

RUTE QUELVIA DE FARIA

**AVALIAÇÃO DOS MODELOS PROBIT E LOGIT COM APLICAÇÃO NA
LONGEVIDADE DE SEMENTES DE SOJA**

Botucatu

2019

RUTE QUELVIA DE FARIA

**AVALIAÇÃO DOS MODELOS PROBIT E LOGIT COM APLICAÇÃO NA
LONGEVIDADE DE SEMENTES DE SOJA**

Tese apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da Unesp Campus de Botucatu, para obtenção do título de Doutor em Agronomia. (Agricultura).

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Maria Márcia Pereira Sartori

Coorientador: Prof. Dr. Edvaldo Aparecido Amaral da Silva

Botucatu

2019

F224a Faria, Rute Quelvia de
Avaliação dos modelos probit e logit com aplicação na
longevidade de sementes de soja / Rute Quelvia de Faria. --
Botucatu, 2019
72 p.

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp),
Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu
Orientadora: Maria Márcia Pereira Sartori
Coorientador: Edvaldo Aparecido Amaral da Silva

1. Modelagem Matemática. 2. Longevidade. 3. Soja. 4.
Magneto Priming. 5. Probit e Logit. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da
Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

Título:


“AVALIAÇÃO DOS MODELOS PROBIT E LOGIT COM APLICAÇÃO NA LONGIVIDADE DE SEMENTES DE SOJA”

AUTORA: RUTE QUELVIA DE FARIA

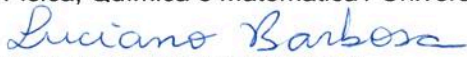
ORIENTADORA: MARIA MÁRCIA PEREIRA SARTORI

COORIENTADOR: EDVALDO APARECIDO AMARAL DA SILVA

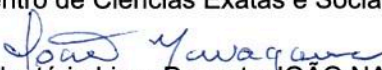
Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Doutora em AGRONOMIA (AGRICULTURA), pela Comissão Examinadora:

Pesquisadora Dr.^a MARIA MÁRCIA PEREIRA SARTORI
Produção e Melhoramento Vegetal / Faculdade de Ciências Agrônomicas de Botucatu - UNESP 

Prof. Dr. RENATO FERNANDES CANTÃO
Física, Química e Matemática / Universidade Federal de São Carlos 


Prof. Dr. LUCIANO BARBOSA
Bioestatística / Instituto de Biociências de Botucatu - UNESP


Prof. Dr. PEDRO BENTO DA SILVA
Centro de Ciências Exatas e Sociais Aplicadas / Universidade do Sagrado Coração


Voluntário Livre-Docente JOÃO NAKAGAWA
Produção e Melhoramento Vegetal / Faculdade de Ciências Agrônomicas de Botucatu - UNESP

Botucatu, 02 de dezembro de 2019.

Aos meus amados pais, João de Faria e Jesuzina Albernaz,

e as minhas sobrinhas Rachel e Catarina

dedico

AGRADECIMENTOS

A Deus. Minha fonte de amor que me inspira a fazer e ser o melhor que posso.

Aos meus queridos pais e irmão pelo amor e apoio fraternos. Ao meu namorado Paul Schneider pelo suporte emocional e cumplicidade.

A Prof.^a Dr^a. Maria Márcia Pereira Sartori pela orientação, ensinamentos, paciência e exemplo de professora. E, além de tudo isso, pude contar também com sua preciosa amizade. Obrigada.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), pelo apoio financeiro, concedido ao projeto desenvolvido (Processo nº 2016/13126-0 e 2018/25698-4).

À Global Affairs Canada, pela bolsa de estudos ELAP concedida para a realização do estágio de doutoramento no Canadá (IRCC special program code - 509).

À Universidade McGill em Montreal, na pessoa do Prof. Dr. Vijaya Raghavan pela orientação e ensinamentos durante meu estágio no exterior.

Ao Instituto Federal Goiano, pela liberação concedida para dedicação exclusiva ao processo de doutoramento de acordo com a PORTARIA Nº 514 de 11 de julho de 2016.

A minha amiga Amanda Rithieli, pela cooperação e companheirismo em todo o trabalho, e ao suporte dos amigos e servidores Eliane e Valéria.

“Somos semeadores sempre. Nosso existir semeia sementes o tempo todo, seja por palavras, pensamentos, sentimentos, atitudes, juízos, ações ou omissões. Não é possível existir sem semear! (...) Eu sou o responsável pelo que semeio e por não deixar que o que foi semeado de ruim em mim, se torne a minha própria semente na vida!”

Reverendo Caio Fábio D’Araujo - “O homem é semente.” Texto completo disponível em <https://caiofabio.net/o-homem-e-semente>

RESUMO

O estudo da longevidade é uma ferramenta importante na análise da qualidade fisiológica em sementes. A modelagem da curva de sobrevivência em sementes permite a predição do seu período de vida, que baliza os mais variados estudos em conservação e tecnologia de sementes. O modelo de Probit foi inicialmente proposto como o modelo ideal para predição da longevidade das sementes, contudo, estudos têm reportado certa dificuldade de predição do modelo em diferentes condições de estresse e armazenagem a que as sementes são submetidas. A equação da viabilidade em sementes a partir do modelo de Probit permite calcular o valor do P50, que é o período em que um lote de sementes leva para perder 50% da sua viabilidade. O modelo de Logit é similar ao de Probit, com a vantagem de ser mais simples, e de se adequar melhor ao comportamento dos dados com caudas pesadas. Assim, o objetivo deste estudo foi avaliar os modelos de Probit e Logit quanto a sua robustez na predição da longevidade das sementes. Para tanto, sementes de soja foram selecionadas quanto ao seu vigor, em delineamento inteiramente casualizado, e armazenadas à 35°C e 75% de umidade relativa, até que fosse constatada sua morte, por meio de testes de germinação realizados periodicamente. A construção das curvas de sobrevivência, após o experimento encerrado, permitiu a análise dos modelos de Probit e Logit, por meio dos parâmetros R^2 , $R_{ajustado}$, e do coeficiente de correlação de Pearson. O estudo da normalidade dos resíduos também foi realizado para avaliação dos modelos. Os resultados deixaram evidentes a superioridade do modelo de Logit para a predição da longevidade, quando comparado com o modelo de Probit. Os testes de normalidade de Lilliefors, Kolmogorov-Smirnov, Shapiro-Wilk e Normal Q-Q plot, mostraram que os dados da sobrevivência tiveram melhor aproximação da distribuição logística, do que da distribuição normal. Portanto, a função de ligação Logit é a mais adequada para predição da longevidade em sementes de soja. Em outro estudo, foi aplicado o modelo de Logit para distinção do vigor em sementes de soja tratadas com magneto priming. A aplicação do modelo revelou que sementes de soja, tratadas com micro-ondas na frequência de 2.45 GHz e potência de 0.2 W/g, durante 15 min trouxe incremento no valor do P50, além de aumentar a germinação e vigor das sementes avaliadas. O estudo demonstrou que o modelo de Logit também é robusto para predição do P50 em condições de alta temperatura.

Palavras-chave: Curva de sobrevivência, Distribuição Normal, Eletro-energia, Função de Ligação, *Glycine Max* L., Regressão logística

ABSTRACT

The study of longevity is an important tool in the analysis of physiological quality in seeds. The modeling of the survival curve in seeds allows the prediction of their half time life, which could be used to reference for the most varied studies on conservation and seed technology. The Probit model was initially proposed as the ideal model for seed longevity prediction, however, studies have reported about some errors found after applying the model under different stress and storage conditions in which seeds are submitted. The seed viability equation from the Probit model allows to calculate the value of P50, which is the period in which a seed lot loss 50% of its viability. The Logit model is similar to the Probit model, with the advantage of being simpler and better suited to heavy tails data, as occurs in seed longevity data. The aim of this study was to evaluate the Probit and Logit models for their robustness in predicting seed longevity. For this purpose, soybean seeds were selected according to their vigor, in a completely randomized design, and stored in 35 °C and 75% relative humidity until their death was verified by periodic germination tests. The construction of survival curves, after the experiment ended, allowed the analysis of Probit and Logit models, through the parameters R^2 , $R_{adjusted}$, and the Pearson correlation coefficient. The study of the normality of the residues was also performed to evaluate the models. The results showed the superiority of the Logit model for predicting longevity when compared to the Probit model. The tests of normality of Lilliefors, Kolmogorov-Smirnov, Shapiro-Wilk and Normal Q-Q plot, showed that the survival data had a better approximation of the logistic distribution, than of the normal distribution. Therefore, the Logit function is the most suitable for predicting longevity in soybean seeds. In this study, the Logit model was applied to distinguish vigor in soybean seeds treated with magneto priming. The application of the model revealed that microwave-treated soybean seeds at a frequency of 2.45 GHz and a power of 0.2 W/g for 15 min brought an increase in the P50 value, besides increasing the germination and vigor of the seeds evaluated. The study demonstrated that the Logit model is also robust for predicting P50 under high temperature conditions.

Keywords: Survival Curve, Normal Distribution, Electro-energy, Link Function, *Glycine Max L.*, Logistic Regression

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL.....	17
CAPÍTULO 1 - PROBIT OU LOGIT? QUAL MODELO MELHOR SE ADEQUA A PREDIÇÃO DA LONGEVIDADE EM SEMENTES	23
1.1 INTRODUÇÃO.....	24
1.2 MATERIAL E METODOLOGIA	26
1.3 RESULTADOS.....	30
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	40
CAPÍTULO 2- EFEITO DO MAGNETO PRIMING NA QUALIDADE E LONGEVIDADE DE SEMENTES DE SOJA COM USO DE MICRO-ONDAS.....	43
2.1 INTRODUÇÃO.....	43
2.2 MATERIAL E METODOLOGIA.....	45
2.3 RESULTADOS.....	49
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	64
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	69
REFERÊNCIAS.....	71

INTRODUÇÃO GERAL

Modelagem Probit versus Logit

A predição da longevidade é uma ferramenta importante na avaliação da qualidade fisiológica das sementes. Ela tem a função de orientar o manejo durante o armazenamento e balizar os estudos na preservação de espécies mantidas em bancos de sementes. O estudo do período de sobrevivência das sementes também traz informações relevantes nas mais diversas atividades de armazenagem agrícola e comercial. O comportamento da sobrevivência de sementes ortodoxas ocorre seguindo uma forma sigmoidal (Figura 1).

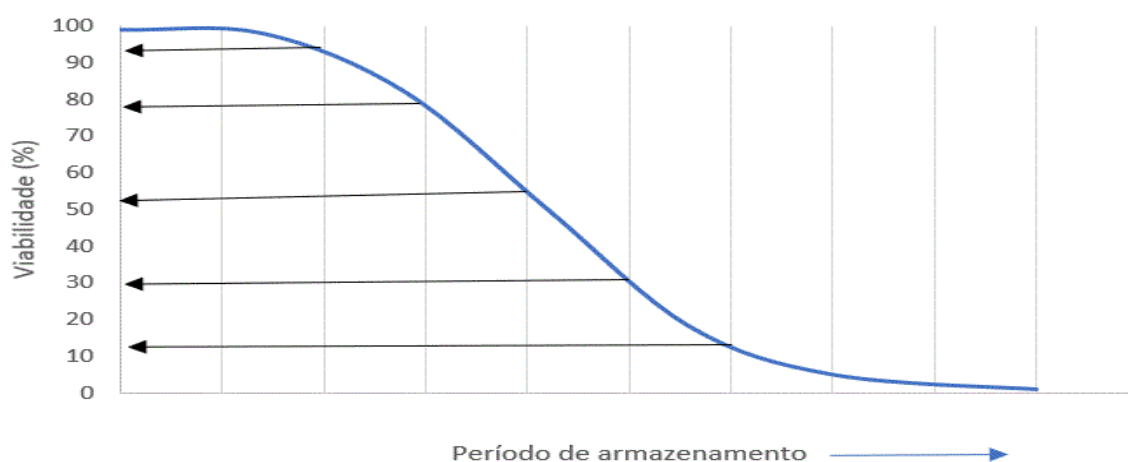


Figura 1: Curva de sobrevivência das sementes. O comportamento ocorre na forma sigmoidal decrescente ao longo do tempo de armazenamento. (adaptado de PRITCHARD & DICKIE, 2003).

Roberts (1961) relata que a frequência de distribuição dos dados das sementes que morriam durante um determinado período de armazenamento, era na forma gaussiana. Neste estudo, o autor definiu que o período em que um lote de sementes leva para perder 50% da sua viabilidade, denominado de P50, podia ser

mensurado por uma equação da viabilidade oriunda da função de distribuição normal. O cálculo do P50 é um índice de vigor das sementes com possibilidade de uso em diversos estudos para distinção entre tratamentos, ou entre diferentes cultivares. A partir daí, especialmente durante as décadas de 60 e 70, uma série de estudos foram conduzidos na aplicação desta função em diferentes condições de armazenagem e em variadas espécies, como arroz (ROBERTS, 1963), cevada, cebola, feijão e ervilha (ROBERTS, 1972; ROBERTS & ELLIS, 1977).

Os estudos gerados levaram ao embasamento de uma equação para predição da viabilidade em sementes. A equação tinha como base a transformação dos dados da probabilidade de sobrevivência na escala Probit. Esta equação foi proposta pelos autores Ellis & Roberts (1980), como o modelo capaz de descrever o momento em que um determinado lote de sementes perderia a sua viabilidade em 50% (P50). Os autores entenderam que o comportamento sigmóide da curva de sobrevivência poderia ser descrito pela função de distribuição normal (Equação 1),

$$\Phi = \frac{1}{\sigma\sqrt{(2\pi)}} e^{\left(-\frac{(p-\bar{p})^2}{2\sigma^2}\right)} \quad \text{Eq. 1}$$

Onde y representa a frequência de sementes mortas que ocorreram no tempo p , (Figura 2), \bar{p} é a média de sementes viáveis no período, e σ é o desvio padrão da distribuição das sementes mortas no período observado.

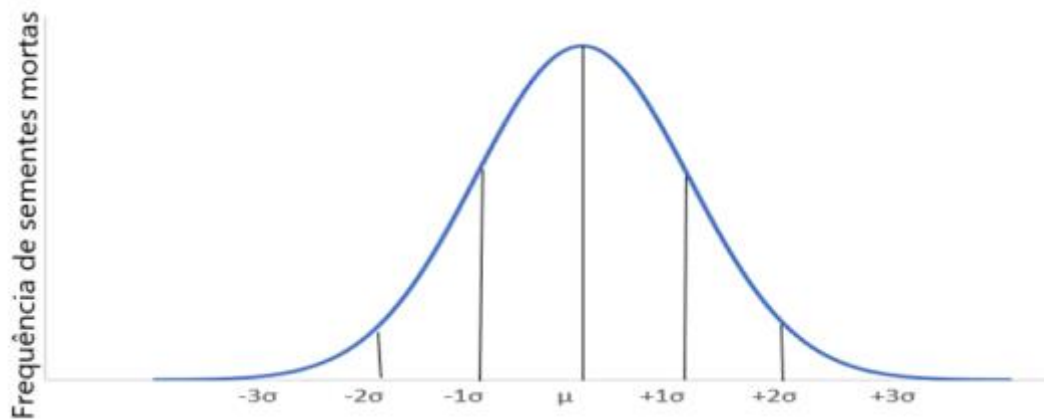


Figura 2 - Frequência do P50, de acordo com uma distribuição normal. O desvio padrão σ , fornece o valor do ângulo de inclinação da reta gerada pelo modelo de Probit. (adaptado de PRITCHARD & DICKIE, 2003)

A função de ligação Probit permite a linearização dos dados da viabilidade das sementes, representando a distribuição normal acumulada negativa dos dados da sobrevivência durante o tempo de armazenamento (FINNEY, 1962). A aplicação do modelo consiste no uso da probabilidade de sobrevivência das sementes, transformada na escala Probit, por meio da Equação 2,

$$F(x) = \Phi^{-1} \quad \text{Eq. 2}$$

Sendo Φ a função de distribuição normal. A equação da viabilidade em sementes é dada pelo ajuste da equação da reta produzida pela linearização dos dados a partir da função de ligação Probit. O tempo médio gasto para a perda da viabilidade das sementes, P50, é obtido pela Equação 3. (ELLIS & ROBERTS, 1980)

$$P50 = \frac{\beta}{\sigma} \quad \text{Eq. 3}$$

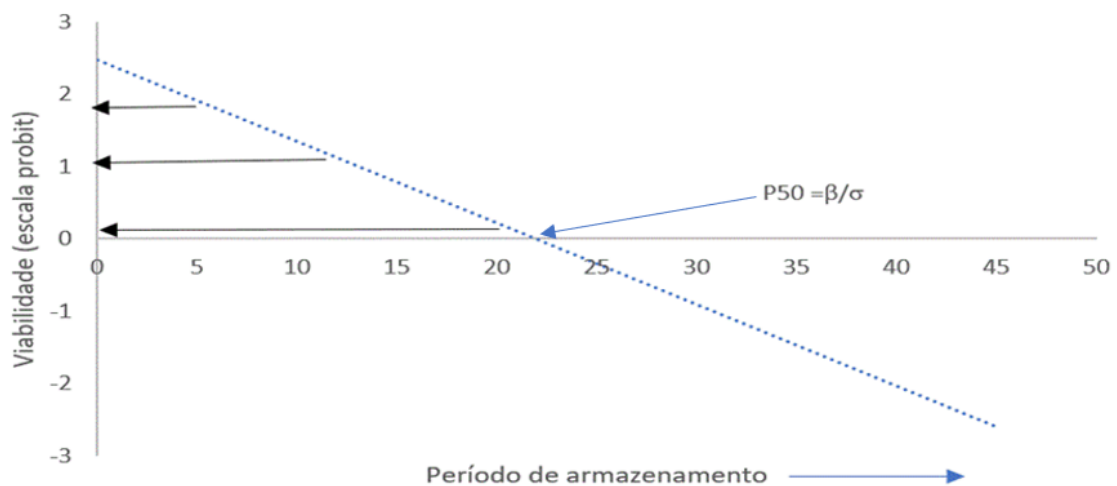


Figura 3: Transformação Probit de uma curva de sobrevivência que pode ser descrita pela Equação 3 no texto. (adaptado de PRITCHARD & DICKIE, 2003)

Os dados de sobrevivência das sementes são de origem binária, 0 quando as sementes não são viáveis e 1 quando viáveis. Para dados de tal natureza, ainda que existam outras opções, é preconizado o uso de dois modelos: Probit ou Logit. O modelo de Logit é mais simples que o modelo de Probit, e tem a distribuição logística como sua função de ligação (Equação 4),

$$F(x) = \ln\left(\frac{x}{1-x}\right) \quad \text{Eq.4}$$

Sendo x o valor da probabilidade de sobrevivência das sementes.

A escolha entre os modelos de Probit e Logit se dá pela melhor adequação dos dados a distribuição normal ou logística. Os modelos de Probit e Logit tem distribuições semelhantes, mas se diferem especialmente nos extremos, em que, o modelo de Logit apresenta caudas mais pesadas, ou seja, os extremos da curva, tem uma inclinação mais acentuada. Pino e Morettin (1993), abordam que em casos de não normalidade dos dados, o uso de funções cuja distribuição possui caudas pesadas seria mais adequado.

Os dados de sobrevivência das sementes não são normais (ELLIS & ROBERTS, 1980). Dados não normais tendem à normalidade quando o número amostral é grande o suficiente. O tamanho do n amostral recomendado para tornar dados não normais em dados normais varia de 10 a 30, de acordo com os princípios do teorema do limite central (FISCHER, 2011). Contudo, um número amostral muito grande inviabiliza sua adoção, seja pelo aumento dos custos, ou pela escassez de amostras.

Magneto priming e modelagem da longevidade

O magneto priming é um estímulo eletromagnético realizado por meio da exposição das sementes a um campo energético, com frequência controlada, a fim de promover algum benefício à qualidade fisiológica das sementes. Estudos utilizando a técnica têm reportado resultados promissores em sementes de soja (SHINE, et al., 2011; FATIMA et al., 2017; BAGHEL et al., 2018), milho (HEMIS, et al., 2019), tomate, cenoura e rabanete (RADZEVICIUS et al., 2013) em sementes de trigo (KOZULINA, et al., 2019) e feijão (RAGHA, et al., 2011), dentre outras.

As micro-ondas atuam a uma frequência que varia entre 300 MHz e 300 GHz (BANIK et al., 2003). A frequência de 2,45 GHz tem sido aplicada a estudos envolvendo a secagem de sementes. Recentes estudos, revelam que uma faixa de potência entre 0.1 e 0.3 W/g tem promovido biestímulo na qualidade fisiológica das sementes, logo após a sua exposição. (AMIRNIA R., 2014)

São escassos os estudos que abordam algum bioestímulo promovido por micro-ondas em sementes de soja. Contudo, o que se sabe até então, desperta

interesse do potencial desta tecnologia na qualidade fisiológica das sementes, e especialmente os seus efeitos na longevidade.

Portanto, no Capítulo 1, foi avaliado qual o modelo seria mais adequado para a predição da longevidade das sementes de soja entre Probit e Logit. O Capítulo 2 utiliza o modelo de Logit na diferenciação do vigor entre dois lotes de sementes de soja tratadas com magneto priming, tendo em vista ser este o modelo definido como mais adequado.

CAPÍTULO 1

PROBIT OU LOGIT? QUAL MODELO MELHOR SE ADEQUA A PREDIÇÃO DA LONGEVIDADE EM SEMENTES

RESUMO: O estudo da longevidade em sementes é uma ferramenta de grande relevância no conhecimento da sua qualidade fisiológica e nas relações comerciais deste mercado agrícola. A predição do tempo médio de sobrevivência das sementes (P50), é realizada tradicionalmente pelo uso da função de ligação Probit, porém, para um ajuste adequado desta função, é importante que se tenha resíduos cuja distribuição seja normal. Contudo, os dados de sobrevivência das sementes são de origem binária (0,1), portanto não normais. Assim, o ajuste do modelo usando a função de Probit pode ficar comprometido. O modelo de Logit tem sido proposto em substituição ao de Probit para diferentes situações. Os modelos se diferem quanto a sua função de distribuição, sendo elas logística e normal, respectivamente. Assim, quando os dados se aproximam mais da distribuição logística, a função de ligação Logit seria a melhor recomendação. Uma outra possibilidade para reduzir o efeito de dados não normais, seria a aplicação de princípios do Teorema Central do Limite (TCL), que recomenda que resíduos não normais tendem à normalidade, na medida em que se aumenta o n amostral. Portanto, neste estudo, foi desenvolvido um procedimento de estimação utilizando um pequeno aumento do n amostral, conforme os princípios do TCL. As funções de Probit e Logit foram testadas com relação a sua capacidade de predição do P50. Os resultados demonstraram que o cálculo do P50 advindo do aumento do n amostral de 4 para 6 repetições, elevou o índice de acerto da predição. O modelo de Logit foi o que apresentou melhor desempenho em relação à normalidade dos resíduos, quando comparado ao modelo de Probit. Os resultados mostraram que os dados de sobrevivência das sementes são mais adequados quando se utiliza esta função, derivada da regressão logística.

Palavras chave: Funções de Ligação, Normalidade dos Resíduos, Sobrevivência em sementes, Teorema Central do Limite, Vigor em sementes.

1.1 INTRODUÇÃO

A longevidade é um parâmetro intimamente ligado a qualidade fisiológica das sementes. Ela também tem a função de definir quando um lote de sementes pode ser comercializado ao produtor. Para que uma semente possa ser considerada comercial, índices mínimos de germinação são rigorosamente estabelecidos pela legislação. O índice de germinação está relacionado à longevidade das sementes, pois ele reduz durante o período de armazenamento, podendo ser um fator de sucesso ou insucesso na instalação de uma determinada cultura agrícola. (PEREIRA LIMA et al., 2017)

O P50 é um índice de qualidade fisiológica das sementes, e indica o período em que um determinado lote perde 50% da sua capacidade de germinação. Os modelos de predição do P50 são ferramentas importantes no manejo de sementes durante o armazenamento. Portanto, definir com assertividade este índice pode reduzir os custos com análises e facilitar o planejamento comercial. Em bancos de sementes, os modelos de predição são ferramentas que podem facilitar o controle da viabilidade das sementes. Nesses ambientes, a quantidade de sementes disponíveis deve ser utilizada com parcimônia, e os períodos de armazenagem são longos. Considerando que a viabilidade das sementes nesses lugares pode colocar em risco a extinção de espécies, definir modelos de predição com melhor qualidade de ajuste é um importante objeto de estudo para o mercado e a preservação de sementes de uma forma geral. (WALTERS, 2015)

Os dados gerados pela curva de sobrevivência de um determinado lote de sementes, possui comportamento sigmoidal. A função de ligação de Probit é dada pela função inversa da distribuição acumulada dos dados da probabilidade da curva de sobrevivência das sementes. Os autores Ellis & Roberts (1981) propuseram este modelo para definir o P50 em sementes ortodoxas, e até então, o modelo de Probit tem sido proposto para fins de predição da longevidade em sementes de diferentes espécies, e em diferentes condições de armazenamento. (ELLIS et al., 1990; DEMIR & MAVI, 2003; OBUNYALI et al., 2008; MARCONDES et al., 2011)

Os dados de análise da sobrevivência em sementes são de resposta binária, ou seja, a variável dependente (Y) é dicotômica, e admite, portanto, apenas dois resultados. Uma semente não viável é considerada morta, e uma semente viável é considerada viva, sendo categorizadas como zero ($Y = 0$) e um ($Y = 1$),

respectivamente. Uma variável de resposta binária não atende aos pressupostos de normalidade dos resíduos necessários para um ajuste adequado de uma função simétrica. Oral (2006) indica ser importante usar distribuição não normal apropriada para se obter estimadores eficientes nos casos de não normalidade da função de densidade da probabilidade.

O modelo de Logit é considerado como o mais importante para dados de variável categórica (AGRESTI, 2013). Se comparado ao Probit, ele também é matematicamente mais simples. A principal diferença entre essas duas funções é devido às formas das curvas de distribuição que cada uma representa. Apesar de terem em comum que a variável dependente é dicotômica, as funções de ligação Logit e Probit são dadas pelo inverso das distribuições acumuladas logística e normal, respectivamente. Assim, é importante se avaliar o comportamento da distribuição de probabilidade de cada modelo, a fim de que se estabeleça a função que melhor representa o fenômeno.

Contudo, as funções de Probit e Logit, por serem similares, demandariam de outros ajustes a fim de trazê-los a uma condição mais próxima da normalidade. O Teorema Central do Limite (TCL) propõe que uma variável não normal pode ser conduzida a normalidade desde que o n seja suficientemente grande. O teorema considera que, sendo X uma variável aleatória com média μ e desvio padrão σ , ao se retirar uma amostra de tamanho n de X , sendo \bar{X} a média da amostra, quando o n aumenta ter-se-á;

$$\frac{\bar{X} - \mu}{\sigma/\sqrt{n}} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i - n\mu}{\sigma\sqrt{n}} \approx N(0,1)$$

Eq. 1

Ou seja, se o tamanho amostral é suficientemente grande, podemos assumir que a média amostral tem uma distribuição normal. Além disso, o teorema indica que, para qualquer função de distribuição que tenha variância finita, a média amostral terá distribuição aproximadamente normal na medida em que o n amostral aumente. (BOBKOV et al., 2014)

Neste estudo o objetivo foi testar a função de Logit quanto a sua robutez na predição do P50 em sementes, em comparação ao modelo de Probit, e verificar se um maior número de repetições dos dados amostrais, conforme proposto pelo

Teorema Central do Limite, modifica a sua capacidade de normalização dos resíduos com consequente melhoria na predição dos modelos avaliados.

1.2 MATERIAL E METODOLOGIA

As sementes de soja deste estudo tiveram origem de diferentes regiões do Brasil. Elas foram colhidas de forma mecanizada, e armazenadas em super bags após o final da safra 2016/2017. Entre os meses de janeiro a abril de 2017, amostras de aproximadamente 1Kg foram retiradas de 15 lotes distintos, sendo em seguida acondicionadas em embalagens de papel ou de caixa de papel e encaminhadas ao laboratório de sementes na UNESP de Botucatu. No laboratório, as amostras foram acondicionadas em câmara fria a 10°C e 45% UR até o momento das análises.

Todas as sementes tiveram o seu teor de água aferido logo na chegada do lote, pelo método padrão da Estufa, com três repetições de seis sementes, (ISTA, 1985). Inicialmente, um total de 23 lotes foram coletados e testados quanto a sua qualidade fisiológica. Dos lotes avaliados foram selecionadas 15 amostras com melhor qualidade dentre as demais. Testes de germinação e vigor foram realizados para avaliação geral dos lotes, conforme descritos a seguir.

Não foram encontrados na literatura relatos sobre um número mínimo de cultivares necessárias para que a avaliação do modelo seja satisfatória. Neste estudo, buscou-se obter um maior número de amostras possível que trouxessem diversidade e variabilidade para a análise dos modelos. Assim, foram testadas, amostras produzidas nas regiões centro, sul, e norte do país, bem como, diferentes níveis de qualidade fisiológica. Após a realização das análises em delineamento inteiramente casualizado (DIC), o teste LSD de Fisher foi utilizado ao nível de 5% de probabilidade de erro ($p \leq 0,05$), para diferenciar os diferentes níveis de vigor dos lotes deste estudo. As cultivares foram codificadas e sua região de origem está apresentada na Tabela 1.

Tabela 1 – Codificação das cultivares de soja com sua respectiva região de produção.

Código	Cultivar	Região de origem
S01	DS5916 IPRO	Goiás
S02	DS59716 IPRO	Goiás
S03	CD2591 IPRO (Lote 01)	Goiás
S04	CD2591 IPRO (Lote 2)	Goiás
S05	CD2737 RR (Lote 1)	Goiás
S06	CD2737 RR (Lote 2)	Goiás
S07	CD251 RR	Goiás
S08	CD2820 IPRO (Lote 1)	Goiás
S09	CD2820 IPRO (Lote 2)	Goiás
S10	DESAFIO (Lote1)	Goiás
S11	BRS 284	Paraná
S12	BRS 8581	Distrito Federal
S13	PARAGOMINAS	Maranhão
S14	BRS333	Maranhão
S15	DESAFIO (Lote 2)	Goiás

Teste de germinação (TG) - As sementes foram acondicionadas em rolos de papel para germinação, em seis repetições de 50 sementes. Os papéis foram previamente umedecidos com 2,5 vezes a mais o seu peso. Os rolos com as amostras umedecidas e fechadas em sacos plásticos foram acondicionados em câmara climática com controle de temperatura que foi mantida em 25°C durante 8 dias. Todas as sementes que emitiram no mínimo 2 mm de protrusão da radícula ao oitavo dia após a implantação do teste foram contabilizadas como viáveis. Ao quinto dia do teste de germinação foi realizada uma leitura do número de plântulas normais. O percentual de plântulas normais ao quinto dia de germinação foi considerado como uma avaliação do vigor das sementes, e o teste é denominado **Teste de Primeira Contagem**. (BRASIL, 2009)

Teste de vigor a partir do envelhecimento acelerado (EA) – neste teste, as sementes foram colocadas em caixas plásticas do tipo gerbox, suspensas por telas, tendo uma fina camada de água ao fundo, proporcionando uma umidade relativa

acima de 90%. As caixas foram acondicionadas em câmara climática com controle de temperatura que foi mantida a 42 °C, durante 72 horas. Após esse período, as sementes foram submetidas ao teste de germinação, conforme descrito anteriormente. A leitura de plântulas normais foi realizada ao quinto dia de germinação, e contabilizada em termos percentuais. (KHALILIAQDAM et al., 2013)

Avaliação da longevidade:

As sementes foram acondicionadas sobre telas suspensas, dentro de caixas do tipo gerbox. No fundo de cada caixa foi adicionada uma solução salina saturada de cloreto de sódio na proporção de 40g de NaCl/100 g de água destilada. Após serem devidamente lacradas, as caixas foram acondicionadas em câmara climática com controle de temperatura que foi mantida a 35°C durante todo o período de armazenamento. Nestas condições foi possível se criar dentro de cada caixa um ambiente artificial com uma umidade relativa de 75%. As amostras para análise foram retiradas periodicamente a cada 7 dias, sendo em seguida sua viabilidade verificada por meio do teste de germinação (TG). Durante o teste, se tomou o cuidado para que as sementes não tocassem a solução salina dentro da caixa. A duração do teste foi condicionada até que se identificasse a morte de 100% do lote em duas leituras consecutivas do TG. (HAY et al., 2006)

Durante o período de armazenamento nas condições de 75% de UR e 35°C foram medidos periodicamente com aparelho datalogger marca EXTECH, modelo RHT10. O teor de água de equilíbrio (TA_{Eq}) foi identificado pelo monitoramento periódico do teor de água via método da estufa conforme descrito anteriormente. O TA_{Eq} foi alcançado em média após o terceiro dia de implantação da avaliação da longevidade.

Ajuste dos modelos:

As curvas de sobrevivência foram estabelecidas com os dados obtidos a partir da probabilidade de germinação durante o tempo de análise da longevidade. Para transformação da curva de sobrevivência na escala linear Probit e Logit, as Equações 2 e 3 foram utilizados respectivamente (Tabela 2).

Tabela 2. Modelos das funções de ligação de Probit e Logit. (CHEN & TSURUMI, 2011)

Função	Modelo	Equação
Probit	$F(x) = \Phi^{-1}$	2
Logit	$F(x) = \ln\left(\frac{x}{1-x}\right)$	3

Aqui x é a probabilidade de germinação transformada em índices percentuais equivalentes que variam de 0 a 1, e Φ representa a função de distribuição normal. Os dados de sobrevivência transformados na escala linear Probit e Logit representam o inverso das distribuições acumuladas normal e logística, respectivamente. O índice P50 foi obtido pela equação linear após o ajuste dos modelos, utilizando o método dos mínimos quadrados ordinários (OLS), como proposto por Ellis & Roberts (1981). Quando a variável Y na escala Probit e Logit é igual a 0, pode-se encontrar o P50 através da equação linear, de acordo com as Equações 4 e 5:

$$Y = \beta - \alpha X \quad \text{Eq. 4}$$

$$P50 = \beta/\alpha \quad \text{Eq. 5}$$

Onde Y é a viabilidade percentual na escala Probit ou Logit, X é o período de armazenamento (dias), α é a inclinação do modelo ajustado, β é a viabilidade percentual em Probit ou Logit no início do armazenamento. Quando Y se iguala a zero, tem-se o P50 que é o período (dias) que um lote de sementes leva para reduzir sua viabilidade em até 50%. O intervalo entre 5 e 95% dos dados de sobrevivência foi selecionado para se ajustar os modelos. (ELLIS & ROBERTS, 1981)

Para avaliar o grau de ajuste de cada modelo considerou-se o coeficiente de determinação R^2 , R^2_{ajustado} , e o coeficiente R de Pearson. As análises estatísticas deste estudo foram realizadas a partir dos programas R 3.6.1 (R Development, 2009) e Origin 64 bit (Origin, 2019).

Análise da normalidade dos resíduos

A avaliação da normalidade foi realizada a partir do comportamento dos resíduos após o ajuste dos modelos. A análise dos resíduos foi realizada utilizando os testes de Shapiro-Wilk, Lilliefors, e Kolmogorov-Smirnov. De acordo com Thode (2002), Shapiro-Willk é o teste mais recomendado para avaliação dos resíduos de ajuste dos modelos, porém, o autor destaca que em amostras menores o teste de Kolmogorov-Smirnov poderia ter maior sensibilidade. Assim, a escolha dos três testes permite a realização de uma avaliação mais ampla desta análise, sendo o teste de Lilliefors utilizado para critério de desempate quanto a não normalidade dos resíduos.

A avaliação gráfica pela reta da Normal Q-Q Plot, também foi utilizada como avaliação complementar do ajuste dos modelos de Probit e Logit aos dados. A análise gráfica, concomitante aos testes de normalidade, é mais clara e menos subjetiva, permitindo uma melhor interpretação de toda a distribuição.

Proposta de ajuste dos modelos - Teorema Central do Limite

Com a expectativa de se trazer a variável resposta a uma condição de normalidade, este estudo aplicou os princípios do Teorema Central do Limite. O teorema preconiza que, dados não normais tendem a normalidade quando o valor do n amostral aumenta, e isso ocorre, independentemente do tipo de distribuição.

De acordo com o ISTA (1985) a recomendação do n amostral em análises de sementes é de no mínimo 3 repetições. No Brasil o número de 4 repetições é o valor mais adotado. Neste estudo, foi sugerido um aumento de mais duas repetições, ou seja, 6 repetições ao todo. Esse novo valor de n objetiva avaliar se o incremento de mais 2 repetições no n amostral seria relevante para a melhoria da predição pelos modelos.

A análise da relevância do aumento do n amostral foi realizada de acordo com a proximidade do P50 obtido, com o intervalo de dias em que o P50 foi evidenciado experimentalmente, e com a redução do erro padrão.

1.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A caracterização dos lotes das sementes de soja está explicitada na Tabela 3. Os lotes foram avaliados quanto ao seu teor de água e quanto a sua

viabilidade. O teor de água inicial foi relativamente baixo com índices entre 8,68 a 10,51% b.u.

Os resultados indicam que os lotes deste estudo apresentaram níveis diferentes de viabilidade. A germinação apresentou índices de protrusão de radícula entre 90 a 100%, lembrando que as sementes consideradas viáveis apresentaram um mínimo de 2 mm de protrusão da radícula.

Tabela 3 – Caracterização da qualidade fisiológica de cada lote de sementes de soja, com sua respectiva porcentagem máxima de protrusão da radícula (PR), de plântulas normais no teste de primeira contagem (PC), e de plântulas normais no teste de envelhecimento acelerado (EA).

Código	PR (%) *	PC (%)*	EA (%)*
	Média (EP) Intervalo	Média (EP) Intervalo	Média (EP) Intervalo
S10	100 ^a (0,00) 97,95 – 102,04	21,03 ^{ef} (14,08) 12,82 – 29,25	95,5 ^a (4,43) 89,14 – 101,85
S12	99,66 ^{ab} (0,81) 97,62 – 101,71	62,01 ^{bc} (5,37) 53,80 – 70,23	62,0 ^{fgh} (7,12) 55,64 – 68,35
S02	99,33 ^{abc} (1,03) 97,29 – 101,38	73,33 ^{ab} (3,72) 65,12 – 81,54	82,5 ^{abcd} (3,41) 76,14 – 88,85
S06	98,99 ^{abc} (1,10) 96,94 – 101,03	71,91 ^{ab} (7,77) 63,69 – 80,12	71,5 ^{def} (6,61) 65,14 – 77,85
S05	98,00 ^{abcd} (1,26) 95,95 – 100,05	72,10 ^{ab} (6,12) 63,88 – 80,32	93,5 ^{ab} (3,78) 87,14 – 99,85
S01	97,66 ^{abcd} (0,61) 95,61 – 99,71	26,0 ^{de} (21,05) 17,78 – 34,21	86,0 ^{abcd} (5,16) 79,64 – 92,35
S14	97,66 ^{abcd} (0,615) 95,62 – 99,71	4,7 ^f (7,76) -3,54 – 12,88	37,16 ⁱ (7,43) 30,80 – 43,51
S13	96,97 ^{abcd} (0,615) 94,93 – 99,02	43,96 ^{cd} (11,84) 35,75 – 52,18	71 ^{def} (5,29) 64,64 – 77,35
S15	95,33 ^{abcde} (3,26) 93,28 – 97,38	15,14 ^{ef} (17,43) 6,92 – 23,35	12,0 ^j (4,89) 5,64 – 18,35
S08	94,66 ^{bcdef} (0,843) 92,62 – 96,71	85,0 ^a (4,52) 76,78 – 93,21	76,00 ^{cdef} (4,32) 69,64 – 82,35
S11	94,30 ^{cdef} (3,49) 92,25 – 96,34	79,93 ^{ab} (6,07) 71,71 – 88,15	90,0 ^{abc} (7,12) 83,64 – 96,35
S03	93,67 ^{def} (1,20) 91,62 – 95,71	83,33 ^a (7,66) 75,12 – 91,54	49,00 ^{hi} (14,09) 42,64 – 55,35
S09	93,00 ^{def} (2,05) 90,95 – 95,04	80,7 ^{ab} (6,89) 72,45 – 88,88	79,42 ^{bcde} (4,32) 73,06 – 85,77
S04	91,00 ^{ef} (1,84) 88,95 – 93,04	76,7 ^{ab} (5,46) 68,45 – 84,88	50,5 ^{ghi} (1,91) 44,14 – 56,85
S07	90,09 ^f (0,52) 88,05 – 92,14	73,99 ^{ab} (7,11) 65,77 – 82,20	65,5 ^{efg} (5,74) 59,14 – 71,85

* As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre os lotes, pelo teste LSD - Fisher no nível de 5% de probabilidade de erro ($p \leq 0,05$), EP – erro padrão, e Intervalo com confiança de 95%.

A análise de vigor das sementes evidencia as diferenças entre os lotes de soja deste estudo. As avaliações do vigor, portanto, revelam que o grupo de sementes selecionado tem boa representatividade quanto às diferenças naturalmente encontradas entre as sementes comerciais disponibilizadas ao produtor. Pode-se inferir que os lotes se subdividem em diferentes níveis de vigor, o que influencia diretamente no comportamento da curva sigmoidal de sobrevivência. Estas diferenças são peculiares e enriquecem o estudo, já que dentre os lotes avaliados existe boa diversidade de qualidade fisiológica.

Após o acondicionamento das sementes nas condições de 75% de UR e 35°C, houve um incremento do teor de água, que após 3 dias em média, entrou em equilíbrio com índices que variaram de 12,3 a 13,46 % b.u. O período em que as sementes foram submetidas a avaliação da longevidade foi espaçado em 7 dias. Ou seja, a cada semana, fez-se a análise da viabilidade, e o intervalo esperado (IE), indica o tempo, decorrido em dias, em que os lotes apresentaram o índice de 50% de germinação. O IE, portanto, é um dos principais parâmetros em que será avaliada a qualidade de predição do P50 determinado pelos modelos de Probit e Logit.

Na Tabela 4, estão os resultados do IE de cada cultivar e o P50 calculado pela metodologia tradicional, utilizando quatro repetições, seguido do P50 calculado com seis repetições. Os valores do P50 encontrados variaram na faixa em torno de 16 a 60 dias, para a condição de 75% UR e 35°C. Os valores são próximos aos encontrados por PEREIRA LIMA et al. (2017).

O P50 com o aumento do n amostral, testado e apresentado na Tabela 04, apresentou menor valor do Erro Padrão (SE) na maioria das amostras analisadas com seis repetições. O aumento do n amostral também foi necessário para um melhor ajuste nos dois modelos. Isso foi observado para os lotes S03, S10, S11, S13 e S14, que apresentaram valores fora do intervalo, mas com um incremento de apenas duas repetições, já era possível avaliar o P50 calculado dentro da faixa esperada.

Tabela 04 – Comparação do P50 obtido experimentalmente, e o P50 calculado pelos modelos de Probit e Logit com quatro e seis repetições respectivamente.

Lotes	IE (Dias)	Germinação no IE (%)	P50 Probit 4 Rep (EP)	P50 Probit 6 Rep (EP)	P50 Logit 4 Rep (EP)	P50 Logit 6 Rep (EP)
S01	56 – 63	58 – 33	56,49 (0,58)	57,50 (0,57)	56,36 (1,04)	57,29 (1,02)
S02	49 – 56	50 – 29	51,79 (0,51)	52,72 (0,57)	51,83 (1,60)	52,88 (1,04)
S03	35 – 42	58 – 37	32,47 (0,40)	38,43 (0,28)	32,24 (0,72)	38,07 (0,48)
S04	35 – 42	71 – 37	36,24 (0,42)	36,52 (0,38)	35,82 (0,72)	36,37 (0,73)
S05	42 – 49	64 – 44	50,17 (0,46)	49,09 (0,35)	49,27 (0,87)	49,10 (0,64)
S06	42 – 49	70 – 45	47,72 (0,40)	45,54 (0,35)	47,28 (0,75)	45,32 (0,64)
S07	63 – 84	67 – 13	65,75 (0,36)	64,53 (0,40)	64,84 (0,68)	64,05 (0,71)
S08	63 – 84	79 – 13	72,94 (0,56)	73,77 (0,47)	71,38 (1,06)	72,90 (0,85)
S09	63 – 84	69 – 23	75,30 (0,33)	75,03 (0,35)	73,27 (0,64)	74,09 (0,61)
S10	35 – 42	74 – 34	33,82 (0,86)	37,24 (0,44)	33,39 (2,79)	37,15 (0,80)
S11	42 – 49	90 – 48	50,39 (1,03)	47,61 (0,47)	49,68 (1,88)	47,64 (0,86)
S12	28 – 35	83 – 32	33,62 (0,99)	33,32 (0,41)	34,00 (2,40)	33,25 (0,71)
S13	28 - 35	57 – 46	35,59 (0,62)	29,19 (0,23)	35,48 (2,93)	29,02 (0,44)
S14	14 – 21	69 – 29	12,04 (0,72)	16,49 (0,27)	13,31 (0,43)	16,39 (0,45)
S15	14 – 21	67 – 30	16,83 (0,21)	16,78 (0,22)	16,88 (0,35)	16,87 (0,38)

IE – intervalo esperado (momento em que o P50 foi identificado experimentalmente); P50 – viabilidade de 50% do lote de sementes. EP – erro padrão. Em negrito estão os valores do P50 que ficaram dentro do IE.

Fischer (2011), descrevendo os princípios do Teorema Central do Limite (TCL), provou que o aumento do n amostral é eficiente para levar os resíduos de uma distribuição de dados à normalidade, o que naturalmente poderia melhorar o ajuste dos modelos; todavia ele é limitado devido a necessidade de um elevado número de sementes e ao aumento dos custos com análise. Neste estudo, foi identificado que 5 amostras dentre as 15 avaliadas tiveram o seu valor do P50 corrigido com o aumento de apenas 2 repetições, ou seja, 33% das amostras.

Como já explicitado anteriormente, os pressupostos das funções de Probit e Logit, são semelhantes. Pela Tabela 04, não foi possível identificar diferenças relevantes entre os dois modelos. Portanto, diferenciar o quanto um pode ser superior ao outro, depende de uma análise mais detalhada. Assim, os parâmetros de ajuste para aferição da qualidade de cada modelo foram comparados a partir dos parâmetros R^2 , $R^2_{ajustado}$, e do coeficiente de correlação de Pearson, sendo apresentados na Tabela 05 a seguir.

Tabela 05: Comparação dos parâmetros de ajuste dos modelos de Probit e Logit, com n amostral de 6 repetições.

Lote	Modelo	Parâmetros do modelo**		Parâmetros de ajuste		
		Intercepto (EP)	Inclinação (EP)	Pearson's r^{\dagger}	R^2	R^2_{adj}
S01	Probit	2,63 (0,16)	0,16 (0,004)	-0,70	0,73	0,73
	Logit	4,75 (0,29)	-0,08 (0,007)	-0,82	0,74	0,73
S02	Probit	2,66 (0,23)	-0,05(0,006)	-0,91	0,66	0,65
	Logit	4,80 (0,42)	-0,09 (0,010)	-0,91	0,66	0,65
S03	Probit	1,68 (0,09)	-0,04 (0,003)	-0,91	0,81	0,81
	Logit	2,90 (0,15)	-0,07 (0,006)	-0,91	0,81	0,81
S04	Probit	1,84 (0,11)	-0,05 (0,003)	-0,89	0,79	0,78
	Logit	3,20 (0,19)	-0,09 (0,006)	-0,89	0,79	0,79
S05	Probit	2,43 (0,11)	-0,05 (0,003)	-0,93	0,84	0,84
	Logit	4,34 (0,20)	-0,09 (0,006)	-0,92	0,84	0,83
S06	Probit	2,86 (0,13)	-0,06 (0,003)	-0,95	0,89	0,89
	Logit	5,08 (0,24)	-0,11 (0,240)	-0,95	0,89	0,88
S07	Probit	1,99 (0,10)	-0,03 (0,002)	-0,84	0,76	0,75
	Logit	3,48 (0,18)	-0,05 (0,004)	-0,84	0,75	0,75
S08	Probit	2,27 (0,12)	-0,03 (0,002)	-0,77	0,70	0,69
	Logit	4,07 (0,23)	-0,05 (0,005)	-0,82	0,70	0,70
S09	Probit	1,85 (0,09)	-0,02 (0,002)	-0,76	0,73	0,72
	Logit	3,23 (0,16)	-0,04 (0,003)	-0,84	0,73	0,72
S10	Probit	2,76 (0,15)	-0,07 (0,004)	-0,82	0,88	0,88
	Logit	4,93 (0,27)	-0,13 (0,007)	-0,91	0,88	0,88
S11	Probit	4,45 (0,27)	-0,09 (0,005)	-0,92	0,87	0,87
	Logit	8,13 (0,48)	-0,17 (0,010)	-0,92	0,87	0,87
S12	Probit	3,72 (0,29)	-0,11 (0,011)	-0,89	0,83	0,82
	Logit	6,79 (0,50)	-0,20 (0,019)	-0,89	0,84	0,83
S13	Probit	2,25 (0,09)	-0,07 (0,003)	-0,97	0,93	0,93
	Logit	3,99 (0,17)	-0,13 (0,006)	-0,96	0,93	0,93
S14	Probit	1,04 (0,10)	-0,06 (0,004)	-0,92	0,88	0,88
	Logit	1,77 (0,17)	-0,11 (0,006)	-0,92	0,89	0,88
S15	Probit	1,74 (0,07)	-0,10 (0,004)	-0,89	0,96	0,96
	Logit	3,03 (0,13)	-0,18 (0,007)	-0,97	0,96	0,96

Significativo pelo teste t ao nível de 99% de probabilidade, EP – erro padrão. \dagger Em que $-1 \leq r \leq 1$.

Os coeficientes R^2 e $R^2_{ajustado}$ foram próximos para os modelos de Probit e Logit, com uma leve tendência de maiores índices para o modelo de Logit. O coeficiente r de Pearson também teve índices maiores para o modelo de Logit. Este índice mede a intensidade da correlação linear entre as variáveis, portanto, quanto maior ele for, melhor será o ajuste linear do modelo. Se considerar que os valores resultantes da função de ajuste devem estar o mais próximo possível de uma reta, esse índice indica também, um comportamento de proporcionalidade quanto a linearidade da função, ou seja, os resultados indicam que o ajuste linear da função de Logit é melhor do que para a função de Probit, e conseqüentemente indica mais robustez de predição.

O diagnóstico da normalidade indica o quão próximo os resíduos gerados pelos modelos estão de uma distribuição normal. Ele revela também se a dispersão dos dados em torno da reta de regressão é uniforme. A normalidade dos resíduos gerados pelos modelos são uma ferramenta eficiente para se aferir a robustez de modelos quanto a qualidade da predição. A avaliação da normalidade pode ser realizada a partir de testes como Shapiro-Wilk (S-W), Lilliefors e Kolmogorov-Srminov, e, de forma complementar, a análise gráfica proporciona uma melhor leitura do comportamento dos resíduos, (SCHÜTZENMEISTER et al., 2012).

A interpretação dos testes de normalidade dos resíduos ocorre pelo índice p-valor: quando este for maior que o nível de significância (0,05), o teste indica que há normalidade nos resíduos gerados. Do contrário, rejeita-se a normalidade, conforme explicitado na Tabela 06.

Tabela 06: Comparação de três testes de normalidade aplicados para o ajuste dos modelos de Probit e Logit, com 6 repetições, RN – rejeita-se a normalidade, NRN – não se pode rejeitar a normalidade.

Lote	Teste	Probit		Logit	
		(p-valor)	Decisão	(p-valor)	Decisão
S01	S-W	4,12e ⁻⁷	RN	0,4	NRN
	Lilliefors	5,62e ⁻⁷	RN	0,09	NRN
	K-S	0,03	RN	0,50	NRN
S02	S-W	0,02	RN	0,06	NRN
	Lilliefors	0,13	NRN	0,12	NRN
	K-S	0,13	NRN	0,12	NRN
S03	S-W	0,23	NRN	0,04	RN
	Lilliefors	0,20	NRN	0,70	NRN
	K-S	0,70	NRN	0,52	NRN
S04	S-W	0,16	NRN	0,16	NRN
	Lilliefors	0,007	RN	0,02	RN
	K-S	0,20	NRN	0,27	NRN
S05	S-W	0,56	NRN	0,056	NRN
	Lilliefors	0,20	NRN	0,16	NRN
	K-S	0,83	NRN	0,59	NRN
S06	S-W	0,36	NRN	0,41	NRN
	Lilliefors	0,2	NRN	0,2	NRN
	K-S	0,64	NRN	1	NRN
S07	S-W	0,37	NRN	0,21	NRN
	Lilliefors	0,2	NRN	0,2	NRN
	K-S	1	NRN	0,97	NRN
S08	S-W	0,00001	RN	0,37	NRN
	Lilliefors	0,02	RN	0,20	NRN
	K-S	0,27	NRN	0,89	NRN
S09	S-W	4,95e ⁻⁹	RN	0,55	NRN
	Lilliefors	7,75e ⁻⁴	RN	0,20	NRN
	K-S	0,09	NRN	1	NRN
S10	S-W	3,51 e ⁻⁶	RN	0,94	NRN
	Lilliefors	0,002	RN	0,2	NRN
	K-S	0,14	NRN	1	NRN
S11	S-W	0,68	NRN	0,90	NRN
	Lilliefors	0,20	NRN	0,20	NRN
	K-S	0,88	NRN	1	NRN
S12	S-W	0,36	NRN	0,34	NRN
	Lilliefors	0,20	NRN	0,18	NRN
	K-S	0,78	NRN	0,64	NRN
S13	S-W	0,91	NRN	0,90	NRN
	Lilliefors	0,2	NRN	0,2	NRN
	K-S	1	NRN	1	NRN
S14	S-W	0,09	NRN	0,07	NRN
	Lilliefors	0,12	NRN	0,16	NRN
	K-S	0,55	NRN	0,62	NRN
S15	S-W	3,81e ⁻⁴	RN	0,19	NRN
	Lilliefors	2,03e ⁻⁴	RN	0,20	NRN
	K-S	0,058	NRN	0,75	NRN

S-W – Shapiro-Wilk test; K-S – Kolmogorov-Smirnov test. Decisão para normalidade ao nível de 5% de significância.

A função de Logit, teve menor rejeição de normalidade quando comparado ao modelo de Probit para a maioria dos lotes avaliados. Ela obteve apenas duas rejeições nos lotes S03, e S04, para apenas um dos três testes aplicados. Já o modelo de Probit obteve 5 cultivares com mais de uma rejeição quanto à normalidade, e ao todo, foram sete lotes que apresentaram pelo menos uma rejeição quanto à normalidade, ou seja, quase 40% das amostras estudadas.

Chen & Tsurumi (2011) relataram a dificuldade de se distinguir os modelos de Probit e Logit. Os autores sugerem que isso somente é possível com um número relevante de amostras. Portanto, os critérios clássicos de avaliação de parâmetros têm pouca eficiência em distingui-los. Assim, foi sugerido que a análise da normalidade dos resíduos poderia funcionar como uma ferramenta para elucidação das diferenças, o que ficou evidenciado pelos testes de Shapiro-Wilk, Kolmogorov-Smirnov e Lilliefors, e pela Normal Q-Q Plot descrita a seguir.

A análise gráfica da Normal Q-Q Plot indica com maior clareza a robustez do modelo de Logit, quando comparado ao modelo de Probit. As Figuras 1, 2, 3 e 4, referentes aos lotes S01, S02, S03 e S011 respectivamente, permitem avaliar essa diferença. O modelo de Probit para os dados do lote S01 tem comportamento não normal, especialmente nas extremidades, indicando a dificuldade deste modelo quanto ao ajuste deste comportamento. Já o modelo de Logit, tem claramente maior proximidade com a reta normal.

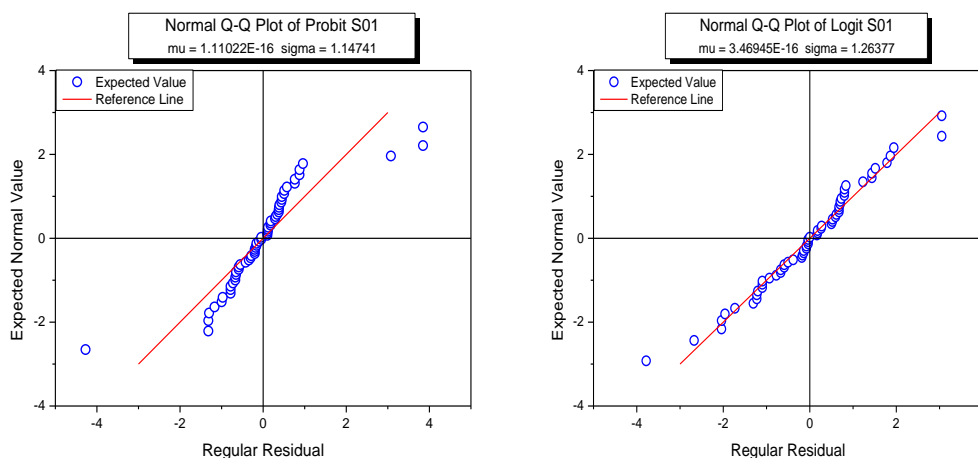


Figura 1, Gráfico da Normal Q-Q Plot para os modelos de Probit e Logit respectivamente, referente ao lote S01, e com aumento do n amostral para 6 repetições.

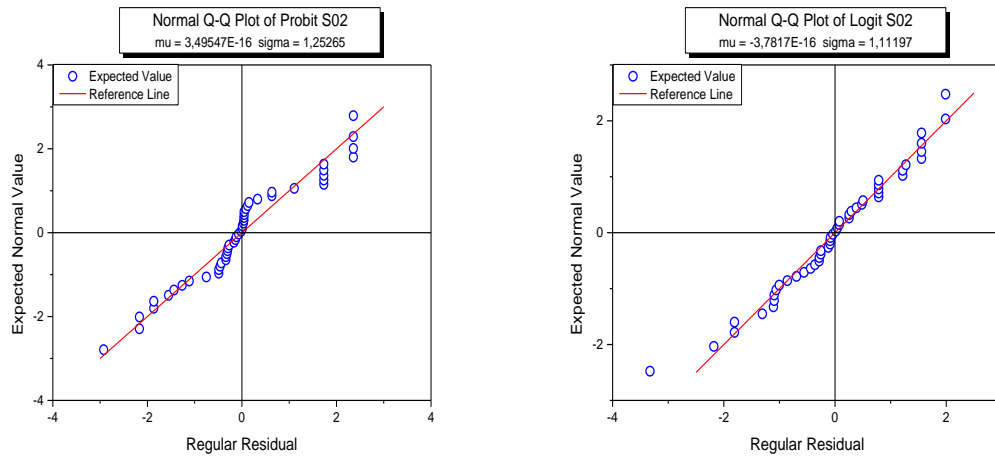


Figura 2, Gráfico da Normal Q-Q Plot para os modelos de Probit e Logit respectivamente, referente ao lote S02, após as correções de continuidade, e com aumento do n amostral para 6 repetições.

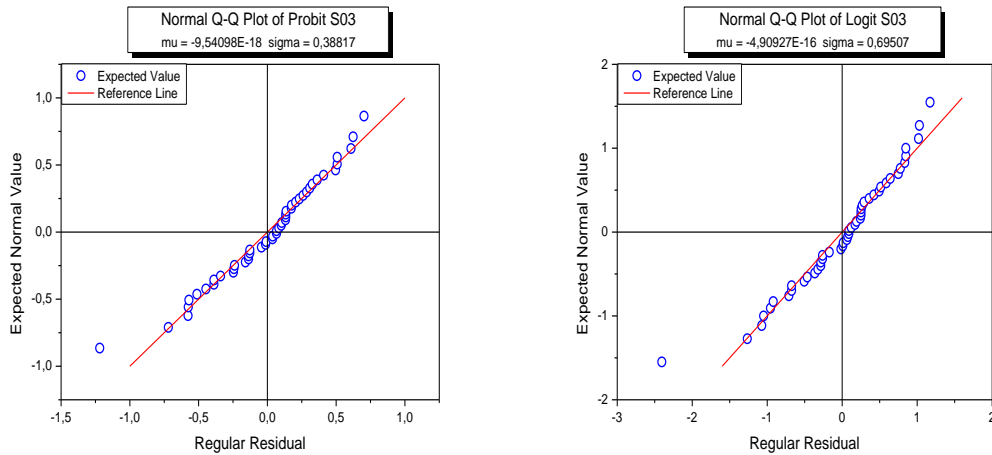


Figura 3: Gráfico da Normal Q-Q Plot para os modelos de Probit e Logit respectivamente, referente ao lote S03, para 6 repetições.

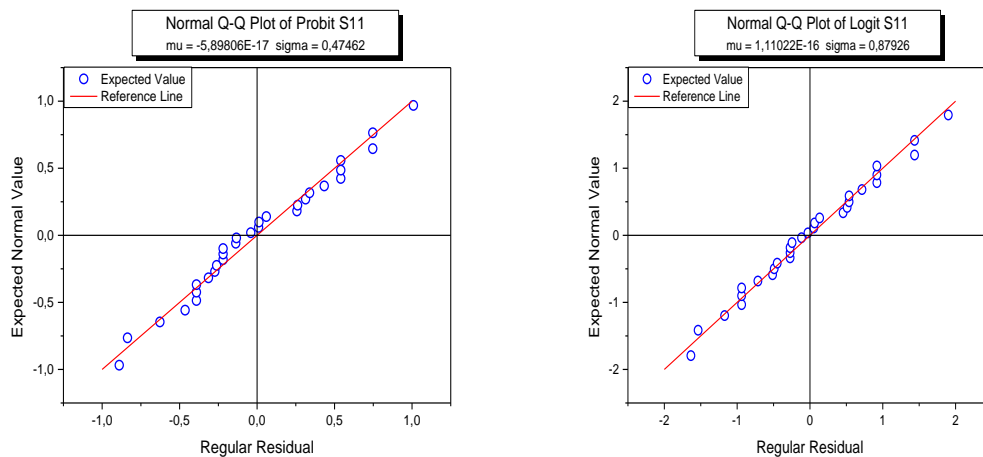


Figura 4: Gráfico da Normal Q-Q Plot para os modelos de Probit e Logit respectivamente, referente ao lote S11, para 6 repetições.

As Figuras 1, 2, 3 e 4 representam os gráficos da Normal Q-Q plot dos dados ajustados para os modelos de Probit e Logit onde foi observado que existe falta de normalidade em ambos os modelos, porém, ela é mais acentuada no modelo de Probit. Outra questão a ser destacada é da importância do diagnóstico da normalidade a partir do gráfico da Normal Q-Q Plot. Por ele pode-se verificar se no ponto de interesse, neste caso o eixo (0,0) há confluência dos dados observados aos preditos pela reta normal, pois quando não há, dificilmente ter-se-ia uma predição segura, o que ratifica essa ferramenta como um excelente parâmetro para aferição da qualidade de predição do P50.

Os lotes S04, S05, S06, S07, S08, S09, S10, S12, S13, S14 e S15 tiveram comportamento similar aos lotes S01, S02, S03 e S11. Nestes lotes, a função de Logit também teve melhor desempenho quanto à normalidade. Sinício (2004), estudando o modelo de Probit para as espécies grão de bico, feijão caupi, e soja, verificou que o modelo proposto por Ellis & Roberts (1980), podia apresentar erros significativos causados pelas incertezas no logaritmo do desvio padrão, sendo ainda maiores para altas temperaturas e umidade relativa. O autor ainda destaca que as incertezas relativas a predição para a cultivar de soja, chegavam à ordem de 802%.

Portanto, pelo diagnóstico da normalidade dos resíduos gerados pelos modelos de Probit e Logit, nota-se uma maior robustez do modelo de Logit em representar o comportamento da longevidade em sementes, quando comparado ao tradicional modelo de Probit, proposto por Ellis & Roberts (1980). Recomenda-se, porém, o uso de um número mínimo de 6 repetições que provou melhorar a predição e reduzir erros.

CONCLUSÕES

A função de ligação Logit é mais adequada que o função de Probit para a predição do índice de longevidade em sementes de soja (P50). Essa função apresentou maior robustez a não normalidade dos resíduos.

O aumento do n amostral de 4 para 6 repetições, é recomendado para melhoria do ajuste do cálculo do P50 em sementes.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGRESTI, A. **Categorical Data Analysis**. John Wiley & Sons, Incorporated, ProQuest Ebook Central, 2013, 724 p.

BOBKOV, S. G., CHISTYAKOV, G. P., GÖTZE, F. Fisher information and the central limit theorem. **Probab, Theory Relat, Fields**, v.159, p. 1 - 59, 2014.

BRASIL. **Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Regras para análise de sementes**. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. Brasília, DF: Mapa/ACS, 2009. 399p

CHEN G., TSURUMI H. Probit and Logit Model Selection. **Communications in Statistics - Theory and Methods**, v. 40, n.1, p.159-175, 2011.

DEMIR, I., MAVI, K. Effect of Controlled Hydration Treatments on Storage Longevity of Aubergine Seeds during Development. **Israel Journal of Plant Sciences**, v. 51, n. 4, p. 291–295, 2003.

ELLIS, R. H., *et al.*, Low Moisture Content Limits to Relations between Seed Longevity and Moisture. **Annals of Botany**, v. 65, n. 5, p. 493–504, 1990.

ELLIS, R. H., E. H. ROBERTS. The quantification of aging and survival in orthodox seeds. **Seed Science and Technology**. v. 9, p. 373-409, 1981.

ELLIS, R. H., E. H. ROBERTS. Improved Equations for the Prediction of Seed Longevity. **Annals of Botany**, v. 45, p.13-30, 1980

FISCHER, H. **History of the central limit theorem: from classical to modern probability theory**. New York: Springer (Sources and studies in the history of mathematics and the physical sciences), 2011, 415 p.

HAY, F., KLIN, J., PROBERT, R. “Can a Post-Harvest Ripening Treatment Extend the Longevity of rhododendron L, Seeds?” **Scientia Horticulturae**, v. 111, n.1, p. 80–83, 2006.

International Seed Testing Association (ISTA), International rules for seed testing, **Seed Sci Technol** v. 13, p. 300–520, 1985.

KHALILIAQDAM, N., *et al.*, “Soybean Seed Aging and Environmental Factors on Seedling Growth,” **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 44, n.12, p. 1786–1799, 2013.

MARCONDES, M. C., ANDREOLI, C., MIGLIORANZA, É. Viability Equation to Determine the Longevity of Fungicide-Treated Seeds of Wheat Stored in a Conventional Warehouse. **Acta scientiarum: agronomy**, v. 33, n. 3, p. 539–544, 2011.

OBUNYALI, C. O., *et al.* A Study on Comparative Longevity of Banked and Freshly Collected Seeds of Two Wild Sesame Species. **South African Journal of Botany**, v. 74, n. 4, p. 764–767, 2008.

ORAL E., **Binary Regression with Stochastic Covariates**, **Communications in Statistics - Theory and Methods**, v. 35, n: 8, 1429-1447, 2006.

Origin (Pro), Version 2019, OriginLab Corporation, Northampton, MA, USA.

PEREIRA LIMA, J. J., *et al*, O. Molecular characterization of the acquisition of longevity during seed maturation in soybean, **PLoS ONE**, v. 2, n.7, 2017.

R Development Core Team, R: A language and environment for statistical computing, R Foundation for Statistical Computing. Vienna, Austria, ISBN 3-900051-07-0, URL [http://www,R-project.org](http://www.R-project.org), 2009.

SCHÜTZENMEISTER, A., JENSEN, U., PIEPHO, H. P. Checking Normality and Homoscedasticity in the General Linear Model Using Diagnostic Plots. **Communications in Statistics: Simulation and Computation**, v. 41, n. 2, p. 141–154, 2012,

SINÍCIO R. Generalized Longevity Model for Orthodox Seeds. **Biosystems Engineering**, v.89, n.1, p. 85–92, 2004.

THODE, H. C. **Testing for normality**. New York: Marcel Dekker (Statistics, textbooks and monographs, v. 164), 2002, 483 p.

WALTERS, C. “Gene banking Seeds from Natural Populations,” **Natural Areas Journal**, v.35, n.1, p. 98 –105, 2015.

CAPÍTULO 2

EFEITO DO MAGNETO PRIMING NA QUALIDADE E LONGEVIDADE DE SEMENTES DE SOJA COM USO DE MICRO-ONDAS

RESUMO

As micro-ondas têm sido aplicadas à secagem de sementes de diversas espécies com manutenção da qualidade do produto com redução do tempo e custos. O magneto priming, com o uso de micro-ondas, surge como mais uma possibilidade de uso dessa tecnologia, visto que, benefícios à qualidade das sementes, têm sido mostrados na aplicação de outros espectros da energia eletromagnética. Contudo, pouco se sabe sobre o efeito das micro-ondas no incremento da qualidade fisiológica das sementes de soja e sobretudo os seus efeitos na longevidade das sementes. Portanto, foi objeto de estudo deste trabalho, o uso das micro-ondas na aplicação de magneto priming em sementes de soja. Para tanto, foram selecionadas duas cultivares de soja, submetendo-as à exposição de micro-ondas em ultra alta frequência (UHF) de 2,45 GHz no comprimento de onda de 11 cm, e potência de 0,2 W/g, durante 15 min. Os resultados mostraram que esta exposição às micro-ondas trouxe benefícios em ambas as cultivares após o tratamento. Foram observados incrementos nos índices de germinabilidade, do comprimento das plântulas, da absorção de água pelas sementes, da massa fresca, massa seca e na longevidade. Os dados encontrados asseguram o uso da técnica como opção viável para pré-tratamento como magneto priming em sementes de soja.

Palavras-chave: bioestímulo eletromagnético, sobrevivência de sementes, P50, ultra alta frequência, comprimento de onda, secagem, modelagem

2.1 INTRODUÇÃO

O uso de energia eletromagnética para aumentar a performance da germinação e vigor de sementes tem se mostrado como uma opção de baixo impacto ecológico, com possibilidade de uso em larga escala (ARAÚJO, *et al.*, 2016). A aplicação de micro-ondas na secagem de sementes sem prejuízo na germinação tem sido objeto de pesquisa em variados estudos, como em

SHIVHARE, *et al.* (1993), que definiu condições seguras para a secagem de sementes de soja com o uso de micro-ondas na frequência de 2,45 GHz.

A frequência das micro-ondas, variam na faixa de 300 MHz a 300 GHz e correspondem ao comprimento de 1m a 1 mm, respectivamente (BANIK *et al.*, 2003). Portanto, existe uma ampla faixa de uso dessa energia, que pode ser explorada com o fim de se obter um secagem segura e até mesmo algum efeito bioestimulador, conforme já verificado por alguns autores.

TALEI, *et al.*, (2013) identificaram em sementes de arroz um incremento significativo nos índices de germinação, e também na sua qualidade fisiológica. Em RAGHA, *et al.*, (2011), os autores identificaram aumento nos índices de germinação de sementes de trigo (*Triticum aestivum*), grão-de-bico (*Cicer arietinum*), feijão mungo verde (*Vigna radiate*), e feijão de orvalho (*Vigna Aconitifolia*), quando submetidos a um campo de micro-ondas de baixa potência. O uso da técnica em sementes de trigo, não apenas atuou como bioestímulo, mas também apresentou efeito profilático contra micro-organismos patológicos (KOZULINA, *et al.*, 2019).

Em sementes de soja, o uso da energia eletromagnética melhorou os índices de germinabilidade das sementes, de absorção de água, de comprimento de plântulas, da massa fresca e seca e reduziu a ação de enzimas antioxidantes. (SHINE, *et al.*, 2011; FATIMA *et al.*, 2017; BAGHEL *et al.*, 2018)

Os primeiros trabalhos reportando os benefícios do uso de energia eletromagnética em sementes datam de mais de 60 anos. JONAS (1952), identificou que sementes de cenoura e cebola tiveram aumento dos percentuais de germinação quando expostas a ondas de radiofrequência. Os autores YOSHIDA, & KAJIMOTO (1989), verificaram que condições específicas de exposição às micro-ondas durante a secagem, permitiram preservar o conteúdo de tocoferóis em sementes de soja. O expressivo aperfeiçoamento da tecnologia tem mostrado a possibilidade de uso das micro-ondas em secagem de sementes de milho (HEMIS, *et al.*, 2019), e benefícios na melhoria da qualidade fisiológica e nos parâmetros físico-químicos das sementes germinadas após o estímulo eletromagnético.

O uso de micro-ondas em amostras de soja verde mostrou-se eficiente na redução do tempo da secagem (CAO, *et al.* 2017). A tecnologia apresentou também, aumento na atividade antioxidante em feijão fava (*Vicia faba*) (RANDHIR R. & SHETTY K. 2004). Na *Phaseolus vulgaris* L. as sementes germinadas após exposição ao campo eletromagnético, obtiveram sensível biestímulo na frequência

de 890 – 915 MHz (BALINT, *et al.* 2015). Contudo, a ação bioestimulante em sementes de soja é pouco conhecida a nível do espectro eletromagnético das micro-ondas, sobretudo a respeito do seu efeito latente, ou seja, na longevidade das sementes.

Assim, o magneto priming obtido a partir das micro-ondas na frequência de 2,45 GHz, foi abordado neste estudo, a fim de se verificar os benefícios promovidos à qualidade fisiológica das sementes de soja logo após a sua exposição e sua resposta após o armazenamento em condições de alta temperatura e alta umidade relativa.

2.2 MATERIAL E METODOLOGIA

Preparo das amostras:

Duas variedades de soja foram selecionadas para este estudo, as sementes foram produzidas na safra do ano de 2018 na província de Quebec, no Canadá. As cultivares adquiridas foram OAC CALYPSO, semente convencional, codificada neste artigo como **C01**, e 28-15RY, cultivar com tecnologia Roundup Ready 2 Yield®, que foi codificada como **C02**. Após a coleta das amostras, ambas foram conduzidas ao laboratório de pós-colheita onde permaneceram armazenadas em condição ambiente a 21°C e 55% UR, até o momento de cada análise.

Procedimento de bioestimulação eletromagnética

A sementes submetidas a bioestimulação foram separadas em amostras de 100g, em seguida cada amostra foi colocada em camada única sobre um suporte dentro do equipamento gerador de energia eletromagnética (Figura 1). Durante a bioestimulação, as sementes receberam uma potência de 0,2 W/g \pm 0,1, em intervalos de 30 s durante 15 min, na frequência de 2,45 GHz. O equipamento utilizado foi um emissor de micro-ondas adaptado para produzir energia eletromagnética na potência e temperatura adequada as condições do estudo. Um sensor de fibra óptica foi inserido dentro da semente para que a temperatura interna do produto fosse controlada. O procedimento ocorreu com um fluxo de ar corrente a uma temperatura máxima de 40°C, o que permitiu a retirada de água do produto promovendo sua secagem.

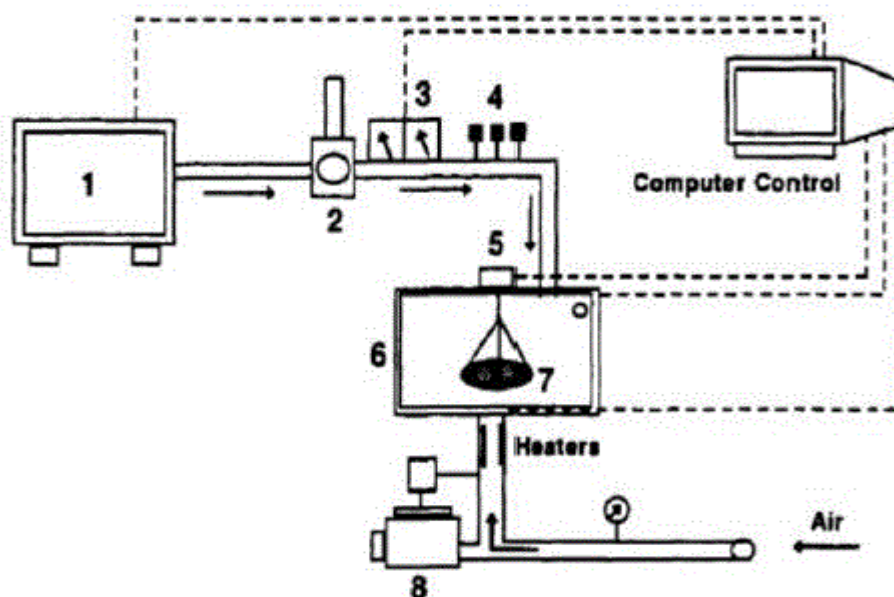


Figura 1 - Diagrama esquemático do secador (1: gerador de micro-ondas, 2: circulador, 3: medidores de potência, 4: parafusos de ajuste, 5: extensômetro, 6: câmara de micro-ondas, 7: porta amostra, e 8: ventilador). (Fonte: SALIM, et. al 2017)

O teor de água do produto foi aferido antes e depois da bioestimulação pelo método da Estufa em três repetições com 6 sementes cada, a $105^{\circ}\text{C} \pm 1$, durante 24h (ISTA, 1985). Uma curva de redução do teor de água, foi ajustada por meio do software Curve Expert[®]. (HYAMS, 2018)

Análise da germinabilidade e vigor das sementes:

Para realização do **teste de germinação (TG)** as sementes foram semeadas sobre duas folhas de papel de germinação umedecidos com água na quantidade de 2,5 vezes o seu próprio peso, em seguida, as sementes foram cobertas com mais uma folha de papel de germinação umedecido, sendo enroladas em formato cilíndrico. Os rolos de papel, foram montados com seis repetições de 50 sementes e acondicionados em sacos plásticos, devidamente selados, e submetidos a câmara de germinação a 25°C durante 8 dias. Ao fim desse tempo, as sementes que apresentaram pelo menos 1 mm de protrusão da radícula, foram consideradas como germinadas. Foram classificadas como **plântulas normais**, as sementes germinadas que apresentavam raiz, hipocótilo e folhas com desenvolvimento

normal, e **plântulas anormais**, aquelas que não apresentavam pelo menos uma destas três partes, ou que tivesse algum dano físico. (BRASIL, 2009)

O teste de **comprimento de plântulas** foi realizado com seis repetições de 10 sementes cada. As sementes foram alinhadas no terço superior de duas folhas de papel de germinação umedecido com água, em 2,5 vezes o seu peso. As sementes foram cobertas com uma folha de papel de germinação umedecido e enroladas em formato cilíndrico. Os seis rolos de cada tratamento foram acondicionados em um saco plástico, selados, e mantidos em câmara de germinação por oito dias a 25°C. Ao final de oito dias, as sementes que produziram plântulas normais, tiveram suas medidas de comprimento (cm), referentes à raiz e hipocótilo aferidas. (NAKAGAWA, 1999 adaptado de AOSA, 1983)

A análise da **massa fresca** do teste de comprimento de plântulas foi realizada com a medida do peso fresco da raiz e do hipocótilo, separadamente, de cada repetição de todas as plântulas que germinaram. Para análise da **massa seca**, as amostras do teste de massa fresca foram secas em estufa à 80°C durante 24 horas. Após esse período, as amostras foram colocadas em dessecador por trinta minutos, sendo pesadas em balança com precisão de 0,0001g. (NAKAGAWA, 1999)

A **curva de embebição** das sementes foi realizada com a medida do peso individual de 30 sementes, dispostas em uma placa de Petri, sobre duas folhas de papel de germinação. Cada semente teve seu peso previamente mensurado em balança de precisão de 0,0001g. Em cada placa de Petri foram adicionados 20 mL de água destilada. Durante o teste, as sementes foram mantidas em câmaras de germinação a 25°C, durante um período de 8 dias. O peso de cada semente foi novamente mensurado em intervalos que variaram de 3 a 24h, durante o período de incubação. Em cada pesagem, cada semente foi colocada sobre papel absorvente, certificando que não havia excesso de água livre ao redor do tegumento. A pesagem de cada semente era encerrada após a mesma emitir a protrusão de no mínimo 1mm de radícula, sendo considerada uma semente germinada. Ao final do teste, a curva de absorção de água *versus* tempo, foi construída a partir dos valores percentuais do peso de água absorvido. O ajuste dos modelos da curva de embebição foi realizado por meio do software Curve Expert®. (HYAMS, 2018)

A partir dos dados de germinação obtidos por meio do teste da curva de embebição, os índices de germinabilidade G_{MAX} , T_{50} , U_{8416} , T_{10} , AUC, e TMG, foram calculados pelo software GERMINATOR, (JOOSEN, *et. al.*, 2010) e a diferenciação

das médias obtidas foi realizada em delineamento inteiramente casualizado sendo aplicado o teste t ao nível de significância de 0,05. O índice G_{MAX} , representa o percentual total das sementes que germinaram identificado pela emissão de no mínimo 1mm de radícula, o T_{50} , é o tempo necessário para se atingir 50% de germinação em cada tratamento, o índice de uniformidade U_{8416} , representa o tempo gasto para que ocorra a germinação do intervalo de 16 a 84% do lote examinado. O parâmetro de germinação T_{10} , equivale ao tempo gasto para que 10% das sementes germinem. O índice AUC, representa a integração da curva ajustada entre $t = 0$ e um t final definido como o tempo da última leitura realizada no teste. O índice TMG, é o tempo médio dispendido para ocorrer a germinação do lote amostral.

Análise da longevidade das sementes

O estudo da longevidade foi realizado colocando as sementes armazenadas em uma condição de estresse térmico e de alta umidade relativa. Para tanto, as sementes foram conservadas em potes plásticos herméticos, com 100 mL de uma solução salina saturada, produzida com NaCl na proporção de 40g de NaCl/100g de água destilada, que simulava a condição de 75% UR no interior dos potes. Telas plásticas foram ajustadas sobre a solução, dentro de cada pote, que permitiam que as sementes ficassem suspensas, não tocando, portanto, na solução. Os potes com as sementes tratadas e com as amostras controle (sem tratamento), foram colocados fechados em estufa a temperatura constante de $42^{\circ}\text{C} \pm 1$. (NEWTON, *et al.*, 2014)

Após a instalação do teste da longevidade, um teste de germinação foi realizado com as amostras coletadas dessa condição de armazenamento, periodicamente. Após a realização do teste, foi ajustada uma curva, demonstrando a viabilidade das sementes durante o período de armazenamento. A curva demonstra o comportamento da sobrevivência das sementes sob essa condição de estresse desde o tempo zero, até o último dia em que foi identificada a morte total do lote de sementes, ou seja, sua total inviabilidade para gerar uma nova planta. A viabilidade das sementes foi identificada no teste de germinação pela protrusão da radícula de no mínimo 1mm.

A modelagem da longevidade foi realizada a partir da função de ligação Logit, cuja equação de ajuste é dada por $F(x) = \ln(x/(1-x))$, em que x é a porcentagem de germinação, dada no intervalo $[0,1]$. A reta formada pela escala Logit *versus* o

período de sobrevivência das sementes, permite calcular o P50 índice que indica o período, em dias, em que a germinação do lote de sementes perde 50% de sua viabilidade. Este índice é obtido após a transformação dos dados da germinação na escala Logit. A escala Logit é linear, portanto, a reta produzida pelo modelo permite encontrar o P50, de acordo com as Equações 1 e 2.

$$Y = \beta - \alpha X \quad \text{Eq. 1}$$

$$X_{P50} = \beta/\alpha \quad \text{Eq. 2}$$

onde β é o intercepto, ou seja, a viabilidade inicial do lote, α é a inclinação da reta, e indica a velocidade em que ocorre a queda da viabilidade, X é período de tempo (dias), e X_{P50} representa o número de dias em que ocorreu a perda de 50% da viabilidade do lote, ou seja, é o próprio índice P50.

Análise estatística

As sementes das cultivares escolhidas para o estudo foram separadas em dois grupos, o grupo **controle**, foi aquele que não recebeu o magneto priming, e o grupo de sementes que foram expostas ao magneto priming, foi codificado como **MP**. As duas cultivares de soja foram avaliadas quanto a sua qualidade fisiológica em delineamento inteiramente casualizado (DIC) e o teste não paramétrico de Wilcoxon pareado, escolhido por sua robustez a dados não normais, foi aplicado para diferenciação das médias obtidas, ao nível de significância de 0,05. O software R 3.61 foi utilizado como auxílio nas análises. (R Development, 2009)

2.3 RESULTADOS

O teor de água das sementes antes do processo de bioestimulação era de 6,39% para a cultivar C01 e 10,24% para a cultivar C02, e a redução do teor de água durante o magneto priming foi de 0,12 e 0,6 % para as cultivares C01 e C02, respectivamente. O processo da redução do teor de água na semente é apresentado na Figura 2. As curvas de secagem foram ajustadas pelo modelo Bleasdale, cujos parâmetros são apresentados na Tabela 01.

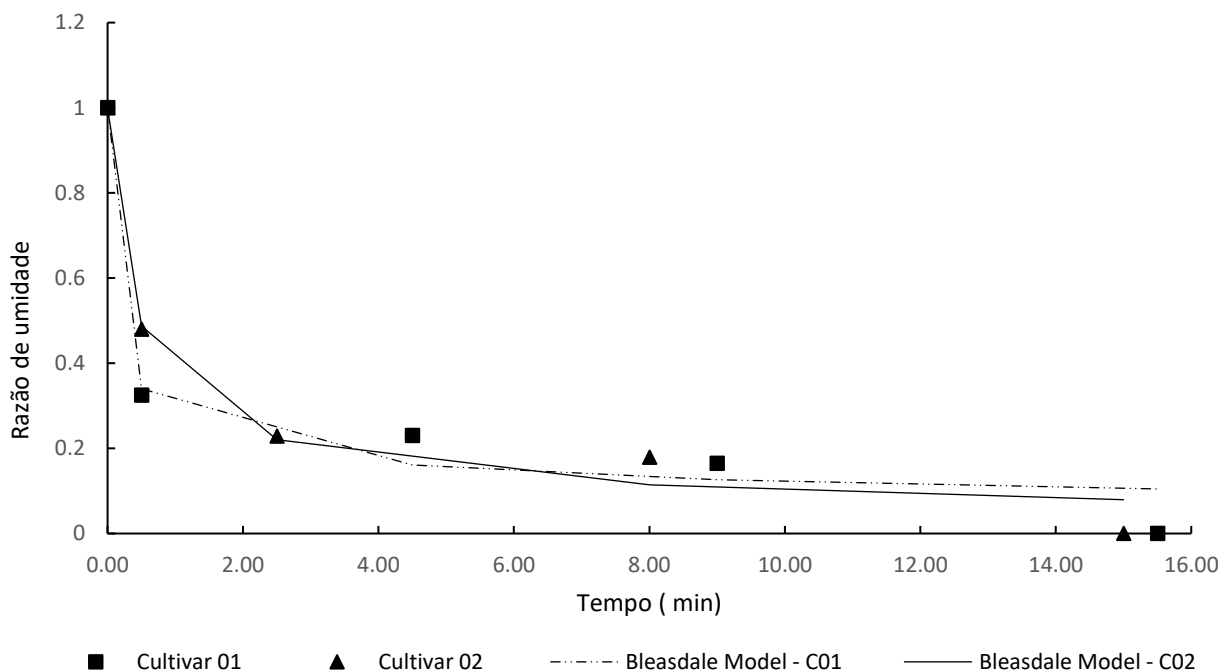


Figura 2 – Redução do teor de água durante o magneto priming.

Tabela 01 - Parâmetros do modelo de Bleasdale ajustados para a redução do teor de água nas sementes de soja submetidas ao magneto priming.

Cultivar	Temperatura °C	Power W/g	a	b	c	R ² *
C01	40	0,2	1,0005	42,777	2,8802	97
C02	40	0,2	1,0014	4,7325	1,6885	98

* Nível de significância de 0,05

A redução do teor de água nas sementes ocorreu conforme o esperado, sendo mais intensa no início da secagem, reduzindo a velocidade no transcorrer do tempo. Neste estudo, as sementes já se encontravam com teor de água baixo, portanto, a redução deste índice não foi expressiva.

Para uma avaliação específica do desempenho entre o grupo exposto ao magneto priming e o grupo controle, as cultivares foram analisadas separadamente. Para tanto, o mesmo teste de germinação foi analisado para verificação das diferenças dentro de cada cultivar, antes e após o magneto priming.

Na Figura 3 estão apresentados os resultados da primeira contagem, germinação, e de plântulas anormais, para a cultivar C01 e C02 posicionadas a esquerda, e à direita, respectivamente.

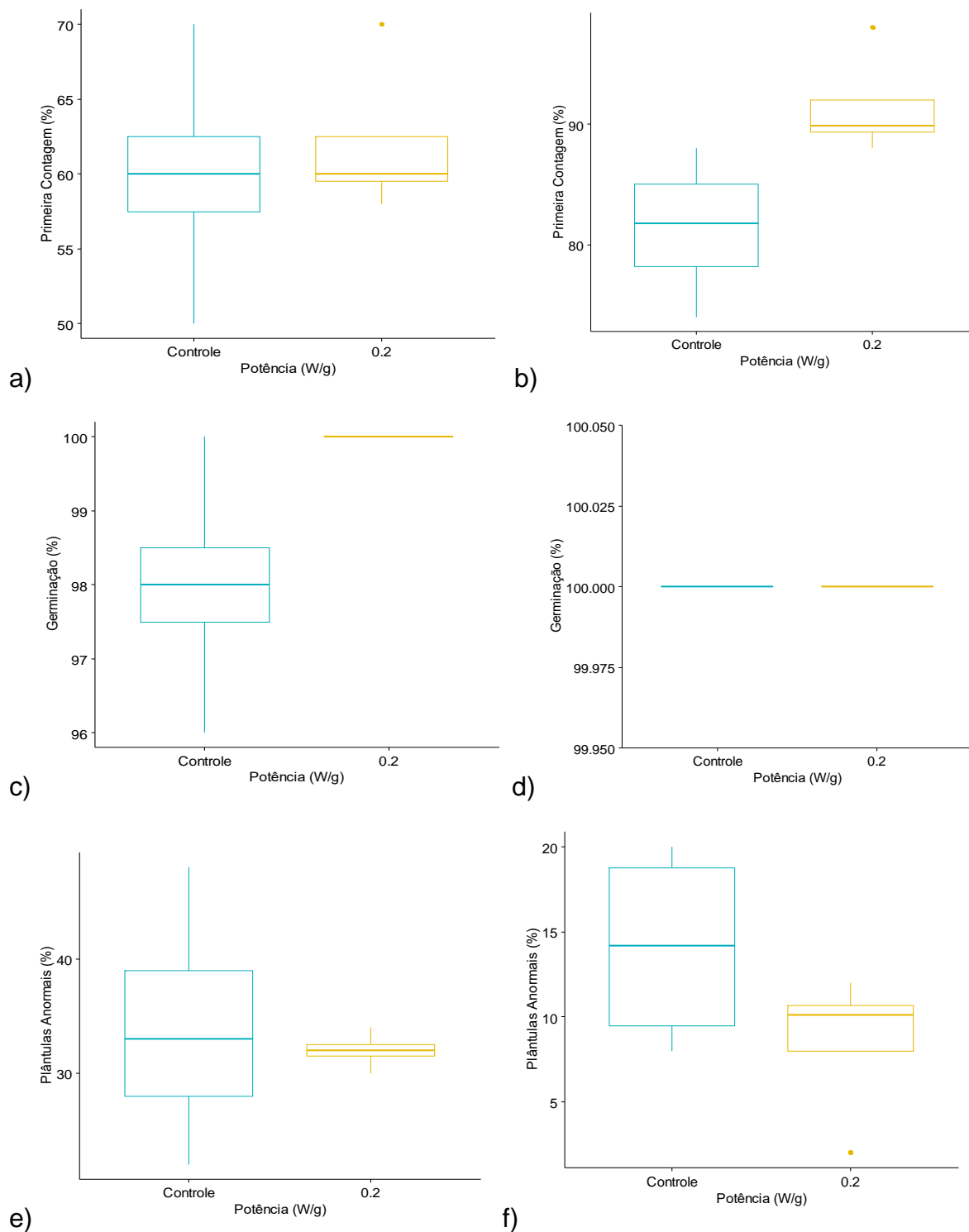


Figura 3 – Teste de germinação entre as sementes do grupo controle e aquelas que receberam o magneto priming. A esquerda, figuras a), c), e e) são referentes a Cultivar C01; a direita, figuras b), d), e f) se referem a Cultivar C02. As diferenças foram estimadas pelo teste de Wilcoxon pareado ao nível de significância de 0,05.

A análise das sementes de cada cultivar separadamente, confirmam que as cultivares C01 e C02 que receberam a bioestimulação, tiveram desempenho superior as amostras que não receberam o tratamento, nos índices de germinação e da primeira contagem, respectivamente. Os dados corroboram também com os de Aladjadjiyan (2002), que estudando sementes das espécies *Gleditschia triacanthos*, *Caragana arborescens*, *Laburnum anagiroides* e *Robinia pseudoacacia*, verificou o aumento dos índices de germinação após exposição às micro-ondas com potências de 255, 425, 850 W durante um período de 30 s, indicando inclusive, a quebra de dormência das sementes dessas espécies.

A partir da análise do TG vê-se que as cultivares C01 e C02 possuem sementes de qualidade fisiológica diferenciada. Para o grupo controle, a cultivar C02 se mostrou superior a C01 no índice geral de germinação e no teste de vigor da primeira contagem; apresentou também menor índice de plântulas anormais. No grupo submetido ao magneto priming, o destaque foi da cultivar C02, onde observou-se maior índice de plântulas normais no teste de vigor da primeira contagem do TG. Os autores Tylkowska et al., (2010) também identificaram um aumento dos índices de plântulas normais na primeira contagem do TG, e redução de plântulas anormais, em sementes de *Phaseolus vulgaris* L., após exposição às micro-ondas por um período que variou de 15 a 120 segundos.

A análise do TG mostrou que os grupos submetidos a bioestimulação, apresentaram em pelo menos um fator, uma superioridade ao grupo controle. A cultivar C01 teve diferença significativa no índice de germinação geral, em relação ao grupo controle. Na cultivar C02, conforme já citado, foi superior ao grupo controle no teste de primeira contagem.

O teste também apresenta que as amostras tratadas com o magneto priming foram mais uniformes que as amostras controle. Ou seja, a dispersão ao redor do valor da mediana foi menor, levando a formação de plântulas mais fortes e uniformes, conforme pode ser percebido pela Figura 4.

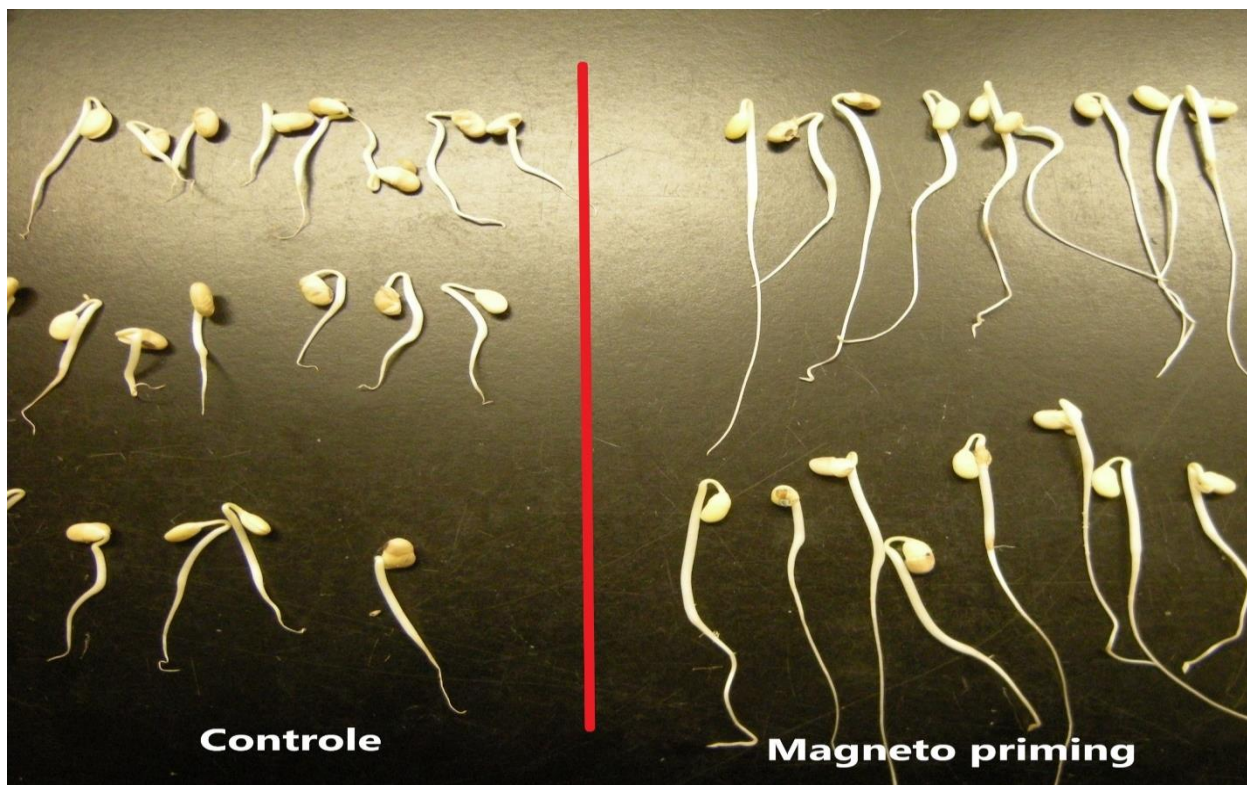


Figura 4 – Plântulas oriundas do teste de germinação referentes a Cultivar C02 antes e após o magneto priming.

A imagem da Figura 4, apresenta parte das plântulas normais produzidas no TG para a cultivar C02 e ilustra a qualidade das plântulas após o magneto priming. A diferença no tamanho e uniformidade das plântulas pode ser visivelmente notada a partir da imagem. A cultivar C01, por ter um número maior de plântulas anormais, não foi observado aspectos visíveis dessa diferença, contudo, pela análise gráfica dos resultados do TG, viu-se que a cultivar também foi beneficiada pelo tratamento, apresentando melhores parâmetros de germinação e uniformidade.

Os dados do teste de comprimento de plântulas também foram analisados para cada cultivar individualmente. Na Figura 5 estão apresentados os resultados das análises realizadas nas amostras das sementes logo em seguida ao tratamento aplicado.

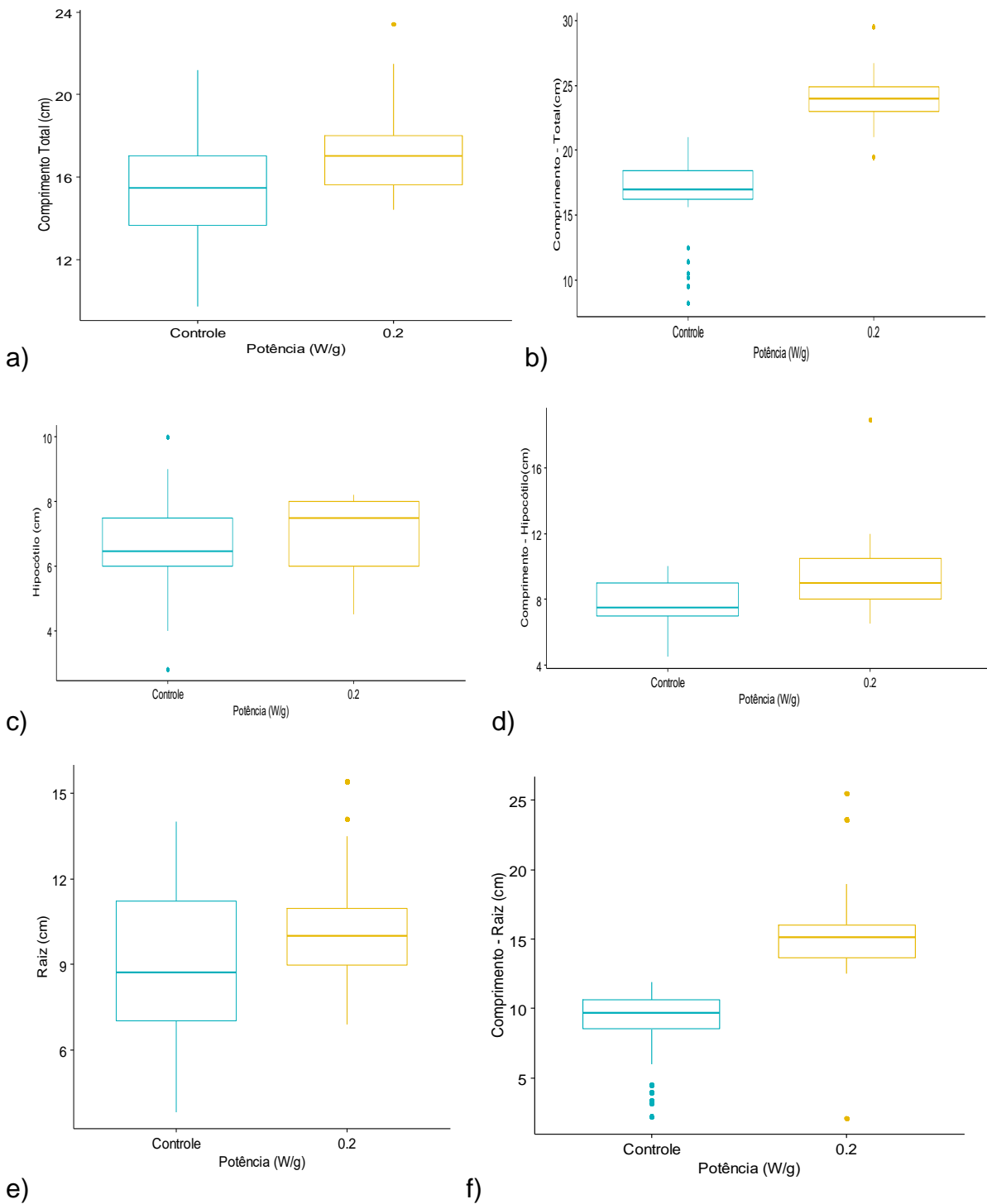
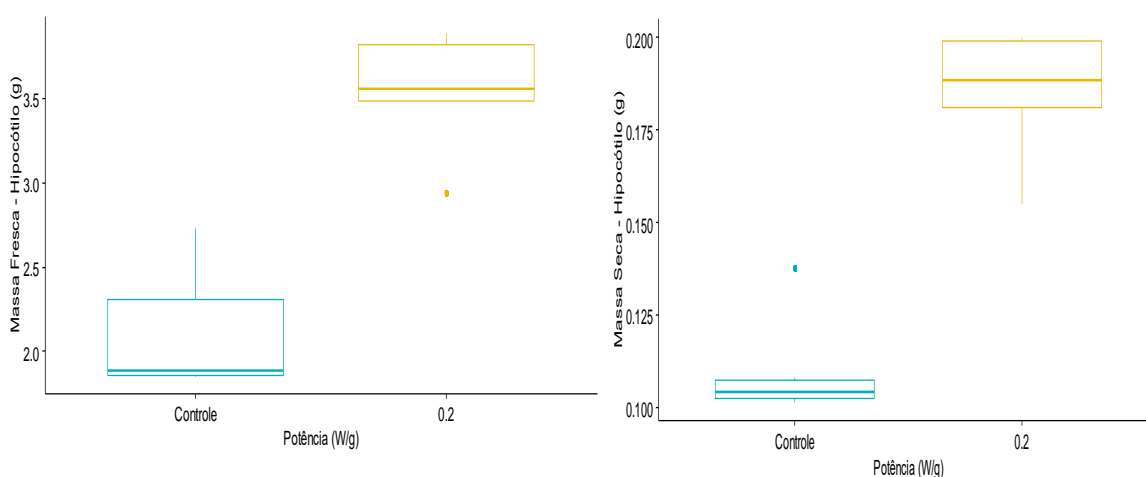


Figura 5 – Teste de comprimento de plântulas entre as sementes do grupo controle (0 W/g), e aquelas submetidas ao magneto priming (0,2 W/g). A esquerda, figuras a) c) e) são referentes a Cultivar C01; a direita, figuras b) d) e f) se referem a Cultivar C02. As diferenças foram estimadas pelo teste de Wilcoxon pareado ao nível de significância de 0,05.

A cultivar C02 apresentou diferença significativa no teste de comprimento de plântulas. Os índices avaliados foram maiores para as sementes bioestimuladas, no seu comprimento total, e no comprimento da raiz das plântulas. O fato de o tratamento ter possibilitado maior desenvolvimento radicular às plântulas, é particularmente relevante, no que se refere à capacidade de absorção de água e nutrientes que essa planta poderá desenvolver a campo. Os dados obtidos neste estudo corroboram os de AMIRNIA (2014) que, estudando sementes de soja, também identificou incremento nos índices de germinação, crescimento das plântulas, e na massa seca de plântulas germinadas após exposição às micro-ondas por 20 segundos com uma potência de 200 W.

Essa cultivar já tinha demonstrado bom desempenho no teste de germinação. O teste de comprimento de plântulas é uma segunda confirmação de que a energia eletromagnética trouxe benefícios nos índices fisiológicos dessa cultivar. A cultivar C01 não teve diferença significativa neste teste, contudo, as medianas apresentadas nos gráficos, tiveram valores maiores, em cada um dos três parâmetros avaliados. Cabe ainda ressaltar que a dispersão dos dados obtidos, foi ligeiramente menor em dois dos três parâmetros avaliados.

Em seguida ao teste de comprimento de plântulas, foi realizada a checagem da massa fresca e massa seca, da raiz e hipocótilo das plântulas oriundas do teste de comprimento de plântulas. Os resultados apresentados na Figura 6 a seguir, são referentes a cultivar C01.



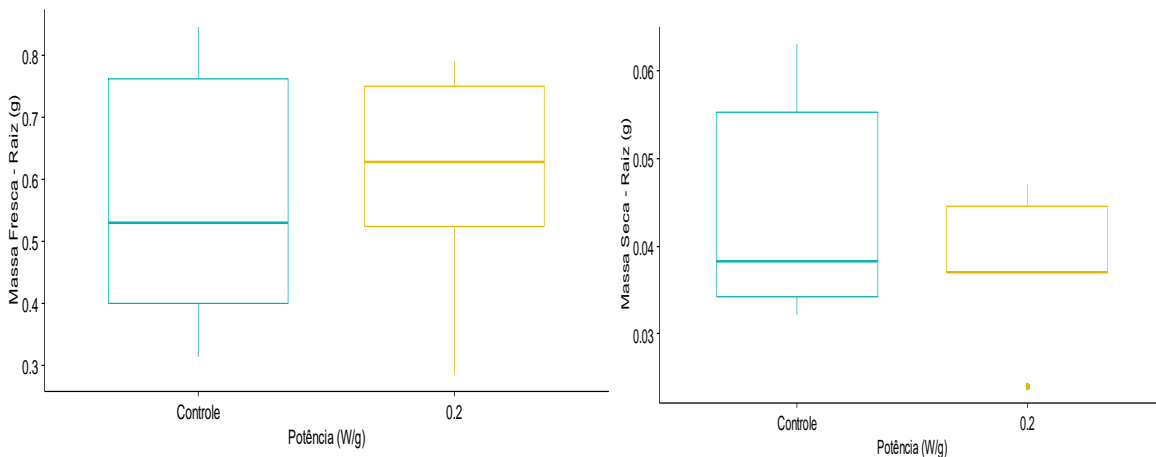


Figura 6 – Teste da massa fresca e massa seca da cultivar C01 de plântulas produzidas no grupo controle e aquelas expostas ao magneto priming (0,2 W/g). As diferenças foram analisadas por meio do teste de Wilcoxon pareado ao nível de significância de 0,05.

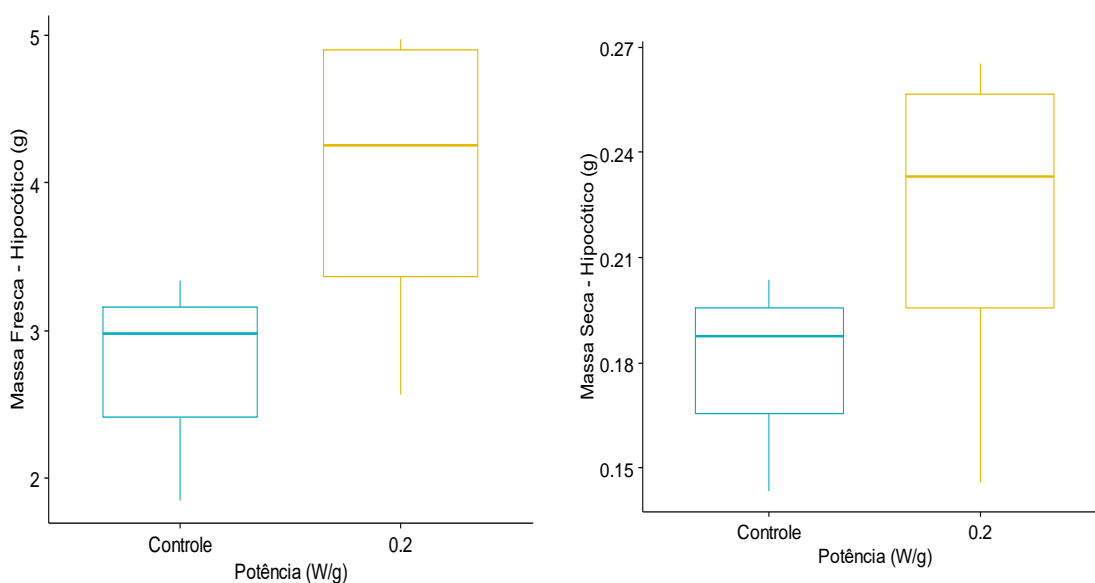
A massa fresca e massa seca do hipocótilo da cultivar C01 apresentaram diferença significativa para as amostras bioestimuladas. Apesar do comprimento não ter sido diferente em relação ao grupo controle, o seu peso indica que essa região pode ter formado estrutura de maior calibre, o que justificaria o aumento do peso fresco e peso seco da amostra.

Amostras de plântulas normais e anormais encontradas na cultivar C01 do grupo controle estão representadas na Figura 7. Durante a análise percebeu-se que a porção de sementes anormais apresentavam uma deformação muito frequente na formação da parte radicular. A análise carece de maior investigação, contudo, pode-se inferir que tal deformidade tenha induzido as sementes bioestimuladas a desenvolverem um crescimento mais expressivo do hipocótilo e não da raiz, conforme observado na cultivar C02.



Figura 7 – Amostras de plântulas normais (extremos) e anormais (centro) produzidas pela cultivar C01 no grupo controle.

O teste de massa fresca e massa seca da cultivar C02 apresentado na Figura 9, apresenta valores significativamente maiores para as sementes submetidas ao magneto priming. Esse teste confirma que não somente o comprimento das raízes foi maior, mas também seu conteúdo de massa. Esse resultado é mais um indicativo de que o magneto priming foi capaz de exercer um aumento significativo nos parâmetros fisiológicos das plântulas.



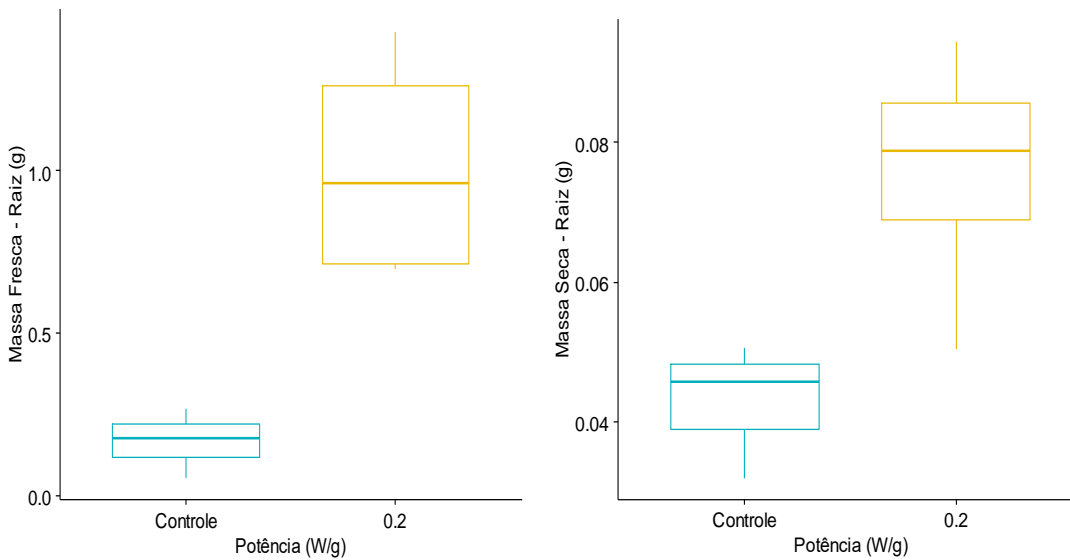
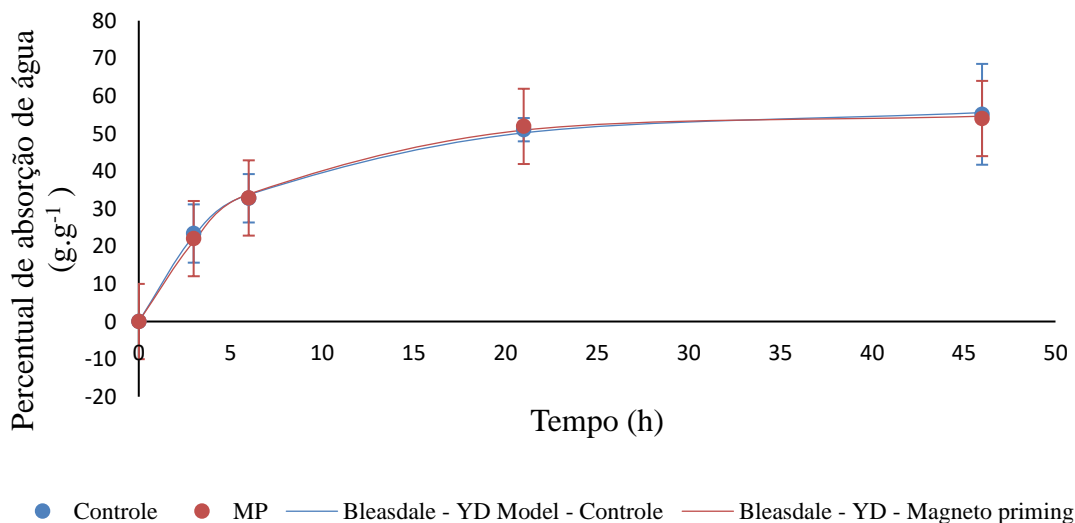
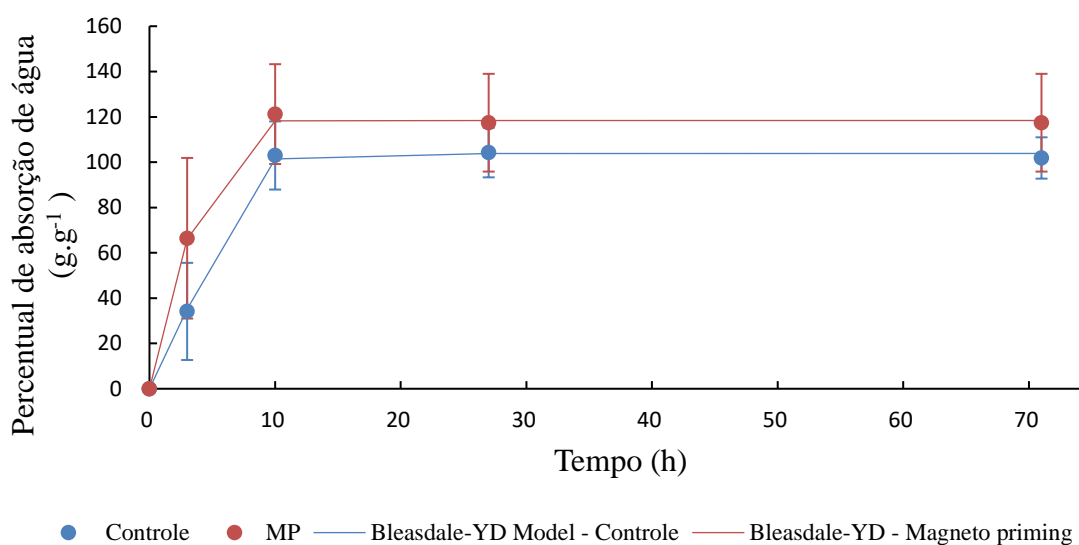


Figura 8 – Teste da massa fresca e massa seca da cultivar C02 de plântulas produzidas no grupo controle (0 W/g) e aquelas expostas ao magneto priming (0,2 W/g). As diferenças foram analisadas por meio do teste de Wilcoxon pareado ao nível de significância de 0,05.

Para que o processo de germinação comece a ocorrer nas sementes de soja, é necessário que uma determinada quantidade de água seja absorvida. A marcha de absorção de água nas sementes pode trazer relevantes informações sobre sua qualidade. Na Figura 9, estão apresentados os dados percentuais de absorção de água das sementes das cultivares C01 e C02, para os grupos controle e expostos ao MP, respectivamente. Em seguida na Tabela 02, estão apresentados os parâmetros dos modelos ajustados ao processo de absorção de água pelas sementes.



a)



b)

Figura 9 - Curva de absorção de água das sementes de soja antes e após exposição ao magneto priming. a) cultivar C01; b) cultivar C02. Barra de erro indica desvio padrão (n = 3).

Tabela 2 - Parâmetros do modelo de Bleasdale YD dado por $y = x(a + bx^\theta)^{-1/\theta}$, e ajustado para a curva de absorção de água nas sementes de soja antes e após exposição ao magneto priming (MP).

Cultivar	Tratamento	a	b	θ	R ² *
C01	Controle	$7,02 \times 10^{-02}$	$1,07 \times 10^{-02}$	1,10	0,99
	MP	$3,71 \times 10^{-02}$	$1,90 \times 10^{-03}$	1,55	0,99
C02	Controle	$5,63 \times 10^{-12}$	$5,91 \times 10^{-12}$	10,53	0,99
	MP	$1,39 \times 10^{-11}$	$1,76 \times 10^{-17}$	8,08	0,99

* Nível de significância de 0,05

A capacidade de absorção de água das sementes bioestimuladas foi mais veloz e superior, em média, que as sementes do grupo controle para a cultivar C02. Os autores Bewley, *et al.*, (2013) relatam que esse fenômeno pode ocorrer quando as sementes do grupo com curva mais elevada, apresentam compostos osmoticamente mais reativos em sua composição. Em outras palavras, isso significa que proteínas e carboidratos podem ter-se quebrado, disponibilizando aminoácidos e açúcares para o processo de multiplicação celular mais acelerado. Os índices de germinabilidade apresentados na Tabela 03 evidenciam que para a cultivar C02, houve maior velocidade de germinação confirmadas pelos índices T₅₀, T₁₀ e TMG.

Na cultivar C01, não se observou diferenças significativas neste teste, contudo as médias dos índices T_{50} , T_{10} e TMG foram menores, indicando uma tendência na melhora destes parâmetros.

Tabela 03 – Índices de germinabilidade obtidos por meio do teste de absorção de água para as sementes antes e após o processo de magneto priming (MP), das cultivares C01 e C02.

Cultivar	Tratamento	G_{MAX} (%)	T₅₀ (h)	U₈₄₁₆ (h)	T₁₀ (h)	AUC	TMG
C01	Controle	100 a	23,9 a	15,2 a	15,8 a	22,9 a	24,2 a
	MP	100 a	20,5 a	15,7 a	12,5 a	25,8 a	21,1 a
C02	Controle	100 a	30,5 b	11,6 a	23,9 b	16,0 a	30,3 b
	MP	100 a	22,9 a	21,7 a	12,6 a	22,3 b	21,7 a

* Tratamentos que compartilham a mesma letra, não se diferem pelo teste t ao nível de 0,05 de significância.

A cultivar C02 continuou a apresentar maior desempenho nos índices de vigor descritos na Tabela 03. A cultivar teve maior velocidade de germinação, muito possivelmente por apresentar mais energia biodisponível na forma de aminoácidos e açúcares em sua composição. Contudo, o índice de uniformidade AUC foi inferior. Sabe-se que a aplicação da energia eletromagnética pode não ser homogênea dentro da câmara de incidência da radiação. Provavelmente, esse foi o fator que trouxe a redução desse índice, todavia, para a cultivar C01, o mesmo comportamento não ocorreu. A cultivar C01 também não apresentou diferença nos demais índices, o que é um indicativo de que a atuação dos benefícios da exposição ao magneto priming varia de acordo com a cultivar.

As amostras de soja de ambas as cultivares antes e após o magneto priming foram submetidas ao estudo da longevidade conforme descrito anteriormente. Os dados da probabilidade de germinação durante o armazenamento das sementes estão apresentados na Figura 11. O comportamento da longevidade apresentou curva superior para os tratamentos que foram submetidos ao magneto priming.

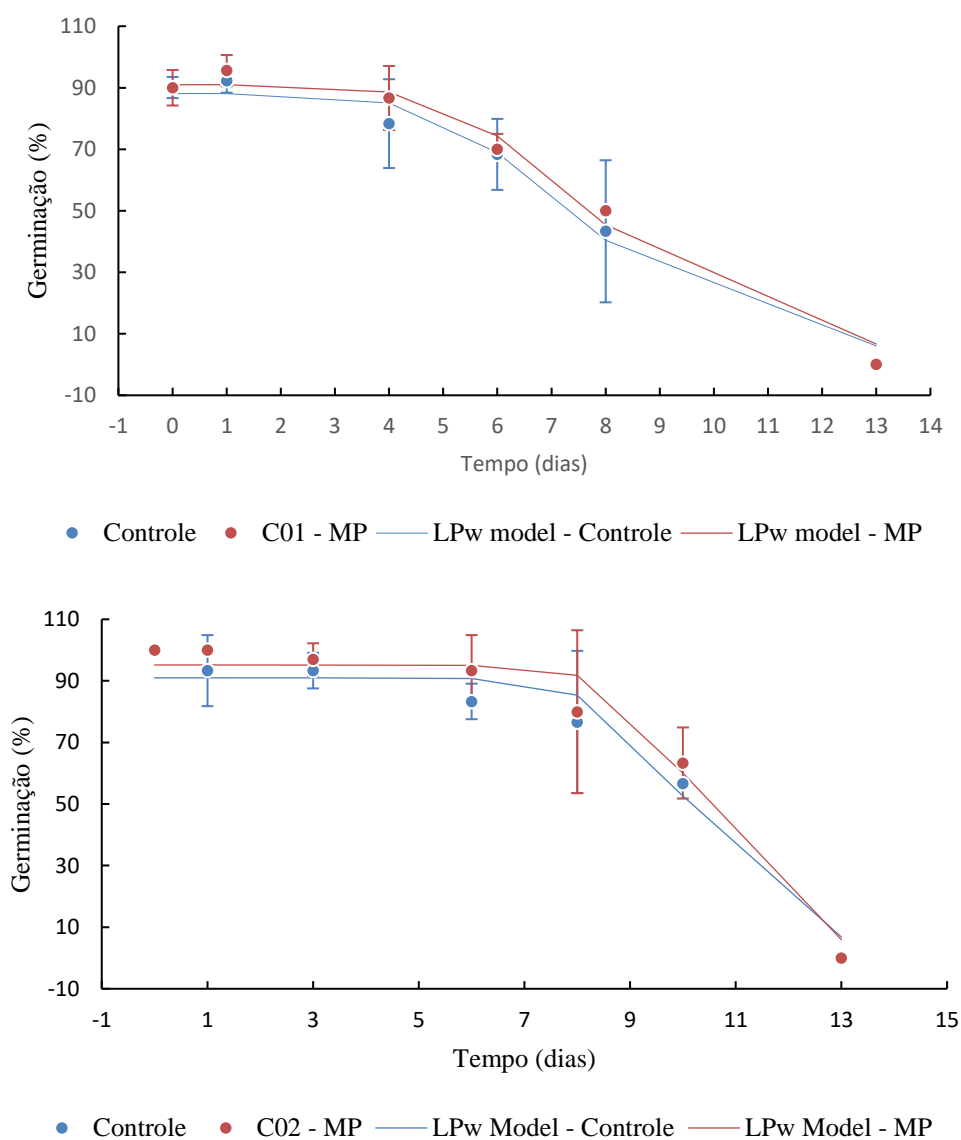


Figura 11: Curva de sobrevivência das sementes de soja armazenadas à temperatura de $42^{\circ}\text{C}\pm 1$ e 75% UR. a) Cultivar C01. b) Cultivar C02. Modelo de Logistic Power (LPw), foi utilizado no ajuste do comportamento da curva. Barra de erro indica desvio padrão ($n = 3$).

Tabela 04: Modelos de ajuste da curva de longevidade das sementes de soja antes e após exposição ao magneto priming (MP).

Índice de avaliação	Cultivar	Modelo	Parâmetros do modelo							
			Controle				MP			
			a	b	c	R ^{2*}	a	b	c	R ^{2*}
Germinação	C01	LPw	88,11	7,74	5,03	0,89	90,98	7,99	5,21	0,96
	C02	LPw	90,99	10,29	10,78	0,96	95,17	10,44	12,38	0,97
Predição da longevidade			β	σ	P50	R ²	β	σ	P50	R ²
	C01	Logit	2,643	0,332	7,95	0,66	2,804	0,317	8,83	0,68
	C02	Logit	3,88	0,343	11,30	0,34	2,814	0,229	12,25	0,37

LPw – Modelo Logistic Power dado por $y = a/(1+(x/b)^c)$; Modelo de Logit dado por: $Y = \beta - \alpha X$ e P50 – período de tempo de 50% de sobrevivência das sementes, dado por $X_{P50} = \beta/\alpha$. * Nível de significância de 0,05

Os valores do P50 calculado pelo modelo de Logit, confirmam que os índices de qualidade fisiológica das sementes foram superiores para as sementes expostas ao magneto priming. As sementes tratadas, de acordo com o modelo de Logit, tiveram um incremento do P50 de 0,88 e 0,95 dias a mais que as sementes não tratadas para as cultivares C01 e C02 respectivamente. Isso representa um aumento de 11% da cultivar C01 e 8% da cultivar C02 no tempo médio da longevidade dessas cultivares

Este resultado revela que os benefícios promovidos pela bioestimulação ocorreram não apenas na avaliação logo após o procedimento do magneto priming, mas também se manteve durante o período de vida da semente. Mesmo quando as sementes foram submetidas a alta temperatura e alta umidade relativa, a superioridade das sementes tratadas se manteve. Essa informação é reveladora, pois pode-se inferir que o magneto priming foi capaz de prolongar o período de viabilidade das sementes, o que pode trazer uma série de benefícios para manutenção de lotes armazenados, para fins comerciais, e para preservação de espécies em bancos de sementes.

DISCUSSÃO

O uso da bioestimulação eletromagnética em sementes tem sido objeto de estudo em diversos trabalhos. Sementes de soja tiveram incremento nos índices físicos e químicos após bioestimulação em equipamento gerador de campo eletromagnético pulsado a 10 Hz e 1500 nT, por 20 dias, 5 horas ao dia (RADHAKRISHNAN, & KUMARI, 2012). Contudo, HALGAMUGE *et al.*, (2015) identificou redução do crescimento de plântulas de soja após exposição às micro-ondas com frequência de 900 MHz. Neste estudo ficou evidenciado que o aumento de parâmetros físicos/fisiológicos, podem ser adquiridos, de forma segura, mesmo em um tempo reduzido de exposição do produto a energia eletromagnética.

KATARIA *et al.*, (2017), estudando o efeito do pré-tratamento de um campo magnético estático de 200 mT por 1 h em sementes submetidas a estresse da radiação UV-A e UV-B, encontraram menores índices de peróxido de hidrogênio e de atividade de enzimas antioxidantes. A longevidade das sementes teve, em média, valores superiores de germinação durante quase todo o período de armazenamento em condições de alta temperatura e alta umidade relativa. Este resultado é um indicativo de que possivelmente o bioestímulo produzido neste estudo tenha promovido um efeito semelhante, reduzindo a atividade antioxidante nas sementes e proporcionando maior longevidade.

O uso de campo eletromagnético com baixa frequência foi testado em sementes de feijão [*Vigna radiata* (L.) Wilczek] por Nair, *et al.* (2018), que confirmaram aumento nos índices de cálcio e fósforo e no conteúdo de proteína; contudo não foram observados incrementos no comprimento e na germinação das sementes. Neste estudo, o índice de germinação da cultivar C01, também obteve aumento significativo, mesmo já sendo inicialmente elevado, e apesar desta cultivar não apresentar aumento no comprimento e na velocidade de germinação, foi identificado maior peso fresco e seco das plântulas, e melhor desempenho na longevidade, o que é um indicativo de que podem ter ocorrido mudanças bioquímicas nas sementes.

MILDAZIENE *et al.*, (2019) ao exporem sementes de girassol a um campo eletromagnético com radiofrequência de 5,48 MHz, identificaram que o tratamento alterou o balanço de fito-hormônios nas plântulas e a expressão de genes a longo prazo nas folhas, que levou à expressão de proteínas envolvidas nos processos

fotossintéticos. Portanto, a julgar pelo incremento na longevidade das sementes de soja observado neste trabalho, pode-se inferir que processo semelhante tenha ocorrido, contudo, tal análise carece de mais investigação.

Os resultados apresentados neste estudo evidenciam que o magneto priming com uso de micro-ondas pode trazer benefícios à qualidade fisiológica e à longevidade das sementes de soja, podendo ser utilizado inclusive durante o processo de secagem das sementes. Os benefícios no incremento do tempo de viabilidade das sementes, apresenta potencial para ser utilizado também como um pré-tratamento para outros tipos de priming que costumam reduzir a longevidade das sementes de alto vigor (VARIER, *et al.*, 2010). Contudo, a tecnologia de exposição às micro-ondas ainda carece de avanços em engenharia que possibilitem o seu uso em larga escala.

CONCLUSÃO

O procedimento de bioestimulação eletromagnética das sementes com o uso de micro-ondas na potência de 0,2 W/g durante 15 min a 40°C, foi capaz de promover a secagem das sementes e ao mesmo tempo melhorar a sua qualidade fisiológica.

Os parâmetros de germinabilidade, comprimento das plântulas, absorção de água, massa fresca e seca obtiveram melhoria após a exposição ao magneto priming.

O magneto priming a partir das micro-ondas foi capaz de promover incrementos nos parâmetros da longevidade das sementes. Contudo, os resultados podem variar entre diferentes cultivares.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALADJADJIYAN A. Influence of microwave irradiation on some vitality indices and electroconductivity or ornamental perennial crops. **Journal Central European Agriculture**, v.3, n.4, p. 271 – 276, 2002.

AMIRNIA R. Effect of Microwave Radiation on Germination and Seedling Growth of Soybean (*Glycine max*) Seeds. **Adv. Environ. Biol.**, v. 8, n. 24, p. 311-314, 2014.

ASSOCIATION OF OFFICIAL SEED ANALYSTS. **Seed vigortesting handbook. East Lansing: AOSA**, 1983. 93p. (Contribution 32).

ARAÚJO, S. DE S., *et al.* Physical Methods for seed invigoration: Advantages and Challenges in seed Technology. **Front Plant Sci.** v.7, n. 646, 2016.

BAGHEL L., KATARIA S., GURUPRASAD K. N. Effect of static magnetic field pretreatment on growth, photosynthetic performance and yield of soybean under water stress. **Photosynthetica**, v. 56, n. 2, p. 718 – 730, 2018.

BALINT C., *et al.*, Testing innovative technique based on microwave irradiation, for stimulation common bean germinations and development. **Bulletin UASVM Agriculture**, v.72 n. 1, p 13 – 17, 2015.

BANIK, S., BANDYOPADHYAY S., GANGULY, S. Bioeffects of microwave – a brief review. **Bioresource Technology**, v. 87, p 155 – 159, 2003.

BEWLEY J. D., *et al.*, **Seeds: Physiology of Development, Germination and Dormancy**, Third. p. 399, 2013.

BRASIL. **Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Regras para análise de sementes.** Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. Brasília, DF: Mapa/ACS, 2009. 399p

CAO X., *et al.*, Drying kinetics and product quality of green soybean under different microwave drying methods, **Drying Technology**, v. 35 n.2, p. 240-248, 2017.

FATIMA A., *et al.*, Synchrotron-based phase-sensitive imaging of leaves grown from magneto-primed seeds of soybean, **J Synchrotron Rad**, v. 24, p. 232 – 239, 2017.

HALGAMUGE M. N., YAK S. K, e EBERHARDT J. L. Reduced growth os soybean seedlings after exposure to weak microwave radiation from GSM 900 mobile phone and base station. **Bioelectromagnetics**, v. 36, p. 87 – 95, 2015.

HEMIS M., *et al.*, Modelling study of dielectric properties of seed to improve mathematical modelling for microwave-assisted hot-air drying, **Journal of Microwave Power and Electromagnetic Energy**, v.53, n.2, p. 94-114, 2019.

HYAMS, D. G. CurveExpert Professional Documentation ;release 2.6.5. In: https://docs.curveexpert.net/curveexpert/pro/_static/CurveExpertPro.pdf , 2018.

ISTA, **International Rules for Seed Testing, International Seed Testing Association**, v. 1985, n. 1, p. i-5-56, 1985.

JONAS, H. Some effects of radio frequency irradiations on small oilbearing seeds. **Physiologia plantarum**, v. 5. n. 1, p.41 – 51, 1952.

JOOSEN, R. V, *et al.*, GERMINATOR: a software package for high-throughput scoring and curve fitting of Arabidopsis seed germination. **Plant Journal**, v. 62, n.1, p. 148-159, 2010.

KATARIA, S. BAGHEL, e L. GURUPRASAD, K. N. Alleviation of Adverse Effects of Ambient UV Stress on Growth and Some Potential Physiological Attributes in Soybean (*Glycine max*) by Seed Pre-treatment with Static Magnetic Field. **J Plant Growth Regul**, v. 35, p. 550 – 565, 2017.

KOZULINA, N S; VASILENKO, A A; e ZH N SHMELEVA. The Development of the Environmentally Safe Method for Disinfection and Biostimulation of Spring Wheat Seeds Using Electro-Magnetic Field of Super-High Frequency, **AGRITECH**. v. 315, n. 2, 2019.

MILDAZIENE, V. *et al.*, Treatment of Common Sunflower (*Helianthus annuus* L.) seeds with radio-frequency electromagnetic field and cold plasma induces changes in seed phytohormone balance, seedling development and leaf protein expression. **Nature**. Scientific Reports, v. 9, n.6437, 2019.

NAKAGAWA, J. **Testes de vigor baseados no desempenho das plântulas**. In: KRZYZANOSKI, F.C.; VIEIRA, R.D.; FRANÇA NETO, J.B. (Ed.). Vigor de sementes: conceitos e testes. Londrina: ABRATES, p.2.1-2.24, 1999.

NAIR, R. M, *et al.*, Beneficial effects of extremely low frequency (ELF) sinusoidal magnetic field (SMF) exposure on mineral and protein content of mungbean seeds and sprouts. **Agricultural Research Communication centre**, v.52, n. 2, p. 126 – 132, 2018.

NEWTON, R. HAY, F. ROBERT, R. **Protocol for comparative seed longevity testing**. Technical information Sheet_01. Royal Botanic Gardens, Kew. Millennium Seed Bank Partnership, Wakehurst Place, Ardingly, UK. brahmsonline.dkew.org/msbp. 2014.

RADHAKRISHNAN, R, KUMARI, B. D. R. Pulsed magnetic field: A contemporary approach offers to enhance plant growth and yield of soybean. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 51, p. 139 – 144, 2012.

RAGHA L., *et al.*, Effects of low-power microwave fields on seed germination and growth rate. **Journal of electromagnetic analysis and applications**, v.3, p. 165 – 171, 2011.

RANDHIR R., SHETTY K. Microwave-induced stimulation of L-DOPA, phenolics and antioxidant activity in fava bean (*Vicia faba*) for Parkinson's diet. **Process Biochemistry**, v. 39 p. 1775 – 1784, 2004.

R Development Core Team, R: **A language and environment for statistical computing**, R Foundation for Statistical Computing. Vienna, Austria, ISBN 3-900051-07-0, URL [http://www,R-project.org](http://www.R-project.org), 2009.

SALIM, N. S., GARIEPY , Y., RAGHAVAN, V. Hot air drying and microwave-assisted hot air drying of broccoli stalk slices (*brassica oleracea* l. var. *Italica*). **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 41, n. 12905, 2017.

SHINE M. B, GURUPRASAD K. N., ANAND A. Enhancement of germination, growth, and photosynthesis in soybean by pre-treatment of seeds with magnetic field. **Bioelectromagnetics**, v. 32, p 474 -484, 2011.

SHIVHARE U., *et al.*, Microwave Drying of Soybean at 2.45 GHz, **Journal of Microwave Power and Electromagnetic Energy**, v. 28 n.1, 11-17, 1993.

TALEI D., *et al.*, Germination response of MR 219 rice variety to different exposure times and periods of 2450 MHz microwave frequency. **The Scientific World Journal**, v.13, 2013.

TYLKOWSKA K., TUREK M., PRIETO R. B. Health, germination and vigour of common bean seeds in relation to microwave irradiation. **Phytopathologia**, v.55 p.5-12, 2010.

VARIER A., VARI A. K., DADLANI M. The subcellular basis of seed priming. **Current Science**, v. 99 n. 450 – 456, 2010.

YOSHIDA H., KAJIMOTO G. Effects of microwave energy on the tocopherols of soybean seeds. **Journal of Food Science**, v.54, n.6. p.1591.- 1595, 1989.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo da modelagem do comportamento de sobrevivência das sementes permitiu observar que, apesar das semelhanças existentes entre as funções de Probit e Logit, elas possuem desempenho diferenciado na predição do P50. Por meio da normalidade dos resíduos, ficou evidenciado que o modelo de Logit possui maior robustez que o modelo de Probit, inferindo assim, um menor erro na predição da longevidade das sementes.

O aumento do n amostral de 4 para 6 repetições, permitiu maior condução dos dados à normalidade, aumentando assim, o percentual de acerto da predição do P50 em sementes de soja.

Estudos sobre a predição da longevidade com o uso do modelo de Probit, mostrou alto percentual de erro de predição do modelo, quando as sementes foram submetidas à altas temperaturas. O modelo de Logit foi utilizado com segurança na predição da longevidade de sementes tratadas com magneto priming. O modelo foi capaz de diferenciar sementes tratadas e não tratadas, mesmo quando estas foram submetidas a altas temperaturas durante o estudo da longevidade, realizado com 42°C.

O uso da energia eletromagnética na frequência de 2,45 GHz, portanto, com uso de micro-ondas, provou ser capaz de promover bioestímulo em sementes de soja. O tratamento realizado na potência de 0,2 W/g promoveu incrementos no potencial de germinação das sementes, no crescimento de raízes e hipocótilo, na produção de massa fresca e seca, na redução do T50 e T10 e no período de longevidade das sementes. Os resultados mostram que essa técnica tem potencial para uso extra laboratorial, com ganhos na conservação e tecnologia de sementes.

REFERÊNCIAS

- AMIRNIA R. Effect of Microwave Radiation on Germination and Seedling Growth of Soybean (*Glycine max*) Seeds. **Adv. Environ. Biol.**, v. 8, n. 24, p. 311-314, 2014.
- BAGHEL L., KATARIA S., GURUPRASAD K. N. Effect of static magnetic field pretreatment on growth, photosynthetic performance and yield of soybean under water stress. **Photosynthetica**, v. 56, n. 2, p. 718 – 730, 2018.
- ELLIS, Richard H., ROBERTS, Eric H. Improved Equations for the Prediction of Seed Longevity. **Ann. Bot.**, v. 45, p. 13 – 30, 1980.
- FATIMA A., *et al.* Synchrotron-based phase-sensitive imaging of leaves grown from magneto-primed seeds of soybean, **J Synchrotron Rad**, v. 24, p. 232 – 239, 2017.
- FINNEY, David J. **Probit Analysis**, 2. ed. London: Cambridge University Press, 1962, 318 p.
- FISCHER, H. **History of the central limit theorem: from classical to modern probability theory**. New York: Springer. 2011, 415 p.
- HEMIS M, WATSON D. G., GARIÉPY Y., LYEW D., RAGHAVAN V. Modelling study of dielectric properties of seed to improve mathematical modelling for microwave-assisted hot-air drying, **Journal of Microwave Power and Electromagnetic Energy**, v. 53, n.2, p.94 -114, 2019.
- KOZULINA, N S; VASILENKO, A A; AND ZH N SHMELEVA. The Development of the Environmentally Safe Method for Disinfection and Biostimulation of Spring Wheat Seeds Using Electro-Magnetic Field of Super-High Frequency. **AGRITECH**, v. 315, n.2, 2019.
- PINO, F. A.; MORETTIN, P. A. The consistency of the L1- norm estimates in ARMA models. **Communications in Statistics, Theory and Methods**, v. 22, n. 8, p. 2185-2206, 1993.
- PRITCHARD, H. W.; DICKIE, J. B. Predicting Seed Longevity: the use and abuse of seed viability equations. In: R.D. Smith, J.B. Dickie, S.H. Linington, H.W. Pritchard and R.J. Probert (eds). Royal Botanic Gardens, Kew, UK. p. 655–721, 2003.
- RADZEVIČIUS, A. *et al.*, The effect of strong microwave electric field radiation on: (1) vegetable seed germination and seedling growth rate. **Zemdirbyste-Agriculture**, v. 100, n. 2, p. 179–184, 2013.
- RAGHA L., MISHRA S., RAMACHANDRAN V., BHATIA, M. S. Effects of low-power microwave fields on seed germination and growth rate. **Journal of electromagnetic analysis and applications**, v.3, p. 165 – 171, 2011.
- ROBERTS, E. H. Viability of cereal seed for brief and extended periods. **Annals of Botany**. v. 25, p. 373 – 380, 1961.

ROBERTS, E. H. An investigation of inter-varietal differences in dormancy and viability of rice seed. **Annals of Botany**, v. 27, p. 365 – 369, 1963.

ROBERTS, E. H. **Viability of Seeds**, 1. ed. London: Chapman and Hall Ltd, 1972. 448 p.

ROBERTS, E. H., ELLIS, R.H. Prediction of seed longevity at sub-zero temperatures and genetic resources conservation. **Nature**, v. 268, p. 431 – 433, 1977.

SHINE M. B, GURUPRASAD K. N., ANAND A. Enhancement of germination, growth, and photosynthesis in soybean by pre-treatment of seeds with magnetic field. **Bioelectromagnetics**, v. 32, p. 474 - 484, 2011.