Agrociencia Uruguay 2026 | Volume 30 | Number NE1 | Article e1704
DOI: 10.31285/AGRO.30.1704
ISSN 2730-5066

Investigaciones en pecán en Sudamérica

Correlação entre características de nozes e desenvolvimento inicial de porta-enxertos de nogueira-pecã

Poletto, I. [1]; Poletto, T. [2]; Bugs, C. [1]; Ceconi, D. [1]; da Silva, D. [2]; Klotz, A. [1]; Stefenon, V. [2]

[1] *Universidade Federal do Pampa, Laboratório de Controle Biológico e Proteção de Plantas, São Gabriel, RS, Brasil*

[2] *Universdade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências Agrárias, Florianópolis, SC, Brasil*

Resumo

A nogueira-pecã (*Carya illinoinensis* [Wangenh.] K. Koch) é uma espécie nativa dos Estados Unidos e do México cultivada comercialmente em diversos países, inclusive no sul do Brasil. A produção comercial de mudas no Brasil é realizada exclusivamente a partir da enxertia das cultivares de interesse sobre porta-enxertos provenientes de sementes. Apesar da ampla diversidade de nogueiras existentes no país, não há registros sobre quais genótipos são mais adequados para produção de porta-enxertos. Assim, este estudo teve como objetivo avaliar a diversidade biométrica das nozes de 40 genótipos e sua relação com o crescimento e desenvolvimento de mudas destinadas a porta-enxertos. Os genótipos analisados são provenientes do estado do Rio Grande do Sul e foram consideradas as características morfológicas das nozes. Após a avaliação biométrica e estratificação, as nozes foram semeadas em viveiro. A emergência das plântulas foi monitorada semanalmente até a 11º semana, e a altura das mudas e o diâmetro do colo foram mensurados aos 16 meses. A análise de componentes principais agrupou os genótipos em três grupos, destacando-se 16 com características superiores. No entanto, os resultados indicaram que as características biométricas das nozes não apresentam relação com o crescimento e desenvolvimento de plântulas em viveiro. Assim, a seleção de porta-enxertos não deve se basear exclusivamente em atributos biométricos das nozes, mas sim em características intrínsecas à genética dos indivíduos, que devem ser avaliados individualmente.

Palavras-chave: *Carya illinoinensis,* mudas, nozes, viveiro

Editor

María Cristina Soldati
Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). Buenos Aires, Argentina

Received *14 Mar 2025*
Accepted *9 May 2025*
Published *13 Feb 2026*

Correspondence

Igor Poletto
igorpoletto@unipampa.edu.br

CC BY

Poletto, I., Poletto, T., Bugs, C., Ceconi, D., da Silva, D., Klotz, A., & Stefenon, V. (2026). Correlação entre características de nozes e desenvolvimento inicial de porta-enxertos de nogueira-pecã. *Agrociencia Uruguay, 30*(NE1), Article e1704.
https://doi.org/10.31285/AGRO.30.1704

Correlation Between Nut Traits and the Early Development of Pecan Rootstocks

Abstract

Pecan (*Carya illinoinensis* [Wangenh.] K. Koch) is a species native to the United States and Mexico, commercially cultivated in several countries, including southern Brazil. Commercial production of seedlings in Brazil occurs exclusively through grafting the cultivars of interest onto rootstocks obtained from seeds. Despite the great diversity of pecan trees in the country, there are no records of which genotypes are most suitable for producing rootstocks. Thus, this study aimed to evaluate the biometric diversity of nuts from 40 genotypes and their relationship with the growth and development of seedlings intended for rootstocks. The genotypes analyzed came from the state of Rio Grande do Sul and were considered based on the morphological characteristics of the nuts. After biometric evaluation and stratification, the nuts were sown in a nursery. Seedling emergence was monitored weekly until the 11th week, and seedling height and stem diameter were measured at 16 months. Principal component analysis grouped the genotypes into three groups, highlighting 16 with superior characteristics. However, the results indicated that the biometric characteristics of the nuts are not related to the growth and development of seedlings in the nursery. Therefore, the selection of rootstocks should not be based exclusively on biometric attributes of nuts, but rather on characteristics intrinsic to the genetics of individuals, which should be evaluated individually.

Keywords: *Carya illinoinensis*, seedlings, nuts, orchard, nursery

Correlación entre características de las nueces y el desarrollo inicial de los portainjertos de pecán

Resumen

La nuez pecán (*Carya illinoinensis* [Wangenh.] K. Koch) es nativa de Estados Unidos y México y se cultiva comercialmente en varios países, incluido el sur de Brasil. La producción comercial de plántulas en Brasil se realiza exclusivamente a partir del injerto de los cultivares de interés sobre portainjertos provenientes de semillas. A pesar de la amplia diversidad de nueces existentes en el país, no hay registros sobre qué genotipos son más adecuados para la producción de portainjertos. Por lo tanto, este estudio tuvo como objetivo evaluar la diversidad biométrica de las nueces de 40 genotipos y su relación con el crecimiento y desarrollo de plántulas destinadas a portainjertos. Los genotipos analizados provienen del estado de Rio Grande do Sul y fueron seleccionados considerando características morfológicas de las nueces. Después de la evaluación biométrica y la estratificación, las nueces fueron sembradas en vivero. El crecimiento de las plántulas fue monitoreado semanalmente hasta la semana 11, mientras que la altura de las plántulas y el diámetro del cuello fueron medidos a los 16 meses. El análisis de los componentes principales agrupó los genotipos en tres grupos, destacándose 16 con características superiores. Sin embargo, los resultados indicaron que las características biométricas de las nueces no presentan relación con el crecimiento y desarrollo de plántulas en vivero. Por lo tanto, la selección de portainjertos no debe basarse exclusivamente en los atributos biométricos de las nueces, sino en características intrínsecas a la genética de los individuos, las cuales deben ser evaluadas individualmente.

Palabras clave: *Carya illinoinensis,* plántulas, nueces, vivero

1. Introdução

A nogueira-pecã (*Carya illinoinensis* [Wangenh.] K. Koch) é uma espécie nativa dos Estados Unidos e México, regiões que apresentam ampla variação climática ao longo das estações do ano. Essa condição conferiu à espécie uma elevada adaptabilidade, possibilitando seu cultivo em áreas tropicais e subtropicais fora de sua distribuição natural. Atualmente, a nogueira-pecã é cultivada comercialmente em diversos países, incluindo Uruguai, Argentina, Brasil, Chile, Peru, Índia, China, Egito, Austrália e África do Sul (de Oliveira et al., 2021).

A noz-pecã se destaca como a amêndoa de maior valor comercial dentro do gênero *Carya* (Grauke et al., 2016). Em 2022, a produção mundial de noz-pecã foi estimada em aproximadamente 154,2 mil toneladas, ocupando a sexta posição entre os frutos secos mais produzidos mundialmente (International Nut and Dried Fruit Council, 2023). Os Estados Unidos e o México lideram a produção, sendo responsáveis por 44% e 40% do volume total, respectivamente. Nos demais países produtores, embora os volumes sejam inferiores, observa-se um crescimento contínuo impulsionado pela expansão das áreas cultivadas.

Atualmente, estima-se que existem centenas de genótipos de nozes-pecã oriundas de cruzamentos naturais e mutações, os quais apresentam ampla variabilidade biométrica, química e qualitativa (Ribeiro et al., 2020). No Brasil, a cultura foi introduzida na década de 1870, principalmente nas regiões Sul e Sudeste. Diversos cultivares foram importados dos Estados Unidos, sob a forma de sementes ou de galhos para enxertia. No entanto, muitos desses materiais foram posteriormente descartados devido à sua baixa adaptação às condições edafoclimáticas brasileiras (Nagel et al., 2023; Poletto et al., 2020). Atualmente, existem no Brasil cerca de 45 cultivares comerciais originárias dos Estados Unidos, além de diversos genótipos selecionados por agricultores a partir de polinização aberta, os quais ainda carecem de uma caracterização agronômica detalhada (de Oliveira et al., 2021; Poletto et al., 2020).

A principal forma de propagação da noz-pecã é a enxertia de cultivares selecionados sobre mudas utilizadas como porta-enxertos (Poletto, Muniz, Poletto, Stefenon, et al., 2015; Renukdas et al., 2010). A escolha adequada do porta-enxerto é um fator determinante no sucesso da enxertia, influenciando diretamente o desenvolvimento da planta e sua eficiência na absorção e translocação de nutrientes (Grauke et al., 2003). No Rio Grande do Sul, as cultivares mais utilizadas como porta-enxertos incluem Barton, Elliot, Jackson, Imperial e Moneymaker. Esses genótipos foram selecionados de forma empírica pelos próprios produtores, com base em características como maior taxa de germinação, vigor e compatibilidade com os cultivares enxertados (Fronza et al., 2018).

Considerando a importância dos porta-enxertos na formação de pomares produtivos e adaptados, diversos estudos têm se dedicado à avaliação de variantes genéticas utilizadas com essa finalidade. Por exemplo, um estudo realizado na China demonstrou que as diferenças na taxa de crescimento entre dois grupos de porta-enxertos podem estar relacionadas à metilação do DNA, a qual influencia processos biológicos como síntese hormonal, sinalização celular e resposta a estresses ambientais (Liu et al., 2023). Outro estudo avaliou a resposta ao stress hídrico de 12 variantes de noz-pecã utilizadas como porta-enxertos, originárias dos Estados Unidos e México (Cao et al., 2019). No Irã, 15 cultivares foram analisadas quanto às taxas de germinação das sementes, crescimento inicial das mudas e suscetibilidade ao estresse térmico durante os verões de 2019 a 2021 (Ajam Gard, 2022). No entanto, tais estudos foram conduzidos com cultivares específicas de cada país, o que limita a extrapolação de seus resultados a outras regiões produtoras.

No Brasil, pesquisas recentes têm se dedicado à caracterização e avaliação de genótipos locais que apresentam características de interesse agronômico, com potencial para registro como novas cultivares (Poletto et al., 2020). Entretanto, apesar da ampla diversidade genética existente entre os genótipos de noz-pecã, ainda não há estudos que determinem quais apresentam desempenho superior quando utilizados como porta-enxertos.

Diante da expressiva variabilidade genética dos genótipos de noz-pecã encontrados no Brasil, especialmente no estado do Rio Grande do Sul, levanta-se a hipótese de que determinados materiais possam reunir atributos desejáveis para seu uso como porta-enxerto, como uma elevada taxa de germinação e maior vigor no desenvolvimento inicial. Assim, este estudo teve como objetivo avaliar 40 genótipos de noz-pecã coletados em propriedades rurais familiares no Rio Grande do Sul, Brasil, com foco em sua viabilidade como porta-enxertos. Para isso, foi analisada a correlação entre as características morfométricas das nozes e o vigor das plântulas.

2. Material e métodos

2.1 Seleção dos genótipos

Os genótipos de noz-pecã analisados neste estudo são provenientes do estado do Rio Grande do Sul, Brasil. De acordo com a classificação climática de Köppen, os locais de coleta se situam em duas regiões mesoclimáticas distintas: Cfa (subtropical úmido) e Cfb (temperado oceânico) (Kuinchtner & Buriol, 2016). No referido à tipologia dos solos, conforme o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária [EMBRAPA], 2018), predominam os argissolos, chernossolos e neossolos.

A seleção dos genótipos foi orientada por informações fornecidas por produtores locais, levando-se em consideração características morfológicas das nozes, especialmente tamanho e formato, por serem os principais atributos distintivos entre os genótipos. A maioria das árvores amostradas foi propagada por enxertia a partir de plantas locais, enquanto outras derivam de sementes, sendo que muitas delas não possuem cultivar definida (de Oliveira et al., 2023; EMBRAPA, 2018; Poletto et al., 2020). Todas as árvores têm mais de 50 anos e se encontram estabelecidas em pomares ou ao redor das propriedades rurais.

2.2 Dados morfométricos

As variáveis morfométricas analisadas neste estudo incluíram: comprimento, diâmetro lateral, relação comprimento/diâmetro lateral, peso total, peso da amêndoa, peso da casca, espessura da casca, dureza da casca e número de frutos por quilo. Todos os dados foram obtidos do estudo de Poletto et al. (2020).

2.3 Produção das mudas

Para a condução do experimento, foram selecionadas 21 nozes intactas por genótipo, submetidas à estratificação a 4 ºC por 90 dias em geladeira (Poletto et al., 2016; Poletto, Muniz, Poletto & Baggiotto, 2015; Poletto, Muniz, Poletto, Stefenon, et al., 2015), com o objetivo de superar a dormência. Após esse período, as sementes foram transferidas para o viveiro e semeadas utilizando-se a técnica de raiz nua, na qual as mudas são produzidas diretamente no solo, sem uso de recipientes. O experimento foi conduzido em um viveiro localizado no município de São Gabriel, Rio Grande do Sul, Brasil (30°22’06’’S, 54°19'29’’O), a 126 m acima do nível do mar. O clima da região é classificado como Cfa (subtropical úmido), caracterizado pela ausência de estação seca (Kuinchtner & Buriol, 2016). Segundo o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 2018), o solo da área experimental corresponde a um argissolo vermelho-amarelo.

Antes da semeadura, o preparo do solo foi realizado em duas etapas. Inicialmente, utilizou-se um subsolador de cinco hastes, operado a uma profundidade de 40cm, com duas passagens cruzadas nos sentidos longitudinal e transversal. Em seguida, uma encanteiradeira foi empregada para promover a descompactação do solo e a eliminação de torrões. Previamente a essas operações mecânicas, foi realizada a calagem com calcário dolomítico e a adubação fosfatada, conforme a interpretação do laudo de análise química do solo e as recomendações da Comissão de Química e Fertilidade do Solo (Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2016).

A semeadura foi realizada manualmente, enterrando-se cada semente a uma profundidade de 3,0cm, com espaçamento de 50cm entre linhas e 20cm entre plantas na linha. Para reduzir os efeitos de borda, foram implantadas duas fileiras adicionais de sementes ao redor da área experimental. A irrigação foi feita manualmente, utilizando-se regador de jardim, e o controle de plantas daninhas foi realizado por meio de capina manual.

O experimento foi conduzido segundo delineamento inteiramente casualizado (DIC), com 40 genótipos (tratamentos) e 21 nozes (repetições). A emergência das plântulas (%) foi monitorada semanalmente a partir da primeira semana após a semeadura, até a estabilização do número de indivíduos emergidos. O índice de velocidade de emergência (IVE) foi calculado conforme a fórmula proposta por Maguire (1962). Adicionalmente,

aos 16 meses após a semeadura (janeiro – verão), foram mensuradas a altura das plantas (cm) e o diâmetro do caule (mm), período correspondente à fase ideal para enxertia das mudas em viveiros comerciais.

2.4 Análise dos dados

Os dados de altura e diâmetro do colo das plântulas foram submetidos à análise de variância (ANOVA), seguida pelo teste de comparação de médias de Scott-Knott a 5% de probabilidade, usando o pacote *ExpDes.pt* (Ferreira et al., 2013). Para a visualização dos agrupamentos, foi empregado o pacote *factoextra* (Kassambara & Mundt, 2020), por meio da função *fviz_dend()*, a qual gerou um dendrograma em formato filogenético tipo árvore, com diferenciação de grupos por cores. A determinação do número ideal de grupos foi realizada com o apoio combinado dos pacotes *factoextra* e *NbClust* (Charrad et al., 2014). A análise de agrupamentos foi conduzida utilizando diferentes medidas de distâncias euclidianas, *maximum, manhattan*, *canberra* e *Minkowski*, associadas aos métodos hierárquicos de ligação: *Ward, Ward2, single, complete, average, mcquitty* e *centroid*. A validação dos agrupamentos formados foi realizada por meio do coeficiente de correlação cofenética, que avalia a fidelidade do dendrograma em relação à matriz original de distâncias (Sokal & Rohlf, 1962). Todas as análises estatísticas foram realizadas no software R (R Core Team, 2024), e as representações gráficas foram geradas com o pacote *ggplot2* (Wickham, 2016).

3. Resultados

3.1 Características morfológicas: forma e variabilidade dos frutos

A análise biométrica das nozes revelou diferenças expressivas nos formatos e tamanhos entre os genótipos avaliados. A razão entre comprimento e diâmetro (Figura 1) permitiu distinguir genótipos com nozes mais arredondadas, como os genótipos 1, 5, 15, 20, 25, 36, 67 e 83, cujas medianas de comprimento são inferiores a 1,5 vez o diâmetro. Em contraste, os genótipos 63 e 79 apresentaram frutos mais alongados, com razões superiores a 2,5. A dispersão dos dados evidenciou variações intra-genotípicas no formato dos frutos, conforme indicado pela amplitude interquartílica e pelos desvios padrão. Destaca-se o genótipo 56, que apresentou elevada variabilidade, sugerindo uma maior heterogeneidade na morfologia das nozes dentro desse grupo.

3.2 Peso e composição dos frutos

O peso total das nozes e a proporção entre amêndoa e casca apresentaram ampla variação entre os genótipos analisados (Figura 2). A análise revelou uma distribuição heterogênea com diferenças expressivas tanto na massa total das nozes quanto na contribuição relativa da amêndoa e da casca para o peso final. O genótipo 49 se destacou por apresentar os frutos mais pesados, com peso médio de 12,8g, sendo necessárias aproximadamente 78 unidades para compor 1kg. Em contraste, o genótipo 67 exibiu os frutos de menor massa, com média de 1,7g, o que implica a necessidade de cerca de 588 unidades para atingir 1kg. A relação entre a massa da amêndoa e da casca variou substancialmente entre os genótipos, evidenciando distintas estratégias de alocação de biomassa dentro das nozes.

3.3 Espessura e dureza da casca

A espessura e a dureza da casca também apresentaram variações entre os genótipos avaliados (Figura 3). De modo geral, observou-se uma tendência em que cascas mais espessas apresentaram maior dureza, enquanto cascas mais finas tendem a ser menos resistentes. No entanto, foram identificadas algumas exceções: o genótipo 27, por exemplo, possui casca relativamente fina, mas com alta dureza. Já o genótipo 62 apresentou a maior espessura de casca entre os genótipos analisados, embora sua dureza tenha sido classificada como intermediária.

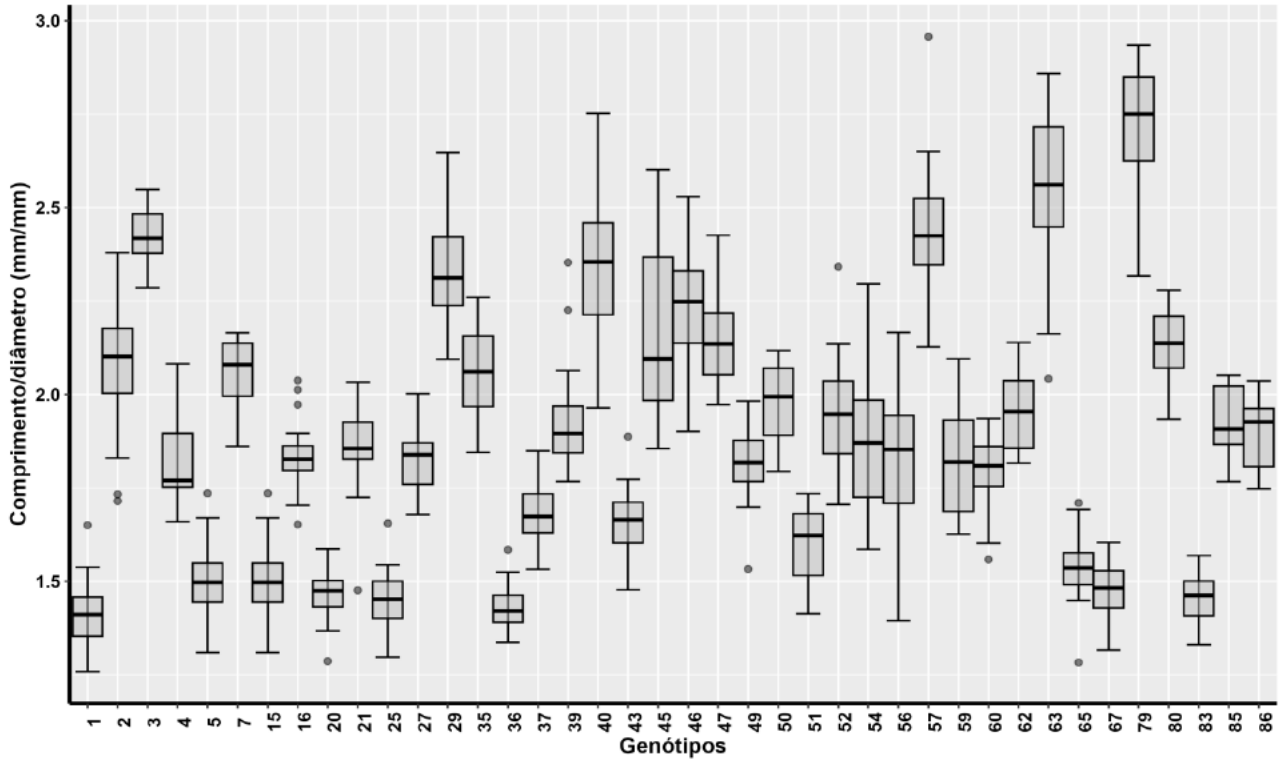


Figura 1. Variação na relação entre comprimento e diâmetro de nozes em 40 genótipos de noz-pecã avaliados no Rio Grande do Sul. Cada caixa representa a dispersão dos valores dentro de cada genótipo: a linha central indica a mediana; as extremidades da caixa, o primeiro e o terceiro quartis; os *whiskers*, o intervalo interquartílico expandido; e os pontos fora desse intervalo representam *outliers*.

Fonte. Adaptado de Poletto et al. (2020).

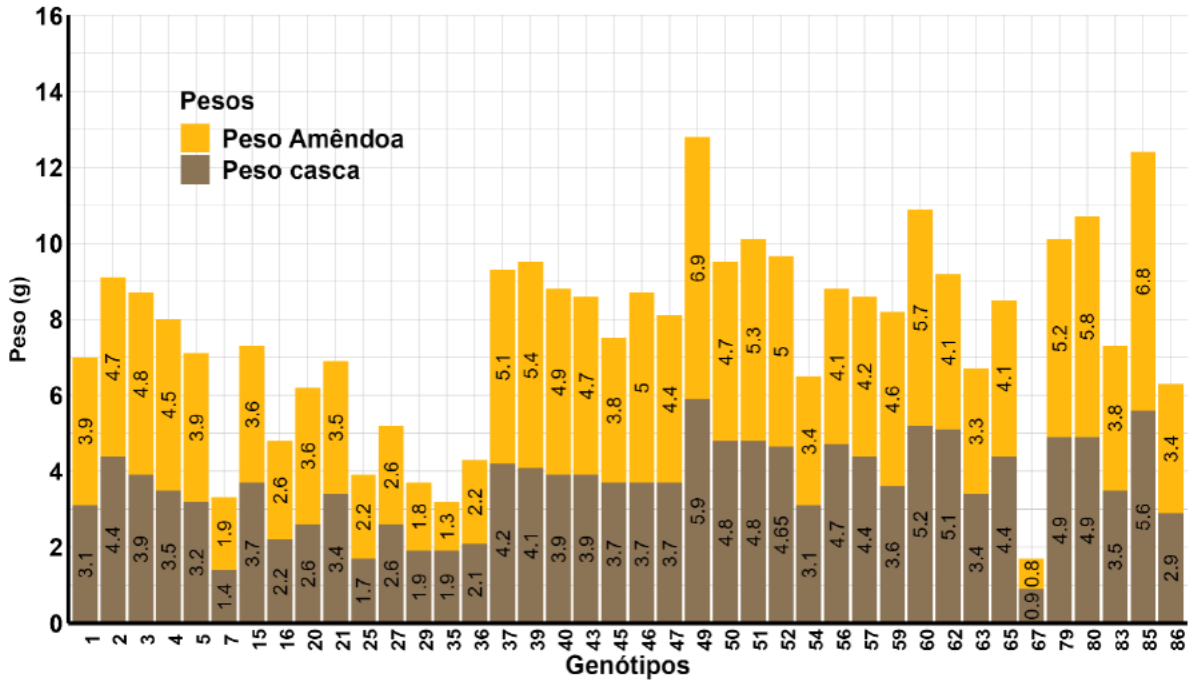


Figura 2. Peso médio das nozes e proporção relativa entre amêndoa e casca em diferentes genótipos de nogueira-pecã. Peso médio total dos frutos (g) e proporção relativa entre amêndoa (em amarelo) e casca (em marrom). Os valores numéricos indicam a média do peso de cada componente.

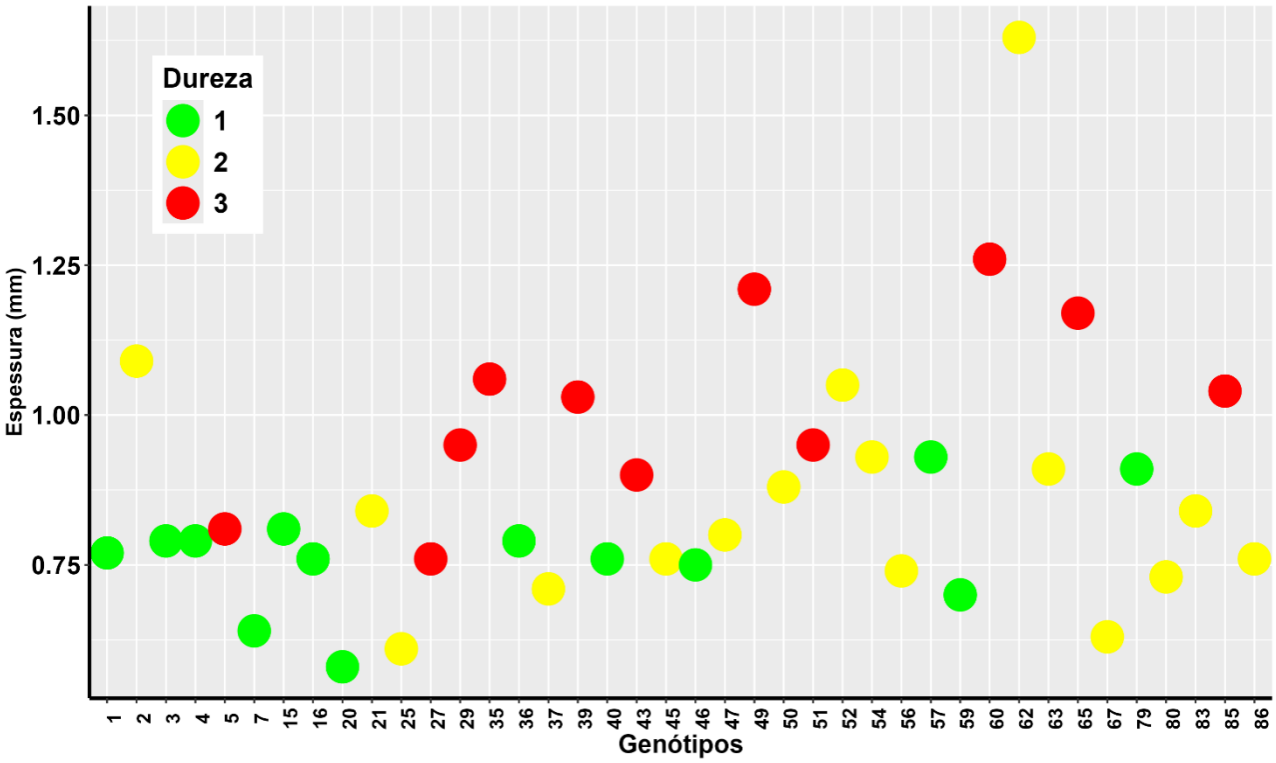


Figura 3. Valores médios de espessura e dureza da casca em diferentes genótipos de nogueira-pecã. Espessura da casca (mm) e classificação de dureza (cores) para cada genótipo de nogueira-pecã. A dureza foi categorizada em três níveis: baixa (verde), intermediária (amarelo) e alta (vermelho).

3.4 Emergência das plântulas: porcentagem e velocidade

Após a semeadura, a emergência das plântulas iniciou na primeira semana, com incremento gradual até a décima semana. Observou-se uma heterogeneidade pronunciada no IVE entre os genótipos, com alguns apresentando valores superiores a 5, indicando uma emergência mais rápida após a estratificação (Figura 4). Outros genótipos registraram valores de IVE abaixo de 2 (genótipos 46, 49, 80 e 85), com emergência distribuída ao longo de todo o período avaliado. A porcentagem de emergência (PE) também variou consideravelmente entre os genótipos. Sete genótipos apresentaram PE inferior a 50%, enquanto a maioria exibiu valores intermediários, entre 50% e 80%. Apenas sete genótipos atingiram valores superiores a 80% (Figura 4).

3.5 Crescimento inicial: altura e diâmetro do colo

Após a detecção de diferenças significativas entre os genótipos por meio da ANOVA, o teste Scott-Knott agrupou as médias em três grupos distintos com base no diâmetro do colo (Tabela 1). Os genótipos 51, 47, 21 e 15 apresentaram os maiores valores médios, com diâmetros superiores a 1,5cm. Em contrapartida, dez genótipos apresentaram diâmetros inferiores a 1,0cm, compondo o grupo com menor desenvolvimento para essa variável.

Para a variável altura, o teste de Scott-Knott também separou os genótipos em três grupos distintos. Os genótipos 51, 47, 25 e 15 apresentaram as maiores alturas, todas com médias acima de 80cm. Por outro lado, no grupo com os menores valores médios de altura, 11 genótipos registraram crescimento inferior a 50cm. Embora os agrupamentos formados para altura e diâmetro do colo não tenham sido totalmente coincidentes, observou-se uma tendência de proximidade entre os grupos formados, indicando possível correlação entre o crescimento em altura e o vigor basal das mudas.

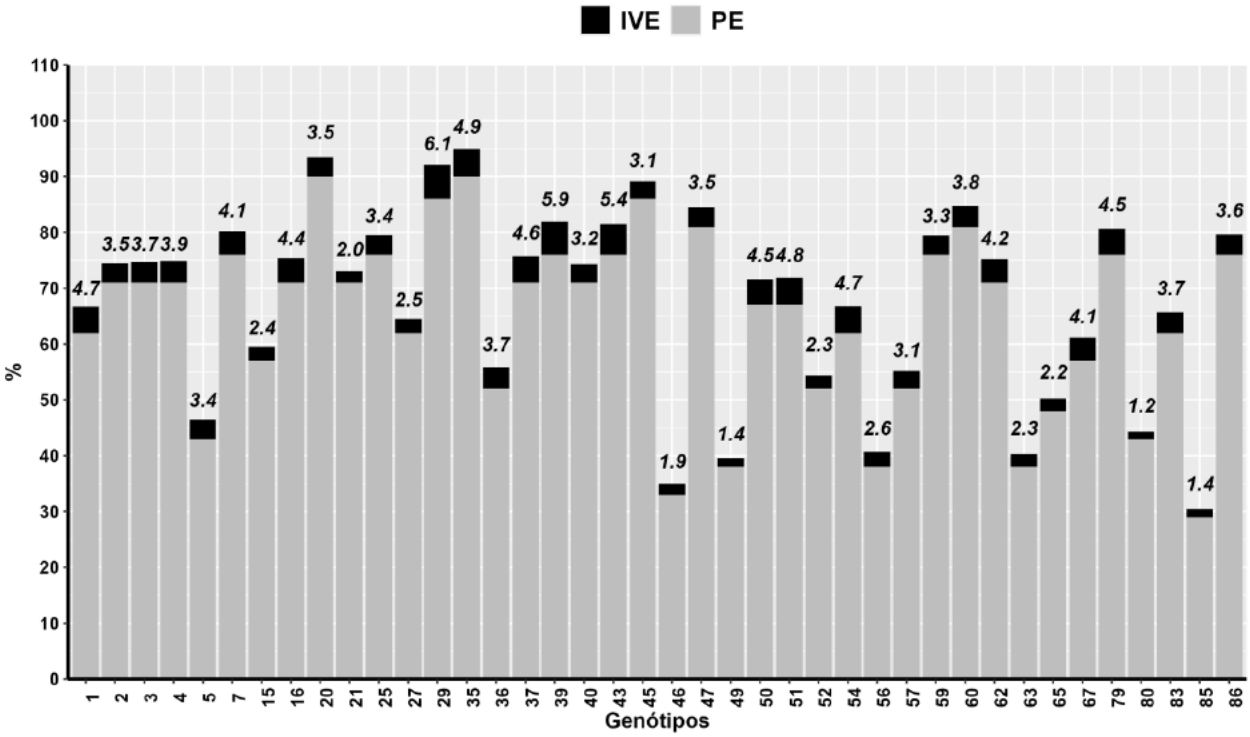


Figura 4. Valores de Porcentagem de Emergência (PE, em cinza) e Índice de Velocidade de Emergência (IVE, em preto) para os diferentes genótipos de nogueira-pecã.

Tabela 1. Valores médios de altura e diâmetro do colo em diferentes genótipos de nogueira-pecã aos 16 meses após a semeadura.

Material genético	Altura (cm)	Scott-Knott	Material genético	Altura (cm)	Scott-Knott	Material genético	Diâmetro (cm)	Scott-Knott	Material genético	Diâmetro (cm)	Scott-Knott
51	111,2	a	59	62,1	b	51	1,8	a	67	1,18	b
47	99,0	a	67	61,4	b	47	1,7	a	65	1,17	b
25	87,3	a	29	61,2	b	21	1,6	a	59	1,13	c
15	83,7	a	43	61,1	b	15	1,5	a	46	1,12	c
21	78,9	b	65	59,8	b	2	1,4	b	85	1,08	c
2	78,6	b	1	54,8	c	7	1,4	b	60	1,07	c
27	75,7	b	60	51,6	c	57	1,3	b	16	1,07	c
57	75,1	b	50	51,0	c	25	1,3	b	50	1,05	c
54	72,8	b	52	50,9	c	80	1,3	b	45	1,02	c
79	72,5	b	3	49,7	c	79	1,3	b	1	1,01	c
20	72,2	b	16	48,3	c	20	1,3	b	52	1,00	c
56	70,5	b	45	48,0	c	37	1,3	b	49	0,98	c
85	70,4	b	35	44,9	c	54	1,3	b	3	0,98	c
80	68,8	b	83	44,7	c	29	1,3	b	83	0,96	c
5	68,1	b	36	44,0	c	39	1,3	b	63	0,93	c
37	67,7	b	49	43,3	c	56	1,2	b	4	0,89	c
86	67,5	b	62	42,6	c	86	1,2	b	62	0,86	c
7	67,4	b	4	39,6	c	43	1,2	b	36	0,79	c
39	67,0	b	63	37,5	c	5	1,2	b	35	0,78	c
46	62,3	b	40	33,3	c	27	1,2	b	40	0,77	c
CV% 42,86						CV% 31,92					

As médias de altura (cm) e diâmetro do colo (cm) de diferentes genótipos de nogueira-pecã, foram avaliadas aos 16 meses após a semeadura. Após a detecção de diferenças significativas por meio da análise de variância (ANOVA), aplicou-se o teste de Scott-Knott ao nível de 5% de probabilidade, que agrupou os genótipos em três grupos distintos para ambas as variáveis. As médias seguidas por letras diferentes indicam diferenças estatisticamente significativas. CV = coeficiente de variação.

A análise de agrupamento hierárquico classificou os genótipos em três grupos principais, representados em um dendrograma no formato de árvore filogenética (Figura 5). A seleção do conjunto de variáveis foi baseada na obtenção da maior correlação cofenética (0,71) e no menor número de agrupamentos (Rohlf, 1970). O grupo superior, representado na cor verde, é composto por 16 genótipos que se destacaram positivamente nas variáveis IVE, altura e diâmetro do colo das mudas. Essa combinação de atributos indica alto potencial agronômico e favorece sua seleção em programas de melhoramento. O grupo intermediário representado na cor amarela reúne genótipos com desempenho moderado nessas variáveis, enquanto o grupo de cor vermelha concentra materiais com características menos desejáveis, como baixo IVE ou crescimento reduzido.

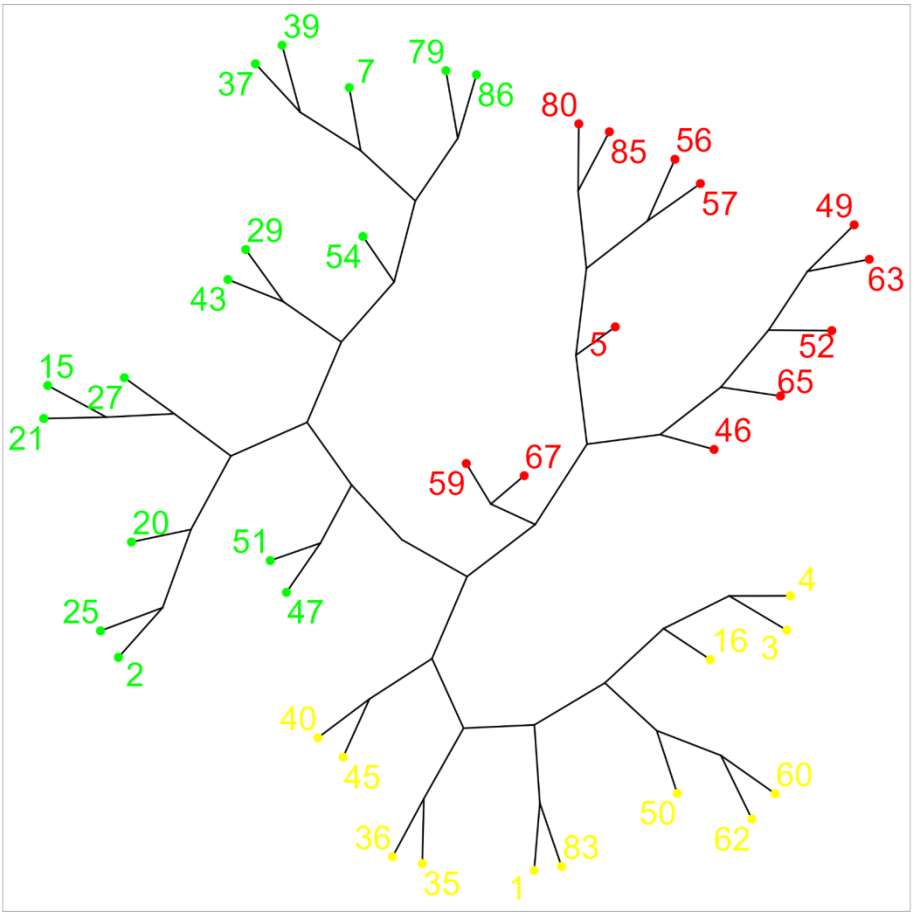


Figura 5. Dendrograma dos genótipos de nogueira-pecã construído com o algoritmo *Average,* baseado na distância *canberra* para a porcentagem de emergência, Índice de Velocidade de Emergência, altura e diâmetro do colo. Os grupos foram classificados em três categorias: superior (verde), intermediário (amarelo) e inferior (vermelho).

4. Discussão

A heterogeneidade nos valores biométricos das nozes entre genótipos de nogueira-pecã cultivados no Rio Grande do Sul já foi documentada, assim como suas características genéticas (De Oliveira et al., 2023; Poletto et al., 2020, 2022). No entanto, ainda não havia sido investigada a relação entre essa diversidade, incluindo diâmetro, comprimento, peso, porcentagem de amêndoa e de casca, espessura e dureza da casca – e o desenvolvimento inicial de mudas.

Além da variação na biometria das nozes, as variáveis PE, IVE, altura e diâmetro do colo também apresentaram ampla variabilidade entre os genótipos, evidenciando a importância da escolha criteriosa do material genético para a produção de porta-enxertos (Poletto, Muniz, Poletto, Stefenon, et al., 2015).

A diversidade biométrica de sementes entre genótipos tem sido amplamente estudada em outras espécies. Diferenças significativas nas características das sementes e no crescimento inicial das plântulas foram observadas, por exemplo, em ipê (*Tabebuia chrysotricha*) (Dos Santos et al., 2009). Em mangaba (*Hancornia speciosa*), sementes menores apresentaram maior porcentagem de emergência, contrariando a expectativa de que o tamanho da semente esteja diretamente relacionado ao desempenho inicial da plântula (Soares et al., 2019).

Os resultados do presente estudo também indicam que o tamanho da noz não influencia diretamente o crescimento inicial das mudas de nogueira-pecã. Genótipos pertencentes ao grupo superior na análise de componentes principais apresentaram características biométricas distintas, como os genótipos 2 e 7, cujos pesos médios das nozes foram 9,1g e 3,3g, respectivamente. O genótipo 40, embora tenha apresentado nozes grandes (5,0cm de comprimento e 8,8g) e casca macia (dureza nota 1), obteve os menores valores de altura e diâmetro de colo. Esses achados contrastam com a literatura, que sugere uma relação positiva entre o tamanho da semente e o vigor inicial das plântulas (Barroso et al., 2018).

Estudos em diferentes espécies indicam que sementes maiores tendem a originar plântulas mais vigorosas. Em caqui-do-cerrado (*Diospyros lasiocalyx*), por exemplo, plântulas oriundas de sementes médias e grandes apresentaram maior crescimento da parte aérea em comparação às oriundas de sementes pequenas (Ramalho et al., 2024). O mesmo padrão foi relatado para pau-ferro (*Caesalpinia ferrea*) (Albuquerque et al., 2019), camu-camu (*Myrciaria dubia*) (Souza et al., 2017), guapuruvu (*Schizolobium parahyba*) (Dranski et al., 2019), mama-cadela (*Brosimum gaudichaudii*) (Queiroz & Dias, 2021), catingueira (*Cenostigma pyramidale*) e angico-branco (*Anadenanthera colubrina*) (Barroso et al., 2018), em que sementes de maior massa resultaram em maior PE e IVE, além de maior crescimento inicial de plântulas. No entanto, para a nogueira-pecã, essa relação não foi confirmada, reforçando a necessidade de avaliar cada espécie de forma individualizada. A análise de componentes principais demonstrou ser uma ferramenta útil para a identificação de genótipos com maior potencial agronômico, ao permitir a avaliação conjunta de múltiplas variáveis. No entanto, para aplicações práticas, como a seleção de materiais para viveiros, recomenda-se a análise individual de cada variável, uma vez que podem ocorrer características conflitantes. O genótipo 15, por exemplo, destacou-se em altura e diâmetro do colo, mas apresentou valores reduzidos de porcentagem de emergência (57%) e IVE (2,47), o que pode comprometer sua viabilidade em determinados contextos.

Outro fator relevante na escolha de porta-enxertos é a sua capacidade de fornecer suporte adequado à cultivar enxertada. Diferenças no desempenho produtivo e na qualidade dos frutos em função do porta-enxerto já foram observadas em culturas como a laranja “valência” (Junior et al., 2013) e na goiaba-serrana (*Acca sellowiana*) (Dos Santos et al., 2013). No caso do pessegueiro, porta-enxertos resistentes a doenças radiculares e com boa capacidade de suporte são fundamentais para garantir a longevidade e produtividade da cultura (Mayer & Ueno, 2021).

5. Conclusões

Com base nos resultados obtidos, conclui-se que, entre os genótipos avaliados, as características biométricas das nozes não apresentaram associação significativa com as variáveis de crescimento e desenvolvimento inicial das plântulas em viveiro. Dessa forma, o tamanho e o peso das nozes não devem ser utilizados isoladamente como critérios de seleção para genótipos destinados à produção de porta-enxertos de nogueira-pecã.

A seleção de genótipos superiores para produção de mudas deve ser conduzida individualmente considerando as características desejáveis do ponto de vista do viveirista e os objetivos da produção. O desempenho superior em termos de crescimento e desenvolvimento das plântulas parece estar mais relacionado às características genéticas intrínsecas de cada genótipo e à sua adaptação ao ambiente, do que às propriedades morfológicas do fruto.

Transparência de dados

Dados disponíveis: o conjunto de dados que suporta os resultados deste estudo está disponível com os autores.

Declaração de contribuição dos autores

	I Poletto	T Poletto	C Bugs	D Ceconi	D da Silva	A Klotz	V Stefenon
Conceptualization	■	■					
Data curation	■						
Formal analysis	■		■				■
Investigation				■	■	■	
Methodology	■	■	■	■		■	■
Project administration	■						
Visualization		■					
Writing – original draft	■				■	■	
Writing – review and editing	■					■	■

Referências

Ajam Gard, F. (2022). Selection of pecan cultivars aiming to release vigorous and heat stress-tolerant rootstocks. *Journal of Nuts, 13*(1), 57-70. https://doi.org/10.22034/jon.2022.1942678.1139

Albuquerque, K. A. D., Santos, G. J. da S., & Machado, M. A. B. L. (2019). Influência do tamanho das sementes na germinação de *Caesalpinia ferrea* Mart. ex Tul. var. *leiostachya* Benth. *Revista Ouricuri*, *8*(2), 49-57. https://doi.org/10.59360/ouricuri.vol8.i2.a3868

Barroso, J., Lima, A., Lima, A., & Rodal, M. (2018). Efeito da massa das sementes no vigor de plântulas de duas espécies lenhosas da caatinga. *Revista Nordestina de Ciências Biológicas, 1*(1), 1-8.

Cao, F., Wei, Y., Wang, X., Li, Y., & Peng, F. (2019). A Study of the evaluation of the pecan drought resistance of grafted 'Pawnee' trees from different seedling rootstocks. *HortScience*, *54*(12), 2139-2145. https://doi.org/10.21273/HORTSCI14341-19

Charrad, M., Ghazzali, N., Boiteau, V., & Niknafs, A. (2014). NbClust: An R Package for determining the relevant number of clusters in a data set. *Journal of Statistical Software*, *61*(6). https://doi.org/10.18637/jss.v061.i06

de Oliveira, L. O., Beise, D. C., Dos Santos, D. D., Nagel, J. C., Poletto, T., Poletto, I., & Stefenon, V. M. (2021). Molecular markers in *Carya illinoinensis* (*Juglandaceae*): from genetic characterization to molecular breeding. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, *96*(5), 560-569. https://doi.org/10.1080/14620316.2021.1892534

de Oliveira, L. O., Dos Santos, D. D., Beise, D. C., Poletto, T., Poletto, I., Muniz, M. F. B., Zeist, J. N. O., & Stefenon, V. M. (2023). Old but still good: genetic diversity of ancient pecan genotypes from southern Brazil. *Anais da Academia Brasileira de Ciencias*, *95*(suppl 1), Article e20220885. https://doi.org/10.1590/0001-3765202320220885

Dos Santos, F. S., De Paula, R. C., Sabonaro, D. Z., & Valadares, J. (2009). Biometria e qualidade fisiológica de sementes de diferentes matrizes de *Tabebuia chrysotricha* (Mart. Ex A. DC.) Stand l. *Scientia Forestalis*, *37*(82), 163-173.

Dos Santos, K. L., Katsurayama, A. Y., & Ducroquet, J. P. H. J. (2013). Avaliação de genótipos de goiabeira-serrana para utilização como porta-enxertos de cultivares comerciais. *Agropecuária Catarinense*, *26*(1), 52-55. https://doi.org/10.52945/rac.v26i1.598

Dranski, J., Sonda, E., & Junior, J. (2019). Tamanho de sementes e fertilizante de liberação controlada na produção de mudas de *Schizolobium parahyba* [(Vell.) SF Blake)]. *Biotemas, 32*(2), 23-31. http://dx.doi.org/10.5007/2175-7925.2019v32n2p23

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. (2018). Argissolos. In J. Matos (Ed.), *Sistema Brasileiro de Classificação de Solos* (pp. 115-138).

Ferreira, E., Cavalcanti, P., & Nogueira, D. (2013). *ExpDes.pt: Experimental designs package (Portuguese)* (R package version 1.1.2) [Software]. https://cran.r-project.org/web/packages/ExpDes.pt/index.html

Fronza, D., Hamann, J. J., Both, V., Anese, R. de O., & Meyer, E. A. (2018). Pecan cultivation: General aspects. *Ciência Rural, 48*(2), Article e20170179. https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20170179

Grauke, L., Thompson, T., Wood, B., & Storey, J. (2003). Rootstock influence on tree performance. *Proceedings of the Texas Pecan Growers Association, 70*, 20-24.

Grauke, L., Wood, B. W., & Harris, M. K. (2016). Crop vulnerability: Carya. *HortScience*, *51*(6), 653-663. https://doi.org/10.21273/HORTSCI.51.6.653

International Nut and Dried Fruit Council. (2023). *Nuts & dried fruits: Statistical yearbook 2022/2023*. https://inc.nutfruit.org/wp-content/uploads/2023/05/Statistical-Yearbook-2022-2023.pdf

Junior, J., Blumer, S., & Resende, M. (2013). Avaliação genética de seleções e híbridos de limões cravo, volkameriano e rugoso como porta-enxertos para laranjeiras valência na presença da morte súbita dos citros. *Revista Brasileira de Fruticultura*, *35*(1), 199-209. https://doi.org/10.1590/S0100-29452013000100023

Kassambara, A., & Mundt, F. (2020). *factoextra: Extract and visualize the results of multivariate data analyses* (R package version 1.0.7) [Software]. https://cran.r-project.org/web/packages/factoextra/readme/README.html

Kuinchtner, A., & Buriol, G. A. (2016). Clima do estado do rio grande do sul segundo a classificação climática de köppen e thornthwaite. *Disciplinarum Scientia*, *2*(1), 171-182. https://periodicos.ufn.edu.br/index.php/disciplinarumNT/article/view/1136

Liu, Z., Tan, P., Liang, Y., Shang, Y., Zhu, K., Peng, F., & Li, Y. (2023). Grafting with different rootstocks induced DNA methylation alterations in pecan [*Carya illinoinensis* (Wangenh.) K. Koch]. *Forests*, *14*(1), Article 4. https://doi.org/10.3390/f14010004

Maguire, J. D. (1962). Speed of germination: A lapse in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. *Crop Science, 2*, 176-177. https://doi.org/10.2135/cropsci1962.0011183X000200020033x

Mayer, N. A., & Ueno, B. (2021). A morte precoce do pessegueiro no estado do Rio Grande do Sul, Brasil. *Agrociencia Uruguay*, *25*(NE1), Article e395. https://doi.org/10.31285/AGRO.25.395

Nagel, J., Poletto, T., Muniz, M., Poletto, I., de Oliveira, J., & Stefenon, V. (2023). Species-specific plastid SSR markers reveal evidence of cultivar misassignments in Brazilian pecan [*Carya illinoinensis* (Wangenh.) K. Koch] orchards. *Genetic Resources and Crop Evolution, 70*(3), 971-980. https://doi.org/10.1007/s10722-022-01481-9

Poletto, T., Muniz, M., Poletto, I., & Baggiotto, C. (2015). Methods to overcome dormancy of pecan [*Carya illinoinensis* (Wangenh.) K. Koch] seeds. *Revista Árvore, 39*, 1111-1118. https://doi.org/10.1590/0100-67622015000600014

Poletto, T., Muniz, M., Poletto, I., & Stefenon, V. (2022). Podridão-de-sementes, tombamento e podridão-de-raízes. In *Nogueira Pecã: Identificação e manejo de doenças* (pp. 15-25). Editora UFSM.

Poletto, T., Muniz, M., Poletto, I., Stefenon, V., Maciel, C., & Rabuske, J. (2016). Dormancy overcome and seedling quality of pecan in nursery. *Ciência Rural, 46*(11), 1980-1985. https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20150835

Poletto, I., Muniz, M., Poletto, T., Stefenon, V., Baggiotto, C., & Ceconi, D. (2015). Germination and development of pecan cultivar seedlings by seed stratification. *Pesquisa Agropecuária Brasileira, 50*(12), 1232-1235. https://doi.org/10.1590/S0100-204X2015001200014

Poletto, T., Poletto, I., Marques, C., Silva, A., Kubenka, K., Chatwin, W., Gailing, O., & Stefenon, V. (2024). Certibase: A genetic database for cultivar certification and genetic breeding of pecan in Brazil. *Crop Breeding and Applied Biotechnology, 24*, 1-8. https://doi.org/10.1590/1984-70332024v24n3a35

Poletto, T., Poletto, I., Silva, L., Muniz, M., Reiniger, L., Richards, N., & Stefenon, V. (2020). Morphological, chemical and genetic analysis of southern Brazilian pecan (*Carya illinoinensis*) accessions. *Scientia Horticulturae, 261*, Article 108863. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.108863

Queiroz, T. A. F., & Dias, D. P. (2021). Efeito do tamanho das sementes sobre a emergência e morfofisiologia de mudas de mama cadela. *Nativa*, *9*(3), 260-265. https://doi.org/10.31413/nativa.v9i3.10161

R Core Team. (2024). *R: A language and environment for statistical computing* (version 4.4.2) [Software]. https://www.R-project.org/

Ramalho, A., Sanches, L., & Camili, E. (2024). Avaliação da procedência e biometria de frutos e sementes, tamanho e estádio de maturação na germinação de *Diospyros lasiocalyx* (mart.) B.Walln. *Scientia Forestalis, 52*, Article e4033. https://doi.org/10.18671/scifor.v52.05

Renukdas, N. N., Manoharan, M., & Garner, J. (2010). In vitro propagation of pecan (*Carya illinoinensis* (Wangenh) K. Koch). *Plant Biotechnology*, *27*, 211-215.

Ribeiro, S. R., Klein, B., Ribeiro, Q. M., Dos Santos, I. D., Genro, A. L. G., Ferreira, D. F., Hamann, J. J., Barin, J. S., Cichoski, A. J., Fronza, D., Both, V., & Wagner, R. (2020). Chemical composition and oxidative stability of eleven pecan cultivars produced in southern Brazil. *Food Research International*, *136*, Article 109596. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109596

Rohlf, F. J. (1970). Adaptative hierarquical clustering schemes. *Systematic Biology*, *19*, 58-82. https://doi.org/10.1093/sysbio/19.1.58

Soares, A., Muniz, A., Muniz, E., Melo, M., Santos, O., & Ledo, A. (2019). Biometry, emergence and initial growth of accessions and mangaba progenies. *Journal of Agricultural Science, 11*(4), 436-448. https://doi.org/10.5539/jas.v11n4p436

Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. (2016). *Manual de calagem e adubação para os estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina*. Comissão de Química e Fertilidade do Solo.

Sokal, R. R., & Rohlf, F. J. (1962). The comparison of dendrograms by objective methods. *Taxon*, *11*(2), 33-40. https://doi.org/10.2307/1217208

Souza, O. M., Smiderle, O. J., Souza, A. das G., Chagas, E. A., Chagas, P. C., Bacelar-Lima, C. G., & Morais, B. S. (2017). Influência do tamanho da semente na germinação e vigor de plântulas de populações de Camu-Camu. *Scientia Agropecuaria*, *8*(2), 119-125. https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2017.02.04

Wickham, H. (2016). *ggplot2: Elegant graphics for data analysis* (2nd ed.). Springer.