



AJUSTE DE MODELOS NÃO LINEARES PARA DESCREVER A GERMINAÇÃO DE SEMENTES DE *BRACHIARIA BRIZANTHA* CV. MARANDU

ADJUSTMENT OF NONLINEAR MODELS TO DESCRIBE SEED GERMINATION OF *BRACHIARIA BRIZANTHA* CV. MARANDU

AJUSTE DE MODELOS NO LINEALES PARA DESCRIBIR LA GERMINACIÓN DE SEMILLAS DE *BRACHIARIA BRIZANTHA* CV. MARANDÚ

Luiz Elpidio de Melo Machado¹
Natiele de Almeida Gonzaga²
Edilene Cristina Pedroso Azarias³
Joel Augusto Muniz⁴
Edilson Marcelino Silva⁵

DOI: 10.54751/revistafoco.v16n6-052

Recebido em: 10 de Maio de 2023

Aceito em: 12 de Junho de 2023



RESUMO

A porcentagem acumulada de germinação de sementes de *Brachiaria brizantha* tem um comportamento caracterizado por um modelo sigmoidal, o qual é bem ajustado através de modelos não lineares. Sendo assim, o objetivo deste estudo foi avaliar a qualidade do ajuste dos modelos não lineares Logístico, Gompertz, von Bertalanffy e Brody na descrição de germinação de sementes de *Brachiaria brizantha* utilizando-se os métodos de superação de dormência (H_2SO_4 e KNO_3) e temperatura de 20-35°C. Os dados utilizados foram provenientes de um experimento conduzido no ano de 2008. Com base nos avaliadores de qualidade de ajuste dos modelos, o modelo Gompertz apresentou-se como o melhor para descrever o processo germinativo ao longo do tempo nos dois tratamentos, sendo que a escarificação com H_2SO_4 e a temperatura de 20-35°C resultam na maior germinação em um menor tempo.

Palavras-chave: *Brachiaria brizantha*; germinação; modelagem; Modelo Gompertz; regressão.

¹ Doutorando em Estatística e Experimentação. Universidade Federal de Lavras (UFLA). Trevo Rotatório Professor Edmir Sá Santos Universidade Federal de Lavras - MG, CEP: 37203-202. E-mail: luiz.machado@estudante.ufla.br

² Doutoranda em Estatística e Experimentação. Universidade Federal de Lavras (UFLA). Trevo Rotatório Professor Edmir Sá Santos Universidade Federal de Lavras - MG, CEP: 37203-202. E-mail: natiele.gonzaga1@estudante.ufla.br

³ Doutoranda em Estatística e Experimentação. Universidade Federal de Lavras (UFLA). Trevo Rotatório Professor Edmir Sá Santos Universidade Federal de Lavras - MG, CEP: 37203-202. E-mail: edilene.azarias1@estudante.ufla.br

⁴ Doutor em Estatística e Experimentação Agrônômica. Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" da Universidade de São Paulo (ESALQ - USP). Av. Pádua Dias, 11, Agronomia, Piracicaba - SP, CEP: 13418-900. E-mail: joamuniz@ufla.br

⁵ Doutor em Estatística e Experimentação Agropecuária. Universidade Federal de Lavras (UFLA). Trevo Rotatório Professor Edmir Sá Santos Universidade Federal de Lavras - MG, CEP: 37203-202. E-mail: edilsonest@ufrj.br

ABSTRACT

The cumulative percentage of germination of *Brachiaria brizantha* seeds has a behavior characterized by a sigmoidal model, which is well adjusted through non-linear models. Thus, the objective of this study was to evaluate the goodness of fit of the nonlinear models Logistic, Gompertz, von Bertalanffy and Brody in the description of germination of *Brachiaria brizantha* seeds using the methods of breaking dormancy (H_2SO_4 e KNO_3) and temperature from 20-35°C. The data used came from an experiment conducted in 2008. Based on the fit quality evaluators of the models, the Gompertz model proved to be the best to describe the germination process over time in both treatments, with the scarification with H_2SO_4 and a temperature of 20-35°C result in greater germination in a shorter time.

Keywords: *Brachiaria brizantha*; germination; modeling; Gompertz Model; regression.

RESUMEN

El porcentaje acumulado de germinación de semillas de *Brachiaria brizantha* tiene un comportamiento caracterizado por un modelo sigmoïdal, el cual tiene un buen ajuste mediante modelos no lineales. Así, el objetivo de este estudio fue evaluar la bondad de ajuste de los modelos no lineales Logistic, Gompertz, von Bertalanffy y Brody en la descripción de la germinación de semillas de *Brachiaria brizantha* utilizando los métodos de ruptura de latencia (H_2SO_4 e KNO_3) a temperaturas de 20-35°C. Los datos utilizados provienen de un experimento realizado en el año 2008. Con base en los evaluadores de calidad de ajuste de los modelos, el modelo de Gompertz demostró ser el mejor para describir el proceso de germinación en el tiempo en ambos tratamientos, con la escarificación de H_2SO_4 y una temperatura de 20-35°C dan como resultado una mayor germinación en menor tiempo.

Palabras clave: *Brachiaria brizantha*; germinación; modelado; Modelo Gompertz; regresión.

1. Introdução

A *Brachiaria brizantha* cv. Marandu destaca-se como a espécie forrageira mais plantada no Brasil, sendo muito utilizada pelos pesquisadores da área de tecnologia e produção de sementes, com cerca de 30 anos de pesquisa e produção, a cultivar é evidenciada devido a sua alta resistência à cigarrinha das pastagens, elevada produção, sendo muito utilizada na pecuária de corte e de leite, por apresentar boa cobertura de solo. No sistema de plantio direto, trata-se da forrageira mais utilizada no país. Desta forma, é importante que as sementes utilizadas proporcionem boa qualidade, com alta germinação e vigor (Castro et al., 1994; Bezerra et al., 2020).

O Brasil é o maior produtor, consumidor e exportador de sementes forrageiras em nível mundial (PEREIRA, 2018). Neste cenário, o aumento do setor forrageiro contribui para um importante segmento no setor econômico e

social no agronegócio brasileiro. No entanto, depois do período de armazenagem, a qualidade final de sementes forrageiras não é sempre satisfatória (PEREIRA et al., 2011).

Segundo Lopes et al. (2009), um dos fatores de grande importância para a expansão do setor de sementes diz respeito à qualidade da semente, que resulta no somatório dos atributos genéticos, físicos, fisiológicos e sanitários que afetam a capacidade de originar plantas de alta produtividade, vinculando-se diretamente na cultura, em termos de ausência de pragas e doenças transmissíveis pela semente e pelo vigor das plantas.

A qualidade das sementes de *B. brizantha* é avaliada geralmente, pelo teste de germinação, e de acordo com as Regras para Análise de Sementes – RAS (Brasil, 2009). A germinação ocorre apenas dentro de determinados limites de temperatura, para isso existem variadas temperaturas na qual o processo ocorre com eficiência máxima, para se obter o máximo de germinação no menor período possível (Carvalho e Nakagawa, 2000).

Assim, a avaliação da qualidade das sementes é essencial, pois permite obter informações referentes ao potencial de desempenho das plântulas em diferentes condições de ambiente, e selecionar lotes destinados à semeadura ou ao armazenamento.

As Regras para Análise de Sementes (RAS) apresentam duas condições de temperaturas consideradas ótimas para a germinação de *B. brizantha*, que são 15- 35°C ou 20-35°C (Brasil, 2009). E para os métodos de superação de dormência, as RAS recomendam para *B. brizantha*, a imersão das sementes em ácido sulfúrico (H₂SO₄) concentrado (98% 36N) por 15 minutos seguida de lavagem em água, o umedecimento do substrato com solução de nitrato de potássio (KNO₃) a 0,2% (Brasil, 2009).

A germinação de sementes, bem como outros fenômenos biológicos, geralmente tem um comportamento sigmoidal descrito por modelos não lineares, no qual apresenta inicialmente um crescimento lento que vai aumentando nos estágios de desenvolvimento e em seguida ocorre um aumento de intensidade menor, mostrando estabilidade. Estes modelos fornecem estimativas úteis, permitindo interpretação prática dos parâmetros (Souza et al., 2014).

Muitos dos modelos não lineares se enquadram em categorias (Seber e Wild, 1989), como por exemplo, os modelos de crescimento, que são usados para descrever curvas de crescimento, geralmente os mais utilizados são: Logístico, Gompertz, von Bertalanffy, Brody e Richards (Fernandes et al., 2015). Diversos pesquisadores têm usado os modelos não lineares para ajustar curvas de crescimento como (Jane et al., 2019; Pereira et al., 2017; Miranda et al., 2021; Fernandes et al., 2019; Frühauf et al., 2022), verificando um bom ajuste dos modelos.

Os modelos não lineares são adequados para a descrição da germinação de sementes, visto que estimam a porcentagem máxima de germinação, o tempo e a velocidade para atingir o potencial máximo de germinação e ter um bom ajuste (Tomaz et al., 2010). Souza et al. (2014) ajustou os modelos não lineares Logístico e Gompertz na descrição da germinação de sementes de café e Oliveira et al. (2008) ajustou o modelo não linear Gompertz no teste de germinação de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu, ambos os autores obtiveram bons resultados ao analisar os modelos não lineares, o que ressalta a importância desse tipo de modelo para fenômenos biológicos.

O presente trabalho teve como objetivo avaliar o ajuste dos modelos não lineares Logístico, Gompertz, von Bertalanffy e Brody para dados de germinação de sementes de *Brachiaria Brizantha*, usando os métodos de superação de dormência com ácido sulfúrico (H_2SO_4) e nitrato de potássio (KNO_3) em temperatura de 20-35°C, descrevendo a porcentagem de germinação em relação aos dias após a instalação do teste.

2. Material e Métodos

Os dados analisados para ajuste dos modelos foram extraídos de Oliveira et al. (2008). Para realizar o trabalho foi determinado o teor de água das sementes, antes e após o tratamento de escarificação com H_2SO_4 . As sementes foram submetidas ao método para a superação de dormência: imersão das sementes em H_2SO_4 por 15 minutos, seguido de lavagem em água corrente e secagem à sombra e semeadura em substrato umedecido com KNO_3 (0,2%). O teste de germinação foi conduzido sob a condição de temperatura 20-35°C,

realizando-se contagens a cada dois dias do número de plântulas normais, do 1º ao 28º dia após a instalação do teste.

Foi realizado um ajuste não linear com os resultados de porcentagem de germinação, no qual se determinou as estimativas dos parâmetros da função (α , β e κ), sendo ajustada uma curva de crescimento, ou seja, um modelo não linear para a avaliação do percentual de germinação a cada dois dias, os modelos de regressão não linear utilizados foram: Logístico (1), Gompertz (2), von Bertalanffy (3) e Brody (4).

$$Y_i = \frac{\alpha}{1 + e^{\kappa(\beta - x_i)}} + \varepsilon_i \quad (1)$$

$$Y_i = \alpha e^{-e^{\kappa(\beta - x_i)}} + \varepsilon_i \quad (2)$$

$$Y_i = \alpha \left(1 - \frac{e^{\kappa(\beta - x_i)}}{3} \right)^3 + \varepsilon_i \quad (3)$$

$$Y_i = \alpha [1 - \beta e^{(-\kappa x_i)}] + \varepsilon_i \quad (4)$$

Em que:

$i = 1, 2, \dots, n$; Y_i representa a porcentagem de germinação; x_i é o tempo necessário para germinação de sementes de *B. brizantha*; α é o valor assintótico; β a abscissa dos pontos de inflexão das curvas, com exceção do modelo Brody cuja forma da curva não apresenta ponto de inflexão; κ um índice associado ao crescimento, que representa a velocidade de germinação; ε_i os erros aleatórios atribuídos ao modelo, pressupondo-se que seja independente e identicamente distribuído seguindo uma distribuição normal de média zero e variância homogênea, ou seja, $\varepsilon_i \sim N(0; \sigma^2)$.

Os parâmetros dos modelos foram estimados com o método dos mínimos quadrados, utilizando o algoritmo de convergência de Gauss-Newton e os valores iniciais para os parâmetros foram obtidos por meio da análise gráfica do comportamento da função.

Para analisar os resíduos, ou seja, para verificar ao nível de 5% de significância se foram atendidos os pressupostos de normalidade, homogeneidade e independência do modelo, os testes usados foram de Shapiro-

Wilk, Breuch-Pagan e Durbin-Watson, respectivamente.

Na violação do pressuposto de homocedasticidade, o fator de ponderação foi estimado por meio do argumento “weights” da função “gnls” do software R (R Core Team, 2023), as classes testadas foram "VarExp()", "VarIdent()", "VarPower()" e selecionou-se a classe que apresentou o menor valor de AIC.

Utilizou-se o teste t de Student, com $\nu = n - p$ graus de liberdade, para significância dos parâmetros α , β e κ , em que a hipótese nula (H_0) refere-se ao parâmetro ser igual a zero, e a hipótese alternativa (H_a) refere-se ao parâmetro ser diferente de zero. Foram obtidos também os intervalos de confiança de 95% de probabilidade no modelo que melhor se ajustou aos dados.

Para avaliar e comparar a qualidade do ajuste do modelo que melhor descreve os dados, utilizou-se o critério de informação de Akaike (AIC), o coeficiente de determinação (R^2) e desvio padrão residual (DPR) e curvaturas de Bates e Watts. Considerou-se como o melhor modelo aquele que forneceu o maior valor de R^2 e menores valores para o DPR, AIC e curvaturas de Bates e Watts, que medem a não linearidade do modelo, escolhendo como o melhor modelo aquele que apresentou menores valores de não linearidade intrínseca (c^J) e paramétrica (c^0).

Foram calculados os pontos críticos do modelo que selecionou-se como melhor em cada tratamento, sendo: ponto de aceleração máxima (PAM), ponto de inflexão (PI), ponto de desaceleração máxima (PDM) e ponto de desaceleração assintótica (PDA) para os dois tratamentos.

Todas as análises foram realizadas com o software estatístico R de acesso livre (R Core Team, 2023). Utilizando-se os pacotes nlme, car, lntest e qpcR.

3. Resultados e Discussão

3.1 Método de Superação de Dormência com Ácido Sulfúrico (H_2SO_4) na Temperatura 20-35°C

Após o ajuste dos modelos Logístico, Gompertz, von Bertalanffy e Brody aos dados, considerando que as pressuposições sobre o vetor de erros são adotadas, ou seja, que os resíduos são independentes e identicamente distribuídos seguindo uma normal de média zero e variância constante. Foi realizada a análise de resíduos com base nos testes: Shapiro-Wilk, Durbin-Watson e Breusch-Pagan. Na tabela 1 são apresentados os p-valores dos testes. Sendo os mesmos utilizados em trabalhos como o de Fernandes et al. (2014) e Silva et al. (2021a) verificando as pressuposições dos resíduos obtidos a partir de ajustes de modelos não lineares.

Tabela 1. Valor-p dos testes Shapiro-Wilk (SW), Breusch-Pagan (BP) e Durbin-Watson (DW), aplicados aos resíduos dos modelos Logístico, Gompertz, von Bertalanffy e Brody para o método de superação de dormência com ácido sulfúrico (H_2SO_4) e temperatura de 20-35°C.

Modelo	SW	BP	DW
Logístico	0,008*	0,333	0,056
Gompertz	0,113	0,279	0,069
von Bertalanffy	0,011*	0,009*	0,885
Brody	0,003*	0,058	0,510

Considerando um nível de significância de 5%, observa-se que a pressuposição de normalidade dos resíduos foi violada nos modelos Logístico, von Bertalanffy e Brody (p-valor < 0,05), sendo assim esses modelos não são adequados para descrever os dados, o que também foi encontrado no estudo de Souza et al. (2014) que avaliou a germinação acumulada de sementes de café usando os modelos Logístico e Gompertz, encontrando violação na pressuposição de normalidade nos dois modelos, os autores acrescentaram o termo autorregressivo de primeira ordem (AR1) para corrigir essa violação. Com os dados analisados nesse trabalho também foram realizados novos ajustes com AR(1) nos modelos Logístico, von Bertalanffy e Brody, no entanto, o pressuposto de normalidade continuou não atendido, o que levou ao descarte do modelo.

Observa-se pelo teste de Breusch-Pagan que o pressuposto de homogeneidade das variâncias dos resíduos no modelo von Bertalanffy não foi

atendido (p -valor $< 0,05$), mostrando que existe heterogeneidade de variâncias nos resíduos desse modelo. Na tabela 2 apresentam-se os resultados obtidos dos avaliadores de qualidade de ajuste dos modelos não lineares.

Tabela 2. Avaliadores da qualidade de ajuste dos modelos Logístico, Gompertz, von Bertalanffy e Brody para o método de superação de dormência com ácido sulfúrico (H_2SO_4) e temperatura de 20-35°C.

Modelo	R ²	DPR	AIC	c ^J	c ^θ
Logístico	0,994	2,056	64,540	0,141	0,301
Gompertz	0,998	1,271	51,068	0,063	0,133
von Bertalanffy	0,993	2,317	67,889	0,349	0,654
Brody	0,938	7,138	99,385	0,210	0,599

Com base nos resultados dos avaliadores de qualidade de ajuste dos modelos, o modelo Gompertz apresenta melhores valores, ou seja, maior R² e menores valores de DPR e AIC, além disso, apresentou menores valores de não linearidade intrínseca (c^J) e paramétrica (c^θ). Segundo Zeviani (2012) um modelo deve ser selecionado em relação a outro se apresentar os menores valores de não linearidade tanto intrínseca, quanto paramétrica. Portanto, o modelo Gompertz é o mais adequado para descrever os dados de porcentagem de germinação de sementes de *Brachiaria brizantha*, conciliando-se com os resultados apresentados por Oliveira et al. (2008) no estudo da duração do teste de germinação de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu.

Os resultados de germinação foram estimados através do modelo Gompertz, com a utilização dos parâmetros α , β , e κ . Na tabela 3 apresentam-se as estimativas intervalares ao nível de 95% de confiança dos parâmetros dos modelo Gompertz para o método de superação de dormência com ácido sulfúrico (H_2SO_4) e temperatura de 20-35°C.

Tabela 3. Intervalos de 95% de confiança para os parâmetros do modelo Gompertz para o método de superação de dormência com ácido sulfúrico (H_2SO_4) e temperatura de 20-35°C.

Modelo	Parâmetro	Estimativa	LI	LS
Gompertz	α	76,873	75,973	77,777
	β	3,938	3,819	4,059
	κ	0,817	0,730	0,917

Com base nos resultados apresentados na tabela 3, observa-se que todos

os parâmetros foram significativos ao nível de 5% de probabilidade, com intervalo de confiança que não incluíram o zero. Com base nas estimativas dos intervalos de confiança para o modelo Gompertz, tem-se que a porcentagem de germinação máxima para o método de superação de dormência com ácido sulfúrico (H_2SO_4) e temperatura de 20-35°C foi entre 75% à 77%, sendo superiores aos resultados apresentados por Oliveira et al. (2008). Já no estudo de Souza et al. (2014) as estimativas foram ainda maiores, com valores de α superiores a 90% para a germinação acumulada de sementes de café.

Na Tabela 4 encontram-se os pontos críticos das curvas usando os valores dos parâmetros estimados com base no estudo de Silva *et al.* (2021b), sendo: ponto de aceleração máxima (PAM), ponto de inflexão (PI), ponto de desaceleração máxima (PDM) e ponto de desaceleração assintótica (PDA) para o método de superação de dormência ácido sulfúrico (H_2SO_4) e temperatura de 20-35°C. Esses mesmos pontos críticos foram analisados também no crescimento da berinjela (SARI et al., 2018), de alface (CARINI et al., 2020), da pimenta biquinho (DIEL et al., 2020), do fruto do coco (SILVA et al., 2021b).

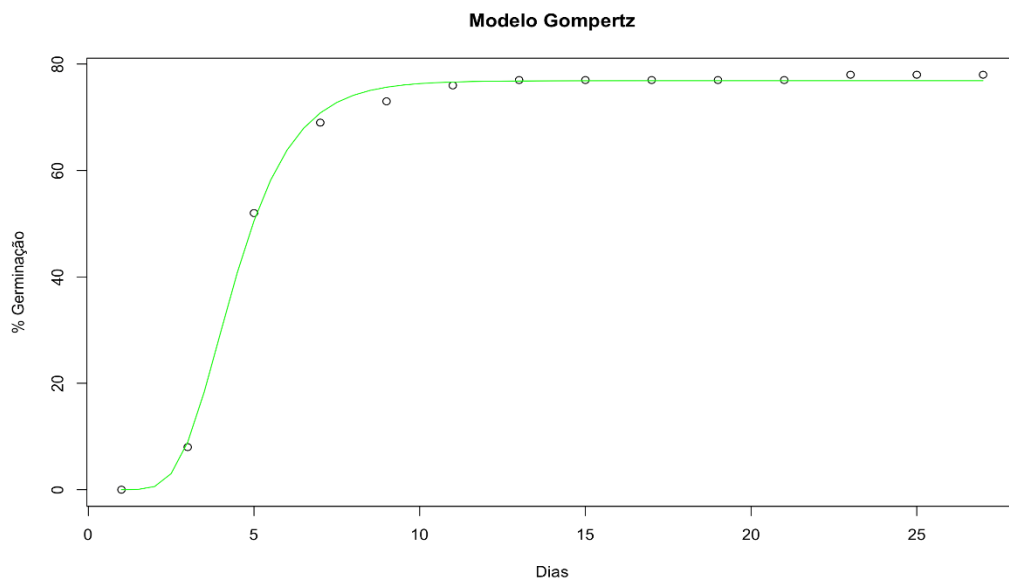
Tabela 4. Pontos críticos: ponto de aceleração máxima (PAM), ponto de inflexão (PI) ponto de desaceleração máxima (PDM) e ponto de desaceleração assintótica (PDA) para o método de superação de dormência com ácido sulfúrico (H_2SO_4) e temperatura de 20-35°C.

Modelo	Ponto	PAM	PI	PDM	PDA
Gompertz	Abscissa	2,760	3,938	5,115	6,138
	Ordenada	9,245	28,280	68,316	65,134

Segundo Sari et al. (2018), as abscissas dos pontos críticos são importantes para determinar o desempenho produtivo. Entre os pontos de PAM e PDM está a fase de crescimento mais acelerado, que ocorre no modelo Gompertz em 60,96% da germinação (MISCHAN; PINHO, 2014). Na tabela 4 observa-se que a abscissa de PAM e PDM foram de aproximadamente 3 e 5 dias, respectivamente, sendo que o ponto de inflexão aconteceu aproximadamente aos 4 dias após a instalação do teste, com porcentagem de germinação aproximada de 28%. Já o PDA ocorreu aproximadamente aos 6 dias após a instalação do teste, com porcentagem de germinação aproximada de 65%.

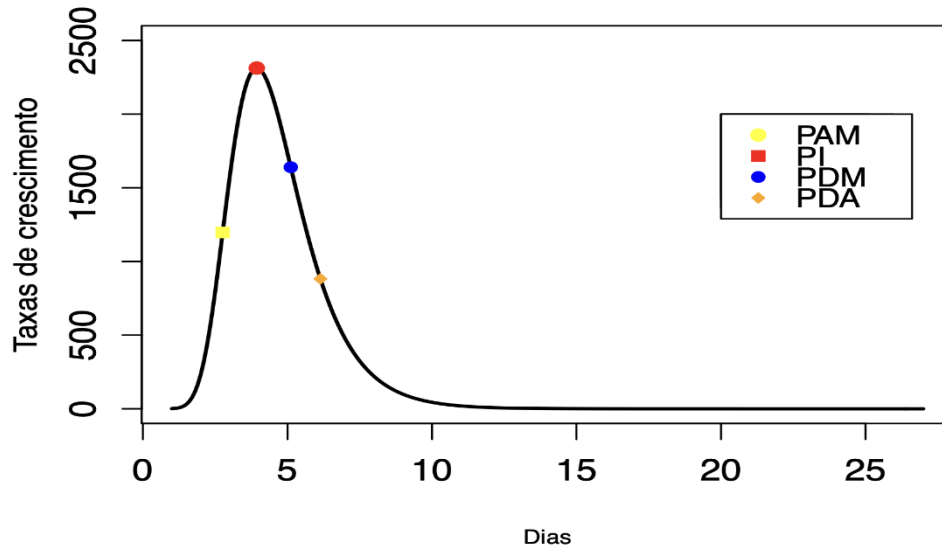
Na figura 1 observa-se o bom ajuste do modelo Gompertz aos dados e na figura 2 estão representados os pontos de PAM, PI, PDM e PDA, onde observa-se a curva da taxa de crescimento, convém salientar que essa taxa é ilustrativa e acompanha somente o eixo x .

Figura 1- Curva do modelo Gompertz aos dados de porcentagem de germinação, de acordo com o tempo (em dias), para o método de superação de dormência com ácido sulfúrico (H_2SO_4) e temperatura de germinação ($20-35^{\circ}C$), para sementes de *B. brizantha*.



Fonte: Dos autores (2023)

Figura 2- Taxa de crescimento com o ponto de inflexão (PI), ponto de aceleração máximo (PAM), ponto de desaceleração máxima (PDM), ponto de desaceleração assintótico (PDA), da curva do modelo Gompertz para o método de superação de dormência com ácido sulfúrico (H_2SO_4) e temperatura de germinação (20-35°C), para sementes de *B. brizantha*.



Fonte: Dos autores (2023)

3.2 Método de Superação de Dormência com Nitrato de Potássio (KNO_3) na Temperatura 20-35°C

Na Tabela 5 apresentam-se os resultados obtidos na aplicação dos testes de Shapiro-Wilk, Durbin-Watson e Breusch-Pagan para os quatro modelos (Logístico, Gompertz, von Bertalanffy e Brody) na descrição da porcentagem de germinação de sementes de *Brachiaria brizantha* utilizando-se o método de superação de dormência com nitrato de potássio (KNO_3) e temperatura de 20-35°C.

Tabela 5. Valor-p dos testes Shapiro-Wilk (SW), Breusch-Pagan (BP) e Durbin-Watson (DW), aplicados aos resíduos dos modelos Logístico, Gompertz, von Bertalanffy e Brody para o método de superação de dormência com nitrato de potássio (KNO_3) e temperatura de 20-35°C.

Modelo	SW	BP	DW
Logístico	0,348	0,017*	0,435
Gompertz	0,451	0,012*	0,556
von Bertalanffy	0,003*	0,047*	0,830
Brody	0,069	0,051	0,220

De acordo com os p-valores do teste de Shapiro-Wilk, o modelo von Bertalanffy apresentou violação na pressuposição de normalidade (p-valor <

0,05). Desse modo, o modelo não é adequado para descrever a porcentagem de germinação de sementes de *Brachiaria brizantha* utilizando-se o método de superação de dormência com nitrato de potássio (KNO_3) e temperatura de 20-35°C.

Pelo teste de Breusch-Pagan, a pressuposição de homocedasticidade foi violada nos modelos Logístico, Gompertz e von Bertalanffy. Com essa violação foram feitos novos ajustes, em que os parâmetros foram estimados pelo método de mínimos quadrados ponderados, desta forma ocorreu uma melhora nos resultados dos avaliadores de qualidade de ajuste, com diminuição nos valores dos critérios AIC e DPR, sendo também apresentado no trabalho de Fernandes *et al.* (2014). Já em relação ao pressuposto de independência residual, em todos os modelos foi atendido. Na tabela 6, destacam-se os valores dos avaliadores de qualidade de ajuste dos modelos analisados.

Tabela 6. Avaliadores da qualidade de ajuste dos modelos Logístico, Gompertz, von Bertalanffy e Brody para o método de superação de dormência com nitrato de potássio (KNO_3) e temperatura de 20-35°C.

Modelo	R ²	DPR	AIC	c ^J	c ^o
Logístico	0,987	2,988	75,007	0,212	0,358
Gompertz	0,997	1,637	58,155	0,115	0,222
von Bertalanffy	0,996	1,765	60,263	0,371	0,549
Brody	0,944	6,779	97,940	0,187	0,715

Observa-se de acordo com os resultados apresentados que o modelo Gompertz novamente se ajusta melhor aos dados com relação ao método de superação de dormência com nitrato de potássio (KNO_3) e temperatura de 20-35°C. Na Tabela 7 apresentam-se as estimativas dos parâmetros do modelo Gompertz, com os intervalos de confiança de 95%.

Tabela 7. Intervalos de confiança de 95% para os parâmetros do modelo Gompertz para o método de superação de dormência com nitrato de potássio (KNO_3) e temperatura de 20-35°C.

Modelo	Parâmetro	Estimativa	LI	LS
Gompertz	α	72,950	71,711	74,190
	β	4,649	4,452	4,847
	κ	0,588	0,504	0,672

De acordo com as estimativas dos intervalos de confiança para o modelo

Gompertz, tem-se que a porcentagem de germinação máxima para o método de superação de dormência (KNO_3) e temperatura de 20-35°C foi entre 71% à 74% e o ponto de inflexão aconteceu aproximadamente aos 5 dias após a instalação do teste. Desta forma, observa-se maiores valores do parâmetro α para o tratamento H_2SO_4 (75% à 77%) que para o KNO_3 , havendo maior eficiência do método H_2SO_4 na promoção da germinação, de forma semelhante ao verificado por Oliveira et al. (2008).

Na Tabela 8 estão os pontos críticos das curvas usando os valores dos parâmetros estimados: ponto de aceleração máxima (PAM), ponto de inflexão (PI), ponto de desaceleração máxima (PDM) e ponto de desaceleração assintótica (PDA) para o método de superação de dormência (KNO_3) e temperatura de 20-35°C.

Tabela 8. Pontos críticos: ponto de aceleração máxima (PAM), ponto de inflexão (PI) ponto de desaceleração máxima (PDM) e ponto de desaceleração assintótica (PDA) para o método de superação de dormência com nitrato de potássio (KNO_3) e temperatura de 20-35°C.

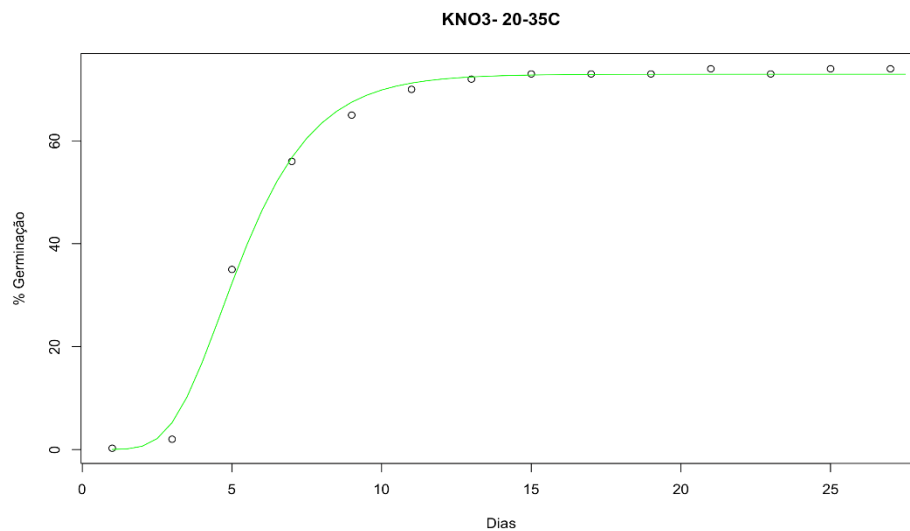
Modelo	Ponto	PAM	PI	PDM	PDA
Gompertz	Abcissa	3,012	4,649	6,285	7,705
	Ordenada	8,773	26,836	64,830	61,810

De acordo com a tabela 8 tem-se que a abcissa de PAM e PDM foram de aproximadamente 3 e 6 dias, respectivamente. O ponto de inflexão aconteceu aproximadamente aos 5 dias após a instalação do teste, com porcentagem de germinação aproximada de 27%. Já o PDA ocorreu aproximadamente aos 8 dias após a instalação do teste, com porcentagem de germinação aproximada de 62%. As abscissas dos pontos críticos no método de superação de dormência com nitrato de potássio (KNO_3) ocorreram mais tardiamente que no método H_2SO_4 , em que os valores da ordenadas foram inferiores aos valores apresentados no método H_2SO_4 , ou seja, com menores porcentagens de germinação. Desta forma, o método H_2SO_4 apresenta maior germinação no menor tempo, o que também é destacado por Oliveira et al. (2008), visto que foi resultante do maior teor de água inicial das sementes tratadas.

Na figura 3 está representado o ajuste do modelo Gompertz aos dados e na figura 4 estão representados os pontos de PAM, PI, PDM e PDA, onde

observa-se a curva da taxa de crescimento, salientando-se que a taxa é ilustrativa e acompanha somente o eixo x .

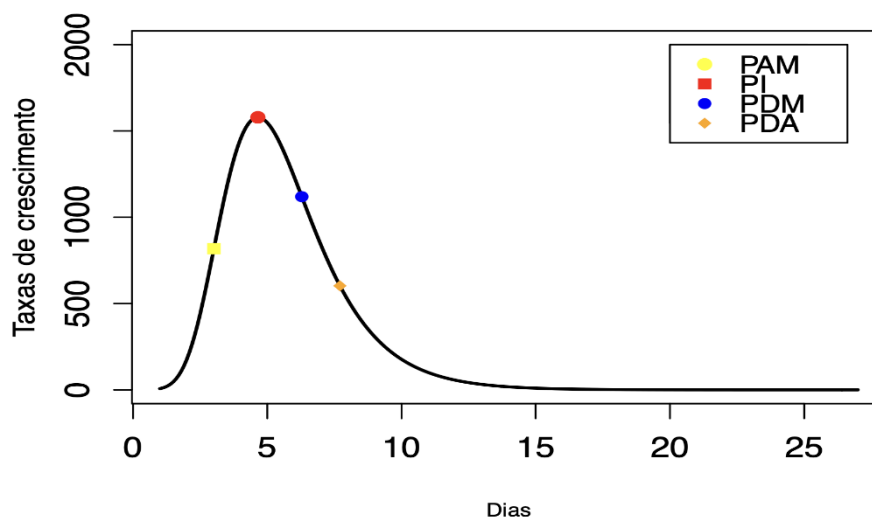
Figura 1- Curva do modelo Gompertz aos dados de porcentagem de germinação, de acordo com o tempo (em dias), para métodos de superação de dormência com nitrato de potássio (KNO₃) e temperatura de germinação com nitrato de potássio (20-35°C), para sementes de *B.*



brizantha.

Fonte: Dos autores (2023)

Figura 2- Taxa de crescimento com o ponto de inflexão (PI), ponto de aceleração máximo (PAM), ponto de desaceleração máxima (PDM), ponto de desaceleração assintótico (PDA), da curva do modelo Gompertz para o método de superação de dormência com nitrato de potássio (KNO₃) e temperatura de germinação com nitrato de potássio (20-35°C), para sementes de *B. Brizantha*.



Fonte: Dos autores (2023)

4. Conclusão

A porcentagem de germinação de sementes de *B.brizantha* descrita pelo

modelo não linear Gompertz, apresenta bom ajuste e interpretação biológica adequada dos parâmetros nos métodos de superação de dormência com ácido sulfúrico (H_2SO_4) e nitrato de potássio (KNO_3) na temperatura de germinação 20-35°C.

O método de superação de dormência por escarificação com ácido sulfúrico (H_2SO_4) e germinação sob temperatura alternada de 20-35°C, resultam em maior germinação no menor tempo.

REFERÊNCIAS

Brasil. (2009). Regras para Análise de Sementes (1st ed.). Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento - MAPA/ACS.

BEZERRA, J. D. V et al. Características produtivas, morfogênicas e estruturais de cultivares de *Brachiaria brizantha* cultivadas em dois tipos de solo. *Research, Society and Development*, v. 9, n. 7, p. e129972947-e129972947, 2020.

CARINI, F. Et al. Nonlinear models for describing lettuce growth in autumn-winter. *Ciência Rural*, v. 50, 2020.

CASTRO, C.R.T. et al. Influência do tratamento com ácido sulfúrico na germinação de *Brachiaria brizantha* Stapf. **Revista Brasileira de Sementes**, vol. 30, nº 3, p.030-038, 2008 Piracicaba, v.41, n.236, p.451-458, 1994

CARVALHO, N.M.; NAKAGAWA, J. **Sementes: ciência, tecnologia e produção**. 4 ed. Jaboticabal: Funep, 2000. 588p.

DIEL, M. I. et al. Production of biquinho pepper in different growing seasons characterized by the logistic model and its critical points. *Ciência Rural*, v. 50, 2020.

FERNANDES, T. J. et al. Parameterization effects in nonlinear models to describe growth curves. *Acta Scientiarum Technology*, Editora da Universidade Estadual de Maringá-EDUEM, v. 37, n. 4, p. 397–402, 2015

FERNANDES, F. A. et al. Growth curves of meat-producing mammals by von Bertalanffy's model. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 54, 2019.

FRÜHAUF, A. C. et al. Descrição do crescimento em altura de clones híbridos de *Eucalyptus* em região semiárida utilizando modelos não lineares. *Brazilian Journal of Biometrics*, v. 40, n. 2, 2022.

JANE, S. A. et al. Comparison of polynomial and nonlinear models of description of pepper growth. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, v. 14, n. 4, e7180, 2019.

LOPES, J. et al. Importância da qualidade da semente para o estabelecimento de pastagens. *PUBVET*, Londrina, v. 3, n. 13, 2009.

MIRANDA, L.F. et al. Modelos não lineares para descrição do crescimento da planta de pinhão manso (*Jatropha curcas* L.). *Revista Ciência Agronômica*, 52, 2021.

MISCHAN, M. M.; PINHO, S. Z. d. Modelos não lineares: funções assintóticas de crescimento. São Paulo: Cultura Acadêmica, 2014. 184 p.

OLIVEIRA, C.M.G et al. duração do teste de germinação de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu (Hochst. ex A. Rich.) Stapf¹. *Revista Brasileira de Sementes*, vol. 30, nº 3, p.030-038, 2008

PEREIRA, C. E. et al. Armazenamento de sementes de braquiária peletizadas e tratadas com fungicida e inseticida. *Ciência Rural*, Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, Brasil, vol. 41, n. 12, p. 2060-2065, dezembro, 2011.

PEREIRA, A. A et al. Modelagem do diâmetro de copa do cafeeiro podado cultivado em diferentes densidades e regimes hídricos. *Coffee Science*, Lavras, v.11, n.4, p.495-501, 2017.

PEREIRA, Francisco Elder Carlos Bezerra. Testes para a avaliação do potencial fisiológico de sementes de *panicum maximum* cvs. Mombaça, massai e tanzânia. 2018.

SARI, B. G. et al. Nonlinear modeling for analyzing data from multiple harvest crops. *Agronomy Journal*, Wiley Online Library, v. 110, n. 6, p. 2331–2342, 2018.

SILVA et al. EUCALYPTUS GRANDIS X EUCALYPTUS UROPHYLLAGROWTH CURVE IN DIFFERENT SITE CLASSIFICATIONS, CONSIDERING RESIDUAL AUTOCORRELATION. *Revista Brasileira de Biometria*, Lavras, v.39, n.1, p.122-138, 2021a.

SILVA, É. M. D. et al. Evaluation of the critical points of the most adequate nonlinear model in adjusting growth data of 'green dwarf' coconut fruits. *Revista Brasileira de Fruticultura*, v. 43, 2021b.

SOUSA, I. F. et al. Fitting nonlinear autoregressive models to describe coffee seed germination. *Ciência Rural*, Santa Maria, v. 44, n. 11, p. 2016-2021, Nov. 2014.

TOMAZ, C.A. et al. Duração do teste de germinação do capim tanzânia. *Revista Brasileira de Sementes*, Londrina, v.32, n.4, p.80-87, 2010.