

RESSALVA

Atendendo solicitação do(a) autor(a), o texto completo desta tese/dissertação será disponibilizado somente a partir de
23/02/2022

BRUNNA RITHIELLY REZENDE

**MÉTODOS PREDITIVOS DA PORCENTAGEM DE SEMENTES VERDES E DA
LONGEVIDADE DE SEMENTES DE SOJA**

Botucatu

2021

BRUNNA RITHIELLY REZENDE

**MÉTODOS PREDITIVOS DA PORCENTAGEM DE SEMENTES VERDES E DA
LONGEVIDADE DE SEMENTES DE SOJA**

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da Unesp Câmpus de Botucatu, para obtenção do título de Mestra em Agronomia (Agricultura).

Orientadora: Dr. Maria Márcia Pereira Sartori

Botucatu

2021

R467m

Rezende, Brunna Rithielly

Métodos preditivos da porcentagem de sementes verdes e da longevidade de sementes de soja / Brunna Rithielly Rezende. -- Botucatu, 2021

71 p. : il., tabs.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu

Orientadora: Maria Márcia Pereira Sartori

1. Soja. 2. Sementes verdes. 3. LIBS. 4. Longevidade. 5. Mínimos quadrados parciais. 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.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
Câmpus de Botucatu



CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: MÉTODOS PREDITIVOS DA PORCENTAGEM DE SEMENTES VERDES E DA LONGEVIDADE DE SEMENTES DE SOJA.

AUTORA: BRUNNA RITHIELLY REZENDE
ORIENTADORA: MARIA MÁRCIA PEREIRA SARTORI

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

Pesquisadora Dr.^a MARIA MÁRCIA PEREIRA SARTORI (Participação Virtual)
Produção Vegetal / Faculdade de Ciências Agrônomicas de Botucatu - UNESP

Prof. Dr. EDVALDO APARECIDO AMARAL DA SILVA (Participação Virtual)
Produção Vegetal / Faculdade de Ciências Agrônomicas de Botucatu - UNESP

Prof. Dr. ANDERSON RODRIGO DA SILVA (Participação Virtual)
Agronomia / Instituto Federal Goiano

Botucatu, 23 de fevereiro de 2021

A minha amada mãe Felma e aos meus avós

Joana e Mário,

dedico.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por tornar mais um sonho uma realidade, por me manter firme na caminhada mesmo perante aos obstáculos e desafios. A Ele toda honra e toda glória.

A minha querida mãe, por todo amor incondicional, apoio e suporte durante a minha caminhada. A minha querida família por acreditar e me incentivar a realizar meus sonhos, em especial minha avó Joana, minha tia Idelma e Márcia e minha prima Loraine.

Aos meus amigos Juliana, Daianny, Nelyvania, Alessandra, Stéfane, Amanda Letícia, Jeane, Antônio Arcanjo, Marana e Luana pelo carinho e motivação.

A minha amiga e companheira durante a trajetória do mestrado Yasmine e em especial sua mãe Willmichela por todo apoio e carinho.

A Prof. Dra. Maria Márcia Pereira Sartori, pela orientação, ensinamentos e paciência. Obrigada por me acolher e me dar todo o suporte necessário durante o mestrado.

Aos meus amigos do grupo de pesquisa de Modelagem e Estatística Aplicada a Ciências Agrárias, Gabriela, Keyse, Mônica e Lucas. Em especial a Michelane e Amanda, pelo companheirismo, troca de ideias, amizade, incentivo e pela troca de conhecimento.

A todos do Laboratório de Sementes, Samara, Carolina, Larissa, Ana Carolina, Dennis e Thiago. Em especial a Valéria Giandoni por todo o carinho, amizade e apoio técnico.

A Msc. Samara Moreira Perissato por ceder os dados para a execução do segundo capítulo.

Ao Grupo de Análise Instrumental Aplicada (GAIA) da Universidade Federal de São Carlos, em especial o Prof. Dr. Edenir Rodrigues Pereira Filho e ao Dr. Raimundo Rafael Gamela por todo apoio e ensinamento.

A todos os professores, técnicos e funcionários do Departamento de Produção Vegetal da Faculdade de Ciências Agrônomicas – UNESP/Botucatu.

A Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa Soja) e Embrapa Produtos e Mercado.

Ao CNPq – Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, pela concessão da bolsa de estudos.

A todos que de alguma forma contribuiriam para minha formação profissional e pessoal.

Muito obrigada!

RESUMO

Os investimentos em pesquisa levaram ao aumento exponencial da produtividade da soja nos últimos anos. O Brasil é o maior produtor mundial de soja, entretanto a cultura vem sofrendo com as mudanças climáticas, principalmente com altas temperaturas e baixa precipitações. Além de ser um fator que contribui com maior incidência de sementes verdes dentro do lote, o que afeta negativamente a qualidade fisiológica das mesmas. Os métodos usados para a separação de sementes verdes dentro do lote, são considerados demorados e ineficientes. Nesse sentido, o capítulo 1 propôs utilizar a tecnologia LIBS para classificar sementes verdes e amarelas dentro do lote. Assim, utilizou-se uma triplicata de 5 lotes de sementes de sojas que foram produzidas em condições de campo e, para o conjunto de dados, as linhas mais intensas do espectro foram selecionadas e aplicado 12 normalizações. Empregou-se Análise de Componente Principal (PCA), a qual foi viável de resposta e apresentou uma variabilidade >90.6%, mas não o bastante para indicar a diferença dos dois grupos (amarela x verde). A Análise Discriminante Linear (LDA) e a Quadrática (QDA) também foram empregadas mostrando que são eficientes na classificação, com precisão de 76.7% e 93.3% respectivamente. No outro capítulo, o objeto de estudo foi determinar a longevidade, período máximo de tempo em que a semente pode permanecer viável quando armazenada em condições ambientais favoráveis. Porém, a determinação da longevidade requer experimentos complexos e demorados e para sua predição é por meio de modelos matemáticos utilizando parâmetros como temperatura e umidade de armazenamento. Nesse sentido, o objetivo do capítulo 2 foi estimar a longevidade de sementes de soja por meio de variáveis de produção e de qualidade de sementes utilizando a Regressão Linear Múltipla (MLR) e de Mínimos Quadrados Parciais (PLS). Utilizou-se 47 genótipos de sementes de soja, os quais foram submetidos a testes laboratoriais a fim de obter informações sobre a qualidade de sementes e das variáveis de produção. Para o modelo PLS o coeficiente de determinação ajustado foi de 0,8404 utilizando todas as variáveis em estudo. Contudo, os métodos se mostraram eficientes na predição da longevidade de sementes de soja.

Palavras-chave: Qualidade fisiológica. Classificação. LIBS. Longevidade. Predição. Modelos estatísticos.

ABSTRACT

Research investments have led to the exponential increase in soy productivity in recent years. Brazil is the world's largest producer of soybean, however the culture has been suffering from climate change, mainly with high temperatures and low precipitation. In addition to being a factor that contributes more incidence of green seeds within the batch, which negatively affects the physiological quality of them. The methods used for separating green seeds within the batch are considered time consuming and inefficient. In this sense, Chapter 1 proposed to use LIBS technology to classify green and yellow seeds within the batch. Thus, a triplicate of 5 batches of seam seeds were produced under field conditions and, for the data set, the most intense lines of the spectrum were selected and applied 12 standardizations. Main component analysis (PCA) was employed, which was feasible for response and presented a variability > 90.6%, but not enough to indicate the difference of the two groups (yellow x green). Linear discriminant analysis (LDA) and quadratic (QDA) were also employed showing that they are efficient in classification, accurately from 76.7% and 93.3% respectively. In the other chapter, the study object was to determine longevity, maximum time period in which the seed can remain feasible when stored in favorable environmental conditions. However, the determination of longevity requires complex and time-consuming experiments and for their prediction is through mathematical models using parameters such as temperature and storage humidity. In this sense, the objective of Chapter 2 was to estimate soybean longevity through production and seed quality variables using multiple linear regression (MLR) and partial squares (PLS). 47 soybean seed genotypes were used, which were submitted to laboratory tests in order to obtain information on the quality of seeds and production variables. For the PLS model the adjusted determination coefficient was 0.8404 using all variables under study. However, the methods were efficient in predicting the longevity of soybeans.

Keywords: Physiological quality. Classification. LIBS. Longevity. Prediction. Statistical models.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL	15
CAPÍTULO 1 – UTILIZAÇÃO DE ESPECTROSCOPIA DE PLASMA INDUZIDO POR LASER E FERRAMENTAS QUIMIOMÉTRICAS NA CLASSIFICAÇÃO DE SEMENTES VERDES E AMARELAS DE SOJA	25
1.1 INTRODUÇÃO.....	26
1.2 MATERIAL E MÉTODOS.....	29
1.2.1 Amostras.....	29
1.1.2 Instrumentação.....	30
1.2.3 Análises no LIBS	30
1.2.4 Tratamento dos dados.....	31
1.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	32
1.3.1 Análise do LIBS.....	32
1.3.2 Análise de Componentes Principais (PCA).....	34
1.3.3 Análise Discriminante.....	38
1.4 CONCLUSÃO.....	39
REFERÊNCIAS	42
CAPÍTULO 2 – PREDIÇÃO DA LONGEVIDADE DE SEMENTES DE SOJA POR REGRESSÃO LINEAR MÚLTIPLA E MÍNIMOS QUADRADOS PARCIAIS	46
2.1 INTRODUÇÃO.....	47
2.2 MATERIAL E MÉTODOS	49
2.2.1 Componentes de Produção.....	49
2.2.1.1 <i>Altura de plantas</i>	49
2.2.1.2 <i>Altura de inserção da primeira vagem</i>	49
2.2.1.3 <i>Número de ramificações e entrenós</i>	50
2.2.1.4 <i>Número de vagens por planta</i>	50
2.2.1.5 <i>Número total de sementes e número de sementes por vagem</i>	50
2.2.1.6 <i>Massa de 1000 sementes</i>	50
2.2.2 Avaliação da Qualidade de Sementes.....	50
2.2.2.1 <i>Germinação</i>	50
2.2.2.2 <i>Plântulas normais, anormais e sementes mortas</i>	51

2.2.2.3	<i>Primeira contagem.....</i>	51
2.2.2.4	<i>Protrusão radicular.....</i>	51
2.2.2.5	<i>T50.....</i>	51
2.2.2.6	<i>Comprimento e massa da matéria seca da raiz e parte aérea.....</i>	52
2.2.2.7	<i>Sementes verdes.....</i>	52
2.2.2.8	<i>Teor de óleo.....</i>	52
2.2.2.9	<i>Tetrazólio.....</i>	53
2.2.2.10	<i>Longevidade.....</i>	53
2.2.3	<i>Análises estatísticas.....</i>	53
2.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	55
2.4	CONCLUSÃO.....	59
	REFERÊNCIAS.....	60
	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	63
	REFERÊNCIAS.....	65

INTRODUÇÃO GERAL

Os primeiros relatos da aparição de soja (*Glycine max* (L.) Merrill.) foi no continente asiático na China antiga (CHUNG; SINGH, 2008). A proteína do grão e o teor de óleo começou a atrair a atenção das indústrias mundiais, iniciando na Europa, seguido pelo cultivo comercial nos Estados Unidos e com a chegada ao Brasil somente em 1882 no estado da Bahia (BONETTI, 1981).

Os investimentos em pesquisas, levaram ao aumento exponencial da produtividade da soja nos últimos anos, de acordo com a EMBRAPA SOJA (2020), o Brasil é o maior produtor mundial de soja, com sua produção estimada em 133,3 milhões de toneladas (CONAB, 2021). Esses indicadores são frutos dos avanços tecnológicos e pela vantagem de o país ter extensas áreas com variabilidade climática e de terrenos, que, com a aplicação de técnicas de cultivo, englobando desde o manejo do solo, tecnologia de sementes e o uso de máquinas agrícolas modernas, faz com que o país seja peculiar na sua forma de produção, podendo produzir até três safras de grãos utilizando a mesma área (CONAB, 2020).

No entanto, apesar do país ser destaque na sua forma de produção da soja, as condições climáticas é um fator de impacto dentro da produção, já que as maiores regiões produtoras de soja dentro do país são sujeitas a intempéries como altas temperaturas e a baixas precipitações. Além de que, é uma cultura que eventualmente será mais afetada em decorrência dessas mudanças climáticas e do aumento da deficiência hídrica e de possíveis veranicos, trazendo assim, mais prejuízos econômicos (PBMC, 2013).

As características, composição química e as propriedades físicas e fisiológicas das sementes de soja, dependem tanto da herança genética, quanto das condições edafoclimáticas durante o desenvolvimento da planta-mãe (BORDINGNON, 1994; BELLALLOUI et al., 2009). Desta maneira, destaca-se a importância da seleção de materiais que apresentem alta produtividade e que sejam tolerantes as condições de produção estressantes, mesmo ainda sendo um forte objeto de estudo. Esses estudos visam não somente aperfeiçoar no aumento da produtividade, mas também na garantia de outros atributos, como a alta qualidade fisiológica dessas sementes, (PERISSATO, 2019).

O desenvolvimento da semente engloba desde a formação do embrião e outros tecidos da semente por um padrão altamente de divisão e diferenciação celular, até o cessamento da conexão vascular planta-semente, ou seja, a semente se tornar fisiologicamente independente da planta-mãe. Enquanto que a aquisição da qualidade fisiológica decorre durante o desenvolvimento da semente e com isso, adquirindo propriedades como germinação, tolerância a dessecação, vigor e longevidade em fases distintas por meio de ação de mecanismos moleculares e bioquímicos (BEWLEY et al., 2013). Sendo assim, o desenvolvimento da semente é compreendido em três fases: embriogênese, maturação e maturação tardia. De acordo Nonogaki (2019), a definição dessas fases é difícil serem bem definidas, pois a embriogênese se refere às mudanças morfológicas, como o desenvolvimento de órgãos e tecidos, enquanto que a fase de maturação compreende principalmente a eventos fisiológicos e bioquímicos.

A soja é caracterizada como uma espécie autógama, onde suas flores constituem-se por órgãos reprodutivos masculinos e femininos que se autofecundam (GAZZONI, 2017). A polinização, ocorre quando o grão de pólen localizado nas anteras, maduros, rompem-se e são liberados em direção ao estigma da flor. Em sequência, o grão de pólen germina e origina o tubo polínico, o qual atravessa o estilete até o interior do ovário para a liberação dos gametas, ocorrendo a fecundação (POPININGS, 1985). Na cultura da soja, o processo de autofecundação inicia-se após o tubo polínico alcançar o ovário, ocorrendo a liberação de dois núcleos reprodutivos do grão de pólen no interior do saco embrionário. Pela dupla fertilização, ocorre união dos gametas masculinos oriundos do grão de pólen com os núcleos polares e a oofera do óvulo, resultando na origem do núcleo espermático ($3n$) e do zigoto ($2n$), respectivamente (COPELAND; MCDONALD, 1995).

A embriogênese é controlada geneticamente e é iniciada quando diversas divisões celulares no zigoto surgem a formação do embrião e o núcleo espermático em endosperma. Desencadeado pelo processo de fertilização, na embriogênese ocorre a formação do corpo do embrião, órgãos e tecidos. Processo em que ocorre sequência de eventos controlados geneticamente marcado como uma fase “lag” e representada pela histodiferenciação e expansão celular, capaz de promover a diferenciação do embrião, endosperma e tegumentos, partes essenciais que constituem uma semente (PERISSATO, 2019). Um período também que é caracterizado pelo rápido aumento no teor de água e pouco aumento no peso seco

(BEWLEY; BLACK, 1994). Em sementes de soja, o suspensor atua como um transportador de nutrientes e hormônios para o embrião, atuando no contato entre a planta mãe e o tecido de reserva. Em sequência, o endosperma é gasto durante a formação do embrião, dessa forma fazendo com que os cotilédones assumam a função de tecido de reserva (GOLDBERG et al., 1989)

A capacidade de germinação (germinabilidade) é a primeira aquisição fisiológica a ser adquirida ao longo do desenvolvimento das sementes. Após toda a ação de diferenciação das estruturas, o embrião maduro seria capaz de germinar na planta-mãe (viviparidade), porém a presença e ação do hormônio ácido abscísico (ABA) atua como regulador na manutenção do embrião, impedindo a germinação. O hormônio ácido abscísico (ABA) regula a maturação das sementes e é necessário para a indução da dormência (NÉE et al., 2017), o qual é sintetizado pelo tecido maternal no início da embriogênese até atingir um pico ao final da histodiferenciação. Desencadeado pelo decréscimo linear durante a fase de maturação, ocorrerá outras funções para a sequência de eventos no desenvolvimento das sementes (TOH et al., 2008).

Após a embriogênese, ocorre a fase da maturação que é caracterizada pelo enchimento das sementes. Neste processo, a semente aumenta em tamanho e matéria seca, havendo expansão, alongamento celular e síntese de substâncias de reservas que serão responsáveis pelo fornecimento de nutrientes e energia necessários para a germinação (GUTIERREZ et al., 2007). O decréscimo linear de ABA ocorrido na fase de maturação e chega a concentrações baixas próximo a maturidade fisiológica (R7.2), momento em que há o cessamento vascular da planta-mãe.

Na cultura da soja, o estágio R7.1 tem acúmulo de reservas ativo, com a presença da expressão de transcritos envolvidos no processo de crescimento e na síntese de reservas como amido, lipídeos e proteínas. Estudos indicam que o início da fase R7.2 é marcado com o final do enchimento das sementes, fase em que ocorre abscisão das sementes na planta-mãe, já os eventos de acúmulo de reservas já não são vistos, ocorrendo o cessamento do enchimento da semente (LIMA et al., 2017).

A tolerância a dessecação é adquirida entre os estádios R7.1 e R7.2, ainda, ocorre o início da degradação da clorofila nas sementes e perda de água, duas características que são marcadas dentro da fase de maturação tardia (PERISSATO, 2019). A tolerância a dessecação é definida pela habilidade da semente sobreviver e

reidratar-se sem que haja danos irreversíveis após a remoção de parte ou quase que total das células (LEPRINCE; BUITINK, 2010).

O período que ocorre a fase de maturação em sementes de soja é entre 4 a 5 semanas, período que ocorre a síntese da maioria das reservas de armazenamento para a germinação e aumento das proteínas associadas a longevidade (HAJDUCH et al., 2005). De acordo com Leprince et al. (2017), as fases de maturação e maturação tardia não são tão claras quando ocorre o término de uma e o início de outra, podendo ainda variar consideravelmente entre as espécies.

O estágio R8 é caracterizado pela redução do teor de água e início da fase de maturação tardia (PERISSATO, 2019). A fase de maturação tardia é compreendida pela perda progressiva de água que resulta na indução da formação do estado vítreo citoplasmático (LUCCAS, 2018), uma matriz amorfa semelhante ao estado sólido, onde a mobilidade e o nível de fluidez das moléculas são desaceleradas, impondo um estado de quiescência e conferindo longevidade (BUITINK; LEPRINCE, 2008).

Essa fase também é caracterizada pelo acúmulo e síntese de moléculas protetoras para que a semente possa sobreviver ao estado seco e não sofrer danos celulares durante os processos de secagem e numa reidratação sequente para a germinação (BEWLEY et al., 2013). São açúcares não redutores (HOEKSTRA et al., 2001), proteínas abundantes da embriogênese tardia (LEAs) (HUNDERTMARK et al., 2011), proteínas de choque térmico (HSPs) (PRIETO-DAPENA et al., 2006) e ocorrência da degradação da clorofila (NAKAJIMA et al., 2012). A degradação da clorofila serve como substrato para a síntese de tocoferóis, que é um antioxidante envolvido na longevidade de sementes (SANO et al., 2016).

As proteínas da embriogênese tardia (LEAs) e as proteínas de choque térmico (HSPs) são acumuladas antes da perda de água e estão altamente relacionadas com a aquisição da tolerância a dessecação (DEKKERS et al., 2015). A tolerância a dessecação e a longevidade são adquiridas em períodos diferentes, mas compartilham de mecanismos semelhantes que promovem a aquisição (LEPRINCE et al., 2017). Na fase de maturação tardia, a aquisição da longevidade aumenta duas vezes até o estágio R9, que corresponde a sementes maduras (ZANAKIS et al., 1994; LIMA et al., 2017).

Nesse contexto, a semente é responsável por veicular e expressar em campo todas as características genéticas determinantes para o bom desempenho da cultivar e pelo sucesso do estabelecimento do estande por meio dos avanços do

melhoramento genético, conseqüentemente alcançar altas produtividades (BETTEY et al., 2008; MARCOS FILHO, 2015). Ademais, a qualidade de sementes é resultado da interação dos atributos genéticos, físicos, sanitários e fisiológicos (POPINIGIS, 1985). No entanto, a qualidade fisiológica tem sido objeto de estudo nos últimos anos, justamente pelas sementes responderem de formas diferentes de acordo com clima favorável ou desfavorável para a cultura, relata Bewley et al. (2013).

Marcos Filho (2015), relata que o potencial fisiológico máximo atingido é próximo a fase de maturação das sementes, e após essa fase, as sementes tornam-se mais susceptíveis à deterioração conforme o tempo de colheita, condições ambientais as quais são submetidas, e os processos adotados de secagem, processamento e armazenamento. Além disso, a retenção de clorofila vem sendo considerada um grave problema para o sistema de produção de sementes de soja, já que sua ocorrência é uma característica indesejável que leva à redução da qualidade fisiológica das sementes e de seus subprodutos (SINNECKER et al., 2002; TEIXEIRA et al., 2016).

Durante o desenvolvimento da semente, a síntese de clorofila tem início no estágio globular, tendo um aumento durante o desenvolvimento do embrião e nas etapas finais de maturação é inibida (PUTHUR; SARADHI, 2004; NAKAJIMA et al., 2012; RIGHETTI et al., 2015). Porém, a degradação da clorofila em sementes muitas vezes permanece incompleta nas etapas finais da maturação, devido a alterações nas vias constitutivas de degradação da clorofila (SMOLIKOVA; MEDVEDEV, 2016).

Um dos problemas que sempre estão associados com a ineficiência da degradação da clorofila, são os fatores ambientais desfavoráveis como secas e temperaturas extremas. Pádua et al. (2009), também apontam que técnicas durante a pré-colheita e a pós-colheita, como a aplicação de desseccantes ou uma colheita prematura seguida de secagem a altas temperaturas, resultam em retenção da clorofila na semente. A morte prematura das plantas e a conseqüentemente forçada maturação das sementes, faz com que a atividade da enzima clorofilase cesse antes que toda a clorofila degrade. A susceptibilidade de certas cultivares de soja sobre fatores ambientais estressantes, também ocorre a retenção de clorofila na semente. Pádua et al. (2009), descreveram em seu trabalho que as cultivares BRS 133 e CD 206 foram mais tolerantes, enquanto que as outras cultivares estudadas MG / BR 46 (Conquista) e BRS 251 (Robusta) foram mais susceptíveis.

O problema de semente verde é relatado em vários trabalhos há muitos anos (ZORATTO 2003; PÁDUA et al., 2007; ZORATTO et al., 2007; PÁDUA et al., 2009), mas pouco se sabe como a degradação da clorofila acontece nas sementes em desenvolvimento e em maturação (TEIXEIRA et al., 2016). Sabe-se que a retenção de clorofila em sementes maduras de soja é um problema que vem afetando muitos produtores, pois a comercialização é comprometida quando a porcentagem ultrapassa 8 %, conforme a Instrução Normativa 11/2007.

De acordo com França-Neto et al. (2012) e Teixeira et al. (2016), os problemas relacionados com sementes verdes têm sido bastante discutidos nos relatórios, visto que esse aumento não abrange somente as regiões brasileiras, mas percorre áreas produtoras de soja no mundo. Como consequência, os problemas relacionados a sementes verdes trazem prejuízos não somente para as indústrias de produção de sementes, mas também para as indústrias esmagadoras de grãos.

Para as indústrias esmagadoras, os problemas relatados são em relação a instabilidade do óleo pela presença de pigmentos verdes que propicia maiores reações oxidativas e conseqüentemente o processo de rancificação que reduz a vida útil do óleo, (ZORATO, 2003). Além disso, Sinnecker (2002), relata que a remoção dos pigmentos acaba sendo inviável, pois eleva o custo para a refinação do óleo. Para a indústria produtora de sementes, a presença de pigmentos verdes na semente de soja afeta negativamente a qualidade fisiológica (ZORATO, 2003). Impactando a germinação, viabilidade, vigor, capacidade de emergência em campo, desuniformidade de plantas e na taxa de deterioração (FRANÇA-NETO, 2016).

No entanto, a separação de sementes verdes de acordo com França-Neto et al. (2012), acontece na etapa de beneficiamento das sementes utilizando peneiras de menor calibre e separadora em espiral, já que as sementes verdes se apresentam de forma diferenciada quanto ao tamanho e formato. No laboratório a separação acontece de forma visual, selecionando amostras do lote e classificando como semente verde qualquer pigmento encontrado na semente. Nesse sentido, os testes usados para a separação de sementes esverdeadas das sementes amarelas na etapa de beneficiamento e em laboratórios, não são tão efetivos, uma vez que demandam tempo.

Nas últimas décadas, técnicas quimiométricas na área da agricultura ganharam atenção, em especial a técnica LIBS por apresentar vantagens como a análise direta em amostras sólidas com mínimo ou nenhum preparo na amostra, capacidade

multielementar e alta frequência analítica (HAHN; OMENETTO, 2012; COSTA et al., 2018).

O LIBS é uma técnica espectroanalítica que utiliza pulsos de laser, os quais incidem sobre a amostra realizando uma microamostragem por ablação promovendo a formação de um plasma de temperaturas da ordem de 10.000 K (CARVALHO, 2015). A radiação emitida por íons, átomos e fragmentos de moléculas presentes no plasma é recolhido por um sistema óptico e encaminhado para o sistema de detecção (PASQUINI et al., 2007). Ainda, esse espectro que foi gerado é registrado e contém as informações qualitativas e quantitativas que seguidamente serão relacionadas com a amostra ou empregada na quantificação dos seus constituintes (CARVALHO, 2015).

O funcionamento da LIBS é baseado na espectroscopia de plasma, a qual consiste em uma fonte de laser que com a ajuda de lentes focalizadoras, emite pulsos de alta energia diretamente na amostra, esta podendo ser sólida, líquida ou gasosa. Ainda, após a incidência do pulso de laser sobre a amostra, ocorre processos de aquecimento, derretimento (amostras sólidas) e vaporização em um curto intervalo de tempo, podendo durar em nano, pico ou femto segundos. A energia do pulso de laser produz um plasma que tem temperaturas da ordem de 10.000 a 20.000 K e, o material que foi vaporizado (íons, átomos e moléculas) é excitado para um nível de maior energia e ao retornar ao de menor energia, emite a radiação específica em comprimento de onda para cada elemento advindo da amostra (CREMERS, 2013; NOLL, 2012; PASQUINI et al. 2007).

A aplicação da técnica LIBS dentro da área das sementes ainda está engatinhando, entretanto a técnica já foi aplicada na distinção entre lotes de sementes de soja de alto e baixo vigor (LARIOS et al. 2020). Também foi empregada grãos de feijão a fim de determinar potássio, magnésio e fósforo (GAMELA et al., 2020b), na determinação direta de cálcio, potássio e magnésio em amêndoas de cacau (GAMELA et al., 2020a) e em nove grãos para determinação qualitativa da distribuição do perfil químico de cálcio, potássio, magnésio, sódio e fósforo (GAMELA et al., 2019).

Outro fator abordado relacionado a qualidade das sementes, é a longevidade das mesmas. Sabe-se que diferentes espécies e cultivares conservadas em bancos de germoplasma sob condições de temperatura e umidade, mostram resultados distintos quanto à perda da sua viabilidade, decorrente da constituição genética e química, teor de água e qualidade inicial das sementes (PEREIRA-NETO, 2016). De acordo com Santos (2018), a longevidade de sementes se refere ao período máximo

de tempo que a semente pode permanecer viável quando armazenada em condições ambientais favoráveis de acordo com cada espécie.

Ademais, biologicamente, a longevidade de sementes consiste na capacidade que a semente possui em estabilizar seu sistema por longos períodos de tempo, suspendendo a sua atividade metabólica, estado vítreo, resultando no retardamento das reações de deterioração (BUITINK; LEPRINCE, 2004; CHATELAIN et al., 2012). O P_{50} representa o índice de qualidade fisiológica das sementes e refere ao período em que um lote de sementes perde 50% da sua capacidade de germinação. Logo, modelos de predição do P_{50} são ferramentas importantes no manejo durante o armazenamento. Além disso, se faz necessário definir com assertividade este índice a fim de reduzir custos com análises e colaborar com o planejamento comercial dessas sementes (FARIA, 2019).

Ainda, modelos matemáticos têm sido trabalhados e apresentados com o intuito de predizer o tempo em que uma semente se mantém viável, conhecidos como equações de viabilidade (KEW ROYAL BOTANIC GARDENS, 2016). Essas equações, descrevem a perda da viabilidade de sementes ortodoxas durante o armazenamento levando em consideração parâmetros como temperatura, umidade de armazenamento e qualidade inicial das sementes (PEREIRA NETO, 2016).

Roberts (1972) foi um dos precursores a analisar o padrão de perda da viabilidade de sementes durante o armazenamento, verificando que a perda da viabilidade tem um comportamento padrão definido como sigmoide. Esse comportamento estaria atrelado a uma distribuição normal do tempo de vida de uma população de sementes (BEWLEY et al., 2013). Esses modelos propostos são compostos por três equações de viabilidade. A Equação 1 representa a frequência de sementes mortas durante o armazenamento em condições constantes.

$$y = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(p-\mu)^2}{2\sigma^2}} \quad (1)$$

Onde:

y = frequência relativa das sementes mortas no tempo p ,

μ = período de viabilidade média (P_{50}) das sementes;

σ = desvio padrão da distribuição das sementes mortas no tempo.

m = umidade da semente (% b.u);

t = temperatura (°C).

A Equação 2 retrata a dispersão da distribuição no tempo, que é proporcional ao tempo em que o lote leva para decair sua viabilidade à 50%.

$$\sigma = K_{\sigma} P_{50} \quad (2)$$

Onde:

K_{σ} = constante relativa as espécies.

A Equação 3, leva em conta as características do ar do ambiente (temperatura), do teor de água das sementes e o período médio de viabilidade (P_{50}).

$$\log P_{50} = K_v - C_1 m - C_2 t \quad (3)$$

Onde K_v , C_1 e C_2 são constantes do modelo.

Ellis e Roberts (1980) melhoraram a equação de viabilidade com base na função simétrica de Probit, a qual permite a determinação do P_{50} , momento em que ocorre o decréscimo de 50% da viabilidade da amostra de sementes. Em função do comportamento sigmoide de armazenamento, a determinação da viabilidade das sementes durante o armazenamento é feita pela transformação do percentual de viabilidade com o uso de funções de ligação (SANTOS et al. 2019). Desse modo, os autores ao perceberem que as 3 equações de viabilidade propostas não eram aplicáveis a um grande número de espécies, melhoraram a equação de viabilidade possibilitando o seu uso amplo, como descrito na Equação 4 e Equação 5.

$$v = K_i - p \left(\frac{1}{\sigma} \right) \quad (4)$$

$$\sigma = 10^{K_E - C_W \log m - C_H t - C_Q t^2} \quad (5)$$

Onde v é o percentual da viabilidade das sementes em Probit, após o armazenamento no tempo p ; p é o período de armazenamento em dias; K_i sendo o valor de Probit da viabilidade inicial, ou seja, o ponto de interceptação do eixo das ordenadas (y) da curva de sobrevivência transformada; o que implica também dizer que, quando $p = 0$; $K_i = v$; $1/\sigma$ é a inclinação da curva de sobrevivência transformada, onde σ é o desvio padrão da frequência de distribuição das sementes mortas durante o período de armazenamento. m é o grau de umidade das sementes (% em base úmida); t é a temperatura de armazenamento ($^{\circ}\text{C}$); K_E é a constante usada para cada espécie; C_W aponta a resposta logarítmica da longevidade das sementes para o grau de umidade; C_H e C_Q são as constantes linear e quadrática do termo temperatura, respectivamente, descrevendo o efeito da temperatura de armazenamento na longevidade das sementes.

Para a obtenção das constantes K_E , C_W e C_H , se faz necessário a realização de muitos experimentos de armazenamento com uma ampla combinação de temperaturas e grau de umidades, visto que essas constantes são específicas para cada espécie (PEREIRA NETO, 2016). Por isso a importância de estudar e desenvolver modelos matemáticos a fim de prever com mais assertividade a longevidade de sementes.

Nesse sentido, o trabalho teve como no capítulo 1 empregar a tecnologia LIBS combinada com métodos quimiométricos, a fim de classificar sementes maduras de soja verde e amarela. No capítulo 2, o objetivo foi prever a longevidade de sementes de soja através de variáveis de produção e de qualidade pelos métodos de regressão linear múltipla e regressão de mínimos quadrados parciais.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O emprego da técnica de espectroscopia de ruptura induzida por laser através das ferramentas matemáticas, se mostraram eficientes na separação de sementes verdes e amarelas de soja.

A predição da longevidade pode ser estimada através das variáveis de produção e de qualidade fisiológica das sementes de soja. Assim, sendo um método eficiente e assertivo na predição da longevidade, uma vez que os métodos laboratoriais são complexos e demorados.

REFERÊNCIAS

BELLALLOUI, N.; SMITH, J. R.; RAY, J. D.; GILLEN, A. M. Effect of maturity on seed composition in the early soybean production system as measured on near-isogenic soybean lines. **Crop Science**, Madison v. 49, n. 2, p. 608-620, mar/apr. 2009.

BETTEY, M.; FINCH-SAVAGE, W. E.; KING, G. J.; LYNN, J. R. Quantitative genetic analysis of seed vigour and pre-emergence seedling growth traits in Brassica oleracea. **New Phytologist**, v. 148, n. 2, p. 277–286, july. 2008.

BEWLEY J. D.; BRADFORD, J. D.; HILHORST, H.; NONOGAKI, H. **Seeds: Physiology of Development, Germination and Dormancy**. 3. ed. New York: Springer, 2013.

BEWLEY, J. D.; BLACK, M. **Seeds: physiology of development and germination**. New York: Plenum press, 1994, p. 445.

BONETTI, L. P. **Distribuição da soja no mundo: origem histórica e distribuição**. In: MIYASAKA, S.; MEDINA, J.C. (Ed) A soja no Brasil. Campinas: ITAL, 1981. p.181.

BORDINGNON, J. R.; MANDARINO, J. M. G. **Soja: composição química, valor nutricional e sabor**. Embrapa Soja-Documents (infoteca-e), 1994.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Instrução Normativa MAPA n. 11 de 15 e maio de 2007**. Regulamento Técnico da Soja, definindo o seu padrão oficial de classificação, com os requisitos de identidade e qualidade intrínseca e extrínseca, a amostragem e a marcação ou rotulagem. Brasília, DF: Diário Oficial da República Federativa do Brasil, 16 mai. 2007. Seção1.

BUITINK, J.; LEPRINCE, O. Glass formation in plant anhydrobiotes: Survival in the dry state. **Cryobiology**, v. 48, n. 3, p. 215-228, jun. 2004.

BUITINK, J.; LEPRINCE, O. Intracellular glasses and seed survival in the dry state, **Comptes Rendus Biologies**, v. 331, n. 10, p. 788-795, oct. 2008.

CARVALHO, R. R. V. **Emprego de imagens hiperspectrais e espectrometria de emissão em plasma induzido por laser na análise direta de amostras de lixo eletrônico**. 2015. Dissertação de Mestrado (Mestre em Química), Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2015.

CHATELAIN, E.; HUNDERTMARK, M.; LEPRINCE, O.; GALL, S. L.; SATOUR, P.; DELIGNY-PENNINCK, S.; ROGNIAUX, H.; BUITINK, J. Temporal profiling of the heat-stable proteome during late maturation of *Medicago truncatula* seeds identifies

a restricted subset of late embryogenesis abundant proteins associated with longevity. **Plant, Cell & Environment**, v. 35, n. 8, p. 1440–1455, aug. 2012.
CHUNG, G.; SINGH, R. J. Broadening the genetic base of soybean: a multidisciplinary approach. **Critical Reviews in Plant Sciences**, v. 27, n. 5, p. 295-341, sep. 2008.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos Safra 2020/21, Segundo Levantamento**, Brasília, v. 8, n. 2, p. 1-75, 2020. Disponível em: <http://www.conab.gov.br>. Acesso em: 05/12/20.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos – safra 2020/21. 4º levantamento**. Monitoramento Agrícola, v. 8, n. 4, p. 1-85, 2021.

COPELAND, L. O.; MC DONALD, M. B. **Principles of Seed Science and Technology** Chapman and Hall. New York. 1995. 181 p.

COSTA, V. C.; CASTRO, J. P.; ANDRADE, D. F.; DE BABOS, D. V.; GARCIA, J. A.; SPERANÇA, M. A.; CATELANI, T. A.; PEREIRA-FILHO, E. R. Laser-induced breakdown spectroscopy (LIBS) applications in the chemical analysis of waste electrical and electronic equipment (WEEE). **Trends in Analytical Chemistry**, v. 108, p. 65–73, nov. 2018.

CREMERS, D. A.; RADZIEMSKI, L. J. **Handbook of Laser-Induced Breakdown Spectroscopy**, 2nd ed. 2013. 432 p.

DEKKERS, B. J. W.; HE, H.; HANSON, J.; WILLEMS, L. A. J.; JAMAR, D. C. L.; CUEFF, G.; RAJJOU, L.; HILHORST, H. W. M. BENTSINL, L. The Arabidopsis DELAY OF GERMINATION 1 gene affects ABSCISIC ACID INSENSITIVE 5 (ABI5) expression and genetically interacts with ABI3 during Arabidopsis seed development. **The Plant Journal**, v. 85, n. 4, p. 451–465, feb. 2016.

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

EMBRAPA SOJA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Centro Nacional de Pesquisa de Soja. **Soja em números (safra 2019/2020)**. Londrina, PR: Embrapa Soja, 2020.

FARIA, R. Q. **Modelagem matemática na predição da longevidade de sementes de soja e milho**. 2019. 75p. Tese (Doutorado em Agronomia/Agricultura), Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu – SP, 2019.

FRANÇA-NETO, J. B.; KRZYZANOWSKI, F. C.; HENNING, A. A.; PÁDUA, G. P.; LORINI, I.; HENNING, F. A. **Tecnologia da produção de semente de soja de alta qualidade**. Embrapa Soja, Londrina, Documentos n. 380, p. 1-84, 2016.

FRANÇA-NETO, J. B.; PÁDUA, G. P.; KRZYZANOWSKI, F. C.; CARVALHO, M. L. M.; HENNING, A. A.; LORINI, I. **Semente esverdeada de soja: causas e efeitos sobre o desempenho fisiológico - Série Sementes**. Londrina: Embrapa Soja-Circular Técnica (INFOTECA-E), Londrina, v. 91, 2012. 15 p.

GAMELA, R. R.; COSTA, V. C.; BABOS, D. V.; ARAÚJO, A. S.; PEREIRA-FILHO, E. R. Direct Determination of Ca, K, and Mg in Cocoa Beans by Laser-Induced Breakdown Spectroscopy (LIBS): Evaluation of Three Univariate Calibration Strategies for Matrix Matching. **Food Analytical Methods**, v. 13, p. 1017-1026, feb. 2020a.

GAMELA, R. R.; COSTA, V. C.; SPERANÇA, M. A.; PEREIRA-FILHO, E. R. Laser-induced breakdown spectroscopy (LIBS) and wavelength dispersive X-ray fluorescence (WDXRF) data fusion to predict the concentration of K, Mg and P in bean seed samples. **Food Research International**, v. 132, p. 109037, june. 2020b.

GAZZONI, D. L. **Soja e abelhas**. EMBRAPA SOJA. 2017. Disponível em: <www.embrapa.br/fale-conosco/sac/>. Acesso em: 10 dez. 2020.

GOLDBERG, R. B.; BARKER, S. J.; PEREZ-GRAU, L. Regulation of gene expression during plant embryogenesis. **Cell**, Cambridge v. 56, n. 2, p. 149-160, ja. 1989.

GUTIERREZ, L.; WUYTSWINKEL, O. V.; CASTELAIN, M.; BELLINI, C. Combined networks regulating seed maturation. **Trends in Plant Science**, v. 12, n. 7, p. 294-300, july. 2007.

HAHN, D. W.; OMENETTO, N. Laser-induced breakdown spectroscopy (LIBS), Part II: Review of instrumental and methodological approaches to material analysis and applications to different fields. **Applied Spectroscopy**, v.66, n. 4, 347-419, apr. 2012.

HAJDUCH, M. A. Systematic Proteomic Study of Seed Filling in Soybean. Establishment of High-Resolution Two-Dimensional Reference Maps, Expression Profiles, and an Interactive Proteome Database. **Plant physiology**, v. 137, n. 4, p. 1397–1419, apr. 2005.

HOEKSTRA, F. A.; GOLOVINA, E. A.; BUITINK, J. Mechanism of plant desiccation tolerance. **Trends in Plant Science**, v. 6, n. 9, p. 431-438, sep. 2001.

HUNDERTMARK M.; BUITINK, J.; LEPRINCE, O. The reduction of seed-specific dehydrins reduces seed longevity in *Arabidopsis thaliana*. **Seed Science**, v. 21, n. 3, p. 165–173, aug. 2011.

KEW ROYAL BOTANIC GARDENS. **Seed viability equation: viability utility**. Richmond, 2016. Disponível em: <<http://data.kew.org/sid/viability/>>. Acesso em 10 jan. 2016.

LARIOS, G. S.; NICOLODELLI, G.; SENESI, G. S.; RIBEIRO, M. C. S.; XAVIER, A. A. P.; MILORI, D. M. B. P.; ALVES, C. Z.; MARANGONI, B. S.; CENA, C. Laser-Induced Breakdown Spectroscopy as a Powerful Tool for Distinguishing High- and Low-Vigor Soybean Seed Lots. **Food Analytical Methods**, v. 13, p.1691–1698, june. 2020.

LEPRINCE, O. PELLIZZARO, A.; BERRIRI, S.; BUITINK, J. Late seed maturation: Drying without dying, Oxford University Press. **Journal of Experimental Botany**, v. 68, n. 4, p. 827-841, feb. 2017.

LEPRINCE, O.; BUITINK, J. Desiccation tolerance: From genomics to the field. **Plant Science**, v. 179, n. 6, p. 554–564, dec. 2010.

LIMA, J. J. P.; BUITINK, J.; LALANNE, D.; ROSSI, R. F.; PELLETIER, S.; SILVA, E. A. A.; LEPRINCE, O. Molecular characterization of the acquisition of longevity during seed maturation in soybean. **PLoS ONE**, v. 12, n. 7, p. 1–25, july. 2017.

LUCCAS, D. A. **Caracterização Fisiológica, Bioquímica e Molecular em sementes de soja (*Glycine max* (L.) Merr.) com retenção de clorofila**. 2018. 187p. Tese (Doutorado em Agronomia/Agricultura), Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu – SP, 2018.

MARCOS FILHO, J. Seed vigor testing: an overview of the past, present and future perspective. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 72, n. 4, p. 363-374, july/aug. 2015.

NAKAJIMA, S.; ITO, H.; TANAKA, R.; TANAKA, A. Chlorophyll b reductase plays an essential role in maturation and storability of *Arabidopsis* seeds. **Plant Physiology**, Rockville, v. 160, n. 1, p. 261–273, sep. 2012.

NÉE, G.; KRAMER, K.; NAKABAYASHI, K.; YUAN, B.; XIANG, Y.; MIATTON, E.; FINKEMEIER, I.; SOPPE, W. J. J. DELAY OF GERMINATION1 requires PP2C phosphatases of the ABA signalling pathway to control seed dormancy. **Nature Communications**, v. 8, n. 72, july. 2017.

NOLL, R. **Laser-Induced Breakdown, Spectroscopy. Fundamentals and Applications**, Springer: Aachen 2012.

NONOGAKI, H. Chapter Five- ABA responses during seed development and germination. **Advances in Botanical Research**, v. 92, p. 171-217, 2019.

PÁDUA, G. P.; CARVALHO, M. L. M.; FRANÇA-NETO, J. B.; GUERREIRO, M. C.; GUIMARÃES, R. M. Response of soybean genotypes to the expression of green seed under temperature and water stresses. **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v. 31, n. 3, p. 140-149, 2009.

PÁDUA, G. P.; FRANÇA NETO, J. B.; CARVALHO, M. L. M.; COSTA, O.; KRZYZANOWSKI, F.C.; COSTA, N. P. Tolerance level of green seed in soybean seed lots after storage. **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v. 29, n. 3, p. 112–120, aug. 2007.

PASQUINI, C.; CORTEZ, J.; SILVA, L.M.C.; GONZAGA, F.B. "Laser Induced Breakdown Spectroscopy". **Journal of the Brazilian Chemical Society**, v. 18, n. 3, p. 463, 2007.

PBMC - Contribuição do Grupo. ao Primeiro Relatório de Avaliação Nacional do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas. **Sumário Executivo do GT2**. PBMC, Rio de Janeiro, Brasil, p. 28, 2013.

PEREIRA NETO, L. G. **Longevidade de sementes de *Astronium fraxinifolium* Schott: estudos fisiológicos, bioquímicos e moleculares**. 2016. 136p. Tese (Doutorado em Agronomia/Agricultura), Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu – SP, 2016.

PERISSATO, S. M. **Interação Genótipo ambiente na produtividade, qualidade fisiológica e incidência de sementes verdes em soja (*Glycine max* (L.) Merr.)**. 2019. 104p. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Agricultura), Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu – SP, 2019.

POPINIGIS, F. **Effects of the physiological quality of seed on field performance of soybeans (*Glycine max* (L.) Merrill) as affected by population density**. 1973. Tese (PhD em Agronomia), Mississippi State University, 1973.

PRIETO-DAPENA, P.; CASTAÑO, R.; ALMOGUERA, C.; JORDANO, J. Improved resistance to controlled deterioration in transgenic seeds. **Plant Physiology**, v. 142, n. 3, p. 1102–1112, nov. 2006.

PUTHUR, J. T.; SARADHI, P. P. Developing embryos of *Sesbania sesban* have unique potential to photosynthesize under high osmotic environment. **Journal of Plant Physiology**, Stuttgart, v. 161, n. 10, p. 1107–1118, oct. 2004.

RIGHETTI, K.; VU, L. J.; PELLETIER, S.; VU, L. B.; GLAAB, E.; LALANNE, D.; PASHA, A.; PATEL, R. V.; PROVART, N. J.; VERDIER, J.; LEPRINCE, O.; BUITINK,

J. Inference of longevity-related genes from a robust coexpression network of seed maturation identifies regulators linking seed storability to biotic defense-related pathways. **Plant Cell**, v. 27, n. 10, p. 2692–2708, oct. 2015.

ROBERTS, E. H. Storage environment and control of viability. In: ROBERTS, E. H. (Ed.). **Viability of seed**. Syracuse: Syracuse University Press, 1972. p. 14-58.

SANO, N.; RAJJOU, L.; NORTH, H. M.; DEBEAUJON, I.; MARION-POLL, A.; SEO, M. Staying Alive: Molecular Aspects of Seed Longevity. **Plant and Cell Physiology**, v. 57, n. 4, p. 660–674, apr. 2016.

SANTOS, A. R. P. **Funções de Ligação da determinação de longevidade de sementes de soja**. 2018. 78p. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Agricultura), Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu – SP, 2018.

SINNECKER, P.; GOMES, M. S. O.; ARÊAS, J. A. G.; LANFER-MARQUEZ, U. M. Relationship between color (instrumental and visual) and chlorophyll contents in soybean seeds during ripening. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, v. 50, p. 3961–3966, july. 2002.

SMOLIKOVA, G. N.; MEDVEDEV, S. S. Photosynthesis in the seeds of chloroembryophytes. **Russian Journal of Plant Physiology**, Moscow, v. 63, n. 1, p. 1–12, dec. 2016.

TEIXEIRA, R. N.; LIGTERINK, W.; FRANÇA-NETO, J. B.; HILHORST, H. W. M.; SILVA, E. A. A. Gene expression profiling of the green seed problem in Soybean. **BMC Plant Biology**, v. 16, n. 1, p. 37, oct. 2016.

TOH, S.; IMAMURA, A.; WATANABE, A.; NAKABAYASHI, K.; OKAMOTO, M.; JIKUMARU, Y.; HANADA, A.; ASO, Y.; ISHIYAMA, K.; TAMURA, N.; IUCHI, S.; KOBAYASHI, M.; YAMAGUCHI, S.; KAMIYA, Y.; NAMBARA, E.; KAWAKAMI, N. High temperature-induced abscisic acid biosynthesis and its role in the inhibition of gibberellin action in Arabidopsis seeds. **Plant Physiology**. v. 146, n. 3, p. 1368–1385, dec. 2008.

ZANAKIS, G.N.; ELLIST, R.H.; SUMMERFIELD, R.J. A comparison of changes in vigour among three genotypes of soybean (*Glycine max*) during seed development and maturation in three temperature regimes. **Experimental Agriculture**, Melbourne, v. 30, n. 2, p. 157-170, 1994.

ZORATO, M. F. **O reflexo da presença de sementes esverdeadas na qualidade fisiológica em soja**. 2003. Tese (Doutorado em Ciências) - Ciência e Tecnologia de

Sementes, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas. Pelotas, 2003.

ZORATO, M. F.; PESKE, S. T.; TAKEDA, C.; FRANÇA-NETO, J. B. Presença de sementes esverdeadas em soja e seus efeitos sobre seu potencial fisiológico. **Revista Brasileira de Sementes**, Brasília, v. 29, n. 1, p. 11–19, jan. 2007.