

ERROS DE INTERPRETAÇÃO DA HIPÓTESE ASSOCIADOS AO PROGRAMA DE MELHORAMENTO GENÉTICO DE PLANTAS

ERRORS IN HYPOTHESIS INTERPRETATION ASSOCIATED WITH PLANT BREEDING PROGRAMS

Wisley Vítor de Sousa Gonçalves¹

RESUMO

O melhoramento genético de plantas pode ser descrito de maneira simplificada e abrangente como a ciência e a arte de alterar as plantas ou seu desempenho para beneficiar a humanidade. A Estatística Experimental visa desenvolver estudos de experimentos, incluindo planejamento, execução, análise de dados e interpretação dos resultados, para gerar informações úteis na tomada de decisão. Em pesquisas de melhoramento genético, busca-se genótipos mais produtivos e econômicos. Por isso, é essencial explorar o ambiente de cultivo para maximizar a produção e minimizar custos e uso de adubo. Os princípios de repetição, casualização e controle local, são considerados os três fundamentos essenciais dos delineamentos experimentais e, consequentemente, da experimentação. Dois tipos de erros estão associados a um teste de hipótese. O erro tipo I ocorre quando a hipótese nula não é rejeitada, apesar de ser verdadeira. Já o erro tipo II acontece quando a hipótese nula é aceita, mesmo sendo falsa. O erro tipo II é mais prejudicial para o melhoramento genético, pois leva à seleção de indivíduos e famílias com menor frequência de genes favoráveis.

Palavras-chave: Melhoramento Genético; Estatística Experimental; Erros na Experimentação Estatística; Teste Estatístico; Teste de Hipótese.

ABSTRACT

Plant breeding can be described in a simplified and comprehensive manner as the science and art of modifying plants or their performance to benefit humanity. Experimental Statistics aims to develop studies of experiments, including planning, execution, data analysis, and interpretation of results, to generate useful information for decision-making. In genetic improvement research, more productive and economical genotypes are sought. Therefore, it is essential to explore the cultivation environment to maximize production and minimize costs and fertilizer use. The

¹ Bacharel em Engenharia Agrônômica pelo Instituto Federal do Triângulo Mineiro Campus Uberaba
Contato: wisley.goncalves@gmail.com.br

principles of replication, randomization, and local control are considered the three fundamental elements of experimental designs and, consequently, of experimentation. Two types of errors are associated with a hypothesis test. Type I error occurs when the null hypothesis is not rejected despite being true. Type II error happens when the null hypothesis is accepted despite being false. Type II error is more detrimental to plant breeding as it leads to the selection of individuals and families with a lower frequency of favorable genes.

Keywords: Plant Breeding; Experimental Statistics; Errors in Statistical Experimentation; Statistical Test; Hypothesis Test.

1. INTRODUÇÃO

Os desafios da agricultura moderna, destinada tanto para abastecimento de alimentos quanto para obtenção de bioenergia, são de escala mundial e incluem aumento da demanda alimentícia devido ao crescimento populacional, mudanças de hábitos alimentares e mudanças climáticas. Um dos maiores desafios é aumento sustentável da produção, com a aplicação de melhores práticas agrícolas e o desenvolvimento de variedades capazes de produzir alimentos com teor e qualidade nutricional, bem como mais tolerantes aos diversos tipos de estresses bióticos e abióticos (DAMATTA et al., 2010; LOBELL; GOURDJI, 2012; MCCOUCH et al., 2013; EISENSTEIN, 2013; FAO, 2019). Além disso, o contínuo aumento da utilização de áreas cultiváveis tem causado grande impacto de desmatamento florestal (CAMPBELL et al., 2008).

Com o avanço da biologia molecular, a agricultura moderna passou a usufruir de várias técnicas que apoiam o melhoramento genético de plantas, especialmente a transgenia, a seleção assistida por marcadores moleculares e a seleção genômica.

O melhoramento genético de plantas tem como finalidade obter cultivares cada vez mais produtivas, mantendo a sustentabilidade dos ecossistemas agrícolas. Para que se possa aproveitar ao máximo os recursos genéticos existentes, torna-se fundamental a caracterização morfológica e agrônômica da espécie de que se tem interesse (CARVALHO et al., 2016).

A estatística aplicada a melhoramento genético e experimentos agrícolas configura-se como uma ferramenta primordial para o alcance de resultados efetivos, possibilitando a estimativa do erro experimental, além de validar a importância dos contrastes analíticos. No

entanto, as explicações biológicas dos fenômenos analisados devem revelar sincronia, em que as inferências feitas devem ser consistentes com a quantidade de informações obtidas (WANG et al., 2016).

Partindo desse pressuposto, é primordial destacar que a estatística é uma área da ciência que utiliza a análise dos dados para verificar as hipóteses, observando o poder da evidência e, se há correlações entre grupos ou a autenticidade de fenômenos de interesse. Com isso, o cientista deve levantar teorias, perceber os fenômenos biológicos que advêm da população e obter a partir disto uma amostra para confirmá-las. Dessa forma, a afinidade de uma amostra com o meio populacional que a concebeu possibilita que os resultados da analogia dos dados sejam mais autênticos (WINDISH; DIENER-WEST, 2006).

Com isso, pode-se justificar que a utilização da análise estatística propicia ao leitor e aos pesquisadores em geral, compreender a informação oriunda dos dados apurados durante a realização do estudo, determinando contribuições importantes para a confiabilidade dos resultados. Considerando que frequentemente, pesquisadores acabam fazendo uso inadequado dos testes estatísticos em razão do não emprego das pressuposições necessárias e, conseqüentemente, apresentam dificuldades para análise dos dados e compreensão dos resultados (BERTOLDO et al., 2007).

Contudo, esta revisão tem como objetivo abordar os principais tipos de erros na escolha dos testes estatísticos e suas principais conseqüências na reportagem dos resultados alcançados em uma pesquisa experimental.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 MELHORAMENTO GENÉTICO DE PLANTAS

A genética pode ser caracterizada como uma ciência voltada ao estudo da transmissão das características hereditárias ao longo das gerações. Por volta de 1866, Gregor Mendel propôs

algumas leis que se basearam nos estudos realizados com ervilhas, sendo até hoje um suporte para a genética, contribuindo grandemente para o melhoramento genético (PORTO, 2015).

O experimento de Mendel é o mais empregado quando se trata hereditariedade, pois demonstrou como as características são passadas de uma geração de milho para outra, tornando-se fundamental para a construção de conceitos frente ao melhoramento genético e os híbridos (CARDOSO, 2005).

Na primeira lei de Mendel, conhecida como a Lei da Segregação dos Fatores ou Monoibridismo, cada característica isolada é determinada por dois fatores, sendo que um se destaca em relação ao outro, determinando um gene dominante e outro recessivo. Na segunda lei de Mendel nota-se que as características também se manifestam simultaneamente. Estes conceitos foram significativos para o melhoramento genético e a combinação simultânea de genes de interesse (BUENO et al., 2001).

O melhoramento genético (em geral) e o melhoramento genético para resistência a patógenos e pragas (em particular) têm viabilizado, por décadas, o cultivo de plantas de forma mais sustentável (ZAMIR, 2001). Entre as ferramentas disponíveis para os programas de melhoramento genético para resistência a patógenos estão os métodos de melhoramento envolvendo cruzamentos controlados e bioensaios com inoculação controlada para a seleção fenotípica de plantas individuais que combinem resistência contra uma doença alvo e características agrônômicas de interesse para o consumidor final (BOITEUX et al., 2016).

Outro aspecto de infraestrutura importante é a disponibilidade de bancos de germoplasma contendo a mais ampla diversidade genética e extensas coleções de mutantes, incluindo fatores de resistência aos principais patógenos (EMMANUEL & LEVY, 2002). Os cruzamentos controlados para incorporação de fatores de resistência envolvem, em geral, cultivares comerciais (ou linhagens elite) e acessos de espécies silvestres (= fontes de resistência) de onde os genes de interesse vão ser introgridos. Assim, após os cruzamentos interespecíficos iniciais, é essencial contar com tecnologias que possam "recuperar" de forma eficiente o genoma da linhagem de elite, agora contendo o novo fator de resistência. Além disso, o desenvolvimento de cultivares resistentes a doenças por meio do melhoramento genético é um processo contínuo, já que novos patógenos e variantes de patógenos surgem (ou podem ser introduzidos) constantemente em uma

determinada região geográfica.

Esse aspecto dinâmico do processo de incorporação e piramidização de novos fatores requer rapidez e precisão, especialmente no caso de hortaliças que são afetadas por uma assombrosa gama de patógenos em constante evolução. Neste cenário, a utilização de seleção assistida por marcadores moleculares (SAM) tem se tornado um componente metodológico crucial, apresentando uma perfeita harmonia com todos os métodos clássicos de melhoramento genético, permitindo uma seleção mais robusta (FERREIRA & GRATAPLAGLIA, 1998).

Por sua vez, os marcadores moleculares e o desenvolvimento de mapas genéticos ultradensos conduzem para a localização física e a posterior descoberta de novos genes de resistência bem como seus genes reguladores. A localização cromossômica e a descoberta de novos fatores de resistência têm se constituído em atividades essenciais na aplicação de novas estratégias de melhoramento via biotecnologia tais como transformação genética e edição genômica (ROTHAN et al., 2019). Todas essas tecnologias avançadas se tornam mais eficazes quando há um conhecimento preciso da região do genoma que precisa ser editada ou modificada. Essa informação, em última análise, é derivada de estudos genéticos realizados com a ajuda de marcadores moleculares.

2.2 EXPERIMENTAÇÃO ESTATÍSTICA NO MELHORAMENTO DE PLANTAS

A estatística consiste em uma área da ciência que utiliza a análise dos dados para verificar hipóteses estatísticas, observando o poder da evidência e as correlações entre grupos ou a autenticidade de fenômenos de interesse. Os cientistas devem elencar as possibilidades e observar os fenômenos biológicos que advêm da população, obtendo assim, as suas amostras com a finalidade de averiguar que os resultados da analogia dos dados sejam mais autênticos para a explanação das conjecturas (WINDISH; DIENER-WEST, 2006).

Além disso, a análise estatística propicia aos leitores e aos pesquisadores em geral a compreensão da informação oriunda dos dados apurados durante a realização de um estudo e

assim, utilizá-la em benefício da sociedade (WINDISH; DIENER-WEST, 2006). Contudo, corriqueiramente, os cientistas fazem uso inadequado dos testes estatísticos em razão do não emprego das pressuposições necessárias. Consequentemente, pesquisadores apresentam dificuldades tanto na analogia dos dados apurados, quanto na compreensão de resultados alcançados, podendo assim, proceder com conclusões incertas (BERTOLDO et al., 2007).

Nesta perspectiva, é importante realizar a seleção do delineamento experimental apropriado atrelado ao melhoramento genético, bem como a aplicação correta da medida estatística, no intento da estimativa certa do erro experimental (BERTOLDO et al., 2007).

Para que se obtenha a aplicação correta destes, é de suma importância que os pesquisadores tenham conhecimento acerca dos tipos de variáveis existentes, de tratamentos, de fatores e do delineamento experimental que irão edificar a sua pesquisa. Entretanto, embora uma variedade de testes estatísticos esteja à disposição dos cientistas, uma quantidade elevada ainda faz uso de forma incorreta (BERTOLDO et al., 2008).

Segundo Resende et al. (2023), a acurácia estimada é valiosa para avaliar a qualidade das predições dos valores genotípicos e dos experimentos, comparar métodos de seleção, calcular o ganho genético com a seleção e dimensionar os experimentos. Portanto, ela é uma peça essencial deste documento. Em um experimento único, os valores de acurácia são determinados levando em conta a herdabilidade da característica e o número de replicações (n). Resende e Duarte (2007) abordaram essa questão. Em ensaios multiambientes, a acurácia é estimada considerando a herdabilidade da característica, a correlação genotípica através dos ambientes (r_{ge}), o número de replicações (n) e o número de locais (l) de experimentação.

A obtenção de dados experimentais fidedignos envolve a escolha de um delineamento experimental adequado e o planejamento correto do tamanho de parcela, números de repetições e de locais a serem usados na experimentação. Um delineamento experimental adequado deve obedecer aos princípios fundamentais da experimentação: repetição, casualização e controle local (FISHER, 1925).

A repetição refere-se ao número de vezes que o tratamento aparece no experimento. Tem por finalidade permitir a estimação do erro experimental, aumentar o poder dos testes estatísticos como o F e dos demais testes de médias, além de aumentar a precisão das estimativas das médias

dos tratamentos. Neste último caso, quanto maior o número de repetições, menor é a variância da média dos tratamentos e dos valores genéticos preditos (DIAS; RESENDE, 2001).

A casualização consiste em dispor os tratamentos ao acaso no experimento de modo que todas as parcelas tenham a mesma chance de receber determinado tratamento. É, portanto, recomendada para evitar fatores sistemáticos que venham beneficiar alguns tratamentos em detrimento de outros. Seu grande benefício é validar e dar confiabilidade às estimativas do erro experimental e das médias de tratamentos (RESENDE, 2023).

O controle local destina-se a controlar a heterogeneidade ambiental e implica restringir a casualização. Em termos da avaliação genética e da estimação de componentes de variância, a casualização é essencial como forma de evitar a correlação entre efeitos genéticos e ambientais, fato que afetaria todo o modelo básico de estimação e predição, o qual assume independência entre os referidos efeitos. Blocos nos delineamentos blocos casualizados e linhas e colunas nos delineamentos quadrados latinos, por exemplo, são estratégias de controle local que possibilitam agrupar parcelas homogêneas e casualizar os tratamentos dentro deles. O uso da análise de covariância é também um tipo de controle local e é muitas vezes denominado também de controle estatístico (DIAS; RESENDE, 2001).

No estudo científico de várias esferas do conhecimento, as análises estatísticas são instituídas como instrumentos para avaliar suas hipóteses e à comparação multivariada entre as médias de tratamentos experimentais, antecedida pela análise de variância, que é, certamente, uma das mais utilizadas (COUTO et al., 2009). Desta forma, embora haja uma certa preocupação dos cientistas com a análise dos dados, diversas vezes pode-se perceber uma negligência com a utilização destes testes e a má interpretação dos seus resultados.

Os testes de comparações de médias em tratamentos são de enorme relevância no experimento realizado (CONAGIN et al., 2008), quando o objetivo da pesquisa é confrontar tratamentos qualitativos. A aplicação de um teste é efetuada quando a análise de variância constata existência de efeito significativo dos tratamentos à um estipulado grau de significância, de maneira em que haja a recusa da hipótese de nulidade (ao menos um contraste ortogonal sobre tratamentos desiguais de zero).

Entre os testes mais comumente usados para verificar os resultados experimentais estão

o Teste F, que é aplicado para determinar a possibilidade de diferenças significativas em contrastes ortogonais dos tratamentos, e os testes de Duncan, Dunnett, Tukey, além do LSD. Estes são frequentemente utilizados para detalhar essas informações, permitindo demonstrar, de maneira específica e estatística, quais tratamentos diferem entre si.

Para a realização da seleção do teste que irá ser aplicado, o processo dependerá de suas qualificações estatísticas, tendo em consideração os tipos de erros existentes, ou seja, observando se os mesmos estão de maneira controlada (MACHADO et al., 2005).

2.3. ERROS OCORRIDO NA EXPERIMENTAÇÃO ESTATÍSTICA

O erro experimental trata-se da variação por razão do acaso ou variação aleatória. É o conjunto dos efeitos de fatores em que o estudo não controlou a sua exposição. Os fatores não controlados são alheios aos efeitos dos tratamentos. As pequenas diferenças de fertilidade no solo, profundidade de semeadura um pouco menor ou maior do que a prevista, variação na constituição genética de animais ou plantas e pequenas variações nas doses de adubos, que causam variações entre as parcelas atribuídas a um mesmo tratamento, são efeitos relacionados ao erro experimental. Para minimizar a influência da variação do acaso, deve-se planejar o experimento de tal maneira que se consiga isolar os efeitos de todos os fatores que podem ser controlados (KRONKA, 2017).

Segundo Girardi et al. (2009), o erro do Tipo I ocorre quando a hipótese nula é verdadeira e o pesquisador a rejeita. A probabilidade de cometer um erro do Tipo I é α , que é o nível de significância que o pesquisador estabelece para seu teste de hipótese. Um alfa de 0,05 significa que se deseja aceitar uma probabilidade de erro de 5% para rejeitar a hipótese nula. Para reduzir esse risco, deve-se usar valores alfa mais baixos. No entanto, usar um valor alfa mais baixo significa que é menos provável a determinação de diferenças reais, se existirem.

Enquanto, o erro tipo II ocorre quando a hipótese nula é falsa e não é rejeita. A probabilidade de cometer um erro do Tipo II é β , que depende do poder do teste. Pode-se reduzir o risco de cometer erros do Tipo II garantindo que seus testes sejam adequadamente competentes,

onde o pesquisador pode fazer isso garantindo que o tamanho da amostra seja grande o suficiente para detectar diferenças reais, quando realmente houver diferenças (GIRARDI; CARGNELUTTI FILHO; STORCK, 2009). Na tabela 1, ilustra como o Erro Tipo I e II ocorre quando associado ao teste de hipótese.

Tabela 1 – Erros possíveis associados a teste de hipóteses

SITUAÇÃO	CONCLUSÃO DO TESTE	
Real	Rejeitar H_0	Não rejeitar H_0
H_0 verdadeira	Erro Tipo I	Decisão Correta
H_0 falsa	Decisão Correta	Erro Tipo II

Fonte: adaptado de Araújo (2022).

2.4. CONSEQUÊNCIAS DOS ERROS OCORRIDO NA EXPERIMENTAÇÃO ESTATÍSTICA

Na experimentação agrícola, utiliza-se a análise estatística devido à presença, em todas as observações, de efeitos de fatores não controlados que causam variação, denominados de erro experimental. Esses efeitos ocorrem de forma aleatória entre as unidades que receberam os tratamentos, não podem ser conhecidos individualmente e tendem a mascarar o efeito do tratamento em estudo, pois têm interferência nos testes de hipóteses e nos procedimentos para comparações múltiplas de médias (STEEL & TORRIE, 1960; BANZATTO & KRONKA, 1995).

Cochran & Cox (1978) distinguem duas fontes principais que contribuem para formar o erro experimental. A primeira é a variabilidade inerente às unidades experimentais, produzindo resultados diferentes, embora tenham sido submetidas a um mesmo tratamento. A segunda ocorre na condução do experimento devido à inexistência de uniformidade da técnica experimental.

Entre os principais fatores que contribuem para aumentar o erro experimental, Federer (1977), Lopes et al. (1994) e Banzatto & Kronka (1995) citam a não-utilização dos princípios básicos da experimentação (repetição, casualização e controle local), a heterogeneidade das unidades experimentais e do material experimental, as competições entre as parcelas e dentro

delas, a realização desuniforme dos tratos culturais e a ocorrência de pragas, doenças e plantas daninhas.

Em muitos experimentos, os resultados são tão influenciados pelo erro experimental que somente diferenças notáveis entre tratamentos podem ser detectadas, e ainda estas podem estar sujeitas a uma incerteza considerável (COCHRAN & COX, 1978). A qualidade de um experimento é avaliada pela magnitude do erro experimental e pelo atendimento das pressuposições do modelo matemático, ou seja, aditividade do modelo, erros experimentais aleatórios, independentes e normalmente distribuídos com média zero e variância comum (STORK et al., 2000).

Segundo Banzatto & Kronka (1995), o quadrado médio de tratamentos é um estimador da variância entre os tratamentos e o quadrado médio do resíduo é um estimador da variância comum dentro de cada um dos tratamentos e, portanto, estima o erro experimental. A aplicação destas suposições resulta em maior precisão experimental, e quanto menor for o quadrado médio do resíduo, menor será a diferença mínima significativa utilizada nos testes de comparações de médias duas a duas.

Na experimentação, de modo geral, ensaios com baixa precisão podem levar a conclusões incorretas, pois ocorre um aumento na probabilidade de ocorrência do erro tipo II, ou seja, os efeitos dos tratamentos não diferem entre si, apesar de existir diferença entre eles. O erro tipo I (indica que os efeitos dos tratamentos diferem quando não existe diferença) não é afetado, pois pode ser controlado pelos níveis de significância (JUDICE et al., 2002). O procedimento de inferência para comparar os efeitos dos tratamentos consiste, basicamente, em comparar a variação entre as unidades experimentais com diferentes tratamentos com a variação entre unidades experimentais com um mesmo tratamento, ou seja, com a variação atribuível ao erro experimental.

3. CONCLUSÃO

Como podemos observar nesta revisão, a experimentação estatística e a escolha dos testes

estatísticos são de extrema importância, assim como seguir rigorosamente os princípios básicos da experimentação. Experimentos com definições equivocadas desses princípios, bem como a escolha inadequada dos testes estatísticos, podem levar a baixa precisão e, conseqüentemente, a conclusões incorretas nos testes de hipótese.

4. REFERÊNCIAS

- ARAÚJO, J. L. de. **Análise do uso de testes de comparações múltiplas em estudos publicados em periódicos de alto impacto - melhoramento genético de plantas**. 2022. 42 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Pós-Graduação em Melhoramento Genético de Plantas, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2022.
- BANZATTO, D. A.; KRONKA, S. N. **Experimentação agrícola**. 3. ed. Jaboticabal: Funep, 1995. 245 p.
- BERTOLDO, J. G. et al. **Teste de comparação de médias: dificuldades e acertos em artigos científicos**. Current Agricultural Science and Technology, v. 13, n. 4, 2007.
- BERTOLDO, J. G. et al. **Uso ou abuso em testes de comparações de média: ¿conhecimento científico ou empírico?** Ciência Rural, v. 38, p. 1145-1148, 2008.
- BUENO, L. C. S.; MENDES, A. N. G.; CARVALHO, S. P. **Melhoramento genético de plantas: princípios e procedimentos**. Lavras: UFLA, 2001.
- BOITEUX, L. S.; FONSECA, M. E. N.; GONZÁLEZ-ARCOS, M. **Melhoramento de tomate para processamento industrial**. In: NICK, C.; BORÉM, A. (eds). Melhoramento de Hortaliças. Viçosa, MG: Editora UFV, 2016. p. 432-464.
- COCHRAN, W. G.; COX, G. M. **Diseños experimentales**. México: Trillas, 1978. 661 p.
- CAMPBELL, J. E.; LOBELL, D. B.; GENOVA, R. C.; FIELD, C. B. **The global potential of bioenergy on abandoned agriculture lands**. Environmental Science & Technology, v. 42, n. 15, p. 5791-5794, 2008.
- CARDOSO, I. **Agroecologia e produção do espaço: a experiência dos agricultores da Agreco**. 2005. 133 p. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, 2005.
- CARVALHO, M. et al. **Caracterização agro-morfológica de acessos de feijão-frade (Vigna**

unguiculata): bases para o melhoramento. Revista de Ciências Agrárias, v. 39, n. 4, p. 506-517, 2016.

CONAGIN, A.; BARBIN, D.; DEMÉTRIO, C. G. B. **Modifications for the Tukey test procedure and evaluation of the power and efficiency of multiple comparison procedures.** Scientia Agrícola, v. 65, 2008.

COUTO, M. R. M. et al. **Transformações de dados em experimentos com abobrinha italiana em ambiente protegido.** Ciência Rural [online], v. 39, n. 6, 2009.

DAMATTA, F. M.; GRANDIS, A.; ARENQUE, B. C.; BUCKERIDGE, M. S. **Impacts of climate changes on crop physiology and food quality.** Food Research International, v. 43, n. 7, p. 1814-1823, 2010.

DE SIQUEIRA, J. C. et al. **Melhoramento genético do milho: o aprimoramento da planta em antagonismo à resistência das pragas.** Revista Campo Digital, v. 19, 2024.

DIAS, L. A. S.; RESENDE, M. D. V. **Estratégias e métodos de seleção.** In: DIAS, L. A. S. (org.). Melhoramento genético do cacauero. Viçosa, MG: Funape, 2001. p. 217-287.

EISENSTEIN, M. **Plant breeding: discovery in a dry spell.** Nature, v. 501, n. 7468, p. S7-S9, 2013.

EMMANUEL, E.; LEVY, A. A. **Tomato mutants as tools for functional genomics.** Current Opinion in Plant Biology, v. 5, p. 112-117, 2002.

FAO. **The state of food security and nutrition in the world: safeguarding against economic slowdown and downturns.** Rome, 2019.

FEDERER, W. T. **Experimental design: theory and application.** 3. ed. Nova York: Oxford & IBH, 1977. 593 p.

FERREIRA, M. E.; GRATTAPAGLIA, D. **Introdução ao uso de marcadores moleculares em análise genética.** 3. ed. Brasília: Embrapa-Cenargen, 1998. 220 p.

FISHER, R. A. **Statistical methods for research workers.** Edinburgh: Oliver and Boyd, 1925. 239 p.

FONSECA, M. E. de N.; BOITEUX, L. S. **Biotechnology no melhoramento genético de plantas para resistência a patógenos: exemplos da aplicação de sistemas de seleção assistida por marcadores moleculares (SAM) no tomateiro.** In: RIOS, J. A.; ALMEIDA, L. C.; SOUZA, E. B. de (ed.). Resistência de plantas a patógenos. Recife: Universidade Federal Rural de Pernambuco, 2021. p. 121-167.

GIRARDI, L. H.; CARGNELUTTI FILHO, A.; STORCK, L. **Erro tipo I e poder de cinco**

testes de comparação múltipla de médias. Rev. Bras. Biom, v. 27, n. 1, p. 23-36, 2009.

JUDICE, M. G.; MUNIZ, J. A.; AQUINO, L. H.; BEARZOTTI, E. **Avaliação da precisão experimental em ensaios com bovinos de corte.** Ciência Agrotécnica, Lavras, v. 26, n. 5, p. 1035-1040, set./out. 2002.

KRONKA, S. do N. **Apostila estatística experimental.** Disponível em: http://www.abhorticultura.com.br/eventosx/trabalhos/ev_1/MINI01.pdf. Acesso em: 04 jan. 2017.

LOBELL, D. B.; GOURDJI, S. M. **The Influence of Climate Change on Global Crop Productivity.** Plant Physiology, v. 160, n. 4, p. 1686-1697, 2012.

LOPES, S. J.; STORCK, L.; GARCIA, D. C. **A precisão de ensaios de cultivares de milho sob diferentes adubações.** Ciência Rural, Santa Maria, v. 24, n. 3, p. 483-487, 1994.

MAHBOBI, M.; TIEMANN, T. K. **F-Test and One-Way ANOVA.** Introductory Business Statistics with Interactive Spreadsheets-1st Canadian Edition, 2015.

MALAQUIAS, J. V. **Estatística Aplicada ao Melhoramento Genético de Plantas.** In: SILVA, C. B. M. C. et al. Melhoramento de Plantas: variabilidade genética, ferramentas e mercado. Brasília: SBMP, 2018. p. 35-47.

MCCOUCH, S. et al. **Feeding the future.** Nature, v. 499, n. 7456, p. 23-24, 2013.

MOLINARI, H. B. C. et al. **Tecnologia CRISPR na edição genômica de plantas: biotecnologia aplicada à agricultura.** Brasília: Embrapa Agroenergia, 2020. 210 p.

NESE, C. N.; BETTIO, S. de. **A importância do erro experimental.** Agropec. Catarin., v. 19, n. 1, p. 78-81, mar. 2006.

PEREIRA, A. D. P. **Diversidade fenotípica e estimativas de parâmetros genéticos em subamostras de feijão-fava (Phaseolus lunatus L.).** 2020. 60 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Pós-Graduação em Melhoramento Genético de Plantas, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2020.

PORTO, V. B. **Genética.** 2. ed. Fortaleza: Ciências Biológicas, 2015.

RESENDE, M. D. V. de et al. **Otimização da experimentação no melhoramento do cafeeiro.** Brasília: Embrapa Café, 2023. 71 p.

RESENDE, M. D. V. de; DUARTE, J. B. **Precisão e controle de qualidade em experimentos de avaliação de cultivares.** Pesquisa Agropecuária Tropical, v. 37, n. 3, p. 182-194, jul./set. 2007. Disponível em: <https://revistas.ufg.br/pat/article/view/1867>. Acesso em: 26 jul. 2022.

ROTHAN, C.; DIOUF, D.; CAUSSE, M. **Trait discovery and editing in tomato**. The Plant Journal, v. 97, p. 73-90, 2019.

WANG, S. et al. **Comparison of multiple single-nucleotide variant association tests in a meta-analysis of Genetic Analysis Workshop 19 family and unrelated data**. In: BMC proceedings. BioMed Central, 2016. p. 187-191.

WINDISH, D. M.; DIENER-WEST, M. **A clinician-educator's roadmap to choosing and interpreting statistical tests**. Journal of General Internal Medicine, v. 21, n. 6, 2006.

ZAMIR, D. **Improving plant breeding with exotic genetic libraries**. Nature Reviews Genetics, v. 2, p. 983-989, 2001.