance of resistance to *Meloidogyne enterolobii* and individual selection in segregating populations of *Psidium* spp. *European Journal of Plant Pathology*, v.148, p. 699–708, 2017.
- LING, C.X.; CHANG, Y.P. Valorizing guava (*Psidium guajava* L.) seeds through germination-induced carbohydrate changes. *Journal Food Scientists & Technologists*, v.54, n.7, p.2041-2049, 2017.
- MAGUIRE, J.D. Speed of germination aid in selection and evaluation for seeding emergence and vigor. *Crop Science*, v.2, n.2, p.76-177, 1962.
- MARCOS FILHO, J. Fisiologia de sementes de plantas cultivadas. 2ed. Londrina: ABRATES, 2015. 660p.
- MONDO, V.H.V.; CARVALHO, S.J.P.; DIAS, A.C.R.; MARCOS FILHO, J. Efeito da luz e temperatura na germinação de sementes de quatro espécies de plantas

danificadas pelo gênero *Digitaria*. *Revista Brasileira de Sementes*, v.32, n.1, p.131-137, 2010.

PEREIRA, F.M.; KAVATI, R. Contribuição da pesquisa científica brasileira no desenvolvimento de algumas frutíferas do clima subtropical. *Revista Brasileira de Fruticultura*, v.33, n.1, p.92-108, 2011.

PEREIRA, T.S.; ANDRADE, A.C.S. Germinação de *Psidium guajava* L. e *Passiflora edulis* Sims: efeito da temperatura, substrato e morfologia do desenvolvimento pós-seminal. *Revista Brasileira de Sementes*, v.16, n.1, p.58-62, 1994.

RIX, K.D.; GRACIE, A.J.; POTTS, B.M.; BROWN, P.H.; GORE, P.L. Genetic control of *Eucalyptus globulus* seed germination. *Annals of Forest Science*, v.72, n.4, p.457-467, 2015.

SINGH, G. Desenvolvimento recente na produção de goiaba. *Acta Horticulturae*, n.735, p.161-176, 2007.

SUGAHARA, V.Y.; TAKAKI, M. Effect of light and temperature on seed germination in guava (*Psidium guajava* L. - Myrtaceae). *Seed Science & Technology*, v.32, n.3, p.759-764, 2004.

ZUCARELI, V.; FERREIRA, G.; AMARO, A.C.E.; ARAÚJO, F.P. Fotoperíodo, temperatura e reguladores vegetais na germinação de sementes de *Passiflora cincinnata* Mast. *Revista Brasileira de Sementes*, v.31, p.106-114, 2009.

4.2. Seleção, estimativa de parâmetros genéticos e dissimilaridade genética em famílias S_2 de *P. guajava* via atributos de sementes

RESUMO

Devido a importância das sementes de goiabeira em programas de melhoramento genético o objetivo deste estudo foi realizar seleção, estimar parâmetros genéticos e prever valores genéticos individuais para 55 genótipos de famílias S_2 e estimar a dissimilaridade genética com base em atributos fisiológicos de sementes visando selecionar os genótipos mais vigorosos e divergentes para o programa de melhoramento genético da goiabeira. Todos os genótipos S_2 avaliados foram obtidas por meio de autofecundação de genótipos S_1 do programa de melhoramento genético de goiabeiras na Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. O experimento foi delineado em blocos com 55 genótipos S_2 , 15 famílias, em quatro blocos. As estimativas de parâmetros genéticos e a seleção dos melhores genótipos com base no valor genético foi realizada utilizando o método estatístico dos modelos mistos através do programa Selegen- REML/BLUP. Além disso, a divergência genética foi estimada com base na distância euclidiana média, utilizando o programa Genes. Pela avaliação dos BLUPs individuais, genótipos S_2 que contribuíram para maioria das características em avaliação, foram: 5, 31, 85, 214, 369, 393, 398, 442, 443, 444, 449 e 529, sugerindo potencial para gerar genótipos vigorosos, com alto poder germinativo. Por meio da dissimilaridade genética foi possível formar cinco grupos distintos, o

cruzamento entre os grupos é indicado para obtenção de populações segregantes superiores

Palavra-chave: autofecundação, goiabeira, modelos mistos, vigor.

ABSTRAT

In view of the importance of guava seeds in breeding programs, this study was developed to carry out selection, estimate genetic parameters and predict individual genetic values of 55 genotypes from S₂ families as well as estimate genetic dissimilarity based on physiological seed attributes, aiming to select the most vigorous and divergent genotypes for the guava breeding program. All S₂ genotypes evaluated were obtained from self-pollination of S₁ genotypes from the guava breeding program at the State University of Northern Rio de Janeiro. The experiment was laid out in blocks with 55 S₂ genotypes and 15 families, in four blocks. Genetic parameters were estimated and the best genotypes were selected based on the genetic value, using the statistical method of mixed models in Selegen-REML/BLUP software. In addition, genetic divergence was estimated based on the mean Euclidean distance, using Genes software. Based on the evaluation of individual BLUPs, the S₂ genotypes that contributed to most of the evaluated traits were 5, 31, 85, 214, 369, 393, 398, 442, 443, 444, 449 and 529, suggesting potential to generate vigorous genotypes with high germination potential. Genetic dissimilarity allowed the formation of five distinct groups. To obtain superior segregating populations, crossing between the groups is recommended.

Key words: Guava, mixed models, self-pollination, vigor.

INTRODUÇÃO

A goiabeira (*Psidium guajava* L.) é uma planta cultivada nas regiões tropicais do Brasil, isso o torna o terceiro maior produtor de goiaba no mundo, ficando atrás apenas da Índia e do México (Rajan e Hudedamani, 2019). O Brasil produziu 584.223 mil toneladas de goiabas em 2019, e o estado do Rio de Janeiro foi responsável por 20.785 mil toneladas, segundo dados do IBGE (2019).

O aumento da produção de goiaba está relacionado não apenas pelo consumo in natura da fruta, mas também pela grande demanda da indústria de doces e suco. Programas de melhoramento da goiabeira visam além de aumentar rendimento, produzir frutos de dupla aptidão, atendendo assim a demanda do mercado, com fruto in natura para o consumo de mesa e para indústria (Mitra, 2010, Almeida et al., 2019).

A goiabeira é propagada para a formação de pomares comerciais por estacas, sendo 70% da área nacional constituída pela cultivar Paluma, devido ao alto índice de enraizamento de suas estacas quando comparada às outras cultivares, somando a boa produção de frutos com características agrônômicas desejadas (Pereira e Kavati, 2011). No entanto, a propagação de uma planta via semente é de grande importância para programas de melhoramento genético, pois dessa forma podem explorar a variabilidade genética dentro da espécie (Bastos e Ribeiro, 2011).

A Universidade Estadual Norte Fluminense Darcy Ribeiro (UENF) desenvolveu um programa de melhoramento genético para a espécie *P. guajava* L. As pesquisas iniciaram com Pessanha et al. (2011), Campos et al. (2013), Oliveira et al. (2014), Campos et al. (2016), Quintal et al. (2017) e vem produzindo resultados promissores, como o trabalho de Ambrósio et al. (2021) com uso de famílias endogâmicas, que resultou em frutos de qualidade, o que possibilitará desenvolvimento de cultivares, por meio da obtenção de linhagens endogâmicas.

Dessa forma, torna se necessário o estudo da qualidade fisiológica e diversidade genética via atributos de sementes, em indivíduos obtidos por autofecundação, visto que as sementes obtidas através do processo da autofecundação devem possuir alto vigor e qualidade fisiológica. Futuramente, podem gerar uma cultivar (linha pura) que possa ser propagada comercialmente através das sementes.

A qualidade fisiológica das sementes está ligada as suas características metabólicas, entre elas a germinação e o vigor se destacam. O vigor expressa a capacidade das sementes gerarem plantas de alto desempenho, em condições desfavoráveis. Quando germinação e vigor são altos, provocam melhor desempenho das plantas em campo, como maior velocidade de germinação e emergência de plântulas sob condições adversas (Brasil, 2009).

O melhoramento genético tem, em geral, o objetivo de manipular caracteres quantitativos com a finalidade de identificar, acumular e perpetuar genes favoráveis. Neste sentido, a obtenção de estimativas de parâmetros genéticos é fundamental por permitir identificar a natureza da ação dos genes envolvidos no controle dos caracteres e avaliar a eficiência de diferentes estratégias de melhoramento para obtenção de ganhos genéticos e manutenção de base genética adequada (Cruz e carneiro, 2006, Perez Pelea et al., 2019).

O procedimento REML/BLUP é uma ferramenta adequada e precisa para a estimação de componentes de variância e predição dos valores genéticos em plantas perenes, sendo, REML (Máxima Verossimilhança Restrita) para a estimação componentes de variância e BLUP (Melhor Preditor Linear não Viciado) para a predição dos valores genéticos dos indivíduos pela utilização de todas as informações genéticas e não-genéticas disponíveis em um conjunto de observações (Viana e Rezende, 2014).

Os modelos mistos vêm sendo aplicados em programas de melhoramento genético da goiabeira e apresentam bons resultados. Quintal et al. (2017) analisaram pelo procedimento REML/BLUP 17 famílias segregantes de goiabeira para estimativas para parâmetros genéticos. A metodologia usada revelou um grande potencial de seleção da população e variabilidade genética para o melhoramento genético da população. Souza et al. (2020) utilizaram os modelos mistos para estimar os parâmetros genéticos em progênies de irmãos-completos de goiabeira, visando assim selecionar os melhores indivíduos dentro das famílias e realizar uma análise comparativa entre os indivíduos selecionados e seus pais. A média da maioria dos genótipos selecionados superou a média dos pais, confirmando que a estratégia de obtenção de famílias de irmãos-completos foi eficaz em gerar ganhos no processo de melhoramento da goiabeira.

Ambrósio et al. (2021) conduziram oito famílias endogâmicas S_1 , na qual utilizaram o procedimento estatístico REML/BLUP para estimar os parâmetros

genéticos e índices de seleção. Para as características em avaliação, a metodologia de modelos mistos apresentou genótipos com alto potencial de qualidade e alto rendimento.

Diante do exposto esse estudo teve como objetivos: i) estimar parâmetros genéticos e prever valores genéticos individuais para 55 genótipos S_2 de goiaba por meio da metodologia de modelos mistos (REML/BLUP) e ii) estimar a dissimilaridade genética com base em atributos fisiológicos de sementes visando selecionar os genótipos mais vigorosos e divergentes para o programa de melhoramento genético da goiabeira.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado no laboratório da Unidade de Produção e Tecnologia de Sementes da Universidade Estadual Norte Fluminense Darcy Ribeiro (CCTA-UENF), localizado em Campos dos Goytacazes, RJ, Brasil. As sementes de goiaba dos genótipos S_2 originaram-se dos 55 genótipos S_1 mais produtivos, conforme resultados de trabalhos anteriores desenvolvidos no Laboratório de Melhoramento de Plantas da UENF (Tabela1). A população S_1 está localizada no município de Itaocara, RJ, Brasil, na unidade experimental Ilha Barra do Pomba (21°40'S, 42°04'W, 76 m de altitude).

Tabela 1. Origem e obtenção das sementes de goiaba S₂

| Famílias de irmão completos | *Pais das plantas S ₁ | **Família dos genótipo auto fecundado em S ₁ | Genótipos autopolinizados de S ₁ |
|-----------------------------|----------------------------------|---|---|
| 1 | 17/5/1 | 1 | 5, 369 |
| 2 | 7/9/1 | 2 | 17; 196; 198; 199; 372 |
| 3 | 13/3/1 | 3 | 0 |
| 4 | 4/6/1 | 4 | 31; 214; 393; 398 |
| 5 | 5/8/1 | 5 | 47; 227; 229 |
| 6 | 4/5/2 | 6 | 51; 54; 231; 414 |
| 7 | 13/4/1 | 7 | 241; 424; 429; 430 |
| 8 | 5/10/1 | 8 | 72; 75; 78; 251 |
| 9 | 3/7/1 | 9 | 85; 442; 443; 444; 446; 449 |
| 10 | 10/5/1 | 10 | 276; 279 |
| 11 | 5/4/1 | 11 | 0 |
| 12 | 2/6/2 | 12 | 115 |
| 13 | 8/4/1 | 13 | 122;123;127;129;302;303;304; 306 |
| 14 | 5/9/1 | 14 | 0 |
| 15 | 3/11/1 | 15 | 144 |
| 16 | 3/5/1 | 16 | 151;159;160; 334 |
| 17 | 4/9/1 | 17 | 529 |
| 18 | 4/8/1 | 18 | 174; 177; 178; 535; 537; 539 |

* Pais das plantas S₁: Família / Genótipo / Bloco: genótipos mais produtivos avaliados e selecionados por Quintal et al. (2017) que foram autopolinizadas dando origem a plantas S₁.

** Família S₁ / Genótipos: entre parênteses os 55 indivíduos mais produtivos selecionados por Ambrósio et al. (2021) que foram autopolinizadas dando origem às sementes S₂ avaliadas neste estudo.

A autopolinização foi obtida protegendo as flores, cobrindo-as antes da antese. Os botões foram identificados e os frutos posteriormente protegidos com um saco de papel. Após a colheita dos frutos, foi realizada a remoção das sementes, esfregando-as em uma peneira de malha de aço sob água corrente.

As sementes retiradas foram deixadas secar à temperatura ambiente por 48 horas, sendo revolvidas constantemente para proporcionar uma secagem uniforme. Após a secagem das sementes S₂ foram iniciados os testes de natureza física e fisiológica, a saber:

Peso de mil sementes: o cálculo do peso de mil sementes utilizou-se oito repetições de 100 sementes, de acordo com as Regras para Análise de Sementes (Brasil, 2009).

Teste de germinação: foram utilizadas quatro repetições de 50 sementes de cada um dos 55 genótipos e rolo de papel como substrato. As câmaras de germinação foram reguladas em temperatura alternada de 35-25 °C, com fotoperíodo de 8 h/luz e 16 h/escuro, respectivamente. As avaliações eram realizadas em dias alternados até o 28 dia, em que índice de velocidade de germinação, percentagens de plântulas normais, plântulas anormais e sementes não germinadas foram registrados (Maitan et al., 2020).

Índice de velocidade de germinação: foi contabilizado quando a semente que germinava e sua parte aérea apresentava no mínimo 1 cm, na contagem dos dias alternados, esta variável era calculada pela fórmula proposta por Maguire (1962).

Comprimento parte aérea e comprimento da raiz: dez sementes foram dispostas em rolo de papel, em um total de quatro rolos e, ao final do 28 dia, as plântulas foram medidas com régua graduada.

Envelhecimento acelerado: as sementes foram colocadas uniformemente em uma tela de alumínio no interior de uma caixa de germinação com 40 ml de água no fundo. Posteriormente, as caixas de germinação foram submetidas a uma temperatura de 41 °C por um período de 48 h e, posteriormente colocada a germinar durante 28 dias, em uma câmara de germinação. Após este procedimento, o teste foi realizado para avaliar a germinação conforme descrito anteriormente (Brasil, 2009).

As análises estatísticas foram realizadas para características fisiológicas de sementes via metodologia REML/BLUP. A significância dos efeitos aleatórios foi

obtida através da Análise de Deviance, pelo método REML, que substitui com vantagens a análise de variância (ANOVA) em casos de dados desbalanceados, pelo teste da razão da máxima verossimilhança (LRT). As deviances foram obtidas conforme descrito por Viana e Resende (2014), utilizando-se o modelo com e sem os respectivos efeitos, subtraindo a deviance obtida no modelo completo e do modelo sem o efeito, e comparada com o valor do Qui-quadrado (χ^2) com um grau de liberdade (Viana e Resende, 2014).

As análises foram realizadas no programa Selegen-REML/BLUP (Resende, 2016), utilizando o modelo estatístico proposto para seleção em S_2 sem medidas repetidas, com delineamento em blocos ao acaso.

$$Y = Xu + Za + Wp + e$$

Em que: y é o vetor de dados, u é o escalar referente ao efeito da média geral (efeito fixo), a é o vetor dos efeitos genéticos aditivos individuais dentro de populações (assumidos como aleatórios), p é o vetor dos efeitos de populações (assumidos como aleatórios) e e é o vetor de erros ou resíduos (aleatórios). X , Z e W representam as matrizes de incidência para os efeitos u , a e p , respectivamente.

As distribuições e estruturas de médias e variâncias para este modelo são dadas por:

$$y|u, V \sim N(Xu, V),$$

$$a|A, \sigma^2 \sim N(0, A\sigma_a^2),$$

$$p|\sigma^2 \sim N(0, I\sigma_p^2),$$

$$e|\sigma^2 \sim N(0, I\sigma_e^2),$$

$$\text{Cov}(a, p') = 0; \text{Cov}(a, e') = 0; \text{Cov}(p, e') = 0,$$

Ou seja,

$$E = \begin{bmatrix} y \\ a \\ p \\ e \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Xu \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} e \quad \text{Var} = \begin{bmatrix} y \\ a \\ p \\ e \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} V & ZG & WP & R \\ GZ' & G & 0 & 0 \\ PW' & 0 & P & 0 \\ R & 0 & 0 & R \end{bmatrix}, \text{ em que:}$$

$$G = A\sigma_a^2; \quad P = I\sigma_p^2; \quad C = I\sigma_e^2;$$

$$V = ZA\sigma_a^2Z' + WI\sigma_p^2W' + I\sigma_e^2 = ZGZ' + WPW' + R.$$

As equações de modelo misto são dadas por:

$$\begin{bmatrix} X'X & X'Z & X'W \\ Z'X & Z'Z + A^{-1}\lambda_1 & Z'W \\ W'X & W'Z & W'W + I\lambda_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \hat{u} \\ \hat{a} \\ \hat{p} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X'y \\ Z'y \\ W'y \end{bmatrix}, \text{ em que:}$$

$$\lambda_1 = \frac{\sigma_e^2}{\sigma_a^2} = \frac{1-h^2-p^2}{h^2}; \quad \lambda_2 = \frac{\sigma_e^2}{\sigma_p^2} = \frac{1-h^2-p^2}{p^2};$$

A: matriz de correlação genética aditiva entre os indivíduos em avaliação.

Os seguintes componentes de variâncias e parâmetros foram estimados:

σ_g^2 : variância genética entre famílias; σ_f^2 : variância fenotípica individual; σ_e^2 : variância residual; h_a^2 : herdabilidade individual no sentido restrito e média geral.

Para verificar se há incremento no ganho genético utilizou-se o procedimento REML/BLUP. Os genótipos S₂ foram ranqueados de acordo com os valores genotípicos encontrados para cada característica. A partir destes valores foi aplicada a seleção dos 20 melhores genótipos para cada característica.

Diversidade Genética

O estudo de divergência genética foi realizado para os 55 genótipos S₂. De posse das médias das características fisiológicas das sementes, foi obtida uma matriz com base na distância euclidiana média, utilizando o programa genes (Cruz, 2013). Para identificação dos pontos de corte foi utilizado o método de Mojena (1977), com valor de K=1,25, são recomendados cortes a 73% e 80% de dissimilaridade. A análise de agrupamento dos indivíduos via dendrograma foi feita pelo método UPGMA (Unweighted Pair-Group Method Average), com auxílio do programa Mega versão 6 (Kumar et al., 2009).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo com a análise de deviance, houve diferença significativa pelo teste qui-quadrado a 1% de probabilidade para todas as características avaliadas (Tabela 2). Diante disso, pode-se afirmar que existe variabilidade genética entre os genótipos avaliados, possibilitando assim o sucesso na seleção de genótipos superiores com base nestas características avaliadas.

Tabela 2. Análise de Deviance para as características fisiológicas em sementes de indivíduos S₂ em 55 genótipos de *Psidium guajava*

| Características | Deviance | | LTR (χ^2) |
|---------------------------------|-----------------|----------|------------------|
| | Modelo completo | Genótipo | Genótipo |
| Envelhecimento acelerado (%) | 1502,36 | 1527,44 | 25,07* |
| Peso de mil sementes (g) | 657,74 | 630,22 | 27,52* |
| Índice de velocidade germinação | -153,38 | -98,65 | 54,73* |
| Germinação (%) | 1477,20 | 1502,80 | 25,6* |
| Comprimento parte aérea (cm) | -8,31 | 20,68 | 28,99* |
| Comprimento de raiz (cm) | 89,19 | 100,06 | 10,87* |

*significante à 1% pelo teste Qui-quadrado. LRT(χ^2): teste de razão de verossimilhança

Ao analisar as estimativas da variância fenotípica em relação às variâncias genotípica e ambiental verifica-se menor contribuição da variância genética em relação à variabilidade total para todas as características avaliadas, o que contribuiu para menores estimativas de herdabilidade individual no sentido restrito (Tabela 3).

Tabela 3. Estimativas de componentes de variância e parâmetros genéticos: σ_g^2 : variância genética entre famílias; σ_f^2 : variância fenotípica individual; σ_e^2 : variância ambiental; h_a^2 : herdabilidade individual no sentido restrito e média geral

| Características | σ_g^2 | σ_f^2 | σ_e^2 | h_a^2 | Média Geral |
|---------------------------------|--------------|--------------|--------------|---------|-------------|
| Envelhecimento acelerado (%) | 104,41 | 412,20 | 307,79 | 0,25 | 85,40 |
| Peso de mil sementes (g) | 1,90 | 7,64 | 5,74 | 0,25 | 13,32 |
| Índice de velocidade germinação | 0,08 | 0,24 | 0,15 | 0,35 | 2,11 |
| Germinação (%) | 80,67 | 366,14 | 285,46 | 0,22 | 90,80 |
| Comprimento parte aérea (cm) | 0,13 | 0,44 | 0,30 | 0,30 | 2,87 |
| Comprimento de raiz (cm) | 0,07 | 0,57 | 0,50 | 0,12 | 2,13 |

Este fato pode ter ocorrido devido ao desbalanceamento dentro das famílias, visto que, na presente pesquisa as 15 famílias não possuem o mesmo número de genótipos S_2 avaliados. O conhecimento da variância genotípica tem muita importância para programas de melhoramento, por indicar a amplitude de variação genética de um caráter, tendo em vista a possibilidade do seu melhoramento (Cruz et al., 2014).

A herdabilidade individual de sentido restrito pode ser classificada como baixa ($h < 0,15$), mediana ($0,15 < h < 0,50$) e de alta magnitude ($h > 0,50$), representada pela razão da variação genotípica à variação fenotípica (Resende, 2002). Dessa forma, verifica-se que a herdabilidade individual no sentido restrito para a maioria das características avaliadas, deve ser classificada como mediana, variando entre 0,22 para germinação e 0,35 para índice de velocidade de germinação. Apenas a variável comprimento de raiz apresentou valor de herdabilidade individual no sentido restrito baixo (0,12) (Tabela 3).

A herdabilidade tem seu papel preditivo no estudo das características genéticas, expressando a confiabilidade com que o valor fenotípico representa o valor genético (Silva et al., 2013). Apesar dos valores de herdabilidade no sentido restrito serem classificados para maioria das características como mediano, a modelagem mista (REML/BLUP) junto a estrutura da população permite ótimas estimativas e consideráveis ganhos preditos na seleção dos melhores indivíduos, para futuros cruzamentos ou autofecundações.

Ambrósio et al. 2021, trabalhando com uma população de 18 famílias S_1 de *P. guajava*, utilizando a metodologia de modelos mistos (REML/BLUP), relatam também ter encontrado valores medianos a baixos para herdabilidade individual no sentido restrito, justificando que herdabilidades individuais de baixa magnitude são comuns para caracteres quantitativos e, via de regra conduzem a moderadas magnitudes das herdabilidades em nível de médias de progênie, para as características como peso de frutos, número total de frutos, massa de polpa, massa dos frutos e massa placentária.

Os 20 melhores genótipos de S_2 foram selecionados para todas as características correspondendo a (36,36%) dos indivíduos avaliados. Os ganhos foram estimados e as novas médias estimadas em relação à média geral da característica (Tabela 4).

No que se refere à seleção de genótipos para as características avaliadas, foi possível obter ganhos relevantes na seleção para maioria dos caracteres. Ao comparar a média dos 20 genótipos selecionados com a média geral da população, as melhores estimativas de ganho genético foram observadas para comprimento da parte aérea (28,22%), comprimento das raízes (18,75%), índice de velocidade de germinação (17,06%), peso de mil sementes (16,63%) e envelhecimento acelerado (13,54%) (Tabela 4). Apenas germinação apresentou ganhos de baixa magnitude (7,52%), em relação as demais características ranqueadas (Tabela 4).

Na seleção dos 20 melhores genótipos S₂, os genótipos 5 e 369, pertencentes a família 1, e o genótipo 529, pertencente a família 17, foram ranqueados para todas as características avaliadas. Pode-se inferir que esses genótipos possuem um elevado potencial de serem selecionadas, para continuidade das gerações de autofecundação, dado o interesse dessas características para propagação de plantas mais vigorosas (Tabela 4). Cinco genótipos da família 9 (85, 442, 443, 444, 449) se destacaram entre os 20 melhores, representando (25%) dos genótipos para as características germinação, índice de velocidade de germinação, peso de mil sementes e crescimento da parte aérea e envelhecimento acelerado, não sendo ranqueados apenas para crescimento de raiz (Tabela 4).

Tabela 4. Ranking dos 20 genótipos com as melhores estimativas de ganhos (G %) e a novas médias estimadas, via REML/BLUP em famílias de goiaba

| Ordem | Envelhecimento acelerado (%) | | Peso de mil sementes | | Germinação (%) | |
|-------|------------------------------|---------------|----------------------|---------------|----------------|---------------|
| | G (%) | Nova média* | G (%) | Nova média* | G (%) | Nova média* |
| 1 | 13,54 | 96,96(31/4) | 16,63 | 15,52(529/17) | 7,52 | 97,63(47/5) |
| 2 | 13,54 | 96,96(393/4) | 16,10 | 15,45(276/10) | 7,52 | 97,63(227/5) |
| 3 | 13,54 | 96,96(398/4) | 14,81 | 15,28(372/2) | 7,52 | 97,63(229/5) |
| 4 | 13,54 | 96,96(214/4) | 13,61 | 15,12(17/2) | 7,50 | 97,62(214/4) |
| 5 | 13,27 | 96,74(144/15) | 12,93 | 15,03(199/2) | 7,49 | 97,61(393/4) |
| 6 | 12,69 | 96,24(5/1) | 12,47 | 14,96(446/9) | 7,49 | 97,61(398/4) |
| 7 | 12,47 | 96,05(196/2) | 12,02 | 14,92(198/2) | 7,44 | 97,60(31/4) |
| 8 | 12,37 | 95,96(372/2) | 11,72 | 14,87(444/9) | 7,39 | 97,51(151/16) |
| 9 | 12,28 | 95,89(17/2) | 11,41 | 14,83(279/10) | 7,36 | 97,50(159/16) |
| 10 | 12,12 | 95,75(198/2) | 11,11 | 14,80(449/9) | 7,33 | 97,47(160/16) |
| 11 | 12,05 | 95,69(199/2) | 10,88 | 14,77(196/2) | 7,31 | 97,45(334/16) |
| 12 | 11,86 | 95,53(369/1) | 10,73 | 14,74(443/9) | 7,10 | 97,25(5/1) |
| 13 | 10,98 | 94,78(442/9) | 10,51 | 14,71(442/9) | 7,08 | 97,24(369/1) |
| 14 | 10,90 | 94,71(446/9) | 10,28 | 14,68(85/9) | 7,07 | 97,19(442/9) |
| 15 | 10,82 | 94,45(444/9) | 10,05 | 14,65(539/18) | 7,01 | 97,18(444/9) |
| 16 | 10,60 | 94,39(85/9) | 9,83 | 14,63(537/18) | 6,99 | 97,16(85/9) |
| 17 | 10,53 | 93,95(449/9) | 9,67 | 14,60(369/1) | 6,98 | 97,15(443/9) |
| 18 | 10,01 | 93,65(529/17) | 9,52 | 14,60(5/1) | 6,91 | 97,09(449/9) |
| 19 | 9,66 | 93,32(443/9) | 9,30 | 14,55(177/18) | 6,72 | 96,90(529/17) |
| 20 | 9,17 | 93,23(414/6) | 9,07 | 14,63(174/18) | 6,68 | 96,88(78/8) |

*(Genótipo/Família)

Tabela 4. Cont

| Orde m | Índice de velocidade de germinação | | Comprimento parte aérea | | Comprimento de raiz | |
|-----------|---------------------------------------|--------------|----------------------------|--------------|---------------------|--------------|
| | G (%) | Nova média* | G (%) | Nova média* | G (%) | Nova média |
| 1 | 17,06 | 2,48(5/1) | 28,22 | 3,69(529/17) | 18,75 | 2,59(393/4) |
| 2 | 17,06 | 2,47(369/1) | 24,39 | 3,60(5/1) | 18,75 | 2,59(398/4) |
| 3 | 16,59 | 2,46(529/17) | 17,07 | 3,44(369/1) | 18,75 | 2,58(47/4) |
| 4 | 15,64 | 2,44(398/4) | 16,38 | 3,35(393/4) | 18,75 | 2,58(214/4) |
| 5 | 15,17 | 2,43(72/8) | 15,33 | 3,30(398/4) | 18,33 | 2,57(229/5) |
| 6 | 14,22 | 2,41(251/8) | 14,98 | 3,29(31/4) | 18,33 | 2,57(31/4) |
| 7 | 14,22 | 2,39(31/4) | 12,89 | 3,35(199/2) | 17,92 | 2,57(227/5) |
| 8 | 13,27 | 2,39(444/9) | 12,89 | 3,24(198/2) | 17,50 | 2,55(529/17) |
| 9 | 12,80 | 2,38(78/8) | 12,20 | 3,23(372/2) | 16,05 | 2,52(231/6) |
| 10 | 12,80 | 2,38(85/4) | 11,85 | 3,23(214/4) | 15,68 | 2,51(5/1) |
| 11 | 12,80 | 2,38(393/4) | 10,45 | 3,20(17/2) | 14,05 | 2,47(115/12) |
| 12 | 12,80 | 2,38(75/8) | 10,10 | 3,18(539/18) | 14,77 | 2,46(51/6) |
| 13 | 12,32 | 2,37(443/9) | 10,10 | 3,17(537/18) | 12,75 | 2,44(414/6) |
| 14 | 12,32 | 2,37(214/4) | 9,79 | 3,17(196/2) | 12,08 | 2,43(54/6) |
| 15 | 11,85 | 3,36(446/9) | 9,79 | 3,17(174/18) | 10,94 | 2,40(251/16) |
| 16 | 11,85 | 3,36(442/9) | 9,41 | 3,16(535/18) | 10,77 | 2,39(78/8) |
| 17 | 11,85 | 3,36(449/9) | 9,41 | 3,15(443/9) | 9,86 | 2,37(75/8) |
| 18 | 11,37 | 2,35(227/5) | 9,06 | 3,15(442/9) | 9,59 | 2,37(54/6) |
| 19 | 10,90 | 2,34(229/5) | 9,79 | 3,14(85/9) | 9,34 | 2,36(72/8) |
| 20 | 10,90 | 2,34(47/5) | 9,06 | 3,13(444/9) | 8,76 | 2,34(369/1) |

*(Genótipo/Família)

Outros quatro genótipos S₂, representantes da família 4 (31, 214, 393, 398), estavam entre os vinte melhores para as características germinação, índice de velocidade de germinação, crescimento parte aérea e envelhecimento acelerado (Tabela 4). Esses doze genótipos fazem parte de quatro famílias, sendo elas 1, 4, 9 e 17, indicando grande potencial para seleção, em relação ao vigor das sementes.

A população S₁ de *P. guajava* deu origem aos 55 genótipos S₂ avaliados nesse estudo, desta forma torna-se importante salientar que as famílias 1 e 4 consideradas as mais vigorosas por meio de caracteres de sementes também foram selecionadas para características agrônômicas como massa do fruto, massa da polpa, peso total dos frutos e número total dos frutos (Ambrósio et al., 2021).

Quando o método de seleção é eficaz, ganhos satisfatórios são previstos nas características avaliadas, esse fato orienta ao programa de melhoramento de forma mais eficaz decidir qual esquema pode ser adotado, pois é possível verificar quais são as melhores famílias e os melhores indivíduos dentro dessas famílias. De maneira geral, o uso de procedimentos de seleção baseados em modelos mistos se justifica, pois mesmo com características de baixa herdabilidade, os ganhos genéticos favoráveis foram previstos e os genótipos apresentam potencial de seleção (Tabela 4).

No que diz respeito à divergência genética entre os 55 genótipos S₂, foram obtidos cinco grupos distintos (Figura 1). No grupo I foram alocados os genótipos 17, 123 e 214, sendo este o mais divergente geneticamente dos demais, esse grupo teve o menor desempenho para algumas características importantes, como germinação (78,83%) e índice de velocidade de germinação (1,78), este fato ocorreu devido ao genótipo 17 apresentar baixo potencial para germinar (Figura 1). No entanto, o indivíduo 214 deste grupo obteve maiores ganhos para germinação (97,62%), índice de velocidade de germinação (2,37), crescimento parte aérea (3,23 cm) e envelhecimento acelerado (96,96%) (Tabela 4).

O grupo II foi constituído pelos genótipos 231 e 241, e pode ser caracterizado por apresentarem peso de mil sementes iguais e taxas de germinação semelhantes. O grupo III destacou-se por apresentar genótipos com maiores médias de germinação (98,33%), nele foram alocados os genótipos 78, 144, 199, 229, 303 e 442 (Figura 1). No grupo III o genótipo 442, pertencente à família 9, teve maior destaque por ter sido ranqueado para um maior número de características avaliadas, sendo estas características germinação, índice de

velocidade de germinação, peso de mil sementes, crescimento da parte aérea e envelhecimento acelerado (Tabela 4).

O grupo IV, com apenas um representante, o genótipo 85 da família 9, obteve maior média de índice de velocidade de germinação (2,48) e crescimento parte aérea (3,25 cm), comparado aos demais grupos (Figura 1). Este genótipo destacou-se também por obter ganhos significativos e sendo ranqueado para as características germinação, índice de velocidade de germinação, peso de mil sementes, crescimento da parte aérea e envelhecimento acelerado (Tabela 4).

Por sua vez, o grupo V, caracterizado pelo elevado número de indivíduos inseridos entre os grupos formados, com um total de 43 genótipos correspondendo a 78% dos indivíduos avaliados. Este grupo obteve média de germinação de 93,59%, índice de velocidade de germinação de 2,07 e crescimento da parte aérea de 2,80 cm (Figura 1). Os indivíduos 5, 369 e 529 pertencentes ao grupo V foram considerados os mais promissores sendo ranqueados entre os 20 melhores para todas as características avaliadas. As características germinação, índice de velocidade de germinação e crescimento de parte aérea estão entre as mais importantes para avaliar o potencial de sementes quanto ao seu vigor.

Assim, os melhores indivíduos ranqueados para estas características foram: o genótipo 214, alocado no grupo I, 444, no grupo II, o indivíduo 85 no grupo IV e os genótipos 31, 393, 398, 443, 444, 449 alocados no grupo V. Para alcançar sucesso em um programa melhoramento genético o melhorista deve sempre dispor de populações com alta variabilidade genética, e para isso preconiza-se recombinar os genitores mais divergentes e superiores aumentando assim a variabilidade genética em suas populações segregantes por meio das combinações alélicas favoráveis (Barbieri et al., 2005; Oliveira et al., 2018).

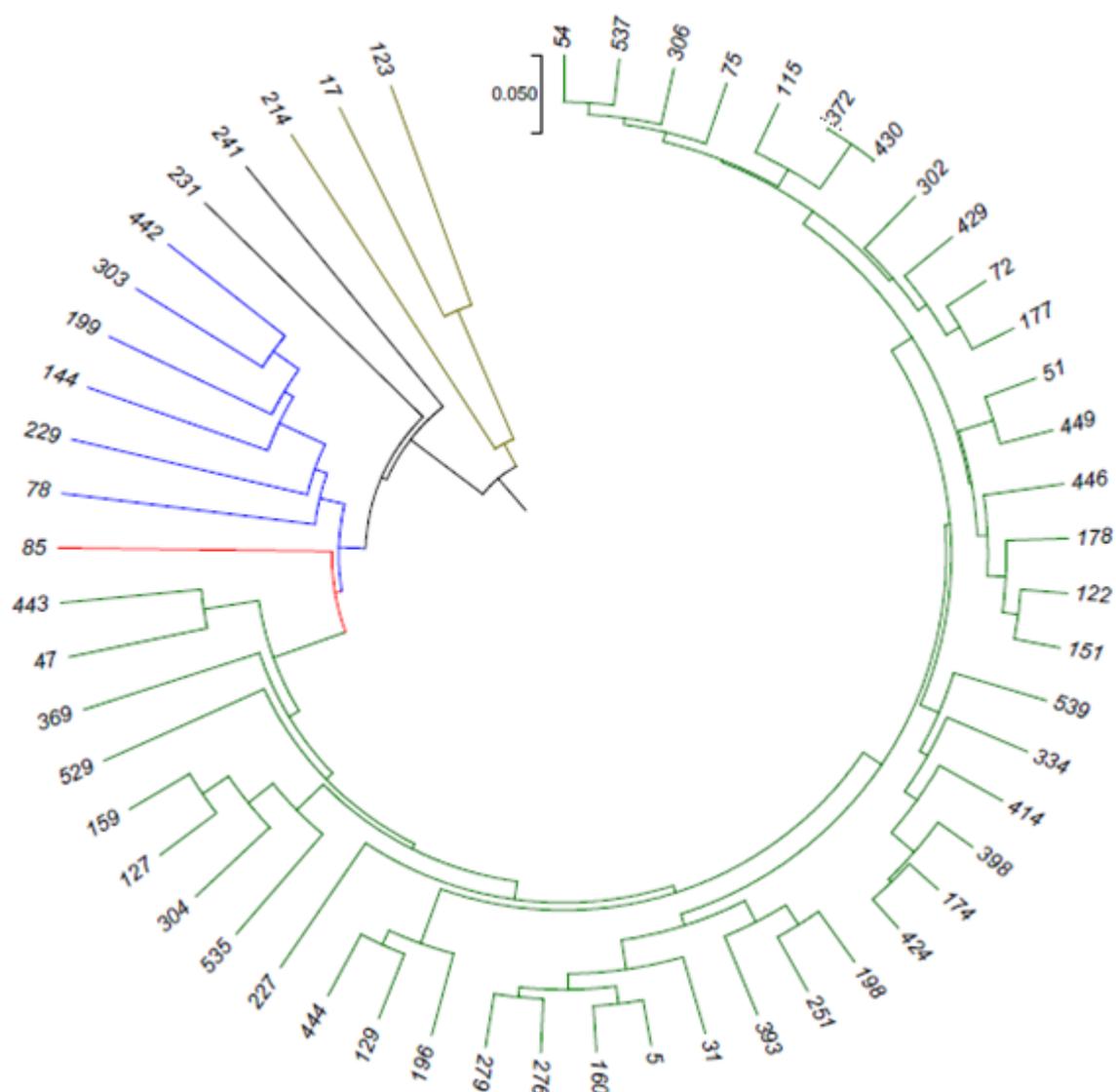


Figura 1. Dendrograma gerado pelo método UPGMA, a partir da matriz de distância obtida com base na Distância Euclidiana Média para as características avaliadas em sementes dos genótipos S₂ de goiaba.

Dessa forma, recomenda-se hibridações entre o genótipo 214 do grupo I com os genótipos selecionados pertencentes aos grupos IV e V (5, 85, 369, 443, 444, 449, 529), desde que não sejam da família 4, pois serão membros da mesma família do genótipo 214, geneticamente próximos. Cruzamentos entre indivíduos dos grupos I e IV, I e III, III e IV e também são indicados, visto que todos os genótipos pertencem a famílias diferentes dentro de todos os grupos indicados.

Outra alternativa seria autofecundar os genótipos selecionados dentro dos grupos para as características de maior importância. Assim, os genótipos 5, 31, 85, 214, 369, 393, 398, 442, 443, 444, 449 e 529, podem ser autofecundados para compor a população de plantas S₂.

CONCLUSÃO

Em geral os valores de herdabilidade para todas as características foram medianos, mas foi possível estimar ganhos com a seleção por meio da estimação dos BLUPs individuais. Os respectivos genótipos de sementes S₂, 5, 31, 85, 214, 369, 393, 398, 442, 443, 444, 449 e 529, que obtiveram as maiores estimativas de ganhos para germinação, envelhecimento acelerado, índice de velocidade de germinação e crescimento da parte aérea e foram divergentes geneticamente aos quais recomendados para futuros cruzamentos e/ou autofecundações.

Através da divergência genética entre os 55 genótipos S₂, foram obtidos cinco grupos distintos. Indicando assim cruzamentos entre indivíduos dos grupos I e IV, I e III, III e IV, visto que todos os genótipos pertencem a famílias diferentes dentro de todos os grupos indicados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Almeida, C.L.P., Viana, A.P., Santos, E.A., Quintal, S.S.R. (2019) Repetibility in guava: how many evaluations is necessary for selection the best guava tree. *Functional Plant Breeding Journal*, 1(2):51-60.
- Ambrósio, M., Viana, A.P., Ribeiro, R.M., Preisigke, S.C., Cavalcante, N.R., Silva, F.A., Torres, G.X., Souza, C.M.B. (2021) Genotypic superiority of *Psidium guajava* S₁ families using mixed modeling for truncated and simultaneous selection. *Scientia Agrícola*, 78(1):9.
- Barbieri, R.L., Leite, D.L., Choer, E., Sinigaglia, C. (2005) Divergência genética entre populações de cebola com base em marcadores morfológicos. *Ciência Rural*, 35:303-306.
- Bastos, D.C., Ribeiro, J.M. (2011) Produção de mudas de goiabeira. *Embrapa Semiárido*. Comunicado técnico (CPATSA), 148:1-3.

- Brasil (2009) *Regras para análise de sementes: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*. Brasília. 395p.
- Campos, B.M., Viana, A.P., Quintal, S.S.R., Barbosa, C.D., Daher, R.F. (2016) Heterotic group formation in *Psidium guajava* L. by artificial neural network and discriminant analysis. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 38:151-157.
- Campos, B.M., Viana, A.P., Quintal, S.S.R., Gonçalves, L.S.A., Pessanha, P.G.O. (2013) Quantification of the genetic divergence among guava accessions using Ward-MLM strategy. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 35:87-94.
- Cruz, C.D. (2013) GENES - a software package for analysis in experimental statistics and quantitative genetics. *Acta Scientiarum*, 35(3):271-276.
- Cruz, C.D., Carneiro, P.C.S. (2006) *Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético*. Editora UFV, Viçosa, MG, Brasil. 2ª. 585p.
- Cruz, C.D., Regazzi, A.J., Carneiro, P.C.S. (2014) *Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético*. Editora UFV, Viçosa, MG, Brasil. 3ª Ed, v.2. 668p.
- IBGE (2020) *Produção Agrícola Municipal 2019*. Rio de Janeiro: IBGE, 2020 (<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rj/pesquisa/15/0>).
- Kumar, S., Nei, M., Dudley, J., Tamura, K. (2009) Mega: a biologist-centric software for evolutionary analysis of DNA and protein sequences. *Brief Bioinformatics*, 9: 299-306.
- Maguire, J.D. (1962) Speed of germination aid in selection and evaluation for seeding emergence and vigor. *Crop Science*, 2(2):76-177.
- Maitan, M.Q., Viana, A.P., Vieira, H.D., Silva, C.C.A, Rodrigues, D.L., Leal, L.S.S. (2020) Physiological responses of seeds from full-sib guava families to different substrate temperatures. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 42(6):1-8.
- Mitra, S.K. (2010) Importantes fruteiras de Mirtáceas. *Acta Horticulturae*, 849:33-38.
- Mojena, R. (1977) Hierarchical grouping method and stopping rules: an evaluation. *Computer Journal*, 20:359-363.
- Oliveira, N.N.S., Viana, A.P., Quintal, S.S.R., Paiva, C.L., Marinho, C.S. (2014) Analysis of genetic distance between access of the gender *Psidium* by route markers ISSR. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 36:917-923.
- Oliveira, C.R.R., Vivas, M., Silveira, S.F., Gonçalves, V.M.L., Daher, R.F., Gravina, G.A., Pereira, M.G. (2018) Potencial de progênies dioicas de mamoeiro para resistência à oídio. *Summa Phytopathol*, 44:350–354.
- Pereira, F.M., Kavati, R. (2011) Contribution of Brazilian scientific research in developing some of subtropical fruit. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 33(1):92-108.

- Pérez Pelea, L., Fernández, E.V., Herrero, J.V.I., Palenzuela, B.V., Hernández, M.T.C. (2019) Predicción de valores genéticos aditivos em genótipos de guayabo (*Psidium guajava*) (Myrtaceae). *Revista del Jardín Botánico Nacional*, 40:23-32.
- Pessanha, P.G.O., Viana, A.P., Amaral Júnior, A.T., Souza, R.M., Teixeira, M.C., Pereira, M.G. (2011) Assessment of genetic diversity in access to *Psidium* spp. via RAPD markers. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 33:129-136.
- Quintal, S.S.R., Viana, A.P., Campos, B.M., Vivas, M., Amaral Junior, A. T. (2017) Selection via mixed models in segregating guava families based on yield and quality traits. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 39(2):859-866.
- Rajan S., Hudedamani U.(2019) Genetic Resources of Goiaba: Importance, Uses and Prospects. In: Rajasekharan P.E., Rao V.R.(ed.) *Conservação e Utilização de Recursos Genéticos Hortícolas*. Singapura, p.363–383.
- Resende, M.D.V. (2002) *Genética biométrica e estatística no melhoramento de plantas perenes*. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica. 975p.
- Resende, M.D.V. (2016) Software Selegen-REML/BLUP: a useful tool for plant breeding. *Crop Breeding and Applied Biotechnology*, 16:330-339.
- Silva, T.R.C., Amaral, A.T.J.R., Gonçalves, L.S.A., Candido, L.S., Vitorazzi, C., Scapim, C.A. (2013) Agronomic performance of popcorn genotypes in northern and northwestern Rio de Janeiro state. *Acta Scientiarum Agronomy*, 35:57-63.
- Sousa, C.M.B., Ribeiro, R.M., Viana, A.P., Cavalcante, N.R., Silva, F.A., Ambrósio, M., Amaral Júnior, A.T. (2020) Guava breeding via full-sib family selection: conducting selection cycle and divergence between parents and families. *Crop Breeding and Applied Biotechnology*, 20:1-9.
- Viana, A.P., Resende, M.D.V. (2018) *Genética Quantitativa do Melhoramento de fruteiras*. Editora Interciência, Rio de Janeiro, RJ, Brasil. 1ª Ed, 2014. 282p.

4.3. Estimativa da depressão endogâmica em *Psidium guajava* via atributos de sementes usando famílias S₀, S₁ e S₂

RESUMO

A depressão por endogamia em plantas, causada por autofecundação ou cruzamento entre plantas com alto grau de parentesco, é um fenômeno genético que afeta principalmente os caracteres quantitativos. Objetivou-se verificar a ocorrência de depressão por endogamia em sementes de goiabeira originadas de duas gerações de autofecundação (S₁ e S₂), em comparação com sementes de polinização livre (S₀), através de atributos físicos e fisiológicos de sementes. As famílias que deram origem aos genótipos estudados em S₀ e S₁ são provenientes de cruzamentos controlados biparentais, realizados com base no estudo de diversidade genética via marcadores moleculares do programa de melhoramento genético de goiabeiras, da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro-UENF. Enquanto as famílias S₂ deste estudo foram obtidas por meio de autofecundações de 55 genótipos superiores (S₁). Para avaliação da qualidade física das sementes foi feito a determinação do peso de mil sementes e avaliação de imagens de sementes pelo equipamento GroundEye®. Para avaliação da qualidade fisiológica foi realizado os testes de germinação, índice de velocidade de emergência, teste de envelhecimento acelerado, comprimento de radícula, comprimento da parte aérea. O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados, com quatro repetições e 50 sementes de cada genótipo por

repetição. Foi calculado a estimativa da depressão por endogamia e sua significância através do intervalo de confiança. Conclui-se que para primeira geração de autofecundação não houve depressão por endogamia, entretanto com a segunda geração de autofecundação, foi possível avaliar níveis baixos de endogamia para todas as características, mas não afetou o desempenho dos genótipos endogâmicos em relação a expressão do vigor das sementes.

Palavra-chave: Goiabeira, endogamia, autofecundação, vigor

ABSTRAT

Inbreeding depression in plants, caused by self-pollination or crosses between closely related plants, is a genetic phenomenon that mainly affects quantitative traits. The objective of this study was to verify the occurrence of inbreeding depression in guava seeds originated from two generations of self-pollination (S_1 and S_2), compared to free-pollinated seeds (S_0), through physical and physiological attributes of seeds. The families that gave rise to the genotypes studied in S_0 and S_1 come from controlled biparental crosses, carried out based on the study of genetic diversity by molecular markers of the guava genetic breeding program, at the Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro-UENF. While the families S_2 in this study were obtained through self-pollination of 55 superior genotypes (S_1). To evaluate the physical quality of the seeds, the weight of a thousand seeds was determined and the seed images were evaluated using the GroundEye[®] equipment. To evaluate the physiological quality, germination test, emergence speed index, accelerated aging test, radicle length, shoot length were performed. The experimental design used was in randomized blocks, with four replications and 50 seeds of each genotype per replication. The estimate of inbreeding depression and its significance through the confidence interval were calculated. It is concluded that for the first generation of selfing there was no inbreeding depression, however with the second generation of selfing, it was possible to evaluate low levels of inbreeding for all traits, but it did not affect the performance of the inbred genotypes in relation to the expression of seed vigor.

Key-words: Guava, inbreeding, self-fertilization, vigor.

INTRODUÇÃO

A goiabeira pertence à família das Mirtaceae, sendo a principal representante de seu gênero, devido ao valor econômico, social e alimentar (Tuler et al., 2020). O consumo de goiabas vem aumentando no Brasil e no mundo, principalmente devido a sua ampla adaptabilidade, sabor agradável, suas excelentes qualidades nutricionais, preço acessível e disponibilidade de oferta por um longo período de tempo durante o ano, além de sua diversificação quanto ao consumo (Parmar et al., 2018, Costa et al., 2019).

Para suprir a crescente demanda do mercado de goiaba, tanto para mesa quanto para a indústria, torna-se necessário o uso de cultivares que atendam às exigências de ambos segmentos. Dessa forma, trabalhos visando o melhoramento genético desta espécie, tendem a selecionar genótipos que gerem cultivares mais produtivas e frutos com maior teor de ácido ascórbico, maior concentração de vitaminas e sais minerais. Entretanto, as pesquisas de melhoramento genético da goiabeira apresentam algumas especificidades por ser uma espécie perene, com ciclo reprodutivo longo, oscilação anual de produção, precocidade e redução da taxa de sobrevivência dos indivíduos (Silva et al., 2021).

A goiabeira é uma entre muitas espécies cultivadas que apresenta alta diversidade genética, devido ao sistema de cruzamento ser misto, sendo uma planta alógama, mas que também apresenta autogamia (Alves e Freitas, 2007). A autopolinização tem como consequência o aumento na homozigose e redução na heterozigose dos descendentes, e pode resultar na depressão por endogâmica, que gera a redução do valor médio de caracteres quantitativos, relacionados com a capacidade reprodutiva ou eficiência fisiológica da planta, produto da homozigose de alelos deletérios. (Falconer, 1987, Falconer e Mackay, 1996).

O programa de melhoramento genético da goiabeira da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro (UENF) tem desenvolvido trabalhos promissores. Através das pesquisas, observou-se a possibilidade da obtenção de famílias endogâmicas de goiabeiras, via autofecundações, para o desenvolvimento de cultivares ou a obtenção de híbridos (Pessanha et al., 2011, Campos et al., 2013, Oliveira et al., 2013, Campos et al., 2016, Quintal et al., 2017, Ambrósio et al., 2021, Silva et al., 2020). Dessa forma, esta pesquisa propôs a condução e avaliação de populações endogâmicas de goiabeiras, situação inédita nesta fruteira, visto que

não há nenhuma referência de programas de melhoramento que trabalhem neste sentido no Brasil e no mundo. Sendo assim, a UENF é pioneira na condução de famílias endogâmicas S_1 e S_2 .

Desta forma, objetivou-se verificar a ocorrência de depressão por endogamia através do estudo da qualidade fisiológica e características morfológicas em semente de goiabeira originadas de duas gerações de autofecundação (S_1 e S_2), em comparação com progênies de polinização livre (S_0).

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado no laboratório da Unidade de Produção e Tecnologia de Sementes da Universidade Estadual Norte Fluminense Darcy Ribeiro (CCTA-UENF), localizado em Campos dos Goytacazes, RJ, Brasil.

Conforme resultados de trabalhos anteriores desenvolvidos no Laboratório de Melhoramento Genético Vegetal da UENF foram selecionadas as plantas que originaram as sementes de goiaba das famílias S_0 , S_1 e S_2 (Pessanha et al., 2011, Quintal et al., 2017, Ambrósio et al., 2021). As progênies que deram origem as sementes genótipo S_0 e S_1 foram selecionadas via REML/BLUP por Quintal et al. (2017). As sementes do genótipos S_0 foram obtidas através da polinização livre entre as plantas, as mesmo que deram origem as sementes do genótipos S_1 . As sementes do genótipo S_2 originaram-se dos 55 progênies mais produtivos das famílias S_1 , selecionadas via REML/BLUP por Ambrósio et al. (2021).

A autopolinização para obtenção das genótipos S_1 e S_2 foi obtida protegendo as flores, cobrindo-as antes da antese. Os botões foram identificados e os frutos posteriormente protegidos com um saco de papel. Após a colheita dos frutos dos genótipos S_0 , S_1 e S_2 , foi realizada a remoção das sementes, esfregando-as ou pressionando em uma peneira de malha de aço sob água corrente.

As sementes retiradas foram deixadas secar à temperatura ambiente por 48 horas. Vinte e quatro horas após o início do processo de secagem, as sementes foram viradas para secar uniformemente. Após a secagem das sementes dos genótipos S_0 , S_1 e S_2 foram realizados testes de natureza física e fisiológica, a saber:

Peso de mil sementes: de acordo com a Regra de Análise de Sementes (Brasil, 2009), para realizar o cálculo do peso de mil sementes deve-se retirar oito porções de 100 sementes da amostra de Sementes Puras. Em seguida pesadas, em balança analítica de precisão 0,0001g, cada uma das oito repetições de 100 sementes para o cálculo do peso de mil sementes, através da seguinte equação:

$$\text{PMS} = \frac{\text{peso da amostra} \times 1000}{n^{\circ} \text{ total de sementes}}$$

Após o cálculo do PMS, calcula-se a variância, o desvio padrão e o coeficiente de variação da seguinte maneira:

$$\text{Variância} = \frac{n(\sum x^2) - (\sum x)^2}{n(n-1)}$$

$$\text{Desvio padrão (S)} = \sqrt{\text{variância}}$$

$$\text{Coeficiente de variação (CV)} = \frac{S}{\bar{X}} \times 100$$

Em que:

X = peso de cada repetição

n = número de repetições

\bar{X} = peso médio de 100 sementes

O resultado da determinação do PMS foi calculado multiplicando-se por 10 o peso médio obtido das repetições de 100 sementes, se o coeficiente de variação não exceder 4%. Caso o CV exceda o limite de 4%, outras oito repetições de 100 sementes devem ser pesadas e o cálculo do S será feito utilizando as 16 repetições.

Teste de germinação: foram utilizadas quatro repetições de 50 sementes de cada um dos genótipos em estudo no substrato rolo de papel. As câmaras de germinação foram reguladas em temperatura alternada de 35-25 °C, com fotoperíodo de 8 h/luz e 16 h/escuro, respectivamente. As avaliações foram realizadas em dias alternados até o 28 dia, em que índice de velocidade de germinação, percentagens de plântulas normais, plântulas anormais e sementes não germinadas foram registrados (Maitan et al., 2020).

Índice de velocidade de germinação: foi contabilizado quando a semente que germinava e sua parte aérea apresentava no mínimo 1cm, na contagem dos dias alternados, esta variável era calculada pela fórmula proposta por Maguire (1962), como mostra a formula abaixo:

$$IVE = \frac{N1 + N2...Ni}{D1 + D2...Di}$$

Em que:

$N1 + N2... Ni$ = ao número de sementes emergidas na primeira contagem, segunda contagem ... i -ésima contagem, respectivamente;

$D1 + D2... Di$ = ao número de dias na primeira contagem, segunda contagem ... i -ésima contagem, respectivamente.

Comprimento parte aérea e comprimento da raiz: quatro rolos de papel foram montados com dez sementes e, ao final do 28 dia, as plântulas foram medidas com régua graduada.

Envelhecimento acelerado: as sementes foram colocadas uniformemente em uma tela de alumínio dentro de uma caixa de germinação com 40 ml de água no fundo. Posteriormente, as caixas de germinação foram submetidas a uma temperatura de 41 °C por um período de 48 h e depois durante 28 dias, em uma câmara de germinação. Após este procedimento, o teste foi realizado para avaliar a germinação conforme descrito anteriormente (Brasil, 2009).

Fenotipagem digital de sementes: Para a fenotipagem digital foi utilizado quatro repetições de 50 sementes de cada genótipo analisadas. O GroundEye®Mini instrumento utilizado para capturar e analisar as sementes. Desta forma, as características geométricas analisada foram: área, em milímetros quadrados, diâmetro máximo e mínimo das sementes em milímetros e circularidade, sendo adimensional, variando de 0 a 1, sendo quanto mais próximo de um mais circulares as sementes.

Para as estimativas dos efeitos de endogamia nas famílias avaliadas, procedeu-se ao uso do seguinte modelo:

$$Y_{(ij)} = \beta_{0(j)} + \beta_1 P_{(i)} + \beta_2 P: G_{(ij)} + \varepsilon_{(ij)}$$

Em que: $Y_{(ij)}$ é o vetor de dados fenotípicos observados de cada variável no i ésima progênie do j ésimo genótipo; β_0 é um parâmetro associado ao modelo (intercepto), modelado para cada j ésimo genótipo; $P_{[i= S0, S1 e S2]}$ é o vetor paramétrico de efeito fixo da i ésima progênie associado ao vetor Y pela matriz de incidência conhecida β_1 ; $G_{[j= 1, ..., 75]}$ é o vetor paramétrico de efeito aleatório do j ésimo genótipo, modelando tanto o intercepto quando a inclinação das retas para os genótipos dentro de cada progênie, associado ao vetor Y pela matriz de incidência conhecida β_2 . ε é o vetor de erros aleatórios não controlados, assumindo que $\varepsilon \sim N(0, I \otimes \Sigma_\varepsilon)$.

Para as variáveis: peso de mil sementes, comprimento da parte aérea, comprimento da raiz, circularidade, diâmetro máximo e diâmetro mínimo, foi assumido que $Y \sim N(\mu, \sigma^2)$, com função de ligação identidade e método de estimação da Máxima Verossimilhança Restrita (REML).

Para as variáveis germinação e envelhecimento acelerado, onde a distribuição esperada descreve o número de ocorrências discretas a porcentagem de germinação em uma determinada quantidade de sementes, foi assumido que $Y \sim Poisson(\lambda)$, com função de ligação identidade e método de estimação da Máxima Verossimilhança (ML) com aproximação de Laplace.

Para as variáveis índice de velocidade de germinação, área da semente, foi assumido que $Y \sim \Gamma(\alpha, \beta)$, com função de ligação identidade e método de estimação da Máxima Verossimilhança (ML) com aproximação de Laplace.

Posteriormente, prosseguiu-se com o teste pos-hoc, obtendo-se as médias estimadas para os níveis do efeito de progênie, observando significância via ausência de sobreposição dos intervalos de confiança ao nível de 95% de probabilidade, a estimativa da depressão endogâmica e a estimativa dos componentes de média.

A estimativa de depressão por endogamia (DE), em porcentagem foi calculada utilizando a seguinte equação de acordo com Gardner (1965):

$$DE_{S_0/S_1} = [(\bar{y}_{S_0} - \bar{y}_{S_1}) / \bar{y}_{S_0}] \cdot 100$$

$$DE_{S_1/S_2} = [(\bar{y}_{S_1} - \bar{y}_{S_2}) / \bar{y}_{S_1}] \cdot 100$$

Em que:

\bar{y}_{S_0} = valor médio dos genótipos de polinização aberta;

\bar{y}_{S_1} = valor médio dos genótipos autofecundados uma vez;

\bar{y}_{S_2} = valor médio dos genótipos da segunda geração de autofecundação.

A estimativa da contribuição de locos em homozigose (m+a) e a contribuição de locos em heterozigose (d) foram calculados utilizando procedimento semelhante à Vencovsky (1987), onde:

$$m+a_{(S_0/S_1)} = 2\bar{y}_{S_1} - \bar{y}_{S_0} \quad \text{e} \quad m+a_{(S_1/S_2)} = 2\bar{y}_{S_2} - \bar{y}_{S_1}$$

$$d_{(S_0/S_1)} = 2(\bar{y}_{S_0} - \bar{y}_{S_1}) \quad \text{e} \quad d_{(S_1/S_2)} = 2(\bar{y}_{S_1} - \bar{y}_{S_2})$$

Em que:

\bar{y}_{S_0} = valor médio dos genótipos de polinização aberta;

\bar{Y}_{S_1} = valor médio dos genótipos autofecundados uma vez;

\bar{Y}_{S_2} = valor médio dos genótipos da segunda geração de autofecundação.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados apresentados na Tabela 1 mostram que houve redução nas médias dos genótipos S_2 em praticamente todas as variáveis avaliadas, exceto circularidade que teve média geral igual para as três gerações.

Tabela 1. Estimativa do percentual de depressão por endogamia dos genótipos de polinização aberta (S_0) em relação a primeira geração de autofecundação (S_1) e S_1 em relação a segunda geração de autofecundação (S_2)

| Variáveis | Médias | | | Depressão por Endogamia (%) | |
|------------------------------------|--------|-------|-------|-----------------------------|----------------|
| | S_0 | S_1 | S_2 | DE_{S_0/S_1} | DE_{S_1/S_2} |
| Germinação (%) | 98,00 | 97,20 | 90,10 | 0,82 | 7,30 |
| Índice de Velocidade germinação | 2,73 | 3,04 | 2,66 | -11,35 | 12,5 |
| Envelhecimento acelerado (%) | 92,60 | 93,10 | 85,40 | -0,54 | 8,27 |
| Peso de mil sementes (g) | 16,50 | 17,60 | 13,21 | -6,67 | 24,94 |
| Comprimento parte aérea (cm) | 3,35 | 3,58 | 2,85 | -6,87 | 20,39 |
| Comprimento raiz (cm) | 2,71 | 3,39 | 2,09 | -25,09 | 38,34 |
| Área da semente (mm ²) | 0,10 | 0,10 | 0,09 | 0,00 | 10,00 |
| Circularidade | 0,75 | 0,75 | 0,75 | 0,00 | 0,00 |
| Diâmetro Máximo (mm) | 0,41 | 0,42 | 0,38 | -3,17 | 9,45 |
| Diâmetro Mínimo (mm) | 0,30 | 0,30 | 0,27 | 0,00 | 10,00 |

A DE_{S_0/S_1} foi negativa ou nula para maiorias das variáveis, exceto para germinação (0,82%) (Tabela 1). Os valores negativos de DE_{S_0/S_1} ocorrem devido aos genótipos de autopolinização (S_1) possuírem médias superiores aos genótipos de polinização aberta (S_0), indicando que possivelmente que os genótipos S_1 ainda apresentam genes de dominância. Por outro lado, os valores de DE_{S_0/S_1} positivos

indicam que os genótipos S_0 se sobressaem sobre os genótipos S_1 (Silva et al. 2019). Os valores do IC_{S_0/S_1} não foram significativos, logo não houve diferença entre as médias das duas populações (Tabela 2).

Tabela 2. Estimativa do intervalo de confiança superior e inferior dos genótipos de polinização aberta (S_0), primeira geração autofecundação (S_1) e segunda geração de autofecundação (S_2)

| Variáveis | Intervalo de Confiança | | |
|------------------------------------|------------------------|--------------|--------------|
| | S_0 | S_1 | S_2 |
| Germinação (%) | 95,00-100,00 | 94,10-100,00 | 84,90-95,40 |
| Índice de Velocidade germinação | 2,58-2,87 | 2,85-3,22 | 2,64-2,65* |
| Envelhecimento acelerado (%) | 89,40-95,80 | 87,40-98,70 | 80,40-90,30 |
| Peso de mil sementes (g) | 15,10-17,90 | 16,40-18,70 | 12,50-13,90* |
| Comprimento parte aérea (cm) | 3,03-3,66 | 3,25-3,90 | 2,69-3,01* |
| Comprimento raiz (cm) | 2,26-3,15 | 3,02-3,76 | 1,90-2,28* |
| Área da semente (mm ²) | 0,09-0,11 | 0,09-0,11 | 0,08-0,09 |
| Circularidade | 0,74-0,76 | 0,74-0,76 | 0,74-0,76 |
| Diâmetro Máximo (mm) | 0,40-0,42 | 0,41-0,43 | 0,37-0,40* |
| Diâmetro Mínimo (mm) | 0,29-0,31 | 0,29-0,31 | 0,27-0,28* |

Nível de confiança de 95%. *significativo na comparação do IC_{S_1/S_2} . Não houve diferença significativa na comparação de médias entre S_0/S_1 , S_0 e S_2 não foram comparados.

Os baixos níveis de endogamia das sementes S_1 estão provavelmente relacionados ao tipo de sistema de reprodução da goiabeira, tido como misto, uma vez que esta cultura apresenta uma taxa de autofecundação maior que a de fecundação cruzada, estimando-se uma taxa de alogamia entre 25,7 a 41,3%, considerando uma média de 33,5% (Medina, 1991). Devido ao tipo de sistema de reprodução misto das goiabeiras, ocorre o favorecimento da recombinação dos genes e elimina parcialmente a carga genética provocada pela autofecundação natural da espécie, tornando-se possível a seleção de indivíduos que apresentam pouca ou nenhuma depressão por endogamia (Vencovsky e Barriga, 1992, Bernini et al., 2013).

Observa-se, entretanto, que já nas avaliações genéticas das famílias S₁ em ensaios de campo, foi possível identificar indivíduos com aspectos diferentes em relação ao hábito de crescimento, tais como copa mais aberta, menor porte da planta, alguns famílias apresentaram hábito de crescimento prostrado, o que já traz evidências de possíveis impactos da endogamia na goiabeira, ainda não pronunciado nas variáveis de sementes, nesta geração.

Entretanto, a DE_{S_1/S_2} apresentou valores positivos, variando entre 0 e 38,34%, sendo possível afirmar que os genótipos S₁ obtiveram médias superiores aos genótipos S₂ (Tabela 1). As variáveis com maiores DE_{S_1/S_2} foram comprimento de parte aérea (20,39%), peso de mil sementes (24,94%) e comprimento de raiz (38,34%) (Tabela 1). Nota-se também que além dessas variáveis possuem maiores porcentagem de DE_{S_1/S_2} elas também apresentaram IC_{S_1/S_2} significativo (Tabela 2). Outras variáveis como índice de velocidade de germinação, diâmetro máximos e diâmetro mínimo também apresentaram IC_{S_1/S_2} significativo (Tabela 2).

Apesar dos diâmetros máximo e mínimo serem significativos a área e a circularidade das sementes não apresentaram significância pelo IC_{S_1/S_2} . Entretanto, as sementes S₂ apresentaram uma grande variedade de formas e tamanhos, mostrando a necessidade de continuar avaliando grau de homogeneidade dos genótipos e fixação dos alelos do caráter nas próximas gerações de autofecundação.

Em relação a porcentagem de sementes germinadas, o nível de depressão por endogamia da primeira geração de autofecundação (S₁) para segunda (S₂) foi de 0,82% para 7,30%, respectivamente, apesar de ter ocorrido o aumento da depressão por endogamia, a germinação das sementes de goiabeira permaneceu acima de 90%, apresentando sementes com elevado vigor (Tabela 1).

Durante o processo de germinação dos genótipos S₂ foi possível observar a presença da endogamia através de genótipos que apresentaram germinação do tipo anormal, resultante de alguma anomalia, como a não emissão de radícula, fato que reduziu a porcentagem de germinação dos genótipos S₂ (Figura 1-B). Charlesworth e Charlesworth (1987) relatam que a autofecundação expõe essas mutações à seleção, reduzindo assim a magnitude da depressão endogâmica. Ou seja, quando os genótipos com germinação anormal são expostos ao ambiente eles não completam seu ciclo de desenvolvimento, não levando seus descendentes para as próximas gerações.



Figura 1. A – germinação normais das sementes de goiabeira; B - germinação anormal; C - plântulas normais para avaliação do crescimento da raiz e parte aérea, após 28 dias de teste de germinação.

A relação existente entre a taxa de germinação e o índice de velocidade de germinação é uma forma indireta do indicativo do vigor das sementes. No entanto, a os níveis de DE_{S_1/S_2} para o índice de velocidade de germinação obteve valores um pouco mais alto e com IC_{S_1/S_2} significativo em relação a variável germinação, podendo concluir assim que as sementes dos genótipos S_1 germinaram em menor intervalo de tempos que as sementes do genótipo S_2 , mas que ao final do teste, ambos obtiveram germinação satisfatória acima de 90%.

A variável envelhecimento acelerado apresentou um padrão semelhante ao da germinação, onde as médias dos genótipos S_1 foram superiores as médias dos genótipos S_2 , sendo de 93,10% e 85,40% respectivamente, entretanto não foram significantes através do IC_{S_1/S_2} (Tabela 1 e 2). No teste envelhecimento acelerado calcula-se a porcentagem de sementes germinadas após sua exposição a níveis elevados de temperatura e umidade relativa do ar, neste teste avalia-se também o vigor das sementes, através do potencial de armazenamento. Com a queda na taxa de sementes germinadas após o teste de envelhecimento acelerado, foi possível observar também um pequeno aumento na DE_{S_1/S_2} , este fato não determina uma perda de vigor elevada, visto que mesmo após as sementes dos genótipos S_2

sofrerem com variações de temperatura e umidade, ainda apresentaram alta germinação (Tabela 1).

As variáveis peso de mil sementes, comprimento parte aérea e comprimento de raiz apresentaram uma redução significativa nas médias dos genótipos S_1 para os genótipos S_2 e maiores níveis de depressão por endogamia (Tabela 1 e 2). Os efeitos negativos da endogamia são explicados por teorias genéticas clássicas: pela hipótese de dominância parcial, quando ocorre a expressão de alelos recessivos deletérios devido ao aumento da homozigosidade em indivíduos aparentados ou a hipótese de superdominância, ou seja, a frequência reduzida de genótipos heterozigotos superiores, explicando assim o aumento da endogamia a cada geração de autofecundação (Charlesworth e Charlesworth, 1999).

Os resultados obtidos em relação à depressão endogâmica podem ser confirmada por meio das estimativas da contribuição dos loci em homozigose ($m+a$) e em heterozigose (d) para o desempenho das gerações (Tabela 3). A depressão por endogamia esta correlacionada com o aumento da contribuição dos genes em heterozigose, indicando que quanto maior a contribuição dos genes heterozigose, maior será a depressão por endogamia com o avanço das gerações de autofecundação, fato que pode ser observado na Tabela 3. Dessa forma, maior será a probabilidade dos genótipos possuírem cópias de um mesmo alelo ancestral, o que ocasiona o aumento da homozigose e pode aumentar a frequência de genes deletérios indesejáveis, que leva a uma diminuição do vigor de híbrido (Gonçalves et al., 2011, Ramalho et al., 2012).

Tabela 3. Estimativa dos componentes de médias, contribuição dos locus em homozigose ($m+a$) e heterozigose (d) dos genótipos de polinização aberta (S_0), primeira geração autofecundação (S_1) e segunda geração de autofecundação (S_2)

| Variáveis | Contribuição dos locus em homozigose | | Contribuição dos locus em heterozigose | |
|------------------------------------|--------------------------------------|-------------------|--|-----------------|
| | $m+a_{(S_0/S_1)}$ | $m+a_{(S_1/S_2)}$ | $d_{(S_0/S_1)}$ | $d_{(S_1/S_2)}$ |
| Germinação (%) | 96,40 | 83,00 | 1,60 | 14,20 |
| Índice de Velocidade germinação | 3,35 | 2,28 | -0,62 | 0,76 |
| Envelhecimento acelerado (%) | 93,60 | 77,77 | -1,00 | 15,40 |
| Peso de mil sementes (g) | 18,70 | 8,82 | -2,2 | 8,78 |
| Comprimento parte aérea (cm) | 3,81 | 2,12 | -0,46 | 1,46 |
| Comprimento raiz (cm) | 4,70 | 0,79 | -1,36 | 2,60 |
| Área da semente (mm ²) | 0,10 | 0,08 | 0,00 | 0,02 |
| Circularidade | 0,75 | 0,75 | 0,00 | 0,00 |
| Diâmetro Máximo (mm) | 0,45 | 0,34 | 0,00 | 0,08 |
| Diâmetro Mínimo (mm) | 0,30 | 0,24 | 0,00 | 0,06 |

De acordo com os resultados apresentados, pode-se afirmar que apenas uma autofecundação não gerou depressão endogâmica, enquanto ao realizar uma segunda autofecundação a presença da depressão por endogamia já pode ser observada em proporções diferentes para cada caráter. Portanto, em populações que demonstram altas médias e nenhuma ou pouca depressão endogâmica para as características de interesse, possui grandes chances de obter linhagens superiores, para posterior produção de híbridos. Dessa forma, é de grande valia que continuem as avaliações com a população S_3 , observando os níveis de endogamia a cada geração de autofecundação, determinando a possibilidade da condução via semente de linhagens superiores posteriormente.

As famílias S_2 oriundas destas sementes já estão em campo em fase de avaliação, observa-se em resultados preliminares, a existência de plantas mais precoces, mais uniformes e com maior uniformidade na produção de frutos. A leve depressão endogâmica encontrada neste trabalho, via atributos de sementes, demonstra a efetividade em se obter linhagens endogâmicas de goiabeira, e

posterior estudos de capacidade combinatória entre linhagens parcialmente endogâmicas para a exploração de heterose intraespecífica em goiabeira.

CONCLUSÃO

Pode-se observar neste estudo que o processo de endogamia não afetou de forma prejudicial o vigor das sementes de goiabeira, em relação aos aspectos relacionados à depressão por endogamia.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alves, J.E., Freitas, B.M. (2007) Requerimentos de polinização da goiabeira. *Ciência Rural*, 37:1281-1286.
- Ambrósio, M., Viana, A.P., Ribeiro, R.M., Preisigke, S.C., Cavalcante, N.R., Silva, F.A.T., Xavier, G., Sousa, C.M.B. (2021) Genotypic superiority of *Psidium guajava* S₁ families using mixed modeling for truncated and simultaneous selection. *Scientia Agricola*, 78:2.
- Bernini, C.S., Paterniani, M.E.A.G.Z., Duarte, A.P., Gallo, P.B., Guimarães, P.S., Rovariz, S.R.S. (2013) Depressão endogâmica e heterose de híbridos de populações F₂ de milho no estado de São Paulo. *Bragantia*, 72(3):217-223.
- Brasil (2009) *Regras para análise de sementes: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*. Brasília, 395p.
- Campos, B.M., Viana, A.P., Quintal, S.S.R., Barbosa, C.D., Daher, R.F. (2016) Heterotic group formation in *Psidium guajava* L. by artificial neural network and discriminant analysis. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 38:151-157.
- Campos, B.M., Viana, A.P., Quintal, S.S.R., Gonçalves, L.S.A., Pessanha, P.G.O. (2013) Quantification of the genetic divergence among guava accessions using Ward-MLM strategy. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 35:87-94.
- Charlesworth, D., Charlesworth, B. (1987) Inbreeding depression and its evolutionary consequences. *Annual Review of Ecology System*, 18(1):237-268.
- Charlesworth, B., Charlesworth, D. (1999) The genetic basis of inbreeding depression. *Genetics Research*, 74(3):329–340.

- Costa, J.C.F., Mendonça, R.M.N., Silva, G.C., Silva, S.M., Pereira, W.E., Santos, C.E.M. (2019) Rooting of herbaceous and semi hardwood cuttings of guava cv. Século XXI, under varying concentrations of indolebutyric acid. *Journal of Experimental Agriculture International*, 33(1):1-9.
- Falconer, D.S. (1987) *Introdução à genética quantitativa*. Traduzido por Silva, M.A., Silva, J.C. Viçosa: Imprensa Universitária. 279p.
- Falconer, D.S., Mackey, T.F.C. (1996) *Introduction to quantitative genetics*. London: Longman Malaysia. 463p.
- Gardner, C.O. (1965) Teoria de genética estadística aplicable as lãs medias de variedades, sus cruces y poblaciones afines. *Fitotecnica Latinoamericana*, 2:11-22.
- Gonçalves, R.W., Costa, M.D., Rocha Júnior, V.R., Costa, M.R., Silva, E.S.P., Ribeiro, A.M.F. (2011) Efeito da endogamia sobre características reprodutivas em um rebanho da raça Mangalarga Marchador. *Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal*, 12(3):641-649.
- Maitan, M.Q., Viana, A.P., Vieira, H.D., Silva, C.C.A, Rodrigues, D.L., Leal, L.S.S. (2020) Physiological responses of seeds from full-sib guava families to different substrate temperatures. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 42:1-8.
- Maguire, J.D. (1962) Speed of germination aid in selection and evaluation for seeding emergence and vigor. *Crop Science*, 2 (2):76-177.
- Medina, J.C., Castro, J.V., Sigrist, J.M.M., Martin, Z.J., Kato, K., Maia, M.L., Garcia, J.L.M., Leite, R.S.S. F. (1991) *Goiaba: cultura, matéria prima, processamento e aspectos econômicos*. 2. ed. Campinas: Instituto de Tecnologia de Alimentos. 224 p. (Série Frutas Tropicais, 6).
- Oliveira, N.N.S., Viana, A.P., Quintal, S.S.R., Paiva, C.L., Marinho, C.S. (2013) Analysis of genetic distance between access of the gender *Psidium* by routemarkers ISSR. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 36: 917-923.
- Parmar, J.P., Tiwari, R.,Keshav, K.G.,Yadav, L.,Upadhyay, N. (2018) Effect of Indole 3-butyric acid (IBA), rooting media and their interaction on different rooting and growth characteristic of air-layers in guava (*Psidium guajava* L. cv. L-49). *Journal of Applied and Natural Science*, 10(1):241-246.
- Pessanha, P.G.O., Viana, A.P., Amaral Júnior, A.T., Souza, R.M., Teixeira, M.C., Pereira, M.G. (2011) Assessment of genetic diversity in access to *Psidium* spp.via RAPD markers. *Revista Brasileira de Fruticultura* 33:129-136.
- Quintal, S.S.R., Viana, A.P., Campos, B.M., Vivas, M., Amaral Junior, A.T. (2017) Selection via mixed models in segregating guava families based on yield and qualitytraits. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 39 (2):859-866.

- Ramalho, M.A.P., Santos, J.B., Pinto, C.A.B.P., Souza, E.A., Gonçalves, F.M.A., Souza, J.C. (2012) *Genética na agropecuária*. 5. ed. Lavras: UFLA. 566p.
- Silva, F.A., Correa, C.C.G., Carvalho, B.M., Viana, A.P., Preisigke, S.C., Amaral Júnior, A.T. (2021) Novel approach to the selection of *Psidium guajava* genotypes using latent traits to bypass multicollinearity. *Scientia Agricola*, 78(2):5-13.
- Silva, F.A., Viana, A.P., Guedes, C.C.C., Carvalho, B.M., Sousa, C.M.B. (2020) Impacto f Bayesian Inference on the Selection of *Psidium guajava*. *Scientific Reports* (Nature Publisher Group); 10:1999-2008.
- Silva, J., Ramos, A.R., Amorim, D., Zanotto, M.D., Sartori, M.M.P (2019) Inbreeding Depression of Progenies of Castor Bean, From of the Variety FCA-PB, Results of Three Types of Pollinations. *Journa Iof Agricultural Science*. 11(16):68-79.
- Tuler, A.C., Proença, C.E.B., Costa, I.R (2020) *Psidium in Flora do Brasil*. Jardim Botânico do Rio de Janeiro, Disponível em: <http://floradobrasil.jbrj.gov.br/reflora/floradobrasil/FB24034>.
- Vencovsky, R., Barriga, P. (1992) *Genética Biométrica no Fitomelhoramento*. Sociedade Brasileira de Genética, Ribeirão Preto. 496p.
- Vencovsky, R. (1987) Herança quantitativa. In: Paterniani, E., Viegas, G.P. (ed.) *Melhoramento e produção de milho no Brasil*. 2 ed. Campinas: Fundação Cargill. p.122-201.

5. RESUMO E CONCLUSÕES

A Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro (UENF), considerando o elevado potencial do fruto da goiabeira e a baixa disponibilidade de cultivares desenvolvidas por programas de melhoramento genético que atendam às necessidades dos produtores, principalmente do estado do Rio de Janeiro, vem desenvolvendo há doze anos um programa de melhoramento que visa o desenvolvimento de novas cultivares de goiaba (*Psidium guajava*).

Assim, uma opção promissora é a obtenção de famílias endogâmicas como forma de fixação de alelos potenciais para características relacionadas à planta, para possível formação futura de linhagens superiores. Dessa forma, tornou-se imprescindível o estudo sobre a parte física e fisiológica das sementes endogâmicas, para obtenção de mais informações, visto o ineditismo da pesquisa.

Devido as pesquisas na área de tecnologia de sementes de goiabeira serem escassas, buscou-se primeiramente elaborar um protocolo para avaliações mais concisas e seguras sobre o vigor das sementes. Assim, seguindo os protocolos estabelecidos pela Regra de Análise de Sementes (Brasil, 2009) foram realizados os testes de germinação e pode-se concluir que para expressão máxima da germinação das sementes de goiabeira os substratos mais adequados são rolo de papel, entre papel e entre areia, nas temperaturas alternadas de 20-30 °C ou 25-35 °C.

Diante desta informação, buscou-se conhecer mais a respeito das sementes dos genótipos S₂, visando selecionar os genótipos mais vigorosos e

divergentes para o programa de melhoramento genético da goiabeira. Neste contexto, segundo trabalho buscou estimar parâmetros genéticos e prever valores genéticos individuais para genótipos S_2 de goiaba por meio da metodologia de modelos mistos (REML/BLUP) e também estimar a dissimilaridade genética com base em atributos fisiológicos de sementes endogâmicas. Em geral os valores de herdabilidade para todas as características foram médios, entretanto foi possível estimar ganhos com a seleção por meio da estimação dos BLUPs individuais. Os respectivos genótipos de sementes S_2 , 5, 31, 85, 214, 369, 393, 398, 442, 443, 444, 449 e 529, que obtiveram as maiores estimativas de ganhos e foram divergentes geneticamente são recomendados para futuros cruzamentos e/ou autofecundações.

De posse das informações sobre as sementes endogâmicas S_2 , o terceiro trabalho teve como objetivo determinar a ocorrência de depressão por endogamia através do estudo da qualidade fisiológica e características morfológicas das sementes obtidas por autofecundação (S_1 e S_2), em comparação com progênies de polinização livre (S_0). Os resultados obtidos mostram que apenas uma autofecundação não foi possível gerar depressão endogâmica, enquanto ao realizar uma segunda autofecundação a presença da depressão por endogamia pode ser observada em proporções diferentes para cada caráter.

Diante do exposto, recomenda-se que as avaliações via atributos fisiológicos de sementes com a população S_3 continuem sendo realizadas, de modo que se possa determinar os níveis de endogamia para próxima geração de autofecundação, possibilitando através da endogamia a fixação alélica para viabilidade da obtenção de linhagens superiores via semente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agrianual (2019) Anuário da Agricultura Brasileira. Goiaba. São Paulo: FNP Consultoria & Comércio. p.285-288.
- Almeida, C.L.P., Viana, A.P., Santos, E.A., Quintal, S.S.R. (2019) Repetibility in guava: how many evaluations is necessary for selection the best guava tree. *Functional Plant Breeding Journal*, 1(2):51-60.
- Alves, C.Z., Silva, J.B., Candido, A.C.S. (2015) Metodologia para a condução do teste de germinação em sementes de goiaba. *Revista Ciência Agrônômica*, 46 (3):615-621.
- Alves, J.E., Freitas, B.M. (2007) Requerimentos de polinização da goiabeira. *Ciência Rural*, 37:1281-1286.
- Ambrósio, M., Viana, A.P., Ribeiro, R.M., Preisigke, S.C., Cavalcante, N.R., Silva, F.A.T., Xavier, G., Sousa, C.M.B. (2021) Genotypic superiority of *Psidium guajava* S₁ families using mixed modeling for truncated and simultaneous selection. *Scientia Agricola*, 78:2.
- Andrade, A.C.S., Souza, A.F., Ramos, F.N., Pereira, T.S., Cruz, A.P.M. (2000) Germinação de sementes de jenipapo: temperatura, substrato e morfologia do desenvolvimento pós-seminal. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 15(3):609-615.
- Barbieri, R.L., Leite, D.L., Choer, E., Sinigaglia, C. (2005) Divergência genética entre populações de cebola com base em marcadores morfológicos. *Ciência Rural*, 35:303-306.
- Bastos, D.C., Ribeiro, J.M. (2011) Produção de mudas de goiabeira. *Embrapa Semiárido*. Comunicado técnico (CPATSA), 148:1-3.

- Bernini, C.S., Paterniani, M.E.A.G.Z., Duarte, A.P., Gallo, P.B., Guimarães, P.S., Rovarís, S.R.S. (2013) Depressão endogâmica e heterose de híbridos de populações F₂ de milho no estado de São Paulo. *Bragantia*, 72(3):217-223.
- Bewley, J.D., Black, M. (1982) *Physiology and biochemistry of seed in relation to germination: viability, dormancy and environmental control*. Berlin: Springer-Verlag. 375p.
- Bewley, J.D., Bradford, K.J., Hilhorst, H.W.M., Nonogaki, H. (2013) *Seeds: physiology of development germination and dormancy*. New York: Springer. 392p.
- Bhushan, B., Pal, A., Singh, A. (2013) Effect of lead on protein dissolution and phosphate mobilization in germinating oat [*Avena sativa* (L.) cv. HJ-8] seeds. *Indian Journal Agricultural Research*, 47:402-410.
- Borém, A., Miranda, G.V. (2009) *Melhoramento de plantas*. 5 ed. Viçosa: Editora UFV. 529p.
- Borém, A., Miranda, G.V., Fritsche Neto, R. (2017) *Melhoramento de plantas*. 7 ed. Viçosa: Editora UFV. 543p.
- Borém, A., Miranda, G.V., Fritsche-Neto, R. (2021) *Melhoramento de plantas*. 8 ed. São Paulo: Oficina de textos. 384p.
- Brançalion, P.H.S., Novembre, A.D.L.C., Rodrigues, R.R., Chamma, H.M.C.P. (2008) Efeito da luz e de diferentes temperaturas na germinação de sementes de *Heliovarpus pipayanensis* L. *Revista Árvore*, 32(2):225-232.
- Brasil (2009) *Regras para análise de sementes*. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Brasília, 395p.
- Campos, B.M., Viana, A.P., Quintal, S.S.R., Barbosa, C.D., Daher, R.F. (2016) Heterotic group formation in *Psidium guajava* L. by artificial neural network and discriminant analysis. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 38:151-157.
- Campos, B.M., Viana, A.P., Quintal, S.S.R., Gonçalves, L.S.A., Pessanha, P.G.O. (2013) Quantification of the genetic divergence among guava accessions using Ward-MLM strategy. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 35:87-94.
- Carvalho, N.M., Nakagawa, J. (2012) *Sementes: ciência, tecnologia e produção*. (5 ed.) Jaboticabal: Funep. 590p.
- Castro, J.M.C, Ribeiro, J.M. (2020) *Pesquisa e desenvolvimento para a cultura da goiabeira: a contribuição da Embrapa Semiárido*. Embrapa Semiárido. 82p. (Documentos, 297).
- Charlesworth D., Charlesworth B. (1987) Inbreeding depression and its evolutionary consequences. *Annual Review of Ecology System*, 18:237–268.

- Charlesworth, B., Charlesworth, D. (1999) The genetic basis of inbreeding depression. *Genetics Research*, 74(3):329-340.
- Charlesworth, D., Willis, J.H. (2009). The genetics of inbreeding depression. *Nature Reviews Genetics*, 10(11):783-796.
- Corbineau, F. (2012) Markers of seed quality: from present to future. *Seed Science Research*, 22:61-68.
- Coser, S.M., Ferreira, M.F.S., Ferreira, A., Saraiva, S.H. (2014) Diversidade genética de seleções de goiabeiras Cortibel. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 36(2):391-399.
- Costa, J.C.F., Mendonça, R.M.N., Silva, G.C., Silva, S.M., Pereira, W.E., Santos, C.E.M. (2019) Rooting of herbáceo usand semi hardwood cuttings of guava cv. Século XXI, under varying concentrations of indolebutyric acid. *Journal of Experimental Agriculture International*, 33(1):1-9.
- Cruz, C.D. (2013) GENES - a software package for analysis in experimental statistics and quantitative genetics. *Acta Scientiarum*, 35(3):271-276.
- Cruz, C.D., Carneiro, P.C.S. (2006) *Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético*. Editora UFV, Viçosa, MG, Brasil. 2ª. 585p.
- Cruz, C.D., Regazzi, A.J., Carneiro, P.C.S. (2014) *Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético*. Editora UFV, Viçosa, MG, Brasil. 3ª Ed, v.2. 668p.
- Falconer, D.S. (1987) *Introdução à genética quantitativa*. Traduzido por Silva, M.A., Silva, J.C. Viçosa: Imprensa Universitária. 279p.
- Falconer, D.S., Mackey, T.F.C. (1996) *Introduction to quantitative genetics*. London: Longman Malaysia. 463p.
- Faostat, F. (2019) Agriculture organization of the United Nations (2011). FAO, Retrieved from. Disponível em: <http://faostat3.fao.org/faostatgateway/go/to/download/Q/QC/S>. Acesso, 2021.
- Ferreira, D.F.(2008) SISVAR- um programa para análises e ensino de estatística. *Revista Científica Symposium*, 6:36-41.
- Ferreira, P.V. (2006) *Melhoramento de plantas: métodos de melhoramento*. Maceió: EDUFAL.110p.
- Flori, J.E. (2015) Goiaba: uma fruta de múltiplos usos. *Cadernos do Semiárido: riquezas e oportunidades*, 4:29-30.
- Frankham, R., Ballou, J.D., Briscoe, D.A. (2002) *Introduction to conservation genetics*. Cambridge University Press, Cambridge. 617p.

- Freitas, A.R., Lopes, J.C., Maciel, K.S., Venâncio, L.P. Germinação de sementes de goiaba em função dos substratos e regime de temperaturas. *Enciclopédia Biosfera*, 8(14):615.
- Gardner, C.O. (1965) Teoria de genética estadística aplicable as lãs medias de variedades, sus cruces y poblaciones afines. *Fitotecnica Latinoamericana*, 2:11-22.
- Gentil, D.F.O., Ferreira, S.A.N., Reboucas, E.R. (2018). Germination of *Psidium friedrichsthalianum* (O. Berg) Nied. Seeds under different temperature and storage conditions. *Journal of Seed Science*, 40(3):246-252.
- Gomes, V.M., Souza, R.M., Mussi-Dias, V., Silveira, S.F., Dolinski, C. (2010) Guava decline: a complex disease involving *Meloidogyne mayaguensis* and *Fusarium solani*. *Journal of Phytopathology*, 158:1-6.
- Gonçalves, R.W., Costa, M.D., Rocha Júnior, V.R., Costa, M.R., Silva, E.S.P., Ribeiro, A.M.F. (2011) Efeito da endogamia sobre características reprodutivas em um rebanho da raça Mangalarga Marchador. *Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal*, 12(3):641-649.
- Gongatti Netto, A., Garcia, A.E., Ardito, E.F.G., Garcia, E.E.C., Bleinroth, E.W., Matallo, M., Chitarra, M.I.F., Bordin, M.R. (1996) *Goiaba para exportação: procedimentos de colheita e pós-colheita*. Brasília: EMBRAPA – SPI. 35p. (Publicações Técnicas FRUPEX 20).
- Gonzaga Neto, L. (2007) *Produção de goiaba*. Fortaleza: Instituto Frutal. 64p.
- Gonzaga Neto, L. (ed.) (2001) *Goiaba: produção- aspectos técnicos*. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica; Petrolina: Embrapa Semiárido. 72p. (Frutas do Brasil, 17).
- Gutiérrez, R.M., Mitchell, S., Solis, R.V. (2008) *Psidium guajava*: a review of its traditional uses, phytochemistry and pharmacology. *Journal of Ethno pharmacology*, 117:1-27.
- Husband, B.C., Schemske, D.W. (1996) Evolution of the magnitude and timing of inbreeding depression in plants. *Evolution*, 50:54–70.
- Ibraf (2016) Instituto Brasileiro de Frutas. Informações institucionais, técnicas, notícias, projetos, publicações e serviços. São Paulo. Disponível em: <http://www.ibraf.org.br/>. Acesso em: 09/01/2021.
- Ide, C.D., Silva, J.A.C., Costa, R.A., Sarmiento, W.R.M., Cunha, H., Carvalho, S.M.P., Martelleto, L.A.P., Maldonado, J.F.M., Martins, S.P., Celestino, R.C.A. (2001) *A cultura da goiaba: perspectivas, tecnologias e viabilidade*. Niterói: Pesagro-Rio. 36p. (Documento 72).

- IBGE (2019) Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Produção Agrícola Municipal. Rio de Janeiro, 2020. Disponível em: Acesso em: 23 janeiro 2022.
- IBGE (2020) Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Produção Agrícola Municipal. Rio de Janeiro, 2021. Disponível em: Acesso em: 23 janeiro 2022.
- IBGE (2021) Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Produção Agrícola Municipal. Rio de Janeiro 2022. Disponível em: Acesso em: 23 janeiro 2022.
- Jaiswal, U., Jaiswal, V.S. (2005) *Psidium guajava* guava. In: Litz, R.E. (Ed). Biotechnology of fruit and nuts crops. Cambridge: CAB International. 394-401p. (Biotechnology in Agricultural Series, 29).
- Kareem, A., Jaskani, M.J., Fatima, B., Sadia, B. (2013) Clonal multiplication of guava through softwood cuttings under mist conditions. *Pakistan Journal of Agricultural Research*, 50(1):23-27.
- Kawati, R. (1997) Cultivares. In: Simpósio Brasileiro sobre a cultura da Goiabeira. Jaboticabal. *Anais do Simpósio Brasileiro sobre a cultura da goiabeira*. Jaboticabal: UNESP .1-16p.
- Kumar, S., Nei, M., Dudley, J., Tamura, K. (2009) Mega: a biologist-centric software for evolutionary analysis of DNA and protein sequences. *Brief Bioinformatics*, 9: 299-306.
- Lima, M.A.C., Bassoi, L.H., Silva, D.J., Santos, P.S., Paes, P.C., Ribeiro, P.R.A., Dantas, B.F. (2008) Effects of levels of nitrogen and potassium on yield and fruit maturation of irrigated guava trees. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 30(1):246-250.
- Ling, C.X., Chang, Y.P. (2017) Valorizing guava (*Psidium guajava* L.) seeds through germination-induced carbohydrate changes. *Journal Food Scientists & Technologists*, 54(7):2041-2049.
- Maguire, J.D. (1962) Speed of germination aid in selection and evaluation for seeding emergence and vigor. *Crop Science*, 2(2):76-177.
- Maia, G.A., Figueiredo, R.W., Santos, P.H.M. (2002) Técnica aumenta tempo de conservação da goiaba. *Revista de Ciência e Tecnologia da FUNCAP*,4(1):11-12.
- Maitan, M.Q., Viana, A.P., Vieira, H.D., Silva, C.C.A, Rodrigues, D.L., Leal, L.S.S. (2020) Physiological responses of seeds from full-sib guava families to different substrate temperatures. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 42:1-8.
- Marcos Filho, J. (2015) *Fisiologia de sementes de plantas cultivadas*. (2ed.) Londrina: ABRATES. 660p.

- Medina, J.C., Castro, J.V., Sigrist, J.M.M., Martin, Z.J., Kato, K., Maia, M.L., Garcia, J.L.M., Leite, R.S.S. F. (1991) *Goiaba: cultura, matéria prima, processamento e aspectos econômicos*. 2. ed. Campinas: Instituto de Tecnologia de Alimentos. 224 p. (Série Frutas Tropicais, 6).
- Mehmood, A., Jaskani, M.J., Khan, I.A., Ahmad, S., Ahmad, R., Luo, S., Ahmad, N.M. (2014) Genetic diversity of Pakistani guava (*Psidium guajava* L.) germplasma ndits implications for conservation and breeding. *Scientia Horticulturae*, 172:221-232.
- Mitra, S.K. (2010) Importantes fruteiras de Mirtáceas. *Acta Horticulturae*, 849:33-38.
- Mojena, R. (1977) Hierarchical grouping method and stopping rules: an evaluation. *Computer Journal*, 20:359-363.
- Mondo, V.H.V., Carvalho, S.J.P., Dias, A.C.R., Marcos Filho, J. (2010) Efeito da luz e temperatura na germinação de sementes de quatro espécies de plantas danificadas pelo gênero *Digitaria*. *Revista Brasileira de Sementes*, 32(1):131-137.
- Nakagawa, J. (1999) Testes de vigor baseados na avaliação das plântulas. In: Krzyzanowski, F.C., Vieira, D.R., Neto, J.B.F. *Vigor de sementes: conceitos e testes*. (1ed). Londrina: ABRATES. 218p.
- Natale, W., Coutinho, E.L.M., Boaretto, A.E., Pereira, F.M., Modenese, S.H. (1996) *Goiabeira: calagem e adubação*. Jaboticabal: Funep. 22p.
- Natale, W., Rozane, D.E., Souza, H.A., Amorim, D.A. (2009) *Cultura da Goiaba- do Plantio à comercialização*. Jaboticabal, SP. Jaboticabal: Funesp. 573p.
- Oliveira, C.R.R., Vivas, M., Silveira, S.F., Gonçalves, V.M.L., Dhaer, R.F., Gravina, G.A., Pereira, M.G. (2018) Potencial de progênies dioicas de mamoeiro para resistência à oídio. *Summa Phytopathol*, 44:350–354.
- Oliveira, I.P., Oliveira, L.C., Moura, C.S.F.T., Lima Júnior, A.F., Rosa, S.R.A. (2012) Cultivo da goiabeira: do plantio ao manejo. *Revista Eletrônica Faculdade Montes Belos*, 5(4):137-156.
- Oliveira, N.N.S., Viana, A.P., Quintal, S.S.R., Paiva, C.L., Marinho, C.S. (2014) Analysis of genetic distance between access of the gender *Psidium* by route markers ISSR. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 36:917-923.
- Paiva, C.L.A. (2017) *Índices multivariados e BLUP multisafras na seleção de genótipos de goiabeira*. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas) – Campos dos Goytacazes – RJ, Universidade Estadual do Norte Fluminense – UENF, 99p.
- Parmar, J.P., Tiwari, R., Keshav, K.G., Yadav, L., Upadhyay, N. (2018) Effect of Indole 3-butyric acid (IBA), rooting media and their interaction on different rooting

and growth characteristic of air-layers in guava (*Psidium guajava* L. cv. L-49). *Journal of Applied and Natural Science*, 10(1):241-246.

Pereira, F.M. (1995) *Cultura da goiabeira*. Jaboticabal: Universidade Estadual Paulista. UNESP, FUNEP. 47p.

Pereira, F.M., Carvalho, C.A., Nachtigal, J.C. (2003) Século XXI: nova cultivar de goiabeira de dupla finalidade. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 25(3):498-500.

Pereira, F.M., Kavati, R. (2011) Contribution of Brazilian scientific research in developing some of subtropical fruit. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 33(1):92-108.

Pereira, F.M., Martinez Júnior, M. (1986) *Goiabas para a industrialização*. Ribeirão Preto: Legis Summa. 142p.

Pereira, F.M., Nachtigal, J.C. (2002). Goiabeira. In: C. H. Bruckner (ed.), *Melhoramento de Fruteiras Tropicais*. Viçosa: UFV, p.267-289.

Pereira, F.M., Nachtigal, J.C. (2003) Melhoramento da goiabeira. In: Rozane, D.E., Couto, F.A. d'A. *Cultura da goiabeira: tecnologia e mercado*. Viçosa: UFV, p.53-78.

Pereira, T.S., Andrade, A.C.S. (1994) Germinação de *Psidium guajava* L. e *Passiflora edulis* Sims: efeito da temperatura, substrato e morfologia do desenvolvimento pós-seminal. *Revista Brasileira de Sementes*, 16(1):58-62.

Pérez Pelea, L., Fernández, E.V., Herrero, J.V.I., Palenzuela, B.V., Hernández, M.T.C. (2019) Predicción de valores genéticos aditivos em genótipos de guayabo (*Psidium guajava*) (Myrtaceae). *Revista del Jardín Botánico Nacional*, 40:23-32.

Pessanha, P.G.de O. (2011). *Pré-melhoramento da goiabeira (Psidium guajava L.) visando ao desenvolvimento de cultivares adaptadas ao norte e noroeste fluminense*. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas) -Campos dos Goytacazes-RJ, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro-UENF, 86p.

Pessanha, P.G.O., Viana, A.P., Amaral Júnior, A.T., Souza, R.M., Teixeira, M.C., Pereira, M.G. (2011) Assessment of genetic diversity in accessto *Psidium* spp. via RAPD markers. *Revista Brasileira de Fruticultura* 33:129-136.

Pommer, C.V., Murakami, K.R.N., Watlington, F. (2006) Goiaba no mundo. *O Agrônomo*, 58(1):22-26.

Pommer, C.V., Oliveira, O.F., Santos, C.A.F. (2013) *Goiaba: recursos genéticos e melhoramento*. Mossoró: Universidade Federal do Semi-Árido. 126p.

- Quintal, S.S.R., Viana, A.P., Campos, B.M., Vivas, M., Amaral Junior, A.T. (2017) Selection via mixed models in segregating guava families based on yield and quality traits. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 39(2):859-866.
- Rajan S., Hudedamani U (2019) Genetic Resources of Goiaba: Importance, Uses and Prospects. In: Rajasekharan P.E., Rao V.R.(ed.) *Conservação e Utilização de Recursos Genéticos Hortícolas*. Singapura, p.363-383.
- Ramalho, M.A.P., Santos, J.B., Pinto, C.A.B.P., Souza, E.A., Gonçalves, F.M.A., Souza, J.C. (2012) *Genética na agropecuária*. 5. ed. Lavras: UFLA. 566p.
- Resende, M.D.V. (2002) *Genética biométrica e estatística no melhoramento de plantas perenes*. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica. 975p.
- Resende, M.D.V. (2016) Software Selegen-REML/BLUP: auseful tool for plant breeding. *Crop Breeding and Applied Biotechnology*, 16:330-339.
- Rix, K.D., Gracie, A.J., Potts, B.M., Brown, P.H., Gore, P.L. (2015) Genetic control of Eucalyptus globulus seed germination. *Annals of Forest Science*, 72:(4):457–467.
- Sampaio, A.C. (2011) *Goiaba: do plantio á comercialização*. Campinas: CATI. 125p.
- Santos, C.A.F., Corrêa, L.C., Costa, S.R. (2011) Genetic divergence among Psidium accessions based on biochemical and agronomic variables. *Crop Breeding and Applied Biotechnology*, 11(2):149-156.
- Silva, C.C.A, Vieira, H.D., Viana, A.P., Maitan, M.Q., Santos, and E.A (2020) Phenomics approaches: genetic diversity and variance components in S₂ guava family by seed traits. *Bragantia*.
- Silva, F.A., Correa, C.C.G., Carvalho, B.M., Viana, A.P., Preisigke, S.C., Amaral Júnior, A.T. (2021) Novel approach to the selection of *Psidium guajava* genotypes using latent traits to bypass multicollinearity. *Scientia Agricola*, 78(2):5-13.
- Silva, F.A., Viana, A.P., Guedes, C.C.C., Carvalho, B.M., Sousa, C.M.B. (2020) Impacto f Bayesian Inference on the Selection of *Psidium guajava*. *Scientific Reports* (Nature Publisher Group); 10:1999-2008.
- Silva, J., Ramos, A.R., Amorim, D., Zanotto, M.D., Sartori, M.M.P (2019) Inbreeding Depression of Progenies of Castor Bean, From of the Variety FCA-PB, Results of Three Types of Pollinations. *Journa lof Agricultural Science*. 11(16):68-79.
- Silva, T.R.C., Amaral, A.T.J.R., Gonçalves, L.S.A., Candido, L.S., Vitorazzi, C., Scapim, C.A. (2013) Agronomic performance of popcorn genotypes in northern and northwestern Rio de Janeiro state. *Acta Scientiarum Agronomy*, 35:57-63.
- Singh, G. (2007) Desenvolvimento recente na produção de goiaba. *Acta Horticulturae*, 735:161-176.

- Sobral, M., Proença, C., Souza, M., Mazine, F., Lucas, E. (2012) *Myrtaceae*. In: Lista de espécies da flora do Brasil. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. <<http://floradobrasil.jbrj.gov.br/2012/FB000171>>. Acesso em 10 Jan 2019.
- Soubihe Sobrinho, J., Gurgel, J.T.A. (1962) Amount of natural cross-pollination in guavas summary. *Bragantia*.
- Sousa, C.M.B., Ribeiro, R.M., Viana, A.P., Cavalcante, N.R., Silva, F.A., Ambrósio, M., Amaral Júnior, A.T. (2020) Guava breeding via full-sib Family selection: conducting selection cycle and divergence btween parentes and families. *Crop Breeding and Applied Biotechnology*, 20:1-9.
- Sugahara, V.Y., Takaki, M. (2004) Effect of light and temperature on seed germination in guava (*Psidium guajava* L.-Myrtaceae). *Seed Science & Technology*, 32(3):759-764.
- Teixeira, A.A.H.C., Gonzaga Neto, L., Moura, M.S.B. (2001) Condições de clima e solo. In: Gonzaga Neto, L. (ed). *Goiaba: produção*. Petrolina: Embrapa Semi-Árido, p.24-27. (Frutas do Brasil, 17).
- Tuler, A.C., Proença, C.E.B., Costa, I.R (2020) *Psidium in Flora do Brasil*. Jardim Botânico do Rio de Janeiro.
- Vencovsky, R. (1987) Herança quantitativa. In: Paterniani, E., Viegas, G.P. (ed.) *Melhoramento e produção de milho no Brasil*. 2 ed. Campinas: Fundação Cargill. p.122-201.
- Vencovsky, R., Barriga, P. (1992) *Genética Biométrica no Fitomelhoramento*. Sociedade Brasileira de Genética, Ribeirão Preto. 496p.
- Viana, A.P., Resende, M.D.V. (2018) *Genética Quantitativa do Melhoramento de fruteiras*. Editora Interciência, Rio de Janeiro, RJ, Brasil. 1ª Ed, 2014. 282p.
- Zucareli, V., Ferreira, G., Amaro, A.C.E., Araújo, F.P. (2009) Fotoperíodo, temperatura e reguladores vegetais na germinação de sementes de *Passiflora cincinnata* Mast. *Revista Brasileira de Sementes*, 31:106-114.