

UNIVERSIDADE DE PASSO FUNDO
FACULDADE DE AGRONOMIA E MEDICINA VETERINÁRIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

**Vigor de sementes de soja: caracteres de raízes,
crescimento vegetativo e rendimento de grãos**

Luciano Antônio Ebone

Passo Fundo,

2020

Luciano Antônio Ebone

Vigor de sementes e caracteres de raízes: crescimento vegetativo e rendimento de grãos

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia da Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária da Universidade de Passo Fundo, como requisito parcial para obtenção de título de Mestre em Agronomia.

Orientador:
Geraldo Luiz Chavarria Lamas Junior

Passo Fundo,

2020

CIP – Catalogação na Publicação

E16v Ebone, Luciano Antônio

Vigor de sementes de soja : caracteres de raízes,
crescimento vegetativo e rendimento de grãos / Luciano
Antônio Ebone. – 2020.

83 f. : il. color. ; 30 cm.

Orientador: Prof. Dr. Geraldo Luiz Chavarria Lamas
Junior.

Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade de
Passo Fundo, 2020.

1. Soja - Cultivo. 2. Soja - Sementes. 3. Produtividade
agrícola. I. Lamas Junior, Geraldo Luiz Chavarria, orientador.
II. Título.

CDU: 633.34

ATA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO



PPGAgro
Programa de Pós-Graduação
em Agronomia

A Comissão Examinadora, abaixo assinada, aprova a Dissertação.

“Vigor de sementes de soja: caracteres de raízes, crescimento vegetativo e rendimento de grãos”

Elaborada por

Luciano Antônio Ebone

**Como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em
Agronomia – Produção e Proteção de Plantas**

**Aprovada em: 16/06/2020
Pela Comissão Examinadora**

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Geraldo Chavarria Lamas Jr.', written in a cursive style.

Dr. Geraldo Chavarria Lamas Júnior
Presidente da Comissão Examinadora
Orientador

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Nadia Canali Lângaro', written in a cursive style.

Dra. Nadia Canali Lângaro
Examinador - UPF

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Edson Campanhola Bortoluzzi', written in a cursive style.

Dr. Edson Campanhola Bortoluzzi
Coord. Prog. Pós-Graduação em Agronomia

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'José de Barros França-Neto', written in a cursive style.

Dr. José de Barros França-Neto
Examinador – Embrapa Soja

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Eraldo Lourenso Zanella', written in a cursive style.

Dr. Eraldo Lourenso Zanella
Diretor FAMV

DEDICATÓRIA

Dedico esse trabalho aos meus genitores, Evair Ebone e Rosane Maria Lodi Ebone, pelo apoio em todos os momentos.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao meu orientador o Dr. Geraldo Chavarria pela orientação para a realização dessa dissertação. Assim, como a Dra. Andréia Caverzan pelo apoio na realização das avaliações.

“A menor distância entre dois pontos é a ciência”. (Autor desconhecido)

RESUMO

EBONE, Luciano Antônio. Vigor de sementes de soja: caracteres de raízes, crescimento vegetativo e rendimento de grãos. 2020. 83 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, 2020.

Apesar de ser a principal leguminosa cultivada no mundo, a soja [*Glycine max* (L.) Merrill] apresenta vários *gaps* no conhecimento sobre seu cultivo. O objetivo do trabalho foi determinar os impactos do vigor de sementes de soja no desenvolvimento da cultura e quais são os caracteres das raízes que são responsáveis pelas diferenças de rendimentos entre plantas de um mesmo genótipo. Assim, se desenvolveram dois experimentos com a cultivar DM 5958 RSF IPRO. O primeiro determinou os impactos do vigor das sementes na uniformidade e crescimento, bem como no desenvolvimento e produtividade das plantas de soja. Os tratamentos consistiram de quatro níveis de vigor (89, 57, 47 e 43%) obtidos pelo envelhecimento acelerado (32 °C e 95% de umidade por 0, 120, 192, e 216 h) das sementes em delineamento de blocos ao acaso, com cinco repetições em três locais, nos municípios de Coxilha (Área I) e Passo Fundo (Área II e III). Já o segundo experimento teve por objetivo investigar se diferentes classes de rendimento de grãos de soja cultivadas em diferentes locais interferem na morfologia do sistema radicular, conforme analisado pelo software WinRHIZO®. Utilizou-se o delineamento experimental inteiramente casualizado, que consistiu em quarenta repetições e cinco tratamentos. Os tratamentos consistiram em três locais de cultivo (I, II e III) e cinco classes de produtividade de grãos de soja (C1, C2, C3, C4 e C5). A emergência das plantas e a morfologia do sistema radicular foram avaliadas. A desuniformidade causada pelas diferenças de vigor na emergência gera plantas dominantes e dominadas, sendo que as plantas dominadas, por meio de sua plasticidade fenotípica modificam o diâmetro do caule e o comprimento dos internódios para igualar-se em estatura com as plantas dominantes. As plantas que emergiram primeiro tiveram uma área foliar maior nos estádios fenológicos V₁, V₄ e R₂, permitindo que acumulassem mais fotoassimilados nos estádios iniciais. Conseqüentemente, essas plantas exibiram aumento nos componentes de rendimento, especialmente o número de nós férteis e o número de legumes por planta, tornando-as mais produtivas. As plantas de soja com maior rendimento de grãos - classe C1 - necessitaram de menos tempo para emergir. Já as plantas com menor rendimento de grãos - classe C5 - exigiram mais. Plantas de soja com maior produtividade de grãos - classe C1 - apresentaram maior comprimento total de raiz, de raízes muito finas, de raízes finas, de raízes grossas e de forquilhas, além de maior volume radicular. Houve uma associação positiva entre todas as variáveis radiciais e a produtividade por planta, e o dendrograma genérico de dissimilaridade entre as cinco classes (C1-C5) formou dois grupos distintos. Os principais atributos responsáveis pela segregação das plantas de soja nas classes de produção de grãos foram o volume e o comprimento das raízes grossas.

Palavras-chave: 1. *Glycine max* L. 2. Velocidade de emergência. 3. Morfologia de raiz. 4. Área foliar. 5. WinRHIZO.

Soybean seed vigor: root characters, vegetative growth and grain yield

ABSTRACT

EBONE, Luciano Antônio. Soybean seed vigor: root characters, vegetative growth and grain yield. 2020. 83 f. Dissertation (Masters in Agronomy) - University of Passo Fundo, Passo Fundo, 2020.

Despite being the main legume cultivated in the world, soybean [*Glycine max* (L.) Merrill] presents several gaps in the knowledge about its cultivation. One of the main gaps of the crop are the impacts of seed vigor on the development of the crop and which are the characters of the roots that are responsible for the differences in yields between plants of the same genotype. Two experiments were developed, the first determined the impacts of seed vigor on uniformity and growth, as well as on the development and productivity of soybean plants. The treatments consisted of four vigor levels (89, 57, 47 and 43%) obtained by accelerated aging (32°C and 95% relative humidity for 0, 120, 192, e 216 h) the seeds, in a randomized block design, with five replications in three locations in the municipalities of Coxilha (Site I) and Passo Fundo (Sites II and III). The second experiment, on the other hand, aimed to investigate whether different classes of soybean grain yield grown in different locations interfere with the morphology of the root system, as analyzed by the WinRHIZO® software. The soybean cultivar DM 5958 RSF IPRO was used in a completely randomized design, which consisted of forty replicates and five treatments. The treatments consisted of three cultivation sites (I, II and III) and five soybean grain productivity classes (C1, C2, C3, C4 and C5). Plant emergence and root system morphology were evaluated. Seeds with a higher level of vigor showed greater uniformity and faster emergence. The unevenness caused by differences in vigor in emergence creates dominant and dominated plants, and the plants dominated through their phenotypic plasticity modify the stem diameter and the length of the internodes to match their height with the dominant plants. The plants that emerged first had a larger leaf area in the three stages (V₁, V₄ and R₂), allowing them to accumulate more photoassimilates in the initial stages. Consequently, these plants exhibited an increase in production components, especially the number of fertile nodes and the number of pods per plant, making them more productive. The results of the second experiment showed that plants with higher grain yield - class C1 - needed less time to emerge and that plants with lower grain yield - class C5 - required more time. Soybean plants with higher grain yield - class C1 - showed a longer total root length, larger amount of very thin roots, thin roots, thick roots and forks and a higher root volume. There was a positive association between all root variables and productivity per plant, and the generic dissimilarity dendrogram between the five classes (C1-C5) formed two distinct groups. In this regard, the main attributes responsible for the segregation of soybean plants in the grain production classes were the volume and length of the thick roots.

Key words: 1. *Glycine max L.* 2. Seedling emergence speed. 3. Root morphology. 4. Leaf area.
5. WinRHIZO.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
2	REVISÃO DA LITERATURA	16
2.1	<i>Deterioração</i>	16
2.2	<i>Vigor</i>	19
2.3	<i>Morfologia</i>	20
3	CAPÍTULO I	22
3.1	<i>Resumo</i>	22
3.2	<i>Introdução</i>	22
3.3	<i>Material e Métodos</i>	24
3.3.1	Material vegetal	24
3.3.2	Delineamento experimental	24
3.3.3	Procedimentos	26
3.3.3.1	Velocidade de emergência, estande de plantas e índice de uniformidade	28
3.3.3.2	Crescimento e desenvolvimento de plantas	29
3.3.3.3	Nodulação	30
3.3.3.4	Componentes do rendimento	30
3.3.4	Análise estatística	30
3.4	<i>Resultados</i>	31
3.4.1	Velocidade de emergência, estande de plantas e índice de uniformidade	31
3.4.2	Crescimento e desenvolvimento da soja	33
3.4.3	Nodulação	33
3.4.4	Parte aérea, raiz e caule	35
3.4.5	Componentes do rendimento	38
3.5	<i>Discussão</i>	40
3.6	<i>Conclusões</i>	46
4	CAPÍTULO II	47
4.1	<i>Resumo</i>	47
4.2	<i>Introdução</i>	48
4.3	<i>Material e Métodos</i>	49
4.3.1	Material vegetal e locais	49
4.3.2	Design experimental	49
4.3.3	Procedimentos	53

4.3.3.1 Emergência	53
4.3.3.2 Morfologia do sistema radicial	54
4.3.4 Análise estatística	54
4.4 <i>Resultados</i>	54
4.4.1 Emergência	54
4.4.2 Morfologia do sistema radicial	55
4.4.3 Correlação e dissimilaridade	58
4.5 <i>Discussão</i>	60
4.6 <i>Conclusões</i>	63
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	65
6 CONCLUSÃO GERAL	66
REFERÊNCIAS	67
ANEXOS	75
<i>Anexo I Physiological alterations in orthodox seeds due to deterioration processes</i>	75
<i>Anexo II Accelerated aging test and image analysis for barley seed</i>	76
<i>Anexo III Nematicides: history, mode and mechanism action</i>	77
<i>Anexo IV Soybean seed vigor: uniformity and growth as key factors to improve yield</i>	78
<i>Anexo V Biochemical profile of the soybean seed embryonic axis and its changes during accelerated aging</i>	79
APÊNDICES	80
<i>Apêndice I Tabela suplementar 1 - Análise do solo</i>	80
<i>Apêndice II Figura suplementar 1 - Teor de água no solo</i>	81

1 INTRODUÇÃO

Nas últimas safras do cultivo da soja [*Glycine max* (L.) Merrill] os produtores têm constatado divergências na produtividade quando utilizaram lotes de sementes com distintos níveis de vigor. As diferenças reportadas, que chegam a 23 sacas por hectare (sc/ha), podem ser atribuídas ao reflexo do vigor das sementes em conjunto com condições edafoclimáticas.

A deterioração das sementes durante o armazenamento é a principal responsável pela redução do vigor e a perda de viabilidade da semente, a exemplo da cultura da soja. Embora não completamente elucidada a deterioração é atribuída a uma série de processos concomitantes ou não que ocorrem durante a armazenagem.

Entre os processos que levam à deterioração pode-se citar como principais a perda da capacidade de proteção da semente contra espécies reativas de oxigênio (EROs), a peroxidação lipídica, o consumo de reservas e os danos ao material genético. Esses danos ocasionam, a perda de grande parte do material colhido no mundo, a redução do valor agregado da semente e a redução da produtividade em função do reflexo do vigor na planta adulta.

O vigor e a viabilidade são os fatores mais importantes para que os lotes de sementes possuam elevada qualidade fisiológica e capacidade de originar um indivíduo com elevado potencial produtivo. Esses fatores chegam ao seu ápice no ponto de maturidade fisiológica da semente e, após essa fase, eles decrescem, sendo que esta redução recebe o nome de deterioração.

As sementes que sofreram deterioração acabam por apresentar uma redução especialmente no vigor, uma vez, que a germinação apresenta maior resiliência à

deterioração. A redução do vigor acaba originando três problemas em campo: redução do estande de plantas, desenvolvimento inicial lento da cultura, e desuniformidade entre as plantas emergidas.

A redução da germinação é o fator clássico apontado como motivo da redução da produtividade em campos com sementes de baixo vigor, especialmente quanto as condições climáticas durante a semeadura se mostram adversas. No entanto, esse problema pode ser transposto facilmente a partir do incremento na taxa de semeadura. Assim, há a necessidade de averiguar se quando ajustada a taxa de semeadura em função de um vigor mais baixo, o crescimento lento e a desuniformidade e ainda são suficientes para gerar diferenças de rendimento.

Além da qualidade das sementes, outro fator que tem demonstrado ser a razão da desuniformidade de produção entre plantas de um mesmo campo e genótipo é o crescimento distinto de raízes. Plantas mais produtivas apresentam sistema radicial mais robusto que as de rendimento baixo, contudo essa informação visualizada em campo carece de maior acurácia, como por exemplo quais são os caracteres mais importantes (volume, comprimento e diâmetros de raízes). Dessa maneira, tem-se a necessidade de avaliar se há e quais são as diferenças radiciais entre plantas com distintas produtividades, a fim de entender melhor a relação entre a produtividade e o desenvolvimento radicial.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 Deterioração

O vigor das sementes depende essencialmente da capacidade de resistir ao armazenamento prolongado e a efeitos deletérios do envelhecimento (VENTURA et al., 2012). Assim, vigor e deterioração são assuntos correlatos, em que a boa compreensão passa pelo conhecimento de ambos.

A máxima qualidade fisiológica de sementes é geralmente obtida no momento em que ocorre a maturação fisiológica (MINUZZI et al., 2010). Após a maturação não há a paralisação da atividade metabólica, o que induz a mudanças bioquímicas contínuas e o predomínio de processos catabólicos que ocasionam a deterioração (SHELAR et al., 2008).

A deterioração ou a redução da qualidade fisiológica pode ser considerada como a redução da germinação e do vigor da semente (FU et al., 2015; KHAN et al., 2017). Devido à falta de precauções adequadas durante o armazenamento as perdas chegam a 25% de todo o material colhido (KHAN et al., 2017).

As causas do envelhecimento e da morte das sementes não são totalmente compreendidas, pois o envelhecimento da semente é um traço biológico complexo e envolve uma rede de processos moleculares, bioquímicos, fisiológicos e metabólicos (FU et al., 2015).

Todavia uma série de processos tem sido estudados para estabelecer relações de causa e efeito junto à deterioração das sementes. A título de exemplo pode-se citar a redução da atividade mitocondrial (XIN et al., 2014), as reações de Amadori e Maillard (

MURTHY; SUN, 2000; NISARGA et al. 2017) e a redução da atividade das enzimas que degradam as EROs (ALI et al. 2017; SHARMA et al., 2013).

Como forma de racionalizar a compreensão dos fenômenos que ocasionam a deterioração da semente no armazenamento, sugere-se agrupá-los em quatro grupos principais: depressão da capacidade protetora contra estresses oxidativos, danos à membrana plasmática, consumo de reservas e danos a material genético.

Há relatos de que o primeiro evento no envelhecimento da semente seja a ocorrência de danos às membranas pela peroxidação lipídica (BRACCINI et al., 2000). Todavia, tal afirmação se mostra imprecisa, pois o aparecimento dos indicadores de redução da qualidade fisiológica só ocorre com a inativação das enzimas responsáveis pela degradação das EROs (ALI et al., 2017; SHARMA et al., 2013).

Muitas enzimas desempenham este papel de proteção contra EROS. Porém, as mais importantes são a superóxido-dismutase (SOD), catalase (CAT), peroxidase, ascorbato-peroxidase (APX) e glutathione-redutase (GR) (GOEL; SHEORAN, 2003).

Tais enzimas são desnaturadas principalmente em função das reações de Amadori e Maillard (MURTHY; SUN, 2000), que são reações não-enzimáticas em que açúcares redutores reagem com aminoácidos ou ácidos nucleicos desencadeando uma série de processos que tem por fim a formação de produtos da glicosilação (STRELECA; UGARCIC-HARDI; HLEVNJAK., 2008).

A partir da desnaturação proteica destas enzimas, começam a ocorrer danos oxidativos na célula, em especial à peroxidação lipídica, sendo que os danos às membranas são considerados como o principal evento que ocorre no envelhecimento da semente (BRACCINI et al., 2000).

A importância dos danos nas membranas se relaciona ao fato de que as membranas desempenham um papel vital na proteção da integridade do interior da célula e regulam meticulosamente a importação e exportação de diversas substâncias (SYCH; MÉLY;

RÖMER, 2018). Além de atuar na seletividade de solutos, os danos às membranas também ocasionam efeitos adversos sobre a respiração, pois ocorre uma redução na eficiência da produção de energia a partir de um mesmo substrato (MENDES et al., 2009). Além disso, o extravasamento da polifenol-oxidase da célula reduz a transformação de fenóis para quinonas, desestimulando a síntese de adenosina-trifosfato (ATP) na cadeia respiratória (KOCAQALISKAN; DEMIR; KABAR, 1995).

Apesar da peroxidação lipídica ser o mais importante processo de deterioração na semente, os danos ao material genético também desempenham um papel nesse processo, pois a germinação é dependente da integridade das informações genéticas contidas no núcleo (VENTURA et al., 2012).

O dano ao material genético está associado à aberração cromossômica (RADHA et al., 2014), alteração no comprimento dos telômeros, danos no DNA, metilação do DNA e expressão gênica anormal (FU et al., 2015). Todos os eventos citados ocorrem em função da reação do material genético ou de enzimas responsáveis por sua estabilidade com EROs, aldeídos e açúcares redutores.

Os danos das EROs ao DNA são frutos da exposição constante do DNA a estresses oxidativos, resultando em danos que podem retardar o crescimento e resultar em mutagênese ou morte celular (WATERWORTH et al., 2016).

Os danos por causa dos aldeídos ocorrem majoritariamente pelo malonaldeído produzido na peroxidação lipídica, pois ele é um composto com elevada capacidade mutagênica e de movimentação. A sua capacidade mutagênica é resultado da formação de adutos com as moléculas de DNA, inviabilizando a expressão gênica (AYALA; MUNOZ; ARGUELLES, 2014).

A glicolisação ocasionada pelos açúcares redutores em função das reações de Amadori e Maillard também apresentam papel fundamental na deterioração do material genético, pois ela impacta em enzimas responsáveis por fazer os reparos no DNA, impactando negativamente na estabilidade do DNA (MURTHY; SUN, 2000).

2.2 Vigor de sementes

Conceitualmente, o vigor de sementes é considerado como o arcabouço de atributos que permite à semente de originar uma planta normal, com rápido crescimento e com uniformidade de estande sobre uma ampla gama de condições ambientais (KAZIM; IBRAHIM, 2007; MARCOS-FILHO, 2015).

Todavia, a necessidade de mensurá-lo fez com que vários testes fossem estabelecidos para criar uma metodologia capaz de avaliar o vigor das sementes. Um dos testes desenvolvidos corresponde ao envelhecimento acelerado (EA), sendo ele um método laboratorial corroborado na predição do vigor em nível de campo (HAN et al., 2014).

O teste de vigor por EA consiste em expor as sementes a temperaturas entre 40°C e 45°C e umidade relativa superior a 95% (KAZIM; IBRAHIM, 2007) por um período de tempo variável de acordo com a espécie. Para a soja adota-se a combinação 41 °C por 48 h (KRZYANOWSKI et al., 1999). A importância do uso de sementes vigorosas recai pela maior produtividade dessas em relação as de baixo vigor (KOLCHINSKI, SCHUCH; PESKE, 2006; SILVA et al., 2016), podendo haver acréscimos de produtividade de até 30% (KOLCHINSKI, SCHUCH; PESKE, 2006).

O aumento de produtividade ocorre em função de vários fatores, como por exemplo da maior uniformidade das plântulas emergidas (MONDO et al., 2013), estande final mais próximo da taxa de semeadura, especialmente sobre condições adversas ou restritivas (FINCH-SAVAGE; BASSEL, 2016) e modificações na morfologia da planta (ROSSI; CAVARIANI; FRANÇA-NETO, 2018).

O vigor reflete na morfologia da planta, gerando fatores que por fim ocasionarão diferenças produtivas. Dessa maneira, torna-se imperativo conhecer as modificações morfológicas que o vigor causa para entender completamente o impacto final da ocorrência da deterioração.

2.3 Morfologia

Os efeitos do vigor em produtividade são um reflexo da modificação da morfologia das plântulas e sua persistência em plantas adultas (CAVERZAN et al., 2018), especialmente as modificações entre os componentes do rendimento das plantas (MASINO et al., 2018).

Contudo, uma das primeiras indicações das sementes deterioradas é demonstrado pela produção de plântulas fracas ou aquosas e com a raiz primária atrofiada (SHELAR; SHAIKH; NIKAM, 2008). Assim, um dos primeiros efeitos da redução do vigor é a redução do sistema radicial. Entretanto, não se elucidou o motivo pelo qual a raiz possui maiores reduções do que a parte aérea, conforme aumenta a sua deterioração. Esse fato foi relatado por vários pesquisadores em soja (SINGH et al., 2016; HARTMANN FILHO et al., 2016) e em outras espécies como o milho (*Zea mays* L.) (RADHA et al., 2014).

Tais autores trazem visões divergentes sobre o que ocasiona esta peculiaridade. Acredita-se que há uma diferença entre os danos membranares em partes distintas da semente, embora em nenhum momento tenham avaliado as frações de maneira separada. Basicamente, foi sugerido que na soja o órgão mais sensível à redução do crescimento é a raiz primária, pois o eixo embrionário da soja é mais suscetível à deterioração, devido à sua proximidade com o final do funículo, o que aumenta a interação com o ambiente e resulta em uma maior peroxidação lipídica (SINGH et al., 2016; HARTMANN FILHO et al., 2016).

Entretanto, tal proposição se mostra inadequada, pois a presença da peroxidação só ocorre quando há inativação enzimática. Isso indica que a ocorrência de maior peroxidação lipídica na raiz primária do embrião pode estar ligada a diferentes quantidades de açúcares redutores, que estariam inativando enzimas que protegem a membrana contra estresses oxidativos, pois sua inativação permitiria o acontecimento da peroxidação lipídica (MURTHY; KUMAR; SUN, 2003). Dessa maneira, a redução da radícula ocorreria em função das reações de Amadori e Maillard e não por causa da

peroxidação lipídica, pois essa seria apenas um reflexo da primeira. Porém, uma segunda corrente de pensamento atribui uma maior suscetibilidade da radícula ao dano no material genético. Assim, o dano ao DNA aparece em maior escala nas raízes em função da maior reatividade deste local com o meio (RADHA et al., 2014).

Além das modificações morfológicas na raiz, outras modificações também são relatadas, como a redução da área do primeiro trifólio em plantas de baixo vigor, redução no número e massa de nódulos, mudanças de estatura, e diâmetro do caule (CAVERZAN et al., 2018). Isso seria causado pela desuniformidade na emergência de plântulas, que gera plantas dominantes e dominadas nas culturas, com diferenças substanciais na área foliar e no número de nós (HIGLEY; PEDIGO, 1990). Essas diferenças podem ser mediadas por uma diminuição na relação vermelho/vermelho extremo (R:FR) que afeta as plantas dominadas (GREEN-TRACEWICZ et al., 2011). É importante observar que, mesmo sob condições não restritivas, pode-se observar uma alteração na qualidade da luz, redução de biomassa, aumento de internódios e redução de ramificação da soja, embora sem efeitos no índice de colheita (GREEN-TRACEWICZ et al., 2011).

Os resultados de Green-Tracewicz et al., (2011) vão ao encontro de estudos, que relataram que os efeitos do vigor das sementes só seriam relevantes nos estádios iniciais da colheita (ADEGBUYI; BURRIS, 1988; ROSSI et al., 2018; TEKRONY; EGLI, 1991). Assim, as diferenças na área foliar nos estádios iniciais da cultura se dissiparam e levariam a uma homogeneidade entre as plantas, mesmo em campo de baixo vigor. Contudo, um contraponto a essa informação sconsta em trabalhos que mostram que plantas com maior área foliar nos estádios iniciais, cobrem melhor o solo e são mais eficientes no uso de recursos, que plantas de baixa área foliar (CAVERZAN et al., 2018; MULLER et al., 2017). Assim, a planta com maior área foliar inicial sintetiza mais carboidratos para o desenvolvimento e é iniciado um ciclo de crescimento no qual a área foliar maior fornece mais carboidratos e, posteriormente, mais energia para um ciclo positivo de desenvolvimento da planta (BULLOCK et al., 1998).

3 CAPÍTULO I

VIGOR DE SEMENTES DE SOJA: UNIFORMIDADE E CRESCIMENTO DE PLANTAS COMO FATORES-CHAVE PARA INCREMENTAR A PRODUTIVIDADE

3.1 Resumo

A uniformidade e o tempo necessário para a emergência de plântulas são fatores essenciais para a obtenção de um alto potencial produtivo da lavoura. Fatores como profundidade de semeadura e umidade do solo são conhecidos por afetarem a uniformidade e a emergência, mas pouco se sabe sobre os impactos do vigor das sementes. Assim, determinaram os impactos do vigor das sementes na uniformidade e no crescimento, bem como no desenvolvimento e produtividade das plantas de soja [*Glycine max* (L.) Merrill]. Os tratamentos consistiram de quatro níveis de vigor (89, 57, 47 e 43%) obtidos pelo envelhecimento acelerado (32°C e 95% de umidade por 0, 120, 192, e 216 h) das sementes, em delineamento de blocos ao acaso, com cinco repetições em três locais, nos municípios de Coxilha (Área I) e Passo Fundo (Áreas II e III). Sementes com maior nível de vigor apresentaram maior uniformidade e emergência de plântulas mais rápida. A desuniformidade da emergência gera plantas dominantes e dominadas, sendo que as plantas dominadas, por meio de sua plasticidade fenotípica modificam o diâmetro do caule e o comprimento dos internódios para igualar-se em estatura com as plantas dominantes. As plantas que emergiram primeiro apresentaram uma área foliar maior nos estádios fenológicos V₁, V₄ e R₂, permitindo a acumulação de mais fotoassimilados nos estádios iniciais. Consequentemente, essas plantas exibiram aumento nos componentes de rendimento, especialmente o número de nós férteis e o número de vagens por planta, tornando-as mais produtivas.

Palavras-chave: 1. *Glycine max* L. 2. Velocidade de emergência. 3. Área foliar. 4. Produtividade.

3.2 Introdução

A importância da soja é indubitável, dado seu papel como uma importante fonte de proteína para animais utilizados para a produção de alimentos e sua crescente importância no consumo humano (FRIEDMAN; BRANDON, 2001). Essas considerações, juntamente com as mudanças nas dietas humanas (especialmente nos países em desenvolvimento), aumentaram a demanda por esse produto. Para aumentar a oferta de soja, visando atender a essa demanda, uma área maior de terra precisou ser cultivada, levando ao desmatamento de florestas tropicais da América do Sul (GRAU et al., 2005). Tal problema ambiental torna necessário que os pesquisadores desenvolvam estratégias para o incremento do rendimento; por meio de uma melhoria no rendimento e a pressão para abrir novos campos para cultivo, conseqüentemente, poderia ser reduzida. Nesse sentido, o uso de sementes de melhor qualidade poderia ser uma maneira eficiente de enfrentar o desafio do aumento da demanda de alimentos (EBONE et al., 2019; WIMALASEKERA, 2015).

Como todos os produtos, as sementes também estão sujeitas a padrões de qualidade para sua comercialização, sendo a pureza (qualidade física) e a germinação (qualidade fisiológica) os principais padrões (WIMALASEKERA, 2015). No entanto, os dados de germinação não podem ser extrapolados para o campo; isso ocorre principalmente porque os testes de germinação são realizados em condições ideais, pode ser contrário a condições subótimas realmente presentes no campo (FINCH-SAVAGE; BASSEL, 2015; NAKAGAWA, 1999). Portanto, a qualidade fisiológica também deve ser medida por outro conceito, o vigor, que pode ser mais assertivo na medição da taxa de germinação, uniformidade e crescimento (ZHANG et al., 2015).

Entre os vários testes de vigor, o teste de velocidade de germinação avalia a velocidade da emergência (FINCH-SAVAGE; BASSEL, 2015). Existem diferenças entre lotes de sementes com diferentes níveis de vigor em termos de tempo necessário para a germinação (MATTHEWS; HOSSEIN, 2006). No entanto, apesar de bem corroborada em laboratório, são escassas as informações sobre como os lotes de sementes se comportam no campo. Assim, surgem duas questões: se lotes com níveis de vigor

diferentes produzem fluxos distintos de emergência, e se esse fluxo gera crescimento desigual em plantas com distintos dias de emergência, interferindo no rendimento.

O crescimento desigual das plantas resulta em perdas de rendimento (TAO et al., 2017); isso é verdadeiro mesmo para a soja, apesar de sua capacidade de compensar (MASINO et al., 2018). Especificamente, em contraste com a expectativa histórica de que a soja compensa sua desuniformidade, novas pesquisas comprovam que esse não é o caso (MASINO et al., 2018). A não uniformidade no campo é gerada na distinta emergência das plantas no campo (EGLI, 1993; PINTHUS; KIMEL, 1979). Então, pergunta-se: quais são as diferenças no crescimento de plantas com dias distintos de emergência no campo e quais aspectos do crescimento e da reprodutividade das plantas são afetados. Assim, o presente estudo investigou-se o vigor de sementes de soja influencia a velocidade de emergência das plantas, a uniformidade do fluxo e o rendimento de grãos. Além disso, investigou-se como o dia da emergência de cada planta afetou características de nodulação desenvolvimento, e produtividade.

3.3 Material e Métodos

3.3.1 Material vegetal

Neste estudo, utilizaram-se sementes de soja da cultivar DM 5958 RSF IPRO. Esta cultivar possui tamanho médio, hábito indeterminado de crescimento e grupo de maturação 5.8. O experimento foi realizado no subtropical brasileiro, no estado do Rio Grande do Sul (RS).

3.3.2 Delineamento experimental

Os tratamentos, delineados em esquema bifatorial, consistiram em quatro níveis de vigor (89, 57, 47 e 43%) de sementes de soja em três locais: (I) município de Coxilha (28° 07' S, 52° 17' W; altitude, 721 m), (II) o município de Passo Fundo (28° 13' 27" S,

52° 23' 18" W; altitude, 696 m) e (III) Passo Fundo (28° 13' 40 "S, 52° 23' 32" W; altitude, 701 m).

Inicialmente, para testar a qualidade fisiológica das sementes, foram realizados testes de vigor pelo método de envelhecimento acelerado (KRYZANOWSKI et al., 1999) e teste de germinação (BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2009). O lote de sementes apresentou 92% de germinação e 89% de vigor. Para obter diferentes níveis de vigor, as sementes foram expostas à temperatura de 32 °C e 95% de umidade relativa por 0, 120, 192 e 216 h (CAVERZAN et al., 2018), obtendo níveis de vigor de 89% (92% de germinação), 57% (87% da germinação), 47% (83% da germinação) e 43% (81% da germinação), respectivamente. Os valores de vigor (KRYZANOWSKI et al., 1999) e germinação (BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2009) foram determinados em quatro repetições de 100 sementes. Neste estudo, 89% foi considerado alto nível de vigor; 57%, nível de vigor médio; 47%, baixo nível de vigor; e 43%, nível de vigor muito baixo. Vale ressaltar que, neste estudo, houve a preocupação de apenas utilizar sementes cuja média de potencial germinativo ficasse acima de 80%, em atendimento aos padrões da Instrução Normativa 45 do Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento.

O delineamento experimental foi em blocos casualizados com cinco repetições, resultando em um total de 20 unidades experimentais por local. As parcelas consistiram de sete metros de comprimento e 14 linhas com espaçamento de 0,45 m. A taxa de sementes foi ajustada em cada nível de vigor para atingir 220.000 plantas/ha; o ajuste foi baseado na emergência de plântulas em semeaduras anteriores nos locais, resultando em uma taxa de semeadura de 13 sementes/m para 89% do vigor, 14 sementes/m para 57% do vigor e 16 sementes/m para 47% e 43% de vigor.

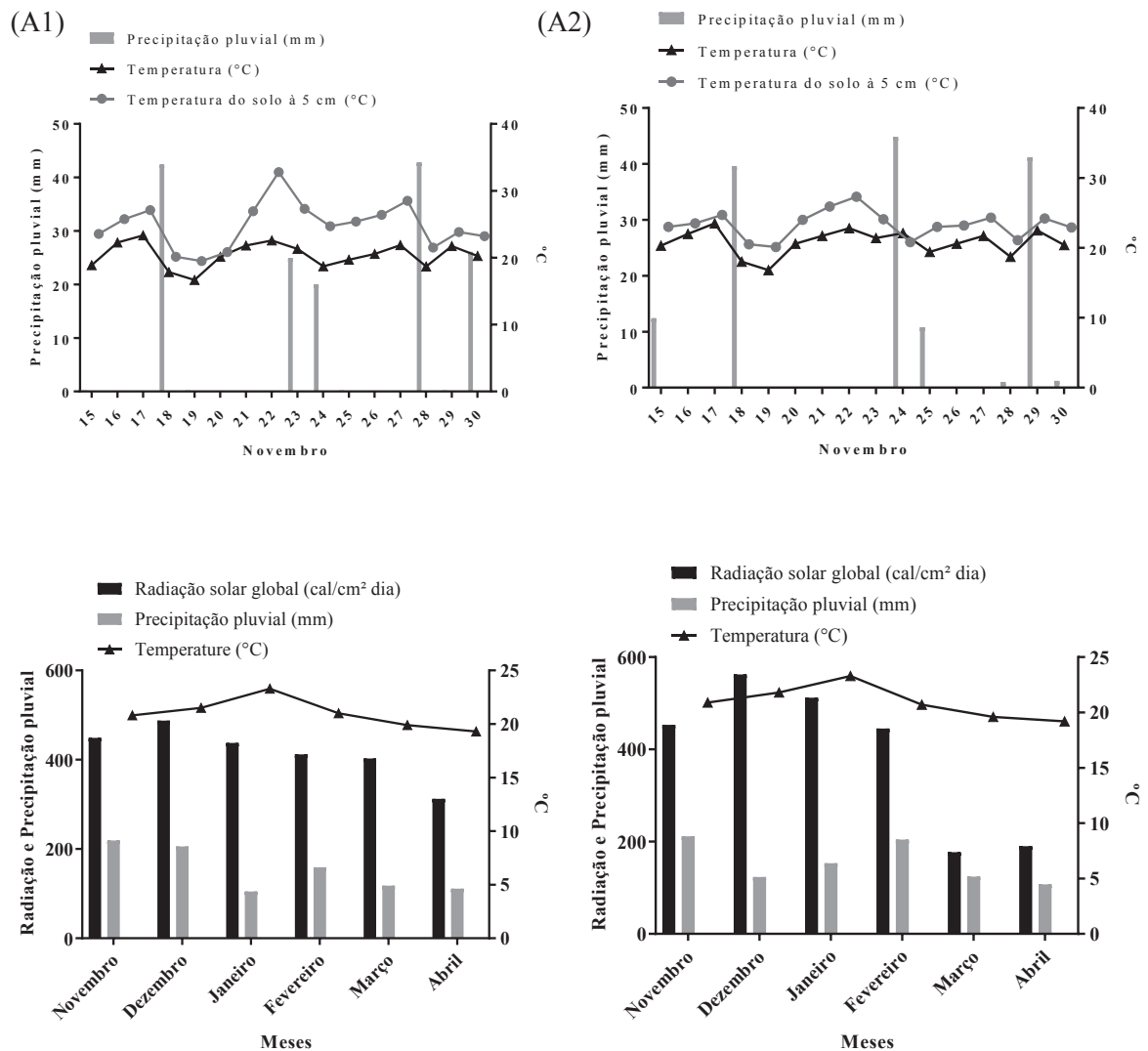
Além disso, a data de emergência das plântulas no campo foi determinada, variando de 5 a 14 dias. Para esses dados, utilizou-se um delineamento inteiramente casualizado, com 200 repetições, consituidas de uma planta, em cada um dos locais. Tomou-se essa medida porque assumiu-se que o dia da emergência da planta seria

determinante para os resultados das variáveis relacionadas ao desenvolvimento e à produtividade da planta, apoiando a hipótese de que o maior nível de vigor diminui o tempo de emergência e que o menor tempo de emergência se reflete em plantas mais produtivas.

3.3.3 Procedimento

O experimento foi realizado em sistema de plantio direto com aveia (*Avena strigosa* Schreb) como cultura antecessora nos três locais; todos os locais estão localizados em uma região climática subtropical úmida com Latossolo Vermelho distrófico húmico; as propriedades químicas do solo (Tabela Suplementar 1) e o teor de água no solo (Figura Suplementar 1) apresentaram propriedades distintas em cada local. A semeadura foi acompanhada de adubação com 6 kg/ha N, 69 kg/ha P₂O₅ e 69 kg/ha K₂O. As sementes foram inoculadas com *Bradyrhizobium japonicum* (250 mL de inoculante com 7×10^9 CFU/mL para 100 kg de sementes) e tratadas com inseticida (50 g de fipronil para 100 kg de sementes) e fungicidas (5 g de piraclostrobina e 45 g de tiofanato-metílico para 100 kg de sementes), de acordo com as recomendações para a cultura da soja. A semeadura do local I foi realizada em 20 de novembro e dos locais II e III, em 21 de novembro de 2018 (Figura 1). O manejo fitossanitário foi feito para controlar preventivamente doenças, pragas e ervas daninhas.

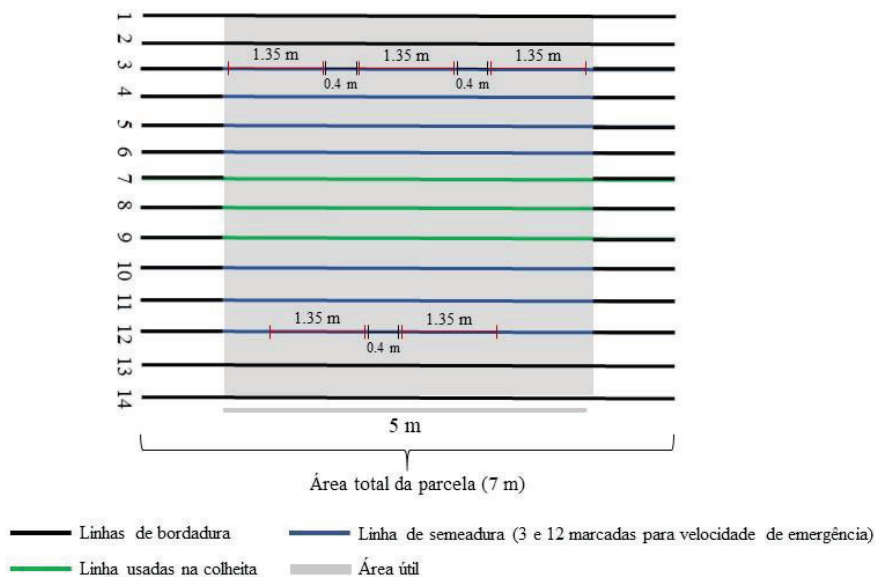
Figura 1 - Dados climáticos. Precipitação pluvial (mm), temperatura média do ar (°C) e temperatura média do solo a 5 cm (°C) próximo à semeadura no local I (A1), local II (A2) e III (A2). Precipitação (mm), radiação solar global (caloria.cm⁻²/dia) e temperatura média do ar (°C) durante o ciclo da colheita no local I (B1), local II (B2) e III (B2). Fonte: Instituto Nacional de Meteorologia (InMet).



3.3.3.1 Velocidade de emergência, estande de plantas e índice de uniformidade.

Para medir a velocidade de emergência, foram marcados 6,75 m de linha de semeadura. Esses 6,75 m foram marcados em cinco linhas diferentes de 1,35 m, sendo três linhas de 1,35 m marcadas ao longo da terceira linha e duas linhas na décima segunda linha de semeadura em cada parcela, o espaçamento entre as linhas marcadas na mesma linha foi de 0,40 m (Figura 2). Para as plantas dentro dessas linhas, avaliou-se diariamente a emergência em dias após a semeadura (EDAS) por 15 dias.

Figura 2 - Estrutura da parcela. Representação esquemática de cada parcela (7m x 14 linhas), com 2 linhas e 1 m de cada lado como bordadura para plantas avaliadas nas cinco linhas de 1,35 m localizadas na terceira e décima segunda linha de semeadura.



Os valores de emergência de cada parcela foram estabelecidos pela média do EDAS de cada uma das cinco linhas. O estande de plantas foi medido em cada parcela, contando 6,75 m de linha de semeadura aos 20 dias após a semeadura. O índice de uniformidade foi estabelecido pela soma da porcentagem de plantas emergidas no dia do pico de emergência, mais o dia antes e depois do pico de emergência. O índice de uniformidade (equação 1) foi calculado em cada parcela pela média de uniformidade de todas as plantas emergidas em cinco linhas de 1,35 m:

$$\text{Equação 1. Índice de uniformidade} = \frac{\text{NPEP} + \text{NPEBP} + \text{NPEAP}}{\text{Número total de plantas emergidas}} \cdot 100$$

Onde:

NPEP = número de plantas que emergiram no pico emergência das plantas;

NPEBP = número de plantas que emergem no dia anterior ao NPEP;

NPEAP = número de plantas que emergem no dia seguinte ao NPEP.

3.3.3.2 Crescimento e desenvolvimento de plantas

Para as avaliações destrutivas, foram coletadas 10 plantas em uma das linhas de emergências marcadas (EDAS) (ver item 3.3.3.1 e Figura 2) em cada unidade experimental. A área da primeira folha trifoliada foi medida no estádio V₂ (FEHR; CAVINESS, 1977), e a área foliar foi determinada nos estádios V₄ e R₂. Todas as análises foram realizadas de maneira destrutiva usando um medidor de área foliar (LI-3100C, LICOR Biosciences, Lincoln, Nebraska).

As massas seca de raiz e de parte aérea foram medidas no estádio V₄ (FEHR; CAVINESS, 1977). Para isso, as plantas foram divididas em parte aérea e raízes e colocadas em estufa (60 °C) até atingir massa constante. Após a secagem, a massa seca de raiz e da parte aérea foram determinadas por planta (g/planta). A estatura das plantas foi medida em V₄ e R₈, desde a superfície do solo até o meristema apical do caule principal. O diâmetro do caule foi medido ao nível do solo com o uso de um paquímetro em R₂ (FEHR; CAVINESS, 1977).

3.3.3.3 Nodulação

A nodulação foi avaliada destrutivamente em 10 plantas a partir de linhas com a emergência em dias após a semeadura (EDAS) marcadas (ver item 3.3.3.1 e Figura 2) por parcela ao longo da linha de semeadura, determinou-se o número de nódulos por planta no estágio V₄. Os nódulos foram secos em estufa a 60 °C até atingir massa constante (FEHR; CAVINESS, 1977); após a secagem, determinou-se a massa seca do nódulo por planta (g/planta).

3.3.3.4 Componentes do rendimento

Os componentes de rendimento foram avaliados para cada planta com base no EDAS no estágio R₈. Foi determinado o número total de entre-nós, bem como o número de nós férteis, legumes no caule principal e grãos em toda a planta (caule principal mais ramos) (CAVERZAN et al., 2018). O comprimento médio dos entre-nós foi determinado pela divisão da estatura da planta pelo número total de nós. A colheita foi realizada nas três fileiras centrais e nos cinco metros centrais de cada parcela, utilizando uma colheitadeira (WINTERSTEIGER Classic, AT). As amostras foram pesadas e corrigidas para 13% de umidade, e foram definidos o rendimento de grãos (kg/ha) e a massa de mil sementes (MMS).

3.3.4 Análise estatística

Os dados (emergência de plântulas, plantio, índice de uniformidade e produtividade) foram submetidos à análise de variância com delineamento em blocos casualizados com dois fatores (níveis de vigor *versus* locais), compostos por quatro níveis de vigor em cinco repetições em três locais, totalizando 60 unidades experimentais. As médias foram comparadas pelo teste de Tukey, com probabilidade de erro de 0,05. As demais variáveis foram submetidas à análise de variância como delineamento inteiramente casualizado, com EDAS como único fator, sendo cada considerada como uma unidade experimental cada uma das 200 plantas analisadas em cada local. As médias foram comparadas pelo teste de Tukey, com probabilidade de erro de 0,05.

3.4 Resultados

3.4.1 Velocidade de emergência, estande de plantas e uniformidade

As diferenças entre o tempo médio de emergência dos níveis mais altos (89%) e mais baixos de vigor (43%) foram encontradas no dia 1 no local I e de 0,5 dias nos locais II e III (Tabela 1). Não observamos diferenças significativas na população de plantas entre os locais e tratamentos, com os tratamentos mostrando populações de plantas entre 222.768 a 226.060 plantas/ha.

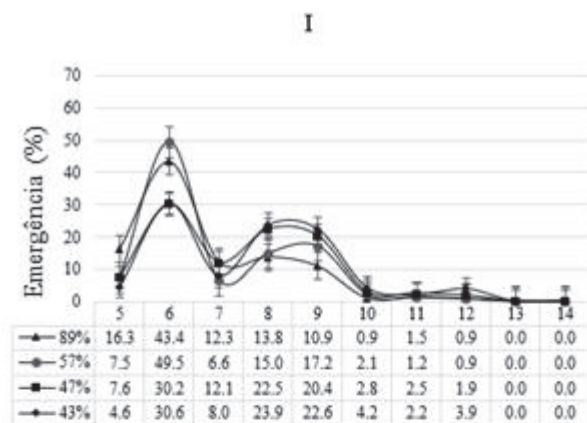
Tabela 1 - Tempo médio de emergência (velocidade de emergência) em dias e índice de uniformidade em porcentagem de plântulas de soja com diferentes níveis de vigor (89, 57, 47 e 43%) em três locais (I, II e III).

Vigor	Velocidade de emergência (dias)			Índice de Uniformidade (%)		
	I	II	III	I	II	III
89%	6,8 a	7,7 a	7,6 a	70,6 Ab	82,5 aA	86,3 aA
57%	7,0 a	8,0 ab	7,7 a	61,5 aB	73,8 abA	80,9 abA
47%	7,5 b	8,1 b	8,0 ab	48,3 bB	70,5 bA	76,7 abA
43%	7,8 b	8,2 b	8,1 b	38,6 bB	69,8 bA	72,1 bA
CV (%)		3,1			8,9	

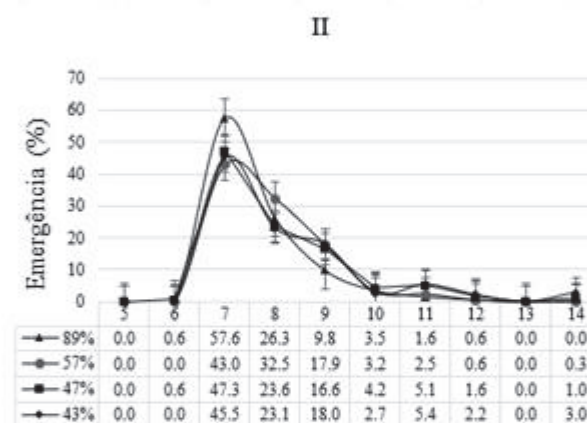
Nota: as médias seguidas pela mesma letra maiúscula em uma linha e letra minúscula em uma coluna não são significativamente diferentes pelo teste de Tukey ($P = 0,05$). CV = coeficiente de variação.

O índice de uniformidade diminuiu à medida que o vigor diminuiu (Tabela 1), mostrando que a diminuição no vigor aumentou a variabilidade entre as plantas no campo. Existem diferenças entre os locais nessas variáveis, sendo a área I distinta das áreas II e III. Isso ocorre devido aos fluxos distintos de emergência (Figura 3), onde a área I, além de um pico principal, apresentou outro pequeno pico ao oitavo dia, causando o baixo índice de uniformidade.

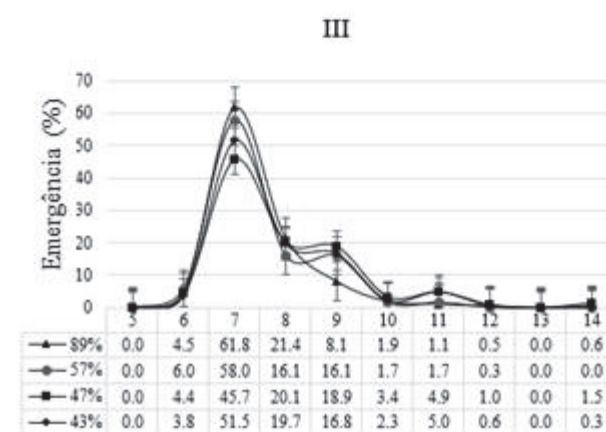
Figura 3 - Fluxo de emergência das plântulas de soja. Emergência (%) a cada dia após a semeadura (5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13 e 14) de sementes de soja com diferentes níveis de vigor (89, 57, 47 e 43%) em três locais (I, II e III).



Dias



Dias



Dias

3.4.2 Crescimento e desenvolvimento da soja

A área foliar da primeira folha trifoliada (estádio V₁) mostrou que as plantas que emergiram primeiramente possuem uma área foliar maior (Tabela 2). Ao comparar plantas que emergiram dentro de 6 dias com aquelas que emergiram dentro de 8 dias, houve uma diferença percentual de 11% no local I, 37% no local II e 21% no local III. As diferenças entre as plantas de 6 e 8 EDAS (Tabela 2) no estágio V₄ foram de 18% para o local I e 29% para o local III (diferenças percentuais do local II para plantas com 6 EDAS no estágio V₄ não foram determinadas devido à ausência de uma avaliação dessas plantas). Para o estágio R₂, as diferenças foram de 2, 36 e 18% para as áreas I, II e III, respectivamente.

3.4.3 Nodulação

Não houve relação clara do EDAS com o número e massa seca dos nódulos (Tabela 2). Os locais II e III mostraram um padrão decrescente com valores crescentes de EDAS, embora no local I a resposta ao aumento de EDAS fosse aleatória. Um efeito semelhante foi observado para o número de nódulos, onde apenas o local II apresentou um padrão de resposta (Tabela 2), com o decréscimo no número de nódulos conforme o aumento do EDAS.

Tabela 2 - Área foliar (estádio V₁, V₄ e R₂), massa seca de nódulos (estádio V₄) e número de nódulos (estádio V₄) em plantas de soja com diferentes dias de emergência após a semeadura (EDAS) * em três locais (I, II e III).

EDAS	Área foliar V ₁ (cm ²)			Área foliar V ₄ (cm ²)			Área foliar R ₂ (cm ²)			Massa seca de nódulos (g)			Número de nódulos		
	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III
5	30,4 a			1254 a			2878 a			0,298 a			61,6 a		
6	27,3 a	45,7 a	34,8 a	1103 ab		1138 a	2534 a	3345 abc	2573 ab	0,276 ab		0,1334 ab	53,4 a		41 a
7	26,1 ab	32,5 b	30 b	950 bc	833 a	880 b	2491 ab	2501 a	2483 a	0,177 cd	0,0905 a	0,1640 a	41,1 ab	38 a	44,2 a
8	24,1 b	28,4 c	27,4 c	904 cd	726 b	802 b	2486 ab	2140 cd	2095 bc	0,259 abc	0,0939 a	0,1442 ab	54,7 a	38,2 a	43,4 a
9	20,5 c	24,1 d	24,5 cd	720 cde	597 bc	596 c	1927 bc	1947 bcd	1849 cd	0,2439 bc	0,0936 a	0,0944 b	51 ab	38,3 a	35,4 ab
10	16,5 cd	23,2 d	17,5 de	570 def	570 abc	457 bc	1062 bc	1220 d	1624 bcde	0,195 abcd	0,0502 a	0,0787 ab	49,4 ab	30 a	23,5 ab
11	9,6 d	17 e	16,1 e	309 ef	283c	444 c	918 c	1118 d	1146 de	0,077 bcd	0,0392 a	0,0333 ab	21,6 ab	16,5 a	9,5 b
12	9,6 d	7,7 e	10,5 ef	190 f		300 c			580 e	0,048 d		0,0379 ab	14 b		30 ab
14		10,5 e	4,9 f	266 c	266 c	226 c			421 cde		0,0395 a	0,0204 ab		17,3 a	10,5 ab
DSC	5,5	4,6	5,2	263	207	223	802	725	627	0,11	0,07	0,08	24,9	20,4	18,1

Nota: Os valores seguidos por letras distintas em uma coluna são significativamente diferentes pelo teste de Tukey (P = 0,05). DSC = desvio padrão combinado. * Os valores do EDAS são uma média obtida de plantas com níveis distintos de vigor (89, 57, 47 e 43%).

3.4.4 Parte aérea, raiz e caule

A massa seca de parte aérea e raiz em V4 (Tabela 3) mostrou uma redução quando o EDAS aumentou. A média ponderada da massa seca de parte aérea (Tabela 3) pela porcentagem de emergência das plantas (Figura 2) multiplicada por 220.000 (população de plantas por hectare) resultou em um acúmulo de biomassa de 1.633,32 kg/ha no vigor 89% e 1.447,21 kg/ha no vigor 43% no local I. Portanto, devido à diferença de emergência causada pelo nível de vigor distinto, há uma redução de 11,4% da massa seca total acumulada no estágio V4. O local III apresentou a menor diferença de acúmulo de biomassa 1.370,07 kg/ha no vigor 89% e 1.301,62 kg/ha no vigor 43%, significando uma diminuição de 5% da biomassa. Não se estimou a biomassa do local II devido à ausência de avaliação de plantas com 6 e 12 EDAS no estágio V4.

A proporção de massa seca da parte aérea por massa seca da raiz permaneceu estável, apesar das diferenças do EDAS, com cerca de 80% para parte aérea e 20% para as raízes (Tabela 3). O diâmetro do caule no estágio R2 mostrou resposta inversamente proporcional ao EDAS (Tabela 4). Ao comparar o EDAS, observa-se uma redução de 5, 12 e 11% (nos locais I, II e III, respectivamente) no diâmetro das plantas que emergiram em 6 dias comparado as plantas que emergiram em 8 dias.

Tabela 3 - Massa seca da parte aérea, massa seca da raiz, razão da massa seca da parte aérea por massa seca total (SDM / TDM), comprimento da parte aérea (PA) e comprimento da raiz no estágio V₄ em plantas de soja de diferentes dias de emergência após a semeadura (EDAS) * em três sites (I, II e III).

EDAS	Massa seca de parte aérea (g)			Massa seca de raiz (g)			MSPA/MSR			Comprimento de PA. (cm)			Comprimento de raiz (cm)		
	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III
5	8,69 a			1,93 a			0,82 a			32,1 a			16,3 a		
6	8,15 a	8,05 a		1,82 a	1,39 a		0,81 a	0,83 a		31,1 ab	28,8 a		16,5 a	10,6 a	
7	7,20 ab	6,10 a	6,65 ab	1,68 ab	1,30 a	1,34 a	0,81 a	0,8 a	0,82 a	30,7 ab	26,2 a	26,7 abc	13 a	10,3 a	10,8 a
8	6,66 bc	5,67 a	5,91 bc	1,55 abc	1,20 a	1,22 a	0,79 ab	0,81 a	0,82 ab	29 ab	26,3 a	27,0 ab	15,3 a	10,5 a	9,5 a
9	5,32 cd	5,54 a	4,58 cd	1,46 bc	1,12 a	1,22 a	0,78 b	0,83 a	0,77 c	28,2 b	25 a	24,8 cd	15 a	9,7 a	9,3 a
10	4,78 bcde	4,58 a	3,36 cd	1,44 abc	0,83 a	1 a	0,76 b	0,84 a	0,80 abc	27,2 abc	25 a	24 abcd	16,8 a	9 a	9 a
11	2,50 de	3,47 a	3,31 bcd	0,79 cd	0,87 a	1,01 a	0,76 b	0,79 a	0,77 abc	24,3 abc	25 a	23,7 abcd	15 a	8 a	8,5 a
12	1,53 e			0,42 d			0,76 b		0,67 bcd	18,7 c			9 a		7,5 a
14		3,36 a	1,36 d		0,71 a	0,98 a		0,83 a	0,57 d		21,3 a	20 d		7,3 a	7,5 a
DSC	1,8	2,0	1,9	0,45	0,4	0,42	0,03	0,08	0,06	4,6	3,2	3	6	3,2	3,2

Nota: Os valores seguidos por letras distintas em uma coluna são significativamente diferentes pelo teste de Tukey (P = 0,05). DSC = desvio padrão combinado. * Os valores do EDAS são uma média obtida de plantas com níveis distintos de vigor (89, 57, 47 e 43%).

Tabela 4 - Diâmetro do caule, comprimento da parte aérea (PA.), comprimento médio de internódios (CMI), número total de nós e número de nós férteis no estádio R8 em plantas de soja de diferentes dias de emergência após a semeadura (EDAS) * em três locais (I, II e III).

EDAS	Diâmetro do caule (cm)			Comprimento PA. (cm)			CMI (cm)			Número total de nós			Número de nós férteis		
	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III
5	0,91 a			96,7 a			4,70 b			20,6 a			17,4 a		
6	0,85 a	1 abc	1 a	97,1 a		94,4 a	4,72 b		4,91 a	20,6 a		19,2 a	17,1 a		16,6 a
7	0,85 ab	0,90 a	0,96 a	97,7 a	94,4 a	94,3 a	4,76 b	4,87 b	5,62 a	20,6 a	19,4 a	19,1 a	17 a	15,8 a	15,2 ab
8	0,81 ab	0,88 a	0,89 ab	97 a	92 ab	94,6 a	4,84 ab	4,89 b	5,04 a	20,1 a	18,8 ab	18,8 a	16,2 ab	14,9 a	14,3 abc
9	0,72 bc	0,73 c	0,72 c	96,3 a	91,1 bc	95,4 a	5,04 ab	5,02 ab	5,19 a	19,5 ab	18,2 bc	18,4 ab	15 b	13,3 b	13 cd
10	0,46 cd	0,6 bc	0,66 abc	95 a	90,8 abc	94,1 a	5,18 ab	5,38 a	5,39 a	18,4 ab	17 c	17,5 ab	13,6 bc	12 b	11,6 d
11	0,4 d	0,62 bc	0,62 bc	93,3 a	89,3 abc	93,4 a	5,47 a	5,42 a	5,69 a	17,1 b	16,5 c	16,4 b	11 c	11,1 b	10,1 d
12			0,4 c		82,6 c	93 ab		5,08 ab	6,2 a		16,3 c	15 ab		11 b	9 bcd
14			0,4 abc			71 b		5,46 a				13 b			7 d
CSD	0,17	0,19	0,19	6	5,1	6,8	0,5	0,37	2,3	2	1,4	1,8	2,3	2	2,2

Nota: Os valores seguidos por letras distintas em uma coluna são significativamente diferentes pelo teste de Tukey (P = 0,05). DSC = desvio padrão combinado. *

Os valores do EDAS são uma média obtida de plantas com níveis distintos de vigor (89, 57, 47 e 43%).

O comprimento da parte aérea não respondeu ao EDAS no estágio V₄ (Tabela 3), pois apenas as plantas com um elevado EDAS (11, 12 e 14) apresentaram uma diminuição no comprimento da parte aérea. Esse resultado permanece ao analisar o comprimento da parte aérea em R₂ (Tabela 4), onde, com algumas exceções, até as plantas de emergência tardia apresentaram o mesmo comprimento de parte aérea que as plantas de emergência precoce. No entanto, o número total de nós por planta diminuiu à medida que o EDAS aumentou (Tabela 4), resultando em um aumento do comprimento médio dos internódios (Tabela 4).

3.4.5 Componentes do rendimento

Os componentes de produção foram afetados pelo EDAS em termos de número de nós férteis (Tabela 4), número de legumes, número de grãos e massa de grãos (Tabela 5). No entanto, o número de grãos por planta e a massa de grãos são apenas o resultado de um número distinto de legumes, uma vez que os números de grãos dos legumes estavam em torno de 2,45 (Tabela 5) para todo o EDAS; além disso, a massa de mil sementes (Tabela 5) não mostrou uma resposta coesa ao EDAS.

Ao analisar a massa de grãos, o EDAS pode ser dividido em três grupos: rápido, com valores de EDAS entre 5 e 7; médio, com valores de 8 e 9; ou lento, com valores de EDAS de 10 ou mais. O grupo rápido possui uma massa de grãos (Tabela 5) de 29,4, 26,8 e 28,5 g/planta; o grupo médio possui massa de grão de 23,3 (20% menor que no grupo rápido), 21,9 (-18%) e 22,1 (-22%) g/planta; e o grupo lento possui uma massa de grãos de 13,3 (55% a menos que o grupo rápido), 17,0 (-37%) e 14,4 (-49%) g/planta nos locais I, II e III, respectivamente. O fluxo de emergência (Figura 2) e a massa de grãos por planta (Tabela 5) mostram que, se substituirmos apenas o grupo médio para o grupo rápido do nível de vigor de 47% do local I, o aumento de produtividade será de 8,6%.

Tabela 5 - Número de legumes, grãos por legume, número de grãos por planta, massa de mil sementes e massa de grãos por planta no estádio R₈ em soja de diferentes dias de emergência após a semeadura (EDAS) * em três locais (I, II e III).

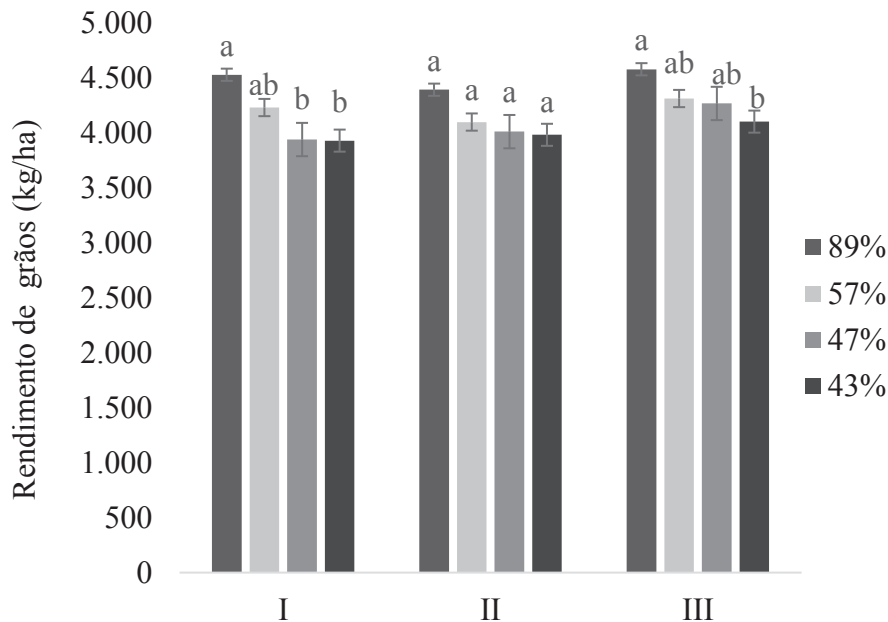
EDAS	Número legumes			Grãos por legume			Número de grãos			Massa de mil sementes (g)			Massa de grãos (g)		
	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III
5	80,9 a			2,41 a			194,9 a			166,3 a			32 a		
6	72,6 a	71,9 a		2,42 a	2,49 a		175,2 a	179,5 a		164,3 a	168,8 bc		28,8 a	30,2 a	
7	69,8 ab	65,6 a	62,2 a	2,39 a	2,44 a	2,51 a	166,7 ab	160 a	168,7 b	165,1 a	172,8 c	170,6 a	27,4 ab	26,8 a	26,9 ab
8	59,7 bc	56,4 b	52,7 b	2,42 a	2,46 a	3,12 a	144,5 bc	138,8 b	135,7 b	170,6 a	181,9 abc	183,3 abc	24,6 bc	23,4 b	24,1 abc
9	54,2 c	46,2 c	42,6 c	2,47 a	2,46 a	2,53 a	133,7 c	114,3 c	108,3 c	165,7 a	180,1 ab	179,7 abc	22 c	20,5 b	20,1 c
10	40,6 cd	39,2 c	39,7 bc	2,48 a	2,41 a	2,54 a	100,6 cd	95,3 c	101,2 bc	166,8 a	201,7 a	161,4 a	16,8 cd	19,1 b	18 bc
11	25,8 d	36,3 c	32,8 c	2,41 a	2,52 a	2,52 a	62,5 d	92 c	83,3 c	161,4 a	184,2 ab	227,2 a	9,9 cd	16,7 b	18,1 c
12		33 c	18 bc		2,53 a	2,55 a		83,7 c	46 bc	180,5 ab	285,7 abc		15,2 b	13,1 abc	
14			16 bc		2,43 a			39 bc			216,2 abc			8,4 abc	
DSC	15,4	13,6	13,8	0,16	0,15	1,8	36,2	31,8	34,7	16	21	37,2	6,1	5,4	7,5

Nota: Os valores seguidos por letras distintas em uma coluna são significativamente diferentes pelo teste de Tukey (P = 0,05). DSC = desvio padrão combinado. *

Os valores do EDAS são uma média obtida de plantas com níveis distintos de vigor (89, 57, 47 e 43%).

O rendimento final (Figura 4) mostrou que as variações de crescimento e uniformidade em plantas com diferentes níveis de vigor devem ser consideradas. No presente estudo, as diferenças entre os vigosres de 43% e 89% foram de 599 (+ 15,2%), 410 (+ 10,3%) e 476 (+ 10,4%) kg/ha para os locais I, II e III, respectivamente.

Figura 4 - Rendimento de grãos das plantas de soja originárias de sementes de diferentes níveis de vigor (89, 57, 47 e 43%) em três locais (I, II e III). Os valores seguidos de letras distintas para cada local diferem de cada nível de vigor pelo teste Tukey ($P < 0,05$).



3.5 Discussão

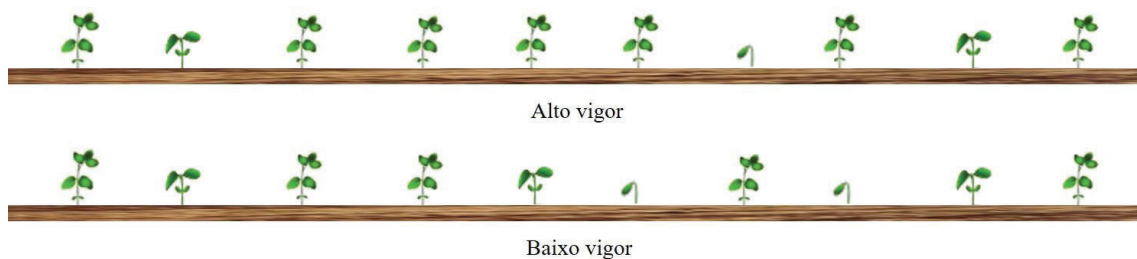
Os resultados mostraram que o vigor de sementes de soja interferiu no tempo necessário para a emergência das plântulas. Além disso, observou-se que a data de emergência foi um fator determinante no desenvolvimento das plantas de soja ao longo do ciclo. Assim, lavouras a partir de sementes com baixos níveis de vigor são menos

produtivas, pois apresentam maiores porcentagens de plantas de emergência tardia. Essas plantas apresentam menor produtividade por planta, pois apresentaram menor número de legumes devido ao menor acúmulo de fotoassimilados pela menor área foliar.

A mesma situação observada em laboratório foi encontrada em campo, quando a velocidade de emergência foi analisada, pois sementes com maior nível de vigor produziram uma rápida emergência (MATTHEWS; HOSSEIN, 2006). No entanto, as diferenças entre os valores nos locais mostraram que a magnitude dos dados é impactada pelo meio ambiente e que melhores condições de temperatura e umidade do solo permitiram maior distinção na velocidade de emergência: uma vez que no local I, as sementes começaram a emergir no 5 EDAS, tivemos uma diferença maior entre as velocidades de emergência das plantas. Portanto, más condições (Figura 1), que restringem a germinação (temperatura e umidade do solo), podem diminuir os efeitos da qualidade das sementes.

A maior uniformidade estabelecida pelo índice de uniformidade dos lotes com maiores níveis de vigor já era esperada; embora as condições ambientais interfiram na magnitude dos dados de uniformidade, os lotes com maior nível de vigor apresentaram maior uniformidade em uma ampla gama de condições ambientais (Figura 5) (EGLI; RUCKER, 2012; FINCH-SAVAGE; BASSEL, 2015; MARCOS-FILHO, 2015).

Figura 5 - Representação esquemática do efeito do vigor na emergência de plântulas de soja. Plântulas oriundas de sementes com alto nível de vigor apresentam maior uniformidade e emergem mais cedo do que plântulas com baixo nível de vigor.



Pensar em termos de uniformidade é necessário porque é um parâmetro de qualidade de uma cultura (TAO, 2017), pois a cultura é uma comunidade de plantas que se influenciam por meio de competição intraespecífica (PARK et al., 2003). A uniformidade de emergência da plântula reduz essa competição, permitindo um melhor uso dos recursos disponíveis.

A desuniformidade na emergência de plântulas gera plantas dominantes e dominadas nas culturas, com diferenças substanciais na área foliar e no número de nós (HIGLEY; PEDIGO, 1990). Essas diferenças podem ser mediadas por uma diminuição na relação vermelho/vermelho extremo (R:FR) afetando as plantas dominadas (GREEN-TRACEWICZ et al., 2011). Entretanto, é importante observar que, mesmo sob condições não restritivas, pode-se observar uma alteração na qualidade da luz, redução de biomassa, aumento de internódios e redução de ramificação da soja, embora sem efeitos no índice de colheita (GREEN-TRACEWICZ et al., 2011).

Alguns estudos encontraram que os efeitos do vigor das sementes só seriam relevantes nos estádios iniciais da colheita (ADEGBUYI; BURRIS, 1988; ROSSI et al., 2018; TEKRONY; EGLI, 1991). No entanto, neste estudo, a variável área foliar nos estádios V_1 , V_4 e R_2 manteve as diferenças observadas devido aos diferentes valores de EDAS, mostrando que os efeitos não se dissiparam.

A manutenção das diferenças em termos de área foliar pode ser explicada pela maior área foliar nos estádios iniciais (V_1) da cultura resultam em maior cobertura do solo e uso de recursos (CAVERZAN et al., 2018; MULLER et al., 2017). Assim, a planta com maior área foliar inicial sintetiza mais carboidratos para o desenvolvimento e é iniciado um ciclo de crescimento no qual a área foliar maior fornece mais carboidratos e, posteriormente, mais energia para um ciclo positivo de desenvolvimento da planta (BULLOCK et al., 1998).

Devido à maior área foliar e assimilação de carbono obtida pela massa seca da parte aérea no estágio V_4 em plantas com menor EDAS, esperava-se que os resultados para massa seca de nódulos e número de nódulos apontassem na mesma direção. Como o

aumento da disponibilidade de carboidratos forneceria mais açúcar para as bactérias fixadoras de nitrogênio, isso promoveria um aumento no número de nódulos e na massa seca (HARDY; HAVELKA, 1975). No entanto, isso não ocorre. O fato de essa variável apresentar alta desigualdade entre plantas pode ser o cerne desse problema. Para mitigar esses problemas, recomenda-se que avaliações dessas variáveis sejam realizadas nas fases posteriores da cultura, quando os nódulos são maiores e as variações tendem a diminuir. Além disso, um estudo anterior afirma que a partição de carboidratos entre parte aérea e raízes é responsável por modular o desenvolvimento de nódulos (FINN; BRUN, 1982), mostrando que o mero aumento na massa de seca de parte aérea ou a maior área foliar não são, isoladamente, bons parâmetros para inferências com nodulação.

Esperava-se que, com o aumento dos valores de EDAS, devido a deterioração de sementes, a massa seca da raiz diminuísse mais significativamente do que a massa seca da parte aérea. Em plantas de soja, o eixo embrionário é altamente suscetível à deterioração, pois a raiz primária do eixo embrionário está em contato próximo com o final do funículo gerando uma maior interação com o ambiente, resultando em maior peroxidação lipídica (HARTMANN FILHO et al., 2016; SINGH et al., 2016).

Assim, plantas com altos valores de EDAS deveriam ser mais deterioradas e a raiz primária deveria ser a estrutura mais afetada. No entanto, isso não ocorreu, as diferenças são geralmente pequenas e a partição da massa seca entre raízes e partes aéreas tende a permanecer estável (Tabela 3), independente do valor do EDAS. A distribuição de carboidratos, apesar de ser afetada por vários fatores (nutrientes, potencial hídrico, luminosidade, temperatura e concentração de CO₂), tende a manter uma proporção que favorece o equilíbrio das atividades de parte aérea e raiz (ENGELS, 1994).

Os resultados do comprimento da parte aérea (Tabela 3) suportam diferenças na capacidade inicial de desenvolvimento de plantas com diferentes valores de EDAS. Nesse sentido, a maior área foliar fornece mais recursos para um desenvolvimento mais rápido (WERADUWAGE et al., 2015). A capacidade da plasticidade fenotípica de plantas causa a igualdade na estatura das plantas de emergência rápida e tardia em estádios mais avançados de desenvolvimento (GREEN-TRACEWICZ et al., 2011).

A redução do diâmetro do caule com o aumento dos valores de EDAS é uma das respostas fenotípicas das plantas de soja ao sombreamento porque, quando expostas a baixas condições fotossinteticamente ativas e baixas taxas de R: FR, as plantas respondem com diminuição do diâmetro do caule e o comprimento médio dos nós (WU et al. 2017).

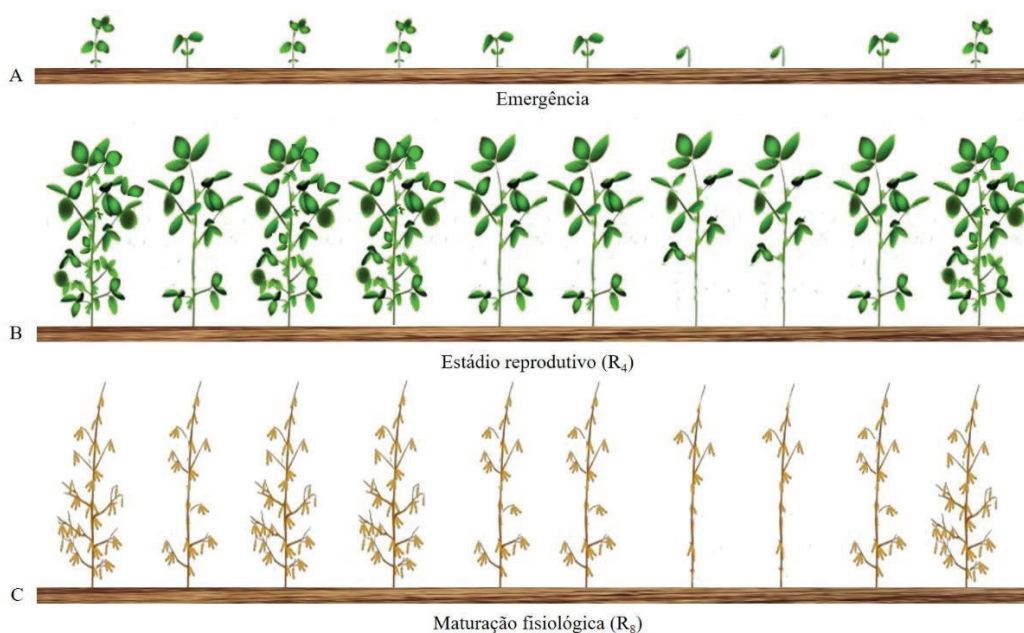
O comprimento da parte aérea no estágio R₈ foi mais uniforme entre os diferentes valores de EDAS do que no estágio V₄ (Tabelas 3 e 4), resultado da estiolação, na qual as mudanças na qualidade da luz estimulam um aumento no comprimento médio dos entrenós (GREEN-TRACEWICZ et al., 2011). O aumento no comprimento médio dos entrenós levou a uma redução no número total de nós (Tabela 4). Entretanto, o número de nós férteis apresentou maior relevância, pois, além dos efeitos do estiolamento, essa variável ainda é impactada pela capacidade da planta gerar a adesão de flores, levando à formação de um nó fértil (WIEBOLD et al., 1981). A manutenção de um nó reprodutivo depende de duas características: a quantidade de fotoassimilados e a distribuição do florescimento (EGLI et al., 2005). As diferenças nos nós férteis podem ser parcialmente atribuídas à maior área foliar das plantas com valores mais baixos de EDAS, proporcionando uma maior quantidade de fotoassimilados e, assim, reduzindo a abscisão de flores e vagens.

No final do ciclo, no estágio R₈, os principais componentes de produção afetados pelos atrasos no EDAS foram o número de legumes e grãos que diminuíram (Tabela 5). Reduções no número de grãos são geralmente observadas quando a competição intraespecífica ocorre no nível do campo (PINTHUS; KIMEL 1979). Duas hipóteses podem ser construídas sobre esse fenômeno. A primeira é que as plantas com valores mais baixos de EDAS têm maiores períodos de floração e frutificação, alterando as interações intra-nodais das vagens, semelhantes aos efeitos que ocorrem quando o fotoperíodo aumenta, gerando mais vagens (NICO et al., 2016). Outra hipótese é que o maior acúmulo de fotoassimilados leva a maior frutificação (AINSWORTH et al., 2012). O número de grãos por legume é uma característica com alta uniformidade e não é impactado pelo EDAS (Tabela 5), pois não responde à competição intraespecífica (RIBEIRO et al., 2017). A ausência de variações significativas no número de grãos por legume implica que

o número de grãos por planta apenas corrobora as diferenças causadas pelo EDAS no número de legumes por planta.

As diferenças de produtividade entre os grupos de emergência distintos são resultantes da maior área de folhas (Tabela 2) do grupo rápido, permitindo que as plantas usem mais recursos (luz) para seu desenvolvimento (CAVERZAN et al., 2018; MULLER et al. 2017). Essa diferença gera um crescimento maior (WERADUWAGE et al., 2015) e acúmulo de massa seca no estdgio V₄ (Tabelas 2 e 3) para as plantas rápidas (PITHUS; KIMEL, 1979), tornando-as mais competitivas em termos de luz. Portanto, essas plantas não precisam aumentar seu comprimento médio de internódios (WU et al., 2017) e possuem um número maior de nós totais e um número maior de legumes (AINSWORTH et al., 2012), o que explica as diferenças na massa de grãos (Figura 6).

Figura 6 - Representação esquemática do efeito de não uniformidade da emergência das plantas ao longo do ciclo da colheita. A) Desuniformidade do crescimento das plantas devido a diferentes dias de emergência das plantas. B) Plantas em estágio reprodutivo (R₄) com emergência média e lenta são iguais em estatura com aquelas plantas de desenvolvimento inicial, mas possuem menor área foliar e número de nós. C) Plantas em maturidade fisiológica (R₈) que emergiram primeiro apresentam maiores rendimentos devido ao maior número de nós e legumes férteis quando comparadas às plantas de emergência média e lenta.



Porém, ao comparar esses resultados com os de estudos sem nenhum ajuste da população de plantas, variações de vigor de 48% a 90% geraram maiores diferenças de produtividade de 1.180; 1.376; e 1.307 kg/ha para diferentes locais (CAVERZAN et al, 2018). Assim, sugere-se que o ajuste da taxa de semeadura diminua alguns dos efeitos do vigor, mas não os elimine, pois além do estande final de plantas, a uniformidade e o crescimento também reverberam no rendimento final.

As diferenças no rendimento foram devidas à maior atividade fotossintética nos estádios iniciais, onde o sombreamento pela cultura ainda era baixo e, portanto, a maior área foliar nesse período permitiu uma maior assimilação de carbono (BULLOCK, 1998). Conseqüentemente, o número de nós férteis e o número de legumes foram maiores (AINSWORTH et al., 2012), resultando em aumento do rendimento.

3.6 Conclusões

Neste trabalho, mostrou-se que o vigor de sementes de soja afeta o tempo necessário para a emergência das plântulas, ou seja, um maior nível de vigor leva a uma emergência mais rápida.

Além disso, mostrou-se que a data de emergência é um fator determinante no desenvolvimento das plantas de soja ao longo de seu ciclo de crescimento, uma vez que as plantas que emergiram mais rapidamente apresentam maiores índices de área foliar desde os estádios iniciais (V_1) até os estádios reprodutivos (R_2) e maior produção de grãos por planta.

Assim, lavouras oriundas de sementes com baixo nível de vigor são menos produtivas, pois apresentam percentuais mais altos de plantas de emergência tardia, com menor produtividade por planta.

4 CAPÍTULO II

CARACTERES DE RAÍZES QUE SE CORRELACIONAM COM O RENDIMENTO DA SOJA

4.1 Resumo

As raízes desempenham um papel crucial na ancoragem da planta, aquisição de recursos, armazenamento e comunicação, e é sabido que os traços do sistema radicial contribuem para o rendimento das culturas. Entretanto, mesmo em uma cultura tão importante quanto a soja [*Glycine max* (L.) Merrill], pouco se sabe sobre como as raízes interagem com o meio ambiente. O objetivo deste estudo foi investigar se diferentes classes de rendimento de grãos de soja cultivadas em diferentes locais interferem na morfologia do sistema radicial, conforme analisado pelo software WinRHIZO®. Utilizou-se a cultivar de soja DM 5958 RSF IPRO, discriminada em cinco classes de produtividade de grãos de soja (C1, C2, C3, C4 e C5) em três locais de cultivo (I, II e III) (tratamentos), distribuídos em delineamento experimental inteiramente casualizado, em quarenta repetições por tratamento. A emergência das plantas e a morfologia do seu sistema radicial foram avaliadas. Os resultados mostraram que as plantas de soja com maior rendimento de grãos - classe C1 - necessitavam de menos tempo para emergir, as plantas com menor rendimento de grãos - classe C5 - exigiam mais tempo para emergir. Plantas de soja com maior produtividade de grãos - classe C1 - apresentavam maior comprimento total de raiz, de raízes muito finas, de raízes finas, de raízes grossas e de forquilhas, além do maior volume radicial. Houve uma associação positiva entre todas as variáveis radiciais e a produtividade por planta, e o dendrograma genérico de dissimilaridade entre as cinco classes (C1-C5) formou dois grupos distintos. Os principais atributos responsáveis pela segregação das plantas de soja nas classes de produção de grãos foram o volume e o comprimento das raízes grossas.

Palavras-chave: 1. *Glycine max* (L.) Merrill. 2. Emergência. 3. Diâmetro de raiz. 4. Morfologia do sistema radicial. 5. WinRHIZO®.

4.2 Introdução

As raízes desempenham inúmeras funções vitais para a vida de uma planta, incluindo ancoragem, aquisição de recursos, armazenamento e comunicação (RYAN et al., 2016). Apesar dessas funções críticas, existem enormes lacunas no conhecimento de como as raízes interagem com o meio ambiente, mesmo em culturas principais como a soja [*Glycine max* (L.) Merrill] (FRIED et al., 2019). Isso é consequência da negligência do melhoramento de plantas em relação às características radiciais, pois essas características são difíceis de observar e investigar em estudos realizados *in situ* (RYAN et al., 2016).

Mesmo com tanta dificuldade, identificar as características particulares da morfologia das raízes que distinguem a soja de alto e baixo rendimento em todos os estádios de crescimento é crucial para entender como essas plantas atingem altos rendimentos (JIN et al., 2010). Apenas um pequeno número de estudos foi dedicado à avaliação de penalidades de rendimento relacionadas a doses desuniformes de soja (MASINO et al., 2018), e um número ainda menor de estudos procurou entender as penalidades relacionadas às raízes desuniformes de soja.

A maioria dos trabalhos com raízes concentrou-se na simulação de condições de estresse (por exemplo, deficiência de água ou nutrientes), avaliando qual cultivar apresentou uma maior tolerância a esse estresse e determinando quais mudanças são exibidas pelos traços radiciais (FRIED et al., 2019; HE et al., 2017; KUNERT et al., 2016). Quando as raízes são expostas à seca, elas modificam a partição de carbono com a parte aérea, crescem profundamente no solo e aumentam o número e o comprimento das raízes laterais (KUNERT et al., 2016).

No entanto, permanece a questão: sobre uma condição de campo em que a seca pode ou não estar presente, quais características do sistema radicial estão presentes nas plantas de maior produtividade? Um estudo que tentou responder a essa pergunta descobriu que as diferenças entre plantas com mais ou menos produtividade de soja são

devidas a um maior desenvolvimento na fase tardia do crescimento ($R_1 - R_4$), que resulta da alteração da alocação de carbono e também mostra uma senescência menor (JIN et al., 2010). No entanto, o estudo foi baseado em diferentes cultivares, e esse comportamento foi visto como reflexo das diferenças genéticas entre os genótipos; não explicando quais diferenças existem em plantas de maior e menor produtividade no mesmo campo e no mesmo genótipo. O objetivo deste estudo foi investigar se diferentes classes de rendimento de grãos de soja cultivadas em diferentes áreas interferem na morfologia do sistema radicial, conforme analisado pelo software WinRHIZO[®].

4.3 Material e Métodos

4.3.1 Material vegetal e locais

Neste estudo, foi utilizada a cultivar de soja DM 5958 RSF IPRO, grupo de maturação 5.8, de tamanho médio e hábito indeterminado de crescimento. O experimento foi realizado no subtropical brasileiro, no estado do Rio Grande do Sul (RS).

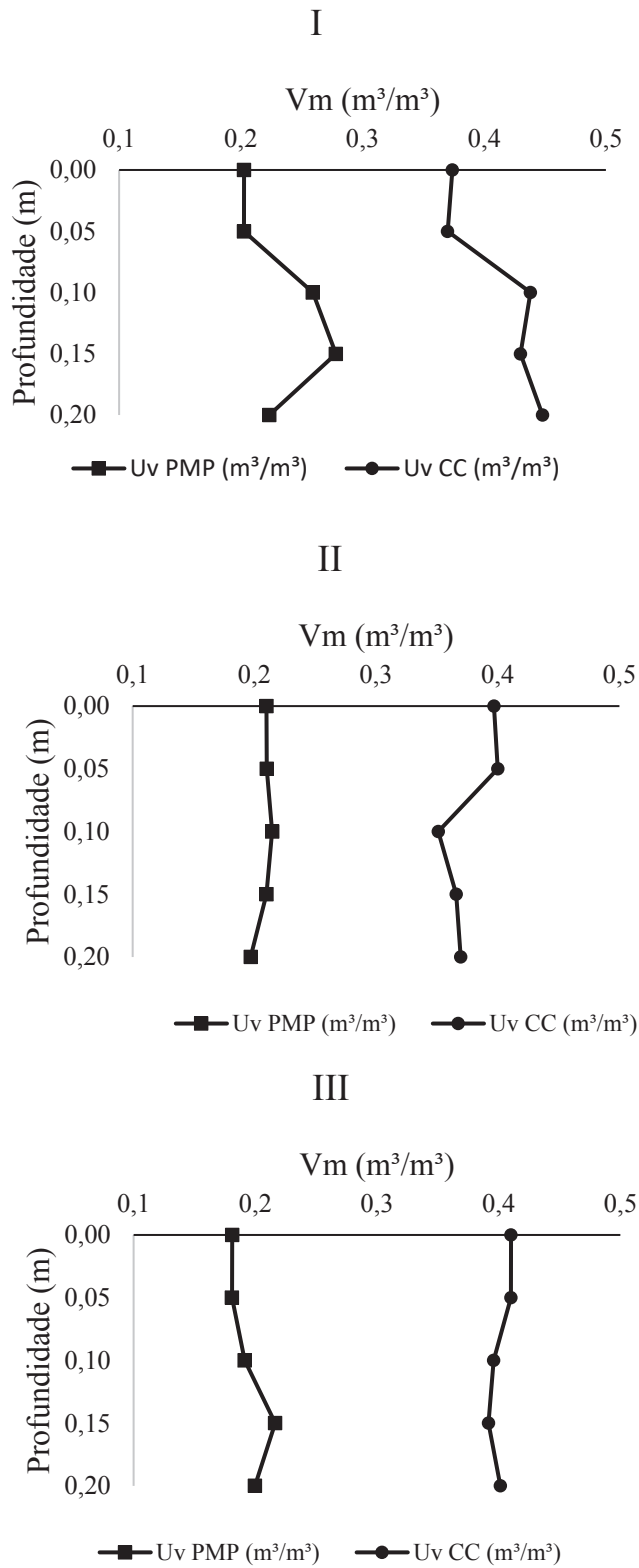
4.3.2 Delineamento experimental

Os tratamentos foram delineados em esquema fatorial de três locais de cultivo (I, II e III) e cinco classes de produtividade de grãos de soja (C1, C2, C3, C4 e C5). Os três locais de condução do experimento foram: (I) no município de Coxilha (28 ° 07'S, 52 ° 17'W; 721 m de altitude), (II) no município de Passo Fundo (28 ° 13'27 "S, 52 ° 23'18 "W; altitude de 696 m) e (III) Passo Fundo (28 ° 13'40" S, 52 ° 23'32 "W; altitude de 701 m). O clima e o solo dos três locais são os solos do latossolo vermelho distrófico úmido e distrófico húmico, respectivamente, com diferentes propriedades químicas (Tabela 1) e teor de água no solo (Figura 1).

Tabela 1 - Análise do solo dos três locais (I, II e III) do experimento.

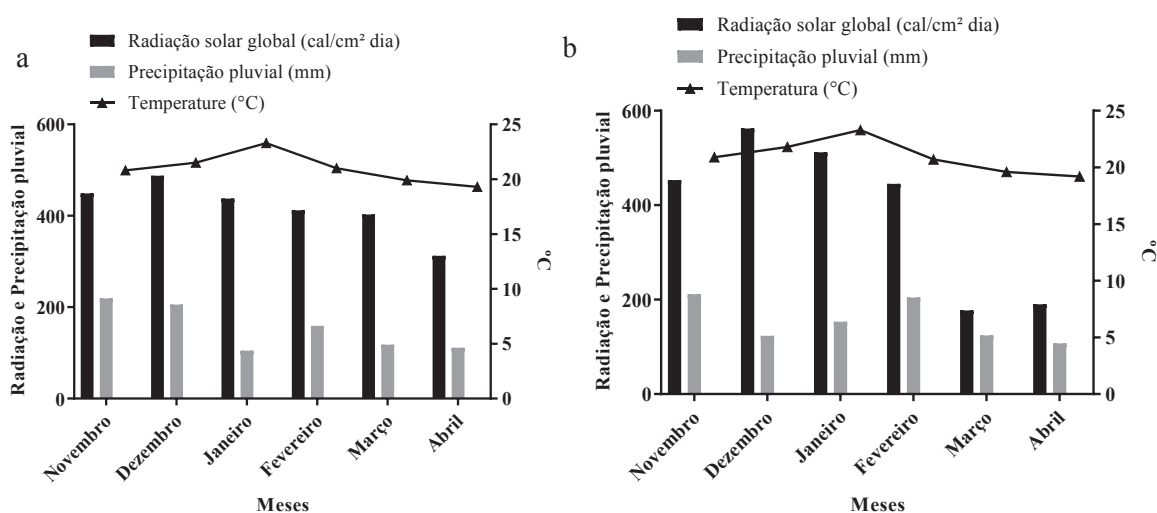
Variável	Unidade	Locais		
		I	II	III
Teor de argila	%	65	46	51
Teor de silte	%	23	14	14
Teor de areia	%	12	40	35
pH H ₂ O		5,2	4,6	6,1
pH SMP		5,5	5,4	6,4
Matéria orgânica	%	3,4	3,3	2,9
Fósforo	mg/dm ³	36,5	>51	36
Potássio	mg/dm ³	334	254	298
Cálcio	cmol _c /dm ³	8,06	3,74	8,63
Magnésio	cmol _c /dm ³	1,82	1,25	2,36
Alumínio	cmol _c /dm ³	0,2	0,9	0
Acidez potencial	cmol _c /dm ³	7,7	8,7	2,8
CTC	cmol _c /dm ³	18,4	14,3	14,6
Saturação de bases	%	58	39	80
Saturação por alumínio	%	2	14	0
Saturação por potássio	%	4,6	4,5	5,2
Enxofre	mg/dm ³	21,1	9	9,5
Boro	mg/dm ³	0,6	0,6	0,5
Zinco	mg/dm ³	2,45	3,86	1,98
Cobre	mg/dm ³	6,08	2,28	1,62
Manganês	mg/dm ³	43,7	35	4,6

Figura 1 - Teor de água no solo (%). Umidade de volume (m^3/m^3) na capacidade de campo (V_m CC) e ponto de murcha permanente (V_m PMP) em diferentes profundidades do solo (0,00-0,20 m) em três locais (I, II e III).



Os dados climáticos de precipitação, umidade relativa e temperatura média durante o ciclo da colheita (Figura 2) foram obtidos pelas estações meteorológicas da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária do Trigo (Embrapa Trigo), localizada no município de Coxilha e Passo Fundo/RS.

Figura 2 - Dados climáticos. Precipitação pluvial (mm), radiação solar global (calorias/cm²/dia) e temperatura média do ar (°C) durante o ciclo da cultura no local I (a), no local II e no local III (b). Fonte: Embrapa Trigo e Instituto Nacional de Meteorologia (InMet).



Para determinar as cinco classes de rendimento de grãos de soja, 200 plantas de cada local foram coletadas e avaliadas quanto à produtividade e umidade de grão, sendo a massa de grãos corrigida para 13% de umidade. Posteriormente, as plantas foram classificadas da maior para a menor produtividade de grãos por planta e depois divididas em cinco classes (Tabela 2). O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, com quarenta repetições e cinco tratamentos em três locais.

Tabela 2 - Rendimento mínimo (Min), médio (Med) e máximo (Max) de grãos (g) por planta nos três locais (I, II e III) para as cinco classes (C1, C2, C3, C4 e C5) de produtividade de plantas de soja.

Classes	Locais								
	I			II			III		
	Min	Med	Max	Min	Med	Max	Min	Med	Max
C1	31,7	36,3	70,3	28,4	32,5	47,6	29,5	36,3	66,6
C2	27,0	29,3	31,7	25,0	26,8	28,3	25,8	27,1	29,3
C3	24,3	25,8	27,0	22,6	24,1	25,0	22,3	23,9	25,8
C4	21,4	23,1	24,3	19,0	21,3	22,5	18,8	20,4	22,3
C5	5,2	16,7	21,3	8,0	15,8	18,9	6,3	15,1	18,5

4.3.3 Procedimentos

O experimento foi realizado em sistema de plantio direto com aveia (*Avena strigosa* Schreb) como cultura antecessora. A semeadura foi realizada com a cultivar de soja DM 5958 RSF IPRO, acompanhada de adubação com 6 kg.ha⁻¹ N, 69 kg.ha⁻¹ P₂O₅ e 69 kg.ha⁻¹ K₂O. As sementes foram inoculadas com *Bradyrhizobium japonicum* (250 mL de inoculante com 7 × 10⁹ CFU/mL para 100 kg de sementes) e tratadas com inseticida (50 g de fipronil para 100 kg de sementes) e fungicidas (5 g de piraclostrobina e 45 g de tiofanato-metílico para 100 kg de sementes), de acordo com as recomendações para as culturas de soja. O manejo fitossanitário foi realizado para controlar pragas, doenças e ervas daninhas.

4.3.3.1 Emergência

A emergência em dias após a semeadura (EDAS) de cada planta foram medidos marcando as plantas com palitos de cores diferentes diariamente. As plantas marcadas

foram coletadas em seus locais após o estágio de maturação fisiológica, em 30 cm de profundidade, as raízes foram separadas da parte aérea.

4.3.3.2 Morfologia do sistema radicial

As raízes coletadas foram lavadas em água para eliminar fragmentos do solo. Em seguida, as raízes foram digitalizadas e as imagens obtidas foram analisadas pelo software WinRHIZO®. Os atributos avaliados foram volume (V, cm³), pontas (T, número), garfos (F, número) e comprimento total da raiz (TRL, cm). As raízes foram agrupadas (por software) em diferentes classes de diâmetro em relação ao comprimento total (Böhm, 1979): raízes muito finas (VTR, Ø <0,5 mm), raízes finas (FR, Ø 0,5 a 2 mm) e raízes espessas (TR, Ø > 2,0 mm).

4.3.4 Análise estatística

Os dados foram submetidos ao teste de Shapiro-Wilk para normalidade. Tentando esta suposição de estatística paramétrica, foi aplicada a análise de variância (ANOVA), seguida pelo teste post-hoc de Tukey para comparações entre as médias ($\alpha = 0,05$). Os dados foram submetidos à análise de correlação de Pearson. Posteriormente, a análise multivariada foi realizada gerando a matriz de distância de Mahalanobis (D2). Em seguida, por meio da análise de correlação cofenética ($r = 0,77$), testou-se qual dos métodos de agrupamento hierárquico expressou o melhor ajuste, o que resultou na escolha do método de grupo de pares não ponderados com média aritmética (UPGMA). O número de grupos foi definido pelo procedimento de Mojena (1977), que propõe um procedimento de cálculo baseado no tamanho relativo das distâncias do dendrograma.

4.4 Resultados

4.4.1 Emergência

As plantas de soja com maior produtividade (C1, Tabela 2) cultivadas no local I necessitaram menor tempo para emergir (Tabela 3). Por outro lado, plantas de soja com menor produtividade (C5, Tabela 1) necessitaram mais tempo para emergir.

Tabela 3 - Emergência em dias após a semeadura (EDAS) de cinco classes (C1, C2, C3, C4 e C5) de produtividade de plantas de soja em três locais (I, II e III).

Classes	EDAS		
	I	II	III
C1	6,07 dC	7,35 cA	7,17 cA
C2	6,60 cdB	7,35 cA	7,20 Ca
C3	7,05 bcB	7,73 bcA	7,46 bcA
C4	7,27 bB	8,02 bA	8,10 Ba
C5	8,85 aA	8,97 aA	9,00 Aa
CV (%)	6,99		

Nota: as médias seguidas pela mesma letra maiúscula em uma linha e letra minúscula em uma coluna não são significativamente diferentes pelo teste de Tukey ($P = 0,05$).

4.4.2 Morfologia do sistema radicial

Foram encontradas diferenças no TRL entre os três locais de estudo (Tabela 4). Plantas com TRLs mais altos foram encontradas no local I, aquelas com valores intermediários no local II e aquelas com os menores valores foram encontradas no local III (Tabela 4). A discrepância entre os locais para essa variável foi considerável, pois as plantas de soja com maior produtividade de grãos (C1, Tabela 1) apresentaram TRLs 60% menores no local II quando comparados com a mesma classe no local I. Ao comparar os locais I e III, as diferenças são ainda maiores, pois plantas da mesma classe (C1) do local III reduziram o TRL em 82% quando comparadas com as do local I.

Tabela 4 - Comprimento total da raiz (TRL) e volume da raiz (V) de cinco classes (C1, C2, C3, C4 e C5) de produtividade de plantas de soja em três locais (I, II e III).

Classes	TRL (cm)			V (cm ³)		
	I	II	III	I	II	III
C1	268,1 aA	107,1 aB	46,0 Ac	4,2 aAB	3,7 aB	4,8 aA
C2	244,4 abA	93,9 aB	37,7 Ac	3,6 abB	3,6 aB	4,4 abA
C3	235,5 abA	102,3 aB	40,1 aC	3,1 bcB	3,4 aB	4,2 abA
C4	228,7 abA	90,0 aB	38,9 Ac	2,8 bcB	3,0 aB	3,8 bcA
C5	207,2 bA	91,1 aB	33,3 aC	2,5 cB	2,2 bB	3,4 cA
CV (%)	24,0			16,1		

Nota: as médias seguidas pela mesma letra maiúscula em uma linha e letra minúscula em uma coluna não são significativamente diferentes pelo teste de Tukey ($P = 0,05$).

Plantas de soja com maior rendimento de grãos (C1, Tabela 2) apresentaram maior volume de raiz (Tabela 4). Assim, como houve redução no rendimento por planta (classes), houve redução no volume das raízes, levando à formação de distintos grupos estatísticos entre as classes. Ao comparar locais, as plantas cultivadas no local III apresentaram maiores volumes de raízes do que os locais I e II (Tabela 4). Comparando as avaliações entre os locais, podemos observar um volume de raiz 14% menor no local I em comparação com o local III (Tabela 4). Como houve redução no rendimento por planta (classes), houve redução no volume radicial, levando à formação de distintos grupos estatísticos entre os tratamentos.

Plantas de soja com maior rendimento de grãos (C1, Tabela 2) cultivadas no local I apresentaram maiores quantidades de VTR, FR e TR (Tabela 5). Além disso, independentemente das classes de rendimento, o sistema radicial foi mais robusto quando cultivado no local I (Tabela 5). A análise da relação entre FR e VTR produz as proporções 1: 1,77, 1: 1,81 e 1: 1,82 no local I para as classes C1, C3 e C5, respectivamente. Para o

local II, essas mesmas classes apresentaram as proporções de 1: 1,26, 1: 1,32 e 1: 1,32, e no local III, 1: 1,25, 1: 1,64 e 1: 1,60 (Tabela 5).

Tabela 5 - Raízes muito finas (VTR), raízes finas (FR) e raízes grossas (TR) de cinco classes (C1, C2, C3, C4 e C5) de produtividade de plantas de soja em três locais (I, II e III).

Classes	VTR (cm)			FR (cm)			TR (cm)		
	I	II	III	I	II	III	I	II	III
C1	145,6 aA	46,0 aB	15,1 aC	82,2 aA	36,4 aB	12,0 aC	40,2 aA	24,6 aB	18,8 aC
C2	130,8 abA	38,9 aB	11,9 aC	77,7 aA	31,4 aB	8,4 aC	35,7 abA	23,4 aB	17,3 abC
C3	130,3 abA	46,4 aB	14,5 aC	71,6 abA	34,9 aB	8,8 aC	33,5 bcA	20,9 abB	16,7 abC
C4	129,5 abA	39,1 aB	12,5 aC	69,8 abA	30,9 aB	9,8 aC	29,2 cdA	19,9 abB	16,5 abB
C5	117,5 bA	43,3 aB	12,0 aC	64,3 bA	31,4 aB	7,5 aC	25,2 dA	16,3 bB	13,8 bB
CV (%)	31,3			28,4			16,5		

Nota: as médias seguidas pela mesma letra maiúscula em uma linha e letra minúscula em uma coluna não são significativamente diferentes pelo teste de Tukey ($P = 0,05$).

Plantas da classe C2 (Tabela 1) apresentaram maiores valores de pontas no local I (Tabela 6). No entanto, para a classe das bifurcações, C1 apresentou os maiores valores (Tabela 6). Além disso, as plantas de soja de maior rendimento (C1, Tabela 1) cultivadas no local I apresentaram maiores valores de F (Tabela 6). Além disso, as plantas produzidas no local I, independentemente da classe de rendimento, apresentaram raízes com maiores números de T e F (Tabela 6).

Tabela 6 - Pontas (T) e bifurcações (F) das raízes de cinco classes (C1, C2, C3, C4 e C5) de produtividade de plantas de soja em três locais (I, II e III).

Classes	T (number)			F (number)		
	I	II	III	I	II	III
C1	1818 abA	692 aB	352 aC	1313 aA	389 aB	154 aC
C2	1979 aA	616 aB	246 aC	1182 abA	304 aB	98 aC
C3	1453 bcA	635 aB	315 aC	1065 abA	371 aB	131 aC
C4	1444 bcA	552 aB	271 aC	1129 abA	306 aB	110 aC
C5	1313 cA	549 aB	243 aC	1047 bA	322 aB	89 aC
CV (%)	36.4			35.3		

Nota: as médias seguidas pela mesma letra maiúscula em uma linha e letra minúscula em uma coluna não são significativamente diferentes pelo teste de Tukey ($P = 0,05$).

4.4.3 Correlação e dissimilaridade

O atributo EDAS correlacionou-se negativamente com GM, V, T e RF (Tabela 7). Além disso, houve uma associação positiva entre todas as variáveis radicial e a produtividade por planta (Tabela 7). Assim, a VTR apresentou a menor correlação (0,89), seguida por T (0,92) e F (0,94) (Tabela 7). V e TR apresentaram alta correlação entre si (1,00) e rendimento de grãos (0,98 e 0,99, respectivamente). Os dados com as menores correlações foram F, T e VTR.

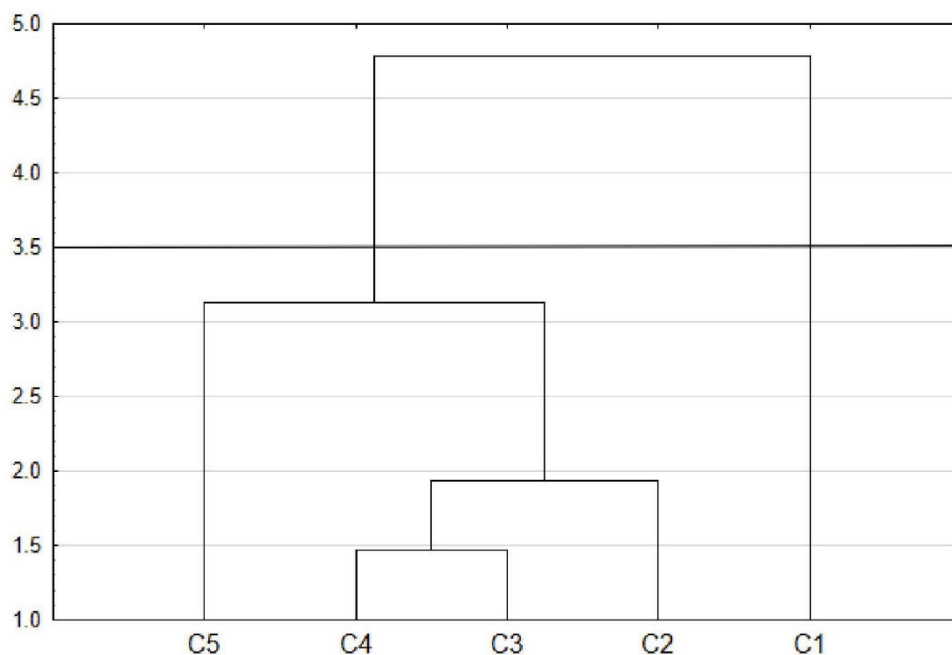
Tabela 7 - Coeficiente de correlação de Pearson para as variáveis emergência em dias após a semeadura (EDAS), massa de grãos (GM), comprimento (TRL), volume (V), volume (V), pontas (T), forquilhas (F), raízes muito finas (VTR), finas (FR) e grossas (TR).

	EDAS	GM	TRL	V	T	F	VTR	FR	TR
EDAS	1								
GM	-0,91*	1							
TRL	-0,86	0,98**	1						
V	-0,96**	0,98**	0,96**	1					
T	-0,92*	0,92*	0,83	0,94*	1				
F	-0,73	0,94*	0,96**	0,87	0,77	1			
VTR	-0,70	0,89*	0,96**	0,85	0,65	0,94*	1		
FR	-0,96**	0,99**	0,96**	1,00**	0,94*	0,88*	0,85	1	
TR	-0,86	0,99**	1,00**	0,96**	0,87	0,97**	0,94*	0,97**	1

Nota: ** e * significante a 1% e 5% de probabilidade pelo teste T.

No dendrograma obtido pelo método UPGMA (Figura 3), dois grupos distintos foram formados: um grupo consistiu apenas na classe C1 e outro grupo nos demais tratamentos. C5 foi o mais distante de C1, com $D2 = 153,7$, enquanto a menor diferença de C1 foi para C2, com $D2 = 23,29$. A distância de C2 a C3 foi $D2 = 3,69$ e de C4 a C5 foi $D2 = 14,85$.

Figura 3 - Dendrograma genérico de dissimilaridade entre as cinco classes (C1, C2, C3, C4 e C5) de produtividade de plantas de soja obtidas pelo método UPGMA, com base na matriz de distância euclidiana média com comprimento, volume, pontas, forquilhas e raízes muito finas, finas, e grossas, dias de emergência após a semeadura e massa de grãos. Ponto de corte = 3,5.



As características com maior contribuição relativa pelo método de Singh (1981) foram GM (43,1%), VTR (20,4%), TR (17,9%) e FR (15,6%), levando em consideração as diferenças ambientais entre os locais. Quando o fator ambiental é excluído - ou seja, as diferenças apresentadas devido à mudança de localização - a contribuição do método de Singh (1981) foi de 90,6% para TR e 8,6% para V

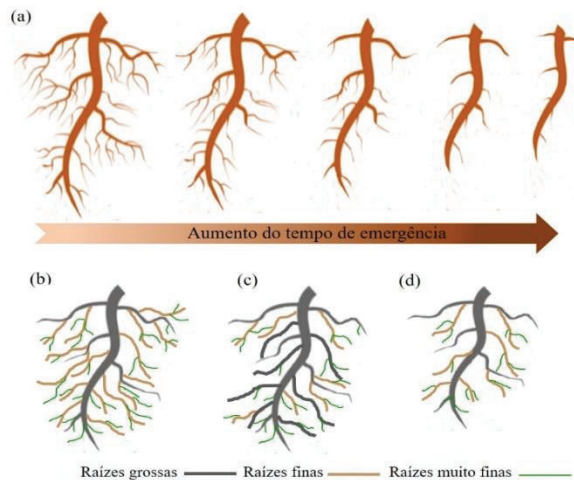
4.5 Discussão

Plantas de soja com maior produtividade emergem mais rapidamente e têm um sistema radicial mais robusto. Além disso, o aumento do tempo de emergência das plantas compromete negativamente o crescimento e o desenvolvimento do sistema radicial. Os

dois principais atributos responsáveis pela segregação das plantas em classes de rendimento de grãos foram o volume e o comprimento das raízes grossas. Discrepâncias entre os locais indicam que, com exceção desses dois atributos, os outros caracteres estudados não foram determinantes para o rendimento das plantas de soja.

Os valores mais baixos de EDAS para as classes mais produtivas de soja já eram esperados, porque plantas que emergem mais cedo apresentam maior produtividade (PINTHUS; KIMEL, 1979). Assim, as diferenças entre produtividade e os demais atributos radiciais estudados foram decorrentes de diferenças de emergência das plantas e das variações espaciais do solo. A desuniformidade temporal da emergência gerou não apenas plantas dominantes e dominadas na parte aérea, mas também no sistema radicial (Figura 4). O EDAS foi correlacionado com a produtividade, mostrando que as variações especiais dos nutrientes do solo - especialmente aquelas que afetavam o desenvolvimento das raízes e a relação com a parte aérea, como N, P e S (ERICSSON, 1995) - não eram predominantes fatores nas diferenças apresentadas entre as raízes. No entanto, o fato de o local ter o dobro do teor de enxofre dos outros (Tabela 1) pode ser uma das razões para o desenvolvimento distinto de raízes entre os locais.

Figura 4 - Influência dos traços da raiz. (a) O aumento do tempo de emergência levou a uma redução em todas as características associadas ao sistema radicial. (b) Raízes com mais de raízes finas e muito finas que (c), mas com o mesmo volume e comprimento de raiz grossas, resultaram no mesmo rendimento. (d) Raízes com menor volume e menor comprimento reduzem o volume de solo explorado pela planta, causando uma redução no rendimento da planta.



O comprimento das raízes exibiu uma maior discrepância entre os locais, pois os valores foram muito mais distintos dos valores da produtividade das plantas. Pesquisas anteriores mostraram que um aumento no comprimento não resultou em aumento da produtividade (HE et al., 2017). Isso também foi encontrado no presente trabalho, pois os valores do TL não foram bons indicadores de produtividade.

A maior estabilidade do volume em relação às demais características ocorreu porque esse atributo foi reflexo de outros dois fatores, comprimento e diâmetro. A maioria das plantas desenvolve uma arquitetura de raízes baseada em raízes muito finas, o que permite otimizar seu investimento em termos de biomassa de raízes e seu retorno na aquisição de água e nutrientes (WU et al., 2016). Assim, plantas com maior volume são aquelas que podem utilizar melhor os recursos do ambiente para desenvolvimento e produtividade.

Como as raízes exercem funções diferentes de acordo com seu diâmetro, é imperativo subdividi-las em classes (LIU et al., 2018). Geralmente, as raízes são classificadas em três tipos: muito finas, finas e grossas. Raízes finas são consideradas mais importantes por serem responsáveis pela absorção de água e nutrientes, estando presentes em plantas com desempenho superior (SOUZA et al., 2016). Entretanto, os resultados mostraram que em condições não restritivas, as plantas apresentam valores de VTR e FR superiores à necessidade da parte aérea. Por exemplo, plantas de soja com menor rendimento de grãos (C5, Tabela 2) cultivadas no local I apresentaram sete vezes mais VTR e cinco vezes mais FR (Tabela 4) do que plantas com o dobro da produtividade de grãos (C1, Tabela 2) cultivadas no local III. Assim, em condições normais de campo, nas quais a umidade geralmente é adequada para o desenvolvimento, as plantas apresentaram um desenvolvimento de raízes muito superior à sua necessidade.

As características de T e F não foram úteis para elucidar as diferenças entre raízes com maior e menor produtividade. Esperava-se que o número de F indicasse um sistema radicial mais fibroso (PRINCE et al., 2016), o que poderia significar uma redução de produtividade devido ao maior gasto de fotoassimilação e um sistema radicial menos eficiente na aquisição de recursos. No entanto, essa hipótese não foi confirmada em nosso

estudo, dada a aleatoriedade dos valores obtidos, os quais não seguem um padrão que nos permita fazer inferências sobre sua importância.

No presente estudo, grande parte dos dados apresentaram correlação entre si. Assim, os dados que apresentaram menor correlação com as demais, como T e F, já se mostraram inadequadas para a elucidação do fenômeno. A mera correlação, no entanto, é inadequada para uma boa compreensão dos requisitos complexos, como produtividade e desenvolvimento radicial (KANBAR et al., 2009).

Assim, para uma melhor compreensão dos demais componentes, foi utilizada uma análise da contribuição relativa das variáveis. As variáveis que mais contribuíram foram, respectivamente, GM, VTR, TR e FR. No entanto, essa contribuição resulta das grandes variações ambientais entre os locais - por exemplo, mesmo o VTR da mesma classe apresentou diferenças 10 vezes maiores ao comparar o local I com o local III, mostrando a ineficácia dessa análise quando usada em dados de locais com diferenças exacerbadas entre eles. Portanto, separar a influência dos locais nas datas se torna imperativa para calcular a contribuição das variáveis. Assim, a contribuição relativa das variáveis, excluindo as diferenças entre os locais, foi composta basicamente por TR e V, corroborando a análise do sistema radicial e reafirmando que TR e V foram os caracteres mais ligados à produtividade.

4.6 Conclusões

Plantas de soja com maior rendimento emergem mais rapidamente e possuem um sistema radicial mais robusto. O aumento do tempo de emergência das plantas compromete negativamente o crescimento e o desenvolvimento do sistema radicial.

Os principais atributos responsáveis pela segregação das plantas em classes de rendimento de grãos foram volume e comprimento de raízes grossas.

Discrepâncias entre os locais indicam que, com exceção do volume e comprimento de raízes grossas, as outras características estudadas não são importantes para o rendimento das plantas de soja.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho visou auxiliar na compreensão dos efeitos do vigor de sementes no desenvolvimento da cultura da soja e na avaliação de quais são as características de raízes que são responsáveis pela definição da produtividade de plantas de genótipo idêntico. Nesse sentido, os objetivos foram atingidos. Para o efeito do vigor demonstrou-se os mecanismos que causa a redução do rendimento, contudo criou-se uma nova lacuna do conhecimento que é a explicação detalhada do fenômeno que ocasiona a diminuição da área do primeiro trifólio.

Sobre as raízes vislumbrou-se que as raízes finas e muito finas têm importância secundária na definição do rendimento, contrariando o conhecimento atualmente estabelecido. Assim, outros estudos podem aprofundar-se na dinâmica da água do solo e a sua interação com o solo para corroborar ou refutar os dados aqui apresentados.

6 CONCLUSÃO GERAL

Neste trabalho, mostrou-se que o vigor das sementes de soja afeta o tempo necessário para a emergência das plântulas, ou seja, um maior nível de vigor leva a uma emergência mais rápida. Além disso, mostrou-se que a data de emergência é um fator determinante no desenvolvimento das plantas de soja ao longo de seu ciclo de crescimento, uma vez que as plantas emergentes mais rápidas apresentam maiores índices de área foliar desde os estádios iniciais (V_1) até os estádios reprodutivos (R_2).

As plantas de emergência tardia, por sua plasticidade fenotípica, se adaptam à competição intraespecífica. Ao reduzir o diâmetro do caule e aumentar o comprimento médio dos entrenós, essas plantas tardias são iguais em estatura às plantas de emergência precoce. No entanto, apesar de sua plasticidade fenotípica, as plantas de emergência tardia apresentam menor massa seca de grãos devido à redução no número de nós férteis e no número de legumes por planta. Assim, as lavouras a partir de sementes com baixo nível de vigor são menos produtivas, pois apresentam percentuais mais altos de plantas de emergência tardia, com menor produtividade por planta.

Plantas de soja com maior rendimento emergem mais rapidamente e possuem um sistema radicial mais robusto. Além disso, o aumento do tempo de emergência das plantas compromete negativamente o crescimento e o desenvolvimento do sistema radicial. Os principais atributos responsáveis pela segregação das plantas em classes de rendimento de grãos foram volume e comprimento de raízes grossas. Discrepâncias entre os locais indicam que, com exceção do volume e comprimento de raízes grossas, as outras características estudadas não são importantes para o rendimento das plantas de soja. No entanto, é necessário realizar estudos mais aprofundados sobre o sistema radicial da soja,

o que pode contribuir para o desenvolvimento de novas cultivares, com melhor aquisição dos recursos disponíveis e adaptados às condições ambientais.

REFERÊNCIAS

- ADEGBUYI, E.; BURRIS, J. S. Field criteria used in determining the vigor of seed corn (*Zea mays* L.) as influenced by drying injury. **Journal of Agronomy and Crop Science**, v. 161, p. 171-177, 1988.
- AINSWORTH, E. A.; YENDREK, C. R.; SKONECZKA, J. A.; LONG, S. P. Accelerating yield potential in soybean: potential targets for biotechnological improvement. **Plant Cell Environment**, v. 35, n. 1, p. 38-52, 2012.
- ALI, I. M.; NULIT, R.; IBRAHIM, M. H., UDDIN, M. D. K. Deterioration of quality soybean seeds (*Glycine max* (L.) Merr.) AGS 190 at harvest stages, seed moisture content and storage temperature in Malaysia. **International Journal of Biosciences**, v. 10, n. 5, p. 372-381, 2017.
- AYALA, A.; MUNOZ, M. F.; ARGUELLES, S. Lipid Peroxidation: Production, Metabolism, and Signaling Mechanisms of Malondialdehyde and 4-Hydroxy-2-Nonenal,”. **Oxidative Medicine and Cellular Longevity**, vol. 2014, n. 1, p. 205-236, 2014.
- BÖHM, W. Methods of studying root systems (188p). Berlin: Springer-Verlag, 1979.
- BULLOCK, D.; KHAN, S.; RAYBURN, A. Soybean yield response to narrow rows is largely due to enhanced early growth. **Crop Science**, v. 38, p. 1011-1016, 1998.
- BRACCINI, A. L.; REIS, M. S.; MOREIRA, M. A.; SEDIYAMA, C. S.; SCAPIM, C. A. Biochemical changes associated to soybean seeds osmoconditioning during storage. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 35, n. 2, p. 433-447, 2000
- BRASIL. Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. **Regras para Análise de Sementes**. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. Brasília: MAPA/ACS, 2009. 395p.
- CAVERZAN, A.; GIACOMIN, R.; MÜLLER, M.; BIAZUS, C.; LÂNGARO, N. C.; CHAVARRIA, G. L. How Does Seed Vigor Affect Soybean Yield Components?. **Agronomy Journal**, v. 110, n. 5, p. 1318-1327, 2018.

EBONE, L. A.; CAVERZAN, A.; CHAVARRIA, G. Physiologic alterations in orthodox seeds due to deterioration processes. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 145, n. 2019, p. 34-42, 2019.

EGLI, D. B. Relationship of uniformity of soybean seedling emergence to yield. **Journal of Seed Technology**, v.17, n.1, p. 22-28, 1993.

EGLI, D. B. Flowering, pod set and reproductive success in soya bean. **Journal of Agronomy and Crop Science**, v. 191, p. 283–291, 2005.

EGLI, D. B.; RUCKER, M. Seed vigor and the uniformity of emergence of corn seedlings. **Crop Science**, v. 52, p. 2774-2782, 2012.

ENGELS, C. Effect of root and shoot meristem temperature on shoot to root dry matter partitioning and the internal concentrations of nitrogen and carbohydrates in maize and wheat. **Annals of Botany**, v. 73, n. 2, 211-219, 1994.

ERICSSON, T. Growth and shoot: root ratio of seedlings in relation to nutrient availability. **Plant Soil**, v. 168, p. 205–214, 1995.

FEHR, W. R.; CAVINESS, C. E. Stages of soybean development. **Special Report**. 80. Iowa State University of Science and Technology, Ames, IA, 1977.

FINCH-SAVAGE, W. E.; BASSEL, G. W. Seed vigour and crop establishment: extending performance beyond adaptation. **Journal of Experimental Botany**, v. 67, p. 567-591, 2016.

FINN, G. A.; BRUN, W. A. Effect of atmospheric CO₂ enrichment on growth, nonstructural carbohydrate content, and root nodule activity in soybean. **Plant Physiology**, v. 69, n. 2, p. 327-31, 1982.

FRIED, H. G.; NARAYANAN, S.; FALLEN, B. Evaluation of soybean [*Glycine max* (L.) Merr.] genotypes for yield, water use efficiency, and root traits. **PLoS One**, v. 14, n.2, p. e0212700, 2019.

FRIEDMAN, M.; BRANDON, D. L. Nutritional and health benefits of soy proteins, **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 49, n. 3, p. 1069-1086, 2001.

FU, Y.; AHMED, Z.; DIEDERICHSEN, A. Towards a better monitoring of seed ageing under *ex situ* seed conservation. **Conservation Physiology**, v. 3, n. 1, 2015.

GOEL, A.; SHEORAN, I. Lipid peroxidation and Lipid Peroxidation and Peroxide-Scavenging Enzymes in Cotton Seeds Under Natural Ageing. **Biologia Plantarum**, v. 46, p. 424-429, 2003.

GRAU, R.; GASPARRI, N. I.; AIDE, T. M. Agriculture expansion and deforestation in seasonally dry forests of north-west Argentina. **Environmental Conservation**, v. 32, n. 2, p. 140-148, 2005.

GREEN-TRACEWICZ, E.; PAGE, E. R.; SWANTON, C. J. Shade avoidance in soybean reduces branching and increases plant-to-plant variability in biomass and yield per plant. **Weed Science**, v. 59, n. 1, p. 43-49, 2011.

HAN, Z.; KU, L.; ZHANG, Z.; GUO, S.; LIU, H.; ZHAO, R.; REN, Z.; ZHANG, L.; SU, H.; DONG, L.; CHEN, Y. QTLs for Seed Vigor-Related Traits Identified in Maize Seeds Germinated under Artificial Aging Conditions. **PLoS ONE**, v. 9, n. 3, e92535, 2014.

HARDY, R. W. F.; HAVELKA, U. D. Photosynthate as a major factor limiting nitrogen fixation by field grown legumes with emphasis on soybeans. In: Nutman, PS (ed). **Symbiotic Nitrogen Fixation in Plant**. Cambridge: Cambridge University Press, 1976. p. 421-439.

HARTMANN FILHO, C. P.; GONELI, A. L. D.; MASETTO, T. E.; MARTINS, E. A. S.; OBA, G. C. The effect of drying temperatures and storage of seeds on the growth of soybean seedlings. **Journal of Seed Science**, v. 38, n. 4, p. 287-295, 2016.

HE, J.; JIN, Y.; DU, YL.; WANG, T.; TURNER, NC.; YANG, RP.; LI, FM. Genotypic variation in yield, yield components, root morphology and architecture, in soybean in relation to water and phosphorus supply. **Frontiers in Plant Science**, v. 8, p.1499, 2017.

HIGLEY, L. G.; PEDIGO, L. P. Soybean Growth Responses and intraspecific competition from simulated seed corn maggot injury. **Agronomy Journal**, v. 82, p. 1057-1063, 1990.

INMET. Instituto Nacional de Meteorologia **Estações Automáticas**. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=estacoes/estacoesAutomaticas>>. Acesso em: 05 mai 2019.

JIN, J.; WANG, G.; LIU, X.; MI, L.; LI, Y.; XU, X., HERBERT, S. J. Genetic improvement of yield shapes the temporal and spatial root morphology of soybean (*Glycine max*) grown in north-east China. **New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science**. 38(3).177-188, 2010.

KAERNAREE, P.; VICHITOHAN, S.; KLANRIT, P.; SIRI, B.; VICHITOHAN, K. Effect of accelerated aging process on seed quality and biochemical changes in sweet pepper (*Capsicum annuum* Linn.) seeds. **Biotechnology**, v. 10, p. 175-182, 2011.

KANBAR, A.; TOORCHI, M.; SHASHIDHAR, H. Relationship between root and yield morphological characters in rainfed low land rice (*Oryza sativa* L.). **Cereal Research. Communication**, v. 37, n. 2, p. 261–268, 2009.

KAZIM, M.; IBRAHIM, D. Controlled deterioration and accelerated aging tests predict relative seedling emergence potential of melon seed lots. **HortScience**, v. 42, n.6, p.1431-1435, 2007.

KHAN F. A.; BHAT, S. A.; NARAYAN, S.; MAQBOOL, R.; MURTUZA, I.; KHAN, F. U. 2017. Seed deterioration and priming - An Overview. **SKUAST Journal of Research**, v. 19, n. 1, p. 12-21, 2017.

KOCAQALISKAN, I.; DEMIR Y.; KABAR, K. A study on polyphenol oxidase activity during seed germination. **Phyton**, v. 35, n. 1, p. 37-43, 1995.

KOLCHINSKI, E. M.; SCHUCH, L. O. B.; PESKE, S. L. Vigor de sementes e competição intra-específica em soja. **Ciência Rural**, v. 35, n.6, p. 1248-1256, 2005

KUNERTU, K. J.; VORSTER, B. J.; FENTA, B. A.; KIBIDO, T.; DIONISIO, G.; FOYER, C. H. Drought Stress Responses in Soybean Roots and Nodules. **Frontiers in Plant Science**, v. 7, p. 1015, 2016. doi:10.3389/fpls.2016.01015

LIU, Y.; WANG, G.; YU, K.; LI, P.; XIAO, L.; LIU G. A new method to optimize root order classification based on the diameter interval of fine root. **Scientific Reports**, v. 8, p. 2960, 2018.

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

MASINO, A.; RUGERONI, P.; BORRÁS, L.; ROTUNDO L. Spatial and temporal plant-to-plant variability effects on soybean yield. **European Journal of Agronomy**, v. 98, p. 14-24, 2018.

MATTHEWS, S.; KHAJEH, H. M. Mean germination time as an indicator of emergence performance in soil of seed lots of maize (*Zea mays*). **Seed Science Technology**, v. 34, p. 339-347, 2006.

MENEZES, V. O.; LOPES, S. J.; TEDESCO, S. B.; HENNING F. A.; ZEN, H. D.; MERTZ, L. M. Cytogenetic analysis of wheat seeds submitted to artificial aging stress. **Journal of Seed Science**, v. 36, n. 1, p.71-78, 2014.

MENDES, C. R.; MORAES, D. M.; LIMA, M. G. S; LOPES, N. F. Respiratory activity for the differentiation of vigor on soybean seeds lots. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 31, n. 2, p. 171-176, 2009.

MINUZZI, A. et al. Qualidade de sementes de quatro cultivares de soja, colhidas em dois locais no estado do Mato Grosso do Sul. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 32, n. 1, p. 176-185, 2010.

MOJENA, R. Hierárquical grouping method and stopping rules: an evaluation. **Computers Journal**, v. 20, p. 359-363, 1977.

MONDO, V. H. V.; CICERO, S. M.; DOURADO-NETO, D.; PUPIM, T. L.; DIAS, M. A. N. Seed vigor and initial growth of corn crop. **Journal of Seed Science**, v. 35, n. 1, p. 64-69, 2013.

MÜLLER, M.; RAKOCEVIC, M.; CAVERZAN, A.; CHAVARRIA, G. 2017. Grain yield differences of soybean cultivars due to solar radiation interception. **American Journal of Plant Science**, v. 8, p. 2795-2810, 2017. doi:10.4236/ajps.2017.811189

MURTHY, U. M. N.; SUN, W. Q. Protein modification by Amadori and Maillard reactions during seed storage: roles of sugar hydrolysis and lipid peroxidation, **Journal of Experimental Botany**, v. 51, n. 348, p. 1221–1228, 2000.

MURTHY, U. M. N., KUMAR, P. P., SUN W. Q. Mechanisms of seed ageing under different storage conditions for *Vigna radiata* (L.) Wilczek: lipid peroxidation, sugar hydrolysis, Maillard reactions and their relationship to glass state transition. **Journal of Experimental Botany**, v 54, n. 384, p. 1057–1067, 2003.

NICO, M.; MANTESE, A. I.; MIRALLES, D. J.; KANTOLIC, A. G. Soybean fruit development and set at the node level under combined photoperiod and radiation conditions. **Journal of Experimental Botany**, v. 67, n. 1, p. 365-377, 2016. doi:10.1093/jxb/erv475

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

NISARGA, K. N.; VEMANNA, R. S.; KODEKALLU, C. B.; RAO, H.; VENNAPUSA, A. R.; NARASIMHA, A.; MAKARLA, U.; BASAVIAIAH, M. R. Aldo-ketoreductase 1 (AKR1) improves seed longevity in tobacco and rice by detoxifying reactive cytotoxic compounds generated during ageing. **Rice**, v. 10, n. 11, 2017.

PARK, S. E.; BENJAMIN, L. R.; WATKINSON, A. R. The theory and application of plant competition models: an agronomic perspective. **Annals of Botany**, v. 92, n. 6, p. 741-748, 2003

PINTHUS, M. J.; KIMEL, U. Speed of germination as a criterion of seed vigor in soybeans. **Crop Science**, v. 19, p. 291-292, 1979

PRINCE, S. J.; MURPHY, M.; MUTAVA, R. N.; ZHANG, Z.; NGUYEN, N.; KIM, Y. H.; PATHAN, S. M.; SHANNON, G. J.; VALLIYODAN, B.; NGUYEN, H. T. Evaluation of high yielding soybean germplasm under water limitation. **Journal Integrative Plant Biology**, v. 58, p. 475– 491, 2016.

RADHA, B. N., CHANNAKESHA B. C.; BHANUPRAKASH, K.; GOWDA, K. T. P.; RAMACHANDRAPPA, B. K.; MUNIRAJAPPA, R. DNA Damage During Seed Ageing. **Journal of Agriculture and Veterinary Science**, v. 7, n. 1, p. 34-39, 2014.

ROSSI, R. F.; CAVARIANI, C.; FRANÇA-NETO, J. B. Vigor de sementes, população de plantas e desempenho agrônômico de soja. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 60, n. 3, p. 215-222, 2018.

RYAN, P. R.; DELHAIZE, E.; WATT, M.; RICHARDSON, A. E. Plant roots: understanding structure and function in an ocean of complexity. **Annals of Botany**, v. 118, n. 4, p. 555–559, 2016.

SHARMA, S; KAUR, A.; BANSAL, A.; GILL, B. S. Positional effects on soybean seed composition during storage. **Journal of Food Science Technology**, v. 50, n. 2, p. 353–359, 2013.

SHELAR, V. R.; SHAIKH, R. S.; NIKAM, A. S. Soybean Seed Quality During Storage: A Review. **Agriculture Review**, v. 29, n. 2, p. 125 - 131, 2008.

SILVA, T. A.; SILVA, P. B.; SILVA, E. A. A.; NAKAGAWA, J.; CAVARIANI, C. et al. Condicionamento fisiológico de sementes de soja, componentes de produção e produtividade. **Ciência Rural**, v. 46, n. 2, p. 227-232, 2016.

SINGH, D. The relative importance of characters affecting genetic divergence. **The Indian Journal Genetic Plant Breeding**, v. 41, 237-245, 1981.

SINGH, J.; SEEMA, P.; MISHRA, R. P. Effect of Storage on Germination and Viability of Soybean (*Glycine max*) and Niger (*Guizotia abyssinica*) Seeds. **International Journal of Current Microbiology Apply Science**, v.5, n. 7, p. 484-491, 2016.

SOUZA, T. C.; MAGALHÃES, P. C.; CASTRO, E. M.; DUARTE, V. P.; LAVINSKY, A. O. Corn root morphoanatomy at different development stages and yield under water stress. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 51, n. 4, p. 330-339, 2016.

STRELECA, I.; UGARCIC-HARDI, Z.; HLEVNJAK, M. Accumulation of Amadori and Maillard Products in Wheat Seeds Aged under Different Storage Conditions. **CCACAA**, v. 81, n. 1, p. 131-137, 2008.

SYCH, T.; MÉLY, Y.; RÖMER, W. Lipid self-assembly and lectin-induced reorganization of the plasma membrane. **Royal Society B**, v. 347, n. 1747, 2018.

TAO, L.; RUI, L.; XIULIANG, J.; JINFENG, D.; XINKAI, Z.; CHENGMING, S.; GUO, W. 2017. Evaluation of seed emergence uniformity of mechanically wown wheat with UAV RGB imagery. *Remote Sensing*, v. 9, p. 1-15. doi:10.3390/rs9121241.

TEKRONY, D. M.; EGLI, D. B. Relationship of seed vigor to crop yield: a review. **Crop Science**, v. 31, p. 816-822, 1991.

VENTURA, L.; DONÀ, M.; MACOVEI, A.; CARBONERA, D.; BUTTAFAVA, A.; MONDONI, A.; ROSSI, G.; BALESTRAZZI, A. Understanding the molecular pathways associated with seed vigor. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 60, p.196-206, 2012.

XIN, X.; TIAN, Q.; YIN, G. CHEN, X. ZHANG, J.; NG, S.; LU, X. Reduced mitochondrial and ascorbate–glutathione activity after artificial ageing in soybean seed. **Journal of Plant Physiology**, v. 171, n. 2, p. 140-147, 2014.

ZHANG, H.; WANG, W. Q.; LIU, S. J.; MOLLER, I. M.; SONG, S. Q. Proteome analysis of poplar seed vigor. **PLoS ONE**, v. 10, p. e0132509, 2015.

WATERWORTH, W. M.; FOOTITT, S.; BRAY, C. M.; FINCH-SAVAGE, W. E.; WEST C. E. DNA damage checkpoint kinase ATM regulates germination and maintains genome stability in seeds. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 113, n. 34, p. 9647–9652, 2016.

WERADUWAGE, S. M.; CHEN, J.; ANOZIE, F. C.; MORALES, A.; WEISE, S. E.; SHARKEY, T. D. The relationship between leaf area growth and biomass accumulation in *Arabidopsis thaliana*. **Frontiers in Plant Science**, v. 6, p. 167, 2015.

WIEBOLD, WJD.; ASHLEY, A.; BOERMA, HR. Reproductive abscission levels and patterns for eleven determinate soybean cultivars. **Agronomy Journal**, v. 73, p. 43-46, 1981.

WIMALASEKERA, R. (2015) Role of Seed Quality in Improving Crop Yields. In: HAKEEM, K. (ed) **Crop Production and Global Environmental Issues**. New York: Springer, 2015, p. 153-168.

WU, Q.; PAGÈS, L.; WU, J. Relationships between root diameter, root length and root branching along lateral roots in adult, field-grown maize. **Annals of Botany**, v..117, n. 3. P. 379–390, 2016.

WU, Y.; GONG, W.; YANG, W. Shade inhibits leaf size by controlling cell proliferation and enlargement in soybean. **Scientific Reports**, v. 7, p. 9259, 2017. 10.1038/s41598-017-10026-5



Contents lists available at ScienceDirect

Plant Physiology and Biochemistry

journal homepage: www.elsevier.com/locate/plaphy

Review

Physiologic alterations in orthodox seeds due to deterioration processes

Luciano Antônio Ebone, Andréia Caverzan*, Geraldo Chavarria

Laboratory of Plant Physiology, Agronomy Post-Graduate Program, University of Passo Fundo, Passo Fundo, Rio Grande do Sul, Brazil



ARTICLE INFO

Keywords:

Vigor
Cell membrane
Genetic material
Lipid peroxidation
Protective capacity

ABSTRACT

Seed deterioration is a partially elucidated phenomenon that happen during the life of the seed. This review describes the processes that lead to seed deterioration, including loss of seed protection capacity against reactive oxygen species (ROS), damage to the plasma membrane, consumption of reserves, and damage to genetic material. A hypothesis of how seed deterioration occurs was also addressed; in this hypothesis, seed deterioration was divided into three phases. The first is the beginning of deterioration, with a slight reduction of vigor caused by the reactions of reducing sugars with antioxidant enzymes and genetic material. In the second, the cell shows oxidative damages, causing lipid peroxidation, which leads to the leaching of solutes, the formation of malondialdehyde, and, consequently, an increase in damages to genetic material. In the third phase, there is cell collapse with mitochondrial membrane deconstruction and a high accumulation of reactive oxygen species, malondialdehyde, and reducing sugars.

1. Introduction

Seed vigor depends essentially on the ability to resist the deleterious effects of aging (Ventura et al., 2012). Thus, vigor and deterioration are related phenomena. The seed is one of the primordial inputs in agricultural crops because it will originate the individuals that at the end of the cycle will determine the productivity. Seed quality is important for high productivity since it is necessary to guarantee an adequate plant crop under a diversity of soil and climatic conditions (Waterworth et al., 2015). The differences in the stand and morphology of soybean seeds [*Glycine max* (L.) Merr.] with distinct levels of vigor, such as 48% and 90%, result in differences in productivity of 1376 kg ha⁻¹ (Caverzan et al., 2018).

The first concepts of vigor were established in the 50's, as the expression of the set of attributes of the seed that allow obtaining a stand of plants under unfavorable field conditions (Isely, 1957). This concept of vigor was refined by decades of research, acquiring other connotations, such as yielding an adequate plant stand under a wide range of environmental conditions, and other quality indicators were also added, like the rapid and uniform emergence of plants (Waterworth et al., 2015; Marcos-Filho, 2015). Therefore, vigor can be measured by the high seed germination rate, uniformity, and growth of seedlings under adverse conditions (Zhang et al., 2015).

Due the fact that deterioration is not equal for all kind of seeds is important to classify them in groups with similar properties. One of the

most common form to segregate seeds to their properties is basis of their ability to withstand desiccation, being they classified in two as tolerant to desiccation or orthodox and intolerant to desiccation or recalcitrant (Waterworth et al., 2015). The mainly difference of these two groups is that orthodox seeds acquire their ability to lose water by the syntheses of late embryogenesis abundant proteins, heat shock proteins and sugars (Waterworth et al., 2015). These properties allowed the orthodox to have a quiescent stage when very little metabolic activity is present due the low moisture content in the seed, being this state call the glassy state (Bailly et al., 2008) while recalcitrant maintain higher metabolic activity. When thinking in economic or security food terms the importance of orthodox becomes evident, since the majority of the crops plants, for example rice (*Oryza sativa* L.), maize (*Zea mays* L.), wheat (*Triticum aestivum* L.), soybean and barley (*Hordeum vulgare* L.) belong to this group.

The highest physiological seed quality is generally obtained at the time of physiological maturation or soon later depending on the specie (Demir and Ellis, 1993). After maturity, the metabolic activity, initiating continuous biochemical changes and the predominance of catabolic processes, which cause deterioration (Shelar et al., 2008). The deterioration or reduction of the physiological quality can be considered as the reduction of the germination and vigor of the seed (Fu et al., 2015).

The causes of deterioration and seed death are not fully understood, as aging is a complex biological trait and involves a network of

* Corresponding author. University of Passo Fundo, BR 285 Km 171, Passo Fundo, Rio Grande do Sul, Brazil.

E-mail addresses: lucianoebone9@gmail.com (L.A. Ebone), acaverzan@hotmail.com, andriacaverzan@upf.br (A. Caverzan), geraldochavarria@upf.br (G. Chavarria).

<https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2019.10.028>

Received 14 September 2019; Received in revised form 17 October 2019; Accepted 18 October 2019

Available online 21 October 2019

0981-9428/ © 2019 Elsevier Masson SAS. All rights reserved.

Accelerated aging test and image analysis for barley seed

Luciano Antônio Ebone*, Inri Mateus Gonçalves and Nadia Canali Lângaro

Department of Technology and Seed Production, University of Passo Fundo (UPF), Passo Fundo, Rio Grande do Sul, Brazil

*Corresponding author: luciano@lodi.com.br

Abstract

Barley (*Hordeum vulgare* L.) planted area has increased in Brazil after a decline from 2005–2009, but the country continues to import malt for the brewing industry. The physiological quality of the seed lot is essential for plant establishment and for screening for high yield grain. However, a uniform accelerated aging (AA) procedure has not been developed for testing barley seeds. Thus, this study aimed to determine the best AA method for measuring barley seed vigor. Seeds of three barley cultivars (BRS Cauê, BRS Brau, and MN 6021) were subjected to four AA treatment (T₁: 41 °C for 72 h; T₂: 42 °C for 48 h; T₃: 42 °C for 60 h; and T₄: 43 °C for 48 h). The following variables were evaluated using traditional vigor tests: seed viability in the first and last count of the germination test, number of seminal roots, shoot length, and radicle length. In addition, digital images of seedlings were acquired with the Seed Analysis System (SAS[®]) to compute seedling vigor, growth, and uniformity. AA methods T₂ and T₃ were effective in separating barley cultivars into vigor categories at day four of the germination test. Computer analysis of digital images of barley seedlings is a valuable tool for testing barley seed vigor. Accelerated aging methods T₂ and T₃ also gave the best separation in seed lot vigor and seedling growth using the SAS[®] index, respectively.

Keywords: *Hordeum vulgare* L., software, seedling uniformity, vigor, temperature.

Abbreviation section: AA_accelerated aging, FC_first count of viable seeds, LC_last count of viable seeds, SAS[®]_Seed Analysis System,

Introduction

In 2017, worldwide barley (*Hordeum vulgare* L.) production amounted to 147 million tons over a harvested area of 48.2 million ha (USDA, 2017). In Brazil, barley area planted for harvest in 2009 was 77,500 ha, which is significantly reduced compared to the 142,900 ha in 2005. Even though planted area increased compared to 2009 and is currently estimated at 109,200 ha, the country continues to import malt (CONAB, 2017).

Crop success is largely dependent on seed quality, which can only be accurately measured using tests that are able to detect differences in physiological quality between seed lots. The accelerated aging (AA) vigor test is used to determine the level of variability that occurs within and among seed lots in various crops such as soybean (*Glycine max* L. Merrill) (Tomes et al. 1988; Torres, Vieira and Panobianco, 2004), beans (*Phaseolus vulgaris* L.) (Demir and Mavi, 2008), wheat (*Triticum aestivum* L. Thell) (Ghahfarokhi et al., 2014), and corn (*Zea mays* L.) (Arisnabarreta et al., 2012).

One of the early proponents of the concept of seed vigor, Isely (1957) defined vigor as “the sum total of all seed attributes which favor stand establishment under unfavorable conditions”. The concept has been refined over decades of research to include rapid and uniform emergence of plants under a wide range of field conditions (Marcos-Filho, 2015; Kazim and Ibrahim, 2007) and the rate and uniformity of seed germination and seedling growth (Zhang

et. al., 2015) for maximizing potential yield (Han et al., 2014).

The effects of accelerated aging include damage to cell membranes by lipid peroxidation (Kaewnaee et al., 2011) and reduced synthesis of proteins involved in germination (Dell’ Aquila, 1994; McDonald, 1999), especially hydrolytic enzymes, in particular α -amylase, and enzymes that protect against oxidative stress such as catalase (Kaplan, 2015).

Seed testing laboratories generally use for barley the AA test described by Krzyzanowski and Vieira (1999). Although originally developed for wheat seeds, the AA test can also be used for seeds from other species. Its use for barley seed is supported by the physicochemical similarities of the two species (Sýrkorová et al., 2009; Yücel et al., 2009; Koehler and Wieser, 2013).

In the last decades, image processing computer applications that measure germinating seedlings have been developed. Seedlings are represented by digital images and the computer can calculate a vigor index from those measurements for different species (Silva et al., 2012; Gomes Junior et al., 2014; Peñaloza et al., 2015; Pinto et al., 2015). Image processing computer solves the main limitations of traditional vigor tests as it takes rapid, objective, and highly accurate and standardized measurements that yield reproducible vigor assessments



ISSN: 2348-1900

Plant Science Today

<http://www.plantsciencetoday.online>



Review Article

Nematicides: history, mode, and mechanism action

Luciano Antônio Ebone, Marcos Kovaleski and Carolina Cardoso Deuner

Faculty of Agronomy and Veterinary Medicine, Post-Graduate Program in Agronomy, University of Passo Fundo, Passo Fundo - RS, Brazil

Article history

Received: 25 December 2018
Accepted: 27 February 2019
Published: 01 April 2019

Editor

Dr. Eman Bazh
Menoufia University
Al Minufya, Egypt

Publisher

Horizon e-Publishing Group

*Correspondence

Luciano Antônio Ebone
lucianoebone9@gmail.com

Abstract

Nematodes are non-segmented invertebrate animals, which are one of the major phytosanitary problems worldwide, especially in tropical and subtropical regions, attacking the root system of plants they removing photo-assimilates and reducing the absorption capacity of water and nutrients of plant. In order to avoid economic losses by reducing productivity and quality, synthetic compounds have been developed to control nematodes. The use of these synthetic compounds, known as chemical control, has high economic importance, being the current tool most used by farmers for control of these individuals. Moreover, only in Brazil, the trade of these products reaches hundreds of millions of dollars per year. This review aims to address the fundamental aspects of nematode biology and the chemical control of the major genus (*Meloidogyne*, *Heterodera*, and *Globodera*). It covers the historical evolution of the chemical control agents since its beginning in the nineteenth century until today, their mode of action (fumigants and non-fumigants), mechanisms of action (inhibition of the acetylcholinesterase enzyme, opening of the chloride channel, inhibition of electron transport in the electron transport chain, enzymatic inactivation, as a Dauer phase-inducing agent or agent that ensures the organism remains irreversibly in the Dauer phase), the products available for each crop, including their commercial names and forms of application.

Keywords: abamectin; carbamates; fumigants; non-fumigants; nematodes; organophosphates

Citation: Ebone LA, Kovaleski M, Deuner CC. Nematicides: history, mode, and mechanism action. Plant Science Today 2019;6(2):1-7. <https://doi.org/10.14719/pst.2019.6.2.468>

Copyright: © Ebone et al (2019). This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Indexing: Plant Science Today is covered by Scopus, CAS, AGRIS, CABI, Google Scholar, etc. Full list at <http://www.plantsciencetoday.online>

Introduction

Nematodes are non-segmented invertebrate animals (1). Parasitic-plant nematodes are small, typically 300–1,000 µm in length, although some are up to 4 mm long, by 15–35 µm in width (2). Nematodes possess a relatively simple anatomy (“tube within a tube”), characterized as limbless, cylindrical, and elongated (3).

Fossil records show that the first parasitic relationships between nematodes and plants

occurred approximately 150 million years ago (4). Today, the main phytopathogenic nematodes in economic terms are root-knot nematodes (*Meloidogyne* spp.), followed by cyst nematodes (*Heterodera* and *Globodera* spp.), root lesion nematodes (*Pratylenchu* spp.), the burrowing nematode (*Radopholus similis* Cobb), and the stem nematode (*Ditylenchus dipsaci* Filipjev) (5).

The parasitism occurs by insertion of the stylet (spear-like structure attached to the mouth of the nematode) into the plant tissue (6). The

Horizon e-Publishing Group

ISSN: 2348-1900

Article

Soybean Seed Vigor: Uniformity and Growth as Key Factors to Improve Yield

Luciano Antônio Ebone , Andréia Caverzan , Alberto Tagliari, José Luís Trevizan Chiomento , Diógenes Cecchin Silveira  and Geraldo Chavarria *

Agronomy Post Graduate Program, University of Passo Fundo, Passo Fundo 99052-900, Rio Grande do Sul, Brazil; lucianoebone9@gmail.com (L.A.E.); acaverzan@hotmail.com (A.C.); alberto_atn@hotmail.com (A.T.); jose-trevizan@hotmail.com (J.L.T.C.); diogenessilveira@hotmail.com (D.C.S.)

* Correspondence: geraldochavarria@upf.br; Tel.: +55-54-3316-8167

Received: 22 March 2020; Accepted: 7 April 2020; Published: 10 April 2020



Abstract: Emergence uniformity and the time required for emergence are essential factors for obtaining highly productive potential in plants. Factors such as sowing depth and soil moisture affect uniformity and emergence, but little is known about the impacts of seed vigor. Thus, we determined the impacts of seed vigor on uniformity and growth as well as development and yield in soybean (*Glycine max* [L.] Merrill) plants. The treatments consisted of four vigor levels (89%, 57%, 47%, and 43%) obtained by accelerated aging, in a randomized block design, with five replicates at three sites. Seeds with the highest vigor level showed higher uniformity and faster emergence. Dominated plants through their phenotypic plasticity modify stem diameter and internode length. The plants that emerged earlier had a larger leaf area in the three stages (V_1 , V_4 , and R_2), allowing them to accumulate more photoassimilates in the initial stages. Consequently, these plants exhibited an increase in yield components, especially in the number of fertile nodes and the number of pods per plant, making them more productive.

Keywords: *Glycine max*; emergence speed; crop system; seed quality

1. Introduction

The importance of soybean (*Glycine max* [L.] Merrill) is undoubted given its role as a major source of protein in food-producing animals and its increasing significance in human consumption [1]. Recently, these considerations, along with changes to human diets (especially in developing countries), have increased the demand for this product. In order to increase the soybean supply to meet this demand, a larger area of land must be cultivated, leading to deforestation in the tropical forests of South America [2].




Such an environmental liability makes it necessary for researchers to develop strategies to fill the narrowing yield gap; through an improvement in yield, the pressure to open new fields for cultivation would be reduced. In this sense, the use of better-quality seeds would be an efficient way to address the challenge of increased food demand [3,4].

Like all products, seeds are also subject to quality standards for their commercialization, with purity (physical quality) and germination (biological quality) being the main standards [4]. However, germination data cannot be extrapolated to the field; this is mainly because germination tests assume ideal conditions, which is contrary to the sub-optimal conditions actually present in the field [5]. Therefore, biological quality should also be measured by another concept, namely vigor, which can be more assertive in the measurement of germination rate, uniformity, and growth [6].

Among the various vigor tests, the mean germination test evaluates the speed of emergence [5]. There are differences among seed lots with different vigor levels in terms of the time required for

Article

Biochemical Profile of the Soybean Seed Embryonic Axis and Its Changes during Accelerated Aging

Luciano Antônio Ebone ¹, Andréia Caverzan ¹, Diógenes Cecchin Silveira ²,
Luciano de Oliveira Siqueira ³, Nadia Canali Lângaro ⁴, José Luís Trevizan Chiomento ⁵
and Geraldo Chavarria ^{1,*}

- ¹ Laboratory of Plant Physiology, Agronomy Post-Graduate Program, University of Passo Fundo, BR 285 Km 171, Passo Fundo, Rio Grande do Sul 99052-900, Brazil; lucianoebone9@gmail.com (L.A.E.); acaverzan@hotmail.com (A.C.)
 - ² Department of Forage Plant and Agrometeorology, Animal Science Post-Graduate Program, Federal University of Rio Grande do Sul, Avenue Bento Gonçalves, 7712, Agronomia, Porto Alegre 91540-000, Brazil; diogenessilveira@hotmail.com
 - ³ Faculty of Pharmacy, Institute of Biological Sciences, University of Passo Fundo, BR 285 Km 171, Passo Fundo, Rio Grande do Sul 99052-900, Brazil; luciano@upf.br
 - ⁴ Laboratory of Seed Technology, Agronomy Post-Graduate Program, University of Passo Fundo, BR 285 Km 171, Passo Fundo, Rio Grande do Sul 99052-900, Brazil; nclangaro@upf.br
 - ⁵ Laboratory of Olericulture, Agronomy Post-Graduate Program, University of Passo Fundo, BR 285 Km 171, Passo Fundo, Rio Grande do Sul 99052-900, Brazil; jose-trevizan@hotmail.com
- * Correspondence: geraldochavarria@upf.br; Tel.: +55-54-3316-8167

Received: 28 June 2020; Accepted: 20 July 2020; Published: 23 July 2020



Abstract: Seed deterioration is an important topic in plant science, as the majority of cultivated species use seeds as their means of propagation; however, due to its complexity, the process of seed deterioration has not yet been completely elucidated. Three soybean cultivars (BMX Raio, BMX Zeus, and DM 53i54) exposed to four distinct periods of accelerated aging (0, 3, 6 and 9 days) in a fully randomized experimental design. Initially, vigor and germination tests were performed. The activity of superoxide dismutase, catalase, ascorbate peroxidase enzymes, hydrogen peroxide, malonaldehyde, DNA oxidation, macromolecules and mineral content, and Maillard reactions were quantified in the embryonic axis. Results showed that DNA did not suffer degradation or oxidation. In terms of consumption of reserves, only sugars were consumed, while levels of protein, starch, and triglycerides were maintained. The Maillard reaction did show potential as an indicator of buffer capacity of protein to ROS. Additionally, levels of catalase and ascorbate peroxidase decreased during the aging process. Moreover, nutrient analysis showed that a high magnesium level in the cultivar bestowed greater resilience to deterioration, which can indicate a potential function of magnesium in the cell structure via reflex in seed aging through seed respiration.

Keywords: DNA damage; *Glycine max*; magnesium; Maillard reaction; lipid peroxidation; vigor; seed deterioration

1. Introduction

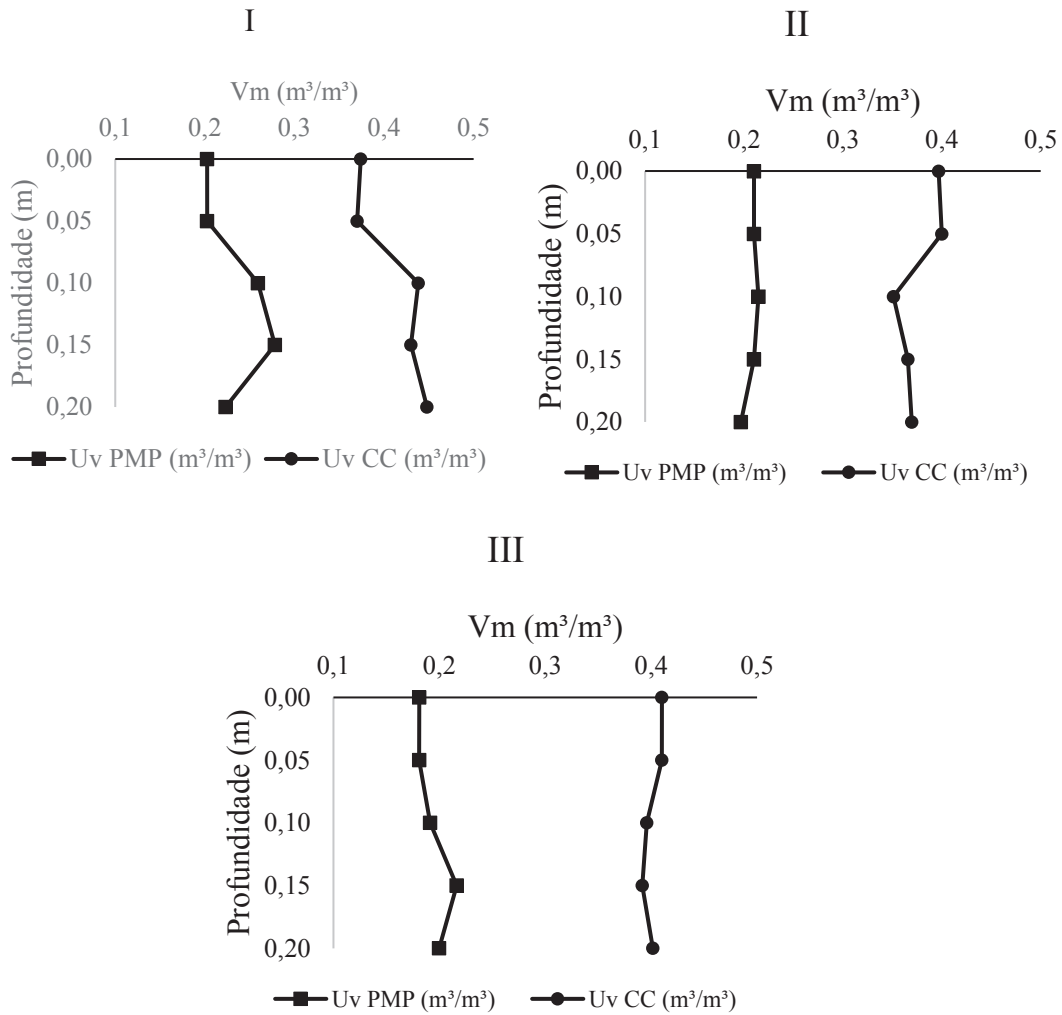
Seed deterioration is an important topic in plant science, as seed is the means of propagation for the majority of cultivated species [1]; in addition, seed deterioration has not yet been completely elucidated due the complexity of this phenomenon [2]. Nevertheless, it is known that deterioration leads to a reduction of seed quality, which, in turn, causes a reduction in crop yield [3,4]. In a world where population levels and food demand are increasing, it is imperative to improve our understanding

APÊNDICES

Tabela Suplementar 1 - Análise do solo dos três locais (I, II e III) do experimento.

Variável	Unidade	Locais		
		I	II	III
Teor de argila	%	65	46	51
Teor de silte	%	23	14	14
Teor de areia	%	12	40	35
pH H ₂ O		5,2	4,6	6,1
pH SMP		5,5	5,4	6,4
Matéria orgânica	%	3,4	3,3	2,9
Fósforo	mg/dm ³	36,5	>51	36
Potássio	mg/dm ³	334	254	298
Cálcio	cmol _c /dm ³	8,06	3,74	8,63
Magnésio	cmol _c /dm ³	1,82	1,25	2,36
Alumínio	cmol _c /dm ³	0,2	0,9	0
Acidez potencial	cmol _c /dm ³	7,7	8,7	2,8
CTC	cmol _c /dm ³	18,4	14,3	14,6
Saturação de bases	%	58	39	80
Saturação por alumínio	%	2	14	0
Saturação por potássio	%	4,6	4,5	5,2
Enxofre	mg/dm ³	21,1	9	9,5
Boro	mg/dm ³	0,6	0,6	0,5
Zinco	mg/dm ³	2,45	3,86	1,98
Cobre	mg/dm ³	6,08	2,28	1,62
Manganês	mg/dm ³	43,7	35	4,6

Figura suplementar 1 - Teor de água no solo. Umidade de volume (m^3 / m^3) na capacidade de campo (V_m FC) e ponto de murcha permanente (V_m PWP) em diferentes profundidades do solo (0,00-0,20 m) em três locais (I, II e III).





PPGAgro

Programa de Pós-Graduação em Agronomia

Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária - FAMV