

## Regressão linear segmentada com platô para determinação da longevidade de sementes de soja

Michellane Silva Santos Lima <sup>1</sup>, Amanda Rithieli Pereira dos Santos<sup>2</sup>, Rute Quelvina de Faria<sup>3</sup>, Maria Márcia Pereira Sartori<sup>4</sup>

### Introdução

A longevidade é a capacidade que a semente tem para estabilizar o sistema biológico por longos períodos de tempo suspendendo a sua atividade metabólica e retardando as reações de deterioração (CHATELAIN et al., 2012). Para prever o tempo de viabilidade das sementes no armazenamento, em diferentes ambientes, foram definidas as equações da viabilidade. Estas equações básicas foram descritas quanto ao trigo e arroz (ROBERTS, 1960, 1961) e sua aplicação foi estendida a um grande número de espécies (ROBERTS, 1973; ELLIS E ROBERTS, 1980). Para serem utilizadas é aplicada a transformação de Probit aos dados, e os parâmetros obtidos pela regressão linear de primeira ordem.

A longevidade de sementes é obtida a partir do parâmetro P50. O P50 ( $k_i/(1/\sigma)$ ) é definido como período em que a viabilidade da semente se reduz pela metade enquanto armazenada. Desta forma torna-se imprescindível o estudo de ajustes lineares ou métodos de regressões que melhor estimem este parâmetro.

O uso do equacionamento em probit tem sido o método mais utilizado na determinação da longevidade de sementes, por ser relativamente simples (TEIXEIRA, 2010). No entanto, diversos pesquisadores relataram problemas no uso deste modelo, devido as suas próprias características de normalidade dos dados pré-requerida, bem como restrições para espécies no qual é inexistente o comportamento cumulativo negativo nas curvas de sobrevivência dos dados. Schneider et al. (2017) estudando a função probit na predição da longevidade de sementes de pau-marfim, observaram que não foi possível prever a longevidade dessa espécie com esta função, por estas não terem apresentado comportamento germinativo cumulativo negativo, sugerindo novos estudos, com a intenção de encontrar um ajuste ideal para determinação da longevidade das procedências estudadas.

Apesar de comprovada o uso da regressão linear, para compreender o comportamento das curvas de viabilidade de sementes de soja, existe a possibilidade de modelos que apresentem um melhor desempenho em termos de interpretações biológicas dos parâmetros.

Entre os diversos modelos de regressão destaca-se o modelo de regressão do tipo segmentado com platô. O modelo platô de resposta é uma técnica de análise estatística que pode descrever níveis ótimos, máximos e mínimos de estudos de crescimento e decrescimento, respectivamente (SCHABENBERGER; PIERCE, 2002). Além disso permite a comparação de combinações alternativas de retas e platôs, e escolhe, como melhor opção de ajuste, a combinação que tenha a menor soma de quadrado dos desvios.

De tal modo, objetivou-se neste trabalho estudar o uso da transformação dos dados utilizando a função de probit com ajuste linear segmentado com platô para estimar o parâmetro P50 na longevidade de sementes de soja.

### Material e Métodos

<sup>1</sup>Departamento de produção e Melhoramento Vegetal FCA/UNESP/Botucatu. email: *michellanesilva12@gmail.com*

<sup>2</sup> Departamento de produção e Melhoramento Vegetal FCA/UNESP/Botucatu. email: *amandarithieli@hotmail.com*

<sup>3</sup> Departamento de produção e Melhoramento Vegetal FCA/UNESP/Botucatu. email: *rute.faria@ifgoiano.edu.br*

<sup>4</sup>Departamento de produção e Melhoramento Vegetal FCA/UNESP/Botucatu. email: *maria.mp.sartori@unesp.br*

Este estudo foi realizado no Laboratório de Análise de Sementes do Departamento de Produção e Melhoramento Vegetal (DPMV), pertencente a UNESP/FCA, Campus de Botucatu-SP. Foram utilizadas sementes de soja das cultivares Brs 284, 71MF00RR e Desafio, colhidas na safra de 2016/2017 advindas da região de Goiás e Paraná, as sementes foram colhidas mecanicamente e beneficiadas.

A amostra de trabalho foi constituída de 300 sementes por ponto avaliado no tempo. Foram realizadas avaliações dos parâmetros fisiológicos de germinação e longevidade, conforme descrito a seguir.

**Teste de germinação:** utilizou-se rolos de papel tipo germitest, umedecidos com água, equivalentes a 2,5 vezes o peso do papel seco, os rolos foram colocados em câmara de germinação com temperatura de 25°C, a avaliou-se ao 8º dia, as sementes com protrusão > 2mm, sendo o resultado expresso em percentual (BRASIL, 2009).

**Longevidade:** foram avaliadas a partir do envelhecimento acelerado das sementes, com solução saturada de NaCl, para a temperatura de 35° C e umidade relativa de 75%. As sementes foram avaliadas em intervalos regulares de tempo (7 dias) enquanto houve viabilidade, através do ensaio de germinação descrito acima. O intervalo esperado foi definido a partir dos dados experimentais, sendo o intervalo de dias em que as sementes apresentaram 50% de protrusão.

Os dados de percentual obtidos na avaliação de longevidade foram submetidos ao teste de normalidade Komogorov-Smirnov sendo transformados pela função de Probit (Equação 1) e ajustados por regressão linear e linear segmentada com platô.

$$F(x) = \Phi^{-1}(x) \quad (1)$$

Em que: F(x) = Função que representa a inversa da função normal.

Para cada função foram determinados os valores de P50 (tempo do decréscimo 50% de viabilidade do lote), conforme Ellis e Roberts (1980), para avaliação da qualidade dos ajustes foram considerados o coeficiente de determinação ajustado ( $R^2$  Ajustado) e a análise de resíduos, e para verificar o melhor resultado foi observado se o P50 estimado estava contido dentro do intervalo esperado.

A análise dos pontos de quebra (breakpoints) foi realizada no software SAS (SAS, 1999). Os pontos de quebra definem o momento de transição entre um declive de uma função linear para o próximo.

$$\text{Assim teremos: } V = \begin{cases} k_i, & \text{para } 0 \leq x \leq \text{ponto de quebra} \\ k_i - \left(\frac{1}{\sigma}\right)x, & \text{ponto de quebra} \leq x \leq n \end{cases}$$

Em que  $v = k_i - (1/\sigma)x$ , sendo  $v$  = viabilidade  $k_i$  = coeficiente linear,  $(1/\sigma)$  = coeficiente angular, e  $x$  = tempo.

## Resultados e Discussão

A partir do teste de normalidade, constou-se que os dados seguem distribuição normal ( $p > 0,05$ ). A protrusão média das cultivares Desafio, Brs 284, 71MF00RR de acordo com o tempo estão apresentados na tabela 1, observa-se o decréscimo da viabilidade ao longo do tempo, as cultivares Desafio, Brs 284 e 71MF00RR apresentaram tempo de 70 e 42 dias respectivamente para morte do lote. A partir desses dados determinou-se o intervalo esperado o qual está representado na tabela 2.

A aplicação da regressão segmentada com platô permitiu compreender o momento em que se iniciou o decréscimo da viabilidade das sementes de soja durante o período em que estiveram armazenadas, o que não era possível verificar com a regressão linear. Analisando a Figura 1,

observa-se que a função com declínio da regressão segmentada prognosticou a queda da viabilidade das cultivares. As cultivares Brs 284 ,71MF00RR e Desafio, não sofreram alterações nos períodos precedentes a 30, 22 e 21 dias respectivamente, porém após esse período houve o decréscimo da viabilidade das mesmas até a morte do lote. Pode-se observar que os ajustes foram significativos ( $p < 0,05$ ) e os coeficientes de determinação ( $R^2$  ajustado) apresentaram valores acima de 84 %, portanto observa-se que o modelo segmentado com platô proporcionou um bom ajuste às amostras das cultivares em estudo.

A análise dos resíduos visa verificar se o modelo ajustado é adequado ao conjunto de dados, sob o estudo. Segundo Goneli (2008) um modelo é considerado aceitável se os valores residuais se encontrarem próximos à faixa horizontal em torno de zero, não indicando tendenciosidade dos resultados. Verifica-se que os valores residuais apresentados na figura 1, apresentam-se em torno da faixa horizontal, portanto os modelos escolhidos são adequados aos conjuntos de dados, demonstrando que o modelo segmentado com platô foi adequado na predição da longevidade de sementes de soja.

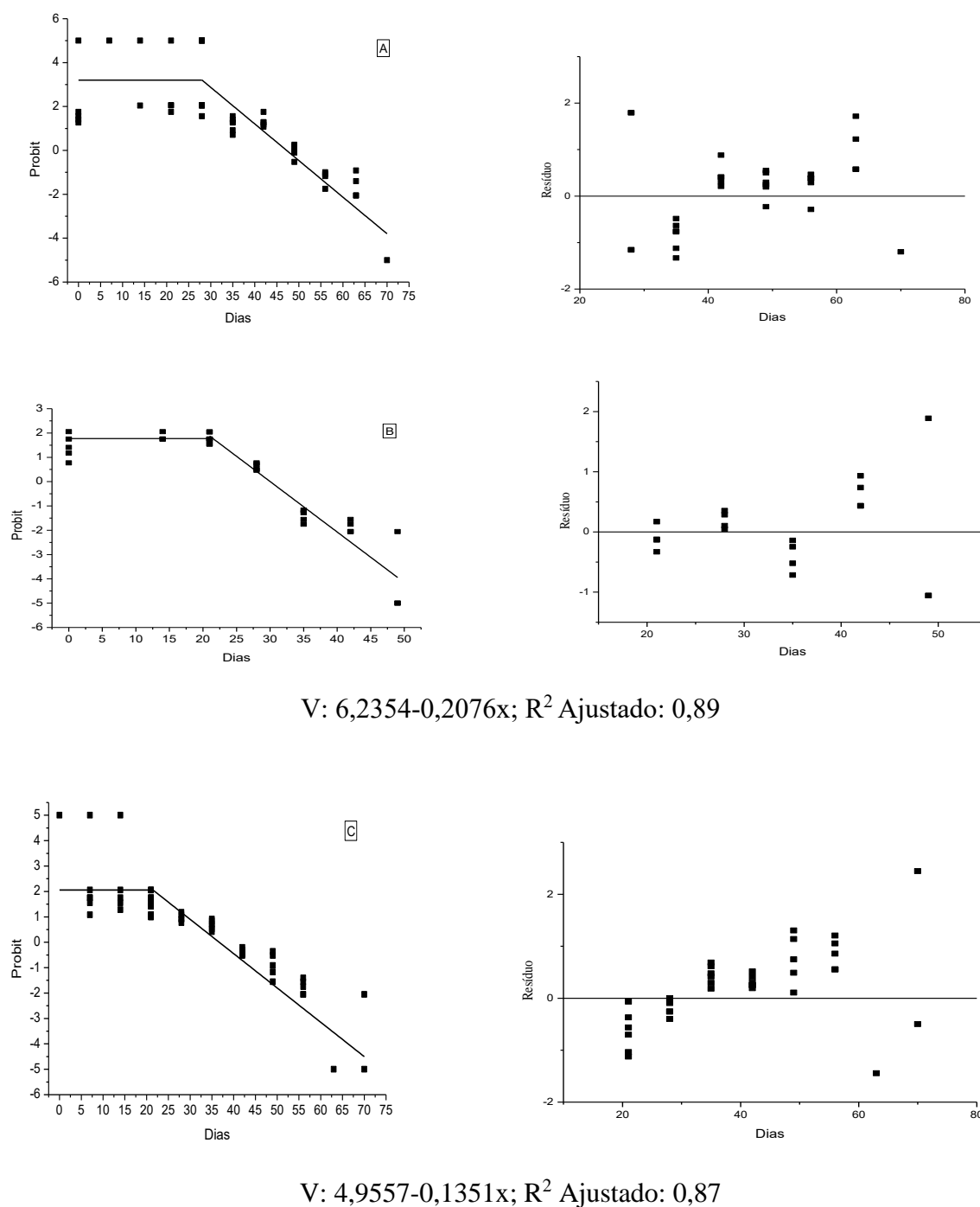
**Tabela 1. Protrusão média das cultivares de soja no tempo.**

Tempo	Protrusão Média (%)		
	DESAFIO	BRS 284	71MF00RR
0	100	94	92
7	95	100	99
14	82	100	96
21	92	98	52
28	82	98	5
35	75	87	1
42	35	90	0
49	19	49	—
56	4	12	—
63	10	8	—
70	0	0	—

Fonte: Elaboração dos autores

Na tabela 2 são apresentados os intervalos esperados experimentalmente obtidos para cada cultivar. Para as cultivares 71MF00RR, Brs 284 e Desafio, o P50 estimado pela regressão linear segundo Ellis e Roberts (1980) foi encontrado aos 34, 26 e 44 dias respectivamente, no entanto o intervalo esperado experimental para estas cultivares foram entre 42 e 49 dias, 28 e 35 dias e 35 e 42 dias, desta forma, observa-se que os resultados de P50 obtidos através do ajuste linear tradicional, encontra-se fora do intervalo esperado para todas as cultivares.

No entanto, o P50 obtido a partir da regressão segmentada em platô apresentaram resultados dentro do intervalo esperado para todas as cultivares, sendo de 47, 30 e 36, para as cultivares 71MF00RR, Brs 284 e Desafio, respectivamente (Tabela 2). Santana et al. (2016) ajustando modelos matemáticos com resposta em platô descreveram com sucesso curvas de crescimento de bovinos fêmeas da raça nelore. Rezende et al. (2007) puderam determinar a exigência de Zinco em frangos utilizando regressão segmentada em platô. Santos et al. (2018) utilizando a regressão segmentada obtiveram resposta quanto a doses de nitrogênio na determinação do rendimento de grãos e produção de óleo de cártamo.



**Figura 1. Viabilidade das cultivares de sementes de soja (A: Brs 284 = V: 7,8767-0,1668x;  $R^2$  Ajustado: 0,85/ B: 71MF00RR = V: 6,2354-0,2076x;  $R^2$  Ajustado: 0,89/ C: Desafio = V: 4,9557-0,1351x;  $R^2$  Ajustado: 0,87), em probit com ajuste de regressão linear segmentado com platô e resíduos do modelo.**

Fonte: Elaboração dos autores

**Tabela 2. Comparação do intervalo esperado do P50 em ajuste Linear, e P50 segmentado em platô.**

<b>Cultivares</b>	<b>Intervalo Esperado (Dias)</b>	<b>P50 Ajuste Linear</b>	<b>P50 Segmentado</b>
71MF00RR	42 e 49	34	47
Brs 284	28 e 35	26	30
Desafio	35 e 42	44	36

Fonte: Elaboração dos autores

Assim, o modelo de regressão com resposta em platô, mostra-se promissor para o estudo da longevidade de sementes de soja. No entanto, entende-se que ainda são necessários mais estudos sobre o equacionamento probit utilizando a regressão segmentada e que existe espaço para novos modelos que possam trazer resultados mais esclarecedores e significativos para a área.

## Conclusão

O modelo de regressão segmentado em platô possibilitou a avaliação do P50 de forma adequada, mostra-se promissor para o estudo da longevidade de sementes de soja.

## Agradecimentos

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de estudos. O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES)

## Referências Bibliográficas

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regras Para Análise de Sementes**. Brasília, DF, 2009.

CHATELAIN, E.; HUNDERTMARK, M.; LEPRINCE, O.; LE GALL, S.; SATOUR, P.; DELIGNY-PENNINCK, S.; ROGNIAUX, H.; BUITINK, J. Temporal profiling of the heat-stable proteome during late maturation of *Medicago truncatula* seeds identifies a restricted subset of late embryogenesis abundant proteins associated with longevity. **Plant, Cell & Environment**, Oxford, v.35, n.8, p. 1440–1455, 2012.

ELLIS, R. H.; ROBERTS, E. H. Improved equations for the prediction of seed longevity. **Annals of Botany**, London, v.45, n.1, p.13-30, 1980.

Goneli, A. L. D. **Variação das propriedades físicas-mecânicas e da qualidade da mamona (*Ricinus communis* L.) durante a secagem e o armazenamento**. 2008. 186 f. Tese (Doutorado)- Universidade Federal de Viçosa, 2008.

REZENDE D. M. L. C.; MUNIZ J. A; FERREIRA, D. F.; SILVA, F. F.; AQUINO, L. H. Ajuste de modelos de platô de resposta para a exigência de zinco em frangos de corte. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.31, n.2, p. 468-478, mar, 2007.

ROBERTS, E. H. The viability of cereal seed in relation to temperature and moisture. **Annals of Botany**, v.24, p.12-31, 1960.

ROBERTS, E. H. The viability of rice seed in relation to temperature, moisture content and gaseous environment. **Annals of Botany**, v.25, p.381-390, 1961.

ROBERTS, E. H. Predicting the storage life of seeds. **Seed Science and Technology**. v.1, p.499-514, 1973.

SANTANA, T. J. S.; SCALON, J. D.; BITTENCOURT, T. C. C.; SANTANA, A. S. A. Modelo von Bertalanffy com resposta em platô para descrever curvas de crescimento de bovinos de corte. **Revista Brasileira de Biometria**. Lavras, v.34, n.4, p.646-655, 2016.

SANTOS, R. F.; BASSEGIO, D.; SARTORI, M. M. P.; ZANNOTO, M. D.; SILVA, A. S. Produção de cártamo (*Carthamus tinctorius L.*) afetada pela adubação nitrogenada e diferentes regimes hídricos. **Revista Acta Agronômica**. Palmira, v.67, n.2. p. 1-9, 2018.

SCHABENBERGER, O.; PIERCE, F. J. **Contemporary statistical models for the plant and soil sciences**. Boca Raton: CRC, 2002. 738 p.

SCHNEIDER, C. F.; DRANSKI, J. A. L.; GUSATTO, F. C.; MALAVASI, M. M.; MALAVASI, U. C. Equações de longevidade para sementes de pau-marfim. **Revista de Ciências Agrárias Amazonian Journal of Agricultural and Environmental Sciences**. Belém, v.60, n.1, p. 53-59, 2017.

SAS. **SAS Software**. Version 9.1. Cary, North Carolina: SAS Institute Inc., 1999.

TEIXEIRA, J. M. **Análise Bayesiana do modelo de Ellis e Roberts para estimar a viabilidade de sementes de café armazenadas**. 2010. 80 f. Tese (Doutorado em Estatística e Experimentação Agropecuária) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2010.