

ANA PAULA CILIPRANDI

**ADUBAÇÃO FOSFATADA NA QUALIDADE DE SEMENTES E NO
DESEMPENHO AGRONÔMICO DA SOJA**

DISSERTAÇÃO

**DOIS VIZINHOS
2019**

ANA PAULA CILIPRANDI

**ADUBAÇÃO FOSFATADA NA QUALIDADE DE SEMENTES E NO
DESEMPENHO AGRONÔMICO DA SOJA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós Graduação em Agroecossistemas da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Dois Vizinhos, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Agroecossistemas - Área de Concentração: Manejo de culturas anuais em agroecossistemas.

Orientador: Dr. Jean Carlo Possenti

Co-Orientador: Dr. Carlos André Bahry

**DOIS VIZINHOS
2019**

C572a Ciliprandi, Ana Paula.
Adubação fosfatada na qualidade de sementes e no desempenho agrônômico da soja. / Ana Paula Ciliprandi – Dois Vizinhos, 2019.

61 f.

Orientador: Prof^o Dr. Jean Carlo Possenti

Coorientador: Prof^o Dr. Carlos André Bahry.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Programa de Pós-Graduação em Agroecossistemas, Dois Vizinhos, 2019.

Bibliografia p.48-59.

1. Plantas - Efeito do fósforo. 2. Soja. 3. Sementes - Qualidade. I. Possenti, Jean Carlo, orient. II. Bahry, Carlos



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Câmpus Dois Vizinhos
Diretoria de Pesquisa e Pós-Graduação
Programa de Pós-Graduação em Agroecossistemas



TERMO DE APROVAÇÃO

Título da Dissertação n° 37

ADUBAÇÃO FOSFATADA NA QUALIDADE DE SEMENTES E NO DESEMPENHO AGRONÔMICO DA SOJA

Ana Paula Ciliprandi

Dissertação apresentada às quinze horas do dia vinte e quatro de maio de dois mil e dezenove, como requisito parcial para obtenção do título de MESTRE EM AGROECOSSISTEMAS, Linha de Pesquisa – Manejo e Conservação de Agroecossistemas, Programa de Pós-Graduação em Agroecossistemas (Área de Concentração: Agroecossistemas), Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Dois Vizinhos. A candidata foi arguida pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho APROVADO.

Banca examinadora:

Dr. Jean Carlo Possenti
UTFPR - DV

Dr. Pedro Valério Dutra de Moraes
UTFPR - DV

Dr. Diego Baretta
SEMENTES GUERRA

Dra. Cristiane Deune
UTFPR-PB

Coordenador(a) do PPGSIS
Assinatura e carimbo

*A Folha de Aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Agroecossistemas.

*A meus pais, e
principalmente
minha irmã,
que me ensinaram
a ousar,
questionar e,
acima de tudo,
a ser curiosa...
MUITO CURIOSA.*

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a DEUS, que foi porto seguro, graças a Ele tive forças para chegar ao final de mais essa jornada. Ele me deu toda coragem e perseverança para ir além dos meus limites.

Agradeço aos meus pais - Edson Domingos Ciliprandi e Margarida Guollo Ciliprandi. Mais do que me proporcionar uma boa infância e vida acadêmica, formaram os fundamentos do meu caráter e me apontaram uma vida digna. Vocês são meu porto seguro aqui embaixo, meu maior presente divino. Obrigada por estarem comigo durante essa caminhada, me ajudando a construir os alicerces de um futuro digno. Sempre acreditaram em minha capacidade e me acharam A MELHOR de todas, mesmo não sendo. Isso só me fortaleceu e me fez tentar, não ser A MELHOR, mas a dar o melhor de mim. Obrigada pelo amor incondicional! Amo vocês! A minha irmã Adriana Ciliprandi Lopes e minha sobrinha Maria Vitória Ciliprandi Lopes, que não mediram esforços pra me ajudar neste período, amo vocês!

Ao meu companheiro, amigo, namorado, amor – André Giovani Santos, que no meio desta jornada cansativa pôs-se em meu caminho e me transformou completamente em todos os sentidos, me fez ver que temos muito a aproveitar dessa vida, que vale a pena seguir, que valem os motivos para viver, e obrigada principalmente por me completar como mulher, me tornando mãe da nossa Amabile! Nem tudo na vida é planejado. Há coisas que nos pegam de surpresa, e trazem muita felicidade, não consigo imaginar a minha vida sem vocês! Hoje eu apenas agradeço a Deus por nós, pela dádiva de conviver com vocês. Eu os amo com todo meu coração!

Ao corpo docente do Programa de Pós Graduação em Agroecossistemas da UTFPR campus Dois Vizinhos, pelos conhecimentos transmitidos.

E ainda, dentro da família UTFPR, em primeiro lugar, quero agradecer novamente com muito orgulho, ao Professor Dr. Carlos André Bahry que confiou em meu potencial desde a graduação até a co-orientação desta dissertação. Obrigada pela disponibilidade e saliento o apoio incondicional prestado, a forma interessada, e pertinente como acampanhou e me apoiou desde a graduação até agora. As suas críticas construtivas, as conversas e esclarecimentos foram fundamentais ao longo de todo o percurso. Agradeço principalmente por ver em mim, o potencial que

nem eu mesma via. “..dentro de um ambiente onde várias pessoas pareciam ser e acabaram não sendo, você sempre foi!..”

Deixo em destaque e agradeço imensamente ao Professor, Orientador Dr. Jean Carlo Possenti, pela confiança e oportunidade de trabalhar ao seu lado. Para mim, é uma imensa honra e orgulho tê-lo como orientador, jamais esquecerei dos seus ensinamentos, seus preciosos conselhos e sua inestimável confiança. Obrigada pela Orientação e incentivo na superação de meus limites.

Aos meus amigos Karine Fuschter Oligini, Jean Tides, Jéssica Crispim Varjão, Adriana B. Lima, Andrei Sulzbach, pela dedicação, companheirismo e ajuda, sem o que a coleta de dados e o tempo de permanência no campo e laboratório seriam impossíveis e insuportáveis.

A todos os amigos que sempre acreditaram em mim e torceram - mesmo que de longe, para a realização deste trabalho.

Neste período, aprendi que uma dissertação ou qualquer trabalho que seja é a extensão da vida do autor. Então, para que seja produzido algo valioso, primeiramente deve-se criar algo de valor para si mesmo. Por este motivo, agradeço sinceramente e profundamente a todas as pessoas que muito me encorajaram e me ajudaram a produzir algo de valor, que faça a diferença na minha vida.

Daisaku Ikeda citou: que grandes conhecimentos são construídos em meio a muitas dificuldades: “ser herói não significa acertar constantemente. É muito mais que isso. O verdadeiro espírito de um herói encontra-se na intensa convicção de enfrentar e vencer as dificuldades em vez de desistir de tudo. Na vida de todos nos poderão surgir situações inesperadas. Poderão manifestar obstáculos ou problemas que jamais havíamos imaginado. É justamente nesses momentos que revelamos o que verdadeiramente carregamos no coração.”

“Em tempos em que quase ninguém se olha nos olhos, em que a maioria das pessoas pouco se interessa pelo que não lhe diz respeito, só mesmo agradecendo àqueles que percebem nossas descrenças, indecisões, suspeitas, tudo o que nos paralisa, e gastam um pouco da sua energia conosco, insistindo.” (Martha Medeiros).

OBRIGADA!

CILIPRANDI, Ana Paula, Adubação fosfatada na qualidade de sementes e no desempenho agrônômico da soja. 61 f. Dissertação (Mestrado em Agroecossistemas) – Programa de Pós-Graduação em Agroecossistemas (Área de concentração: manejo de culturas anuais em agroecossistemas), Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Dois Vizinhos, 2019.

RESUMO

A semente é considerada uma matéria prima no processo produtivo da soja, sendo o fósforo um macronutriente que pode contribuir positivamente com a sua qualidade fisiológica, além de prospectar maior produtividade das lavouras. O objetivo do trabalho foi avaliar o efeito de diferentes doses de fósforo aplicadas via solo, sobre a qualidade, composição química e produtividade de sementes de soja e, a partir destas, a produtividade de grãos na geração seguinte, em diferentes safras agrícolas. O trabalho foi realizado na UTFPR, Câmpus Dois Vizinhos, em duas safras para produção e avaliação de sementes (2016/17 e 2017/18) e duas safras para produção de grãos (2017/18 e 2018/19). A cultivar utilizada foi a NS 4823 RR[®]. Os tratamentos aplicados foram: T1 – controle, sem fósforo na semeadura (0%); T2 – dose de 50% do P₂O₅ recomendado pela interpretação da análise de solo; T3 – 100% do P₂O₅ recomendado; T4 – 150% do P₂O₅ recomendado e T5 – 200% do P₂O₅ recomendado. Na etapa de campo, avaliaram-se os componentes de rendimento e a produtividade da soja, para sementes e grãos. Em laboratório, as variáveis analisadas foram: germinação, índice de velocidade de emergência, emergência em campo, comprimento de plântula, envelhecimento acelerado, massa seca de plântula, quantificação de macro e micronutrientes nas sementes de soja. O delineamento experimental utilizado em campo foi o de blocos ao acaso e em laboratório, inteiramente casualizado, com três e quatro repetições, respectivamente. Os dados foram submetidos à análise de variância, e comparados em um esquema bifatorial, utilizando-se regressão e para comparação de médias, Scott Knott, a 5% de probabilidade. Doses crescentes de fósforo até a recomendação,, contribuem para a maior produtividade de sementes. Adubação fosfatada em doses crescentes contribui para o acúmulo deste nutriente nas sementes e com sua qualidade fisiológica, porém, com respostas variáveis entre anos de cultivo. As condições climáticas dos anos safra testados, influenciaram de maneira diferente a qualidade e a quantidade das sementes produzidas. A produtividade de grãos sofre influência direta de períodos prolongados de déficit hídrico, sendo mais sensível a este fator do que às sementes de qualidade distinta, desde que estas tenham alta germinação e vigor.

Palavras-chave: Fósforo, qualidade fisiológica, produtividade.

CILIPRANDI, Ana Paula, Adubação fosfatada na qualidade de sementes e no desempenho agrônômico da soja. 61 f. Dissertação (Mestrado em Agroecossistemas) – Programa de Pós-Graduação em Agroecossistemas (Área de concentração: manejo de culturas anuais em agroecossistemas), Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Dois Vizinhos, 2019.

ABSTRACT

The seed is considered a raw material in the soybean production process, with phosphorus being a macronutrient that can contribute positively to its physiological quality, in addition to prospecting for higher yield of crops. The aim of this study was to evaluate the effect of different doses of phosphorus applied via soil on the quality, chemical composition and yield of soybean seeds and, from these, grain yield in the next generation, in different crops. The work was carried out at UTFPR, Campus Dois Vizinhos, in two crops for seed production and evaluation and two subsequent crops for grain production, 16/17 and 17/18; 17/18 and 18/19, respectively. The cultivar used was NS 4823 RR[®]. The treatments applied were: T1 - control, without phosphorus at sowing (0%); T2 - 50% dose of P₂O₅ recommended by interpretation of soil analysis; T3 - 100% of P₂O₅ recommended; T4 - 150% of the recommended P₂O₅ and T5 - 200% of the recommended P₂O₅. In the field stage, soybean yield and yield components were evaluated for seeds and grains. In the lab, the analyzed variables were: germination, emergence speed index, field emergence, seedling length, accelerated aging dry mass of seedlings, quantification of macro and micronutrients in soybean seeds. The experimental design used in the field was randomized blocks, and in the lab the completely randomized, with three and four replicates, respectively. The data were submitted to analysis of variance, and compared in a two-factor scheme, using regression and for means comparison, Scott Knott, at 5% probability. Increasing doses of phosphorus up to the recommendation, contribute to higher seed yield. Phosphate fertilization in increasing doses contributes to the accumulation of this nutrient in the seeds, and its physiological quality, however, with variable responses between years of cultivation. The conditions of the date of harvest tested, influenced of different manner to quality and quantity of seeds produced. Grain yield is directly influenced by prolonged periods of water deficit, being more sensitive to this factor than to seeds of different quality, provided they have high germination and vigor.

Key words: Phosphorus, physiological quality, yield.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

- FIGURA 1** – Precipitação, temperatura máxima, mínima e média (°C) registradas no período de condução dos ensaios. Dois Vizinhos, 2019. Fonte de dados: BIOMET, 2018.32
- FIGURA 2** – Resposta do número de sementes por vagem e produtividade de sementes em função da adubação fosfatada.....33
- FIGURA 3** – Dados médios de fósforo (A), cálcio (B), magnésio (C) e enxofre (D) em sementes de soja sob diferentes tratamentos de P e safras de cultivo. n.s.: não significativo.....37
- FIGURA 4** – Dados médios de zinco (A), sódio (B), boro (C), manganês (D), cobre (E) e ferro (F) em sementes de soja sob diferentes tratamentos de P e safras de cultivo. n.s.: não significativo.....39
- FIGURA 5** – Germinação (A), Índice de velocidade de emergência (B), Emergência a campo (C), Comprimento de parte aérea (D), Comprimento de Raiz (E), Comprimento de Plântula (F), Envelhecimento acelerado (G) de sementes de soja NS 4823 RR colhidas de plantas cultivadas sob diferentes doses de fósforo em dois anos safra (2016/17 e 2017/18). n.s.: não significativo.43

LISTA DE TABELAS

- TABELA 1** – Resumo da Análise de Variância para a Inserção primeira vagem (IPV), Número de vagens por planta (NVP), Número de sementes por planta (NSP), Número de sementes por vagem (NSV), Massa de mil sementes (MMS) e Produtividade de sementes (Prod. Sem) em função de diferentes tratamentos de P e anos de cultivo (safras).30
- TABELA 2** – Dados médios das variáveis número de sementes por planta (NSP), número de sementes por vagem (NSV), massa de mil sementes (MMS) e produtividade de sementes de soja (Prod. sem) em função das safras de cultivo. ...31
- TABELA 3** – Resumo da análise de variância de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), enxofre (S), boro (B), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn), zinco (Zn) e sódio (Na) em função de diferentes tratamentos de P e safras de cultivo.34
- TABELA 4** – Dados médios de fósforo (P), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S) em sementes de soja, em função de diferentes tratamentos de P e safras de cultivo.35
- TABELA 5** – Dados médios de cobre (Cu), ferro (Fe), zinco (Zn) e sódio (Na) em sementes de soja, em função de diferentes tratamentos de P e safras de cultivo; e de Boro (B) e Manganês (Mn) em função das safras.36
- TABELA 6** – Resumo da análise de variância da germinação (G), índice de velocidade de emergência (IVE), emergência a campo (EC), comprimento de parte aérea (CPA), comprimento de raiz (CR), comprimento total de plântula (CTPLA), matéria seca total de plântula (MSTPLA) e envelhecimento acelerado (EA) em função de diferentes tratamentos de P e safras de cultivo.40
- TABELA 7** – Dados médios da germinação (G), índice de velocidade de emergência (IVE), velocidade de emergência (VE), emergência a campo (EC), comprimento da parte aérea (CPA), matéria seca total de plântula (MSTPLA) em função das safras de cultivo.41
- TABELA 8** – Dados médios das variáveis: Comprimento de raiz (CR) e Comprimento total de plântula (CTPLA) sob diferentes doses de Fósforo (Safr 2016/2017 e Safr 2017/2018).42
- TABELA 9** – Resumo da análise de variância da inserção primeira vagem (IPV), número de vagem por planta (NVP), número de grãos por planta (NGP), número de grãos por vagem (NGV), massa de mil grãos (MMG) e produtividade de grãos (Prod grãos) em função de diferentes tratamentos de P e safras de cultivo.45
- TABELA 10** – Dados médios das variáveis número de grãos por vagem (NGV), massa de mil grãos (MMG) e produtividade (Prod. grãos).46

LISTA DE SÍMBOLOS E SIGLAS

°C: Graus Celsius.

ADAPAR: Agência de Defesa Agropecuária do Paraná.

ATP: Trifosfato de adenosina.

CE: Emergência a campo.

cm: Centímetro.

CPA: Comprimento parte aérea.

CR: Comprimento raiz.

CTPLA: Comprimento total de plântula.

dm: Decímetro.

DV: Dois Vizinhos.

EA: Vigor por envelhecimento acelerado.

G: Germinação.

g: Grama.

ha-1: Hectare.

IAPAR: Instituto Agronômico do Paraná.

IPV: Altura de inserção da primeira vagem.

IVE: Índice de Velocidade de Emergência.

Kg: Quilograma.

m: Metro.

mg: Miligramas.

mm: Milímetros.

MMG: Massa de mil grãos.

MMG: Massa de Mil Grãos.

MSTPLA: Matéria seca total plântula.

N: Nitrogênio.

NGP: Número de grãos por planta.

NGV: Número de grãos por vagem.

NSP: Número de sementes por planta.

NSV: Número de sementes por vagem.

NVP: Número de vagens por plantas.

P: Fósforo.

PE: Produtividade.

RAS: Regras para Análise de Sementes.

PR: Paraná.

PROD: Produtividade.

SEAB: Secretaria da Agricultura e Abastecimento.

TG: Teste de germinação.

UA: Unidade amostral.

UE: Unidades experimentais.

UNEP: Unidade de Ensino e Pesquisa.

UO: unidades de observação.

UTFPR: Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

VE: Velocidade de Emergência.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
2	REVISÃO DE LITERATURA	17
2.1	NUTRIÇÃO DA SOJA.....	17
2.2	FÓSFORO E A PRODUTIVIDADE DA SOJA.....	19
2.3	FÓSFORO E A QUALIDADE DE SEMENTES DE SOJA.....	20
2.4	QUALIDADE DE SEMENTES DE SOJA E PRODUTIVIDADE DE GRÃOS...22	
2.5	CONDIÇÕES CLIMÁTICAS FAVORÁVEIS À CULTURA DA SOJA	23
3	MATERIAL E MÉTODOS	26
3.1	PRODUÇÃO DE SEMENTES	26
3.2	ANÁLISE DA COMPOSIÇÃO QUÍMICA DAS SEMENTES.....	28
3.3	QUALIDADE FISIOLÓGICA DE SEMENTES.....	28
3.4	PRODUÇÃO DE GRÃOS	28
3.5	DELINEAMENTO EXPERIMENTAL E ANÁLISE ESTATÍSTICA	29
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	30
4.1	PRODUÇÃO DE SEMENTES	30
4.2	COMPOSIÇÃO QUÍMICA DAS SEMENTES.....	34
4.3	QUALIDADE FISIOLÓGICA DAS SEMENTES	40
4.4	PRODUÇÃO DE GRÃOS	45
5	CONCLUSÕES	48
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	49

1 INTRODUÇÃO

A qualidade de sementes é afetada por diversos fatores, sendo que a disponibilidade de nutrientes no solo é um dos principais, devido à mesma estar diretamente ligada com o adequado conteúdo de nutrientes para apresentar maior capacidade de gerar plantas vigorosas e produtivas. A boa formação do embrião, e dos órgãos de reservas, assim como sua composição química, depende da disponibilidade de nutrientes para a planta; conseqüentemente, irá influenciar o metabolismo e vigor da semente gerada (CARVALHO; NAKAGAWA, 2000).

A importância do fósforo para a produtividade das plantas é decorrente de sua participação nas membranas celulares (fosfolipídios), nos ácidos nucleicos, e como constituinte de compostos armazenadores de energia, como ATP (trifosfato de adenosina) – o mais importante desses compostos. Essa energia é utilizada na germinação, fotossíntese, absorção ativa dos nutrientes do solo e síntese de vários compostos orgânicos, como carboidratos, proteínas e lipídios (TAIZ e ZIEGER, 2009).

A deficiência de fósforo diminui o potencial de rendimento das plantas, com efeitos na parte aérea e no sistema radicular. Neste, a principal consequência é a menor formação e atividade dos nódulos fixadores de N, raízes menores e em menor quantidade, comprometendo a exploração do solo por água e nutrientes. Na parte aérea, ocorre menor desenvolvimento vegetativo da planta, resultando em diminuição da área foliar e, conseqüentemente, em menor produção de flores e de vagens (VENTIMIGLIA *et al.*, 1999; CHAUDHARY *et al.*, 2008; OLIVEIRA JÚNIOR; PROCHNOW; KLEPKER, 2011).

A qualidade da semente é definida no campo e resulta do somatório de atributos genéticos, físicos, fisiológicos e sanitários, sendo uma das principais responsáveis pelo estabelecimento inicial da cultura e estando intimamente relacionada com as condições edafoclimáticas (SALUM *et al.*, 2008).

Para contribuir com a produção de sementes de qualidade superior, a adubação se torna indispensável, pois é uma forma de elevar os teores de macro e micronutrientes na semente, dentre os quais, o fósforo. Esses valores são variáveis entre espécies, cultivares e, diretamente depende das condições do ambiente em que a semente é produzida (CARVALHO; NAKAGAWA, 1988).

Após o processo de germinação, as reservas de fósforo nas sementes são translocadas para as raízes e parte aérea. Há poucos estudos sobre os mecanismos fisiológicos que controlam a transição entre a dependência completa sobre as reservas de fósforo nas sementes e o início da aquisição, bem como a indução de uma maior capacidade de absorção em plantas deficientes (WHITE; VENEKLAAS, 2012).

Apesar da importância da nutrição mineral na produtividade e na qualidade fisiológica das sementes, a recomendação de adubação utilizada atualmente, para campos de produção de sementes, é a mesma que a de campos para produção de grãos (CARVALHO; NAKAGAWA, 2000). Essas recomendações enfatizam o efeito da nutrição mineral sobre a produtividade, não correlacionando à qualidade das sementes, na sua maior parte. Mondo *et al.* (2012) realizaram amostragens de solo, e de sementes em produção, em pontos georreferenciados de lavouras para análise da fertilidade do solo e potencial fisiológico de sementes de soja, e concluíram que há correlação positiva entre esses fatores.

O objetivo da presente investigação científica, foi avaliar o efeito de diferentes doses de fósforo aplicadas via solo, sobre a qualidade, composição química e produtividade de sementes de soja e, a partir destas, a produtividade de grãos na geração seguinte, em diferentes safras agrícolas.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 NUTRIÇÃO DA SOJA

A soja (*Glycine max* (L.) Merrill) é uma *commodity* que ocupa posição de destaque no agronegócio brasileiro, estando o Brasil em segundo lugar no ranking de produção mundial de soja, atrás apenas dos Estados Unidos. Na safra 2018/19, a expectativa de área cultivada no Brasil com a soja foi de 35.775,2 mil hectares, com produção total de 113,8 milhões de toneladas e produtividade por hectare de 3.182 kg ha⁻¹. O Paraná, terceiro maior produtor, cultivou 5.437,5 mil hectares de soja chegando à produção de 16.372,3 mil toneladas e produtividade por hectare de 3.011 kg ha⁻¹ por hectare (CONAB, 2019).

Diante da importância da soja para o Brasil, busca-se o aumento do rendimento por área para elevar a produção total. Dentre os fatores que alteram positivamente e/ou negativamente essa produção, a utilização de sementes de alta qualidade fisiológica é imprescindível para o sucesso da lavoura (VARGAS, 2014).

A soja é uma oleaginosa de extrema exigência nutricional, sendo eficiente tanto na absorção quanto na translocação de nutrientes (OLIVEIRA *et al.*, 2007). Os nutrientes são divididos em macro e micronutrientes e são assim classificados devido à quantidade exigida pelas plantas; os macronutrientes constituem cerca de 99,5% da massa seca, e os micronutrientes cerca de 0,5%. São considerados macronutrientes: C, H, O, N, P, K, Ca, Mg e S e, micronutrientes: B, Cl, Cu, Fe, Mn, Mo, Ni e Zn (EPSTEIN; BLOOM, 2005).

Para um nutriente ser considerado essencial, deve atender aos critérios de essencialidade direto e indiretos descritos por Arnon; Stout (1939): o nutriente participa de algum composto ou alguma reação, sem o qual a planta não vive; a planta não completa seu ciclo de produção (vegetativo e reprodutivo) na ausência do elemento; o elemento tem função específica e não pode ser substituído.

No geral, a maior exigência nutricional das plantas, segundo Carvalho *et al.* (2003), dar-se-á com o início da fase reprodutiva, e torna-se mais crítica na época de formação das sementes, devido à grande quantidade de nutrientes translocados para as mesmas. Há uma grande exigência nutricional devido a estes serem essenciais à formação e o desenvolvimento de novos órgãos de reserva.

Estudos realizados por Oliveira *et al.* (2006) e Teixeira *et al.* (2005) mostraram que, mesmo a exigência de nutrientes advindos de fertilizantes nos estádios iniciais da planta sendo relativamente pequena, estes, afetam positivamente a produtividade, qualidade e composição química, formação do embrião e órgãos de reserva e, por consequência, o metabolismo e vigor das sementes geradas.

A adubação é utilizada para suprir a necessidade de nutrientes da cultura através do solo, levando em conta as perdas por volatilização, lixiviação, imobilização, fixação e erosão, portanto, quanto mais pobre o solo, maior a exigência de nutrientes para suprir as exigências das plantas (MALAVOLTA, 2006). Para o autor, a adubação é um dos principais fatores que afetam a produtividade agrícola, acarretando em custos e refletindo na rentabilidade da produção.

Plantas com adequada adubação e manejo são menos suscetíveis ao ataque de pragas e doenças, além de produzirem sementes de alta qualidade sanitária. Segundo Balardin *et al.* (2006), a correta nutrição de plantas com fósforo e potássio promove redução na incidência e avanço de *Phakopsora pachyrhizi* (ferrugem asiática da soja), principal doença da cultura.

Estima-se que são exportados do solo, para produção de 3.000 kg ha⁻¹ de grãos de soja, cerca de 226 kg ha⁻¹ de N; 16 kg ha⁻¹ de P; 94 kg ha⁻¹ de K; 64 kg ha⁻¹ de Ca; 32 kg ha⁻¹ de Mg e 8 kg ha⁻¹ de S (VITTI; LUZ, 1998).

Depois do N, o fósforo é o principal nutriente que limita o crescimento das plantas, e é assimilado apenas na forma inorgânica (NUNES *et al.*, 2013). Segundo Taiz; Zeiger (2009), o P tem papel ímpar no metabolismo vegetal por ser responsável por auxiliar na fotossíntese e respiração. Plantas com deficiência em P apresentam reduzido crescimento (MARENCO; LOPES, 2011).

O fósforo apresenta baixa mobilidade no solo e desloca-se apenas poucos centímetros por meio do processo de difusão. Para Barber (1995) e Malavolta (2006) esse processo é caracterizado por um deslocamento a curta distância e dentro da fase aquosa – de uma região com maior concentração para uma com menor concentração (superfície da raiz). Na fração sólida do solo, Parfitt (1978) e Raij *et al.* (2011) citam que o fósforo pode ser encontrado em ligações com cálcio (Ca), ferro (Fe) e alumínio (Al).

As interações de fósforo com outros macros e micronutrientes podem ocorrer tanto no solo, afetando a própria disponibilidade destes, ou a absorção e transporte pela planta, bem como o seu metabolismo (MALAVOLTA, 2004).

O fósforo é um dos nutrientes que despertam interesse por pesquisas, devido ter baixa disponibilidade no solo e uma dinâmica complexa no sistema. Em regiões tropicais, que há um intenso intemperismo, a fração de fósforo disponível na sua maioria é inferior à exigência mínima das culturas (SANTOS *et al.*, 2008).

A baixa disponibilidade de fósforo no solo afeta o rendimento da cultura da soja, tanto para produção de sementes como para grãos. Além disso, a deficiência de fósforo no solo reduz o florescimento, ocasionando menor produção de flores e vagens, bem como alta taxa de aborto destas estruturas e, por consequência, limitando a produtividade (VENTIMIGLIA *et al.*, 1999).

2.2 FÓSFORO E A PRODUTIVIDADE DA SOJA

O fósforo (P) tem grande importância no crescimento e no desenvolvimento da soja. Sem este nutriente a produtividade é comprometida, pois diminui o porte da planta, altura de inserção das primeiras vagens (TANAKA; MASCARENHAS, 1992), menor produção de flores e aumenta o aborto dessas estruturas (VENTIMIGLIA *et al.*, 1999).

Apesar de sua importância para as plantas, a maioria dos solos brasileiros não possui teores de P adequados em formas disponíveis para a soja. Devido a isto, a cultura necessita de adubação suplementar para elevar esse teor (RAIJ *et al.*, 2001).

Uma adubação de qualidade à base de P promove incrementos significativos na produtividade (ARAÚJO *et al.*, 2005). Segundo Tanaka *et al.* (1993), a produtividade da planta de soja é afetada em solos com deficiência deste nutriente. O P está diretamente ligado às membranas celulares (fosfolípidios) e aos ácidos nucleicos. É constituinte de substâncias geradoras de energia como a adenosina trifosfato (ATP); é utilizado na fotossíntese, germinação, síntese de carboidratos, proteínas e lipídeos e atua na absorção ativa dos demais nutrientes do solo, além de estar presente na síntese de muitos compostos orgânicos do metabolismo.

Para Thomson *et al.* (1992), o aumento da produtividade a partir do incremento de concentrações de P seria resultado tanto do maior crescimento de

raízes e da parte aérea, como ao favorecimento da nodulação. Ainda segundo o autor, plantas oriundas de sementes com maior teor do elemento, atendem a demanda metabólica inicial com maior facilidade, ficando menos dependentes deste macronutriente existente no solo, nesta fase.

Experimentos em campos de produção de sementes de soja são escassos, assim a recomendação de fertilizantes é baseada em resultados obtidos em campos para produção de grãos (CARVALHO; NAKAGAWA, 2000). A soja necessita do fósforo para completar seu ciclo normal de produção e, normalmente, apresenta limitações quanto à obtenção de elevados rendimentos, seja por seu baixo teor no solo, ou pela sua complexa dinâmica em solos tropicais e subtropicais (VITTI; TREVISAN, 2000). Segundo Corrêa *et al.* (2004), a disponibilidade de fósforo para a semente facilita o desenvolvimento inicial das plântulas de soja, proporcionando lotes mais vigorosos, resultando em maior produtividade.

2.3 FÓSFORO E A QUALIDADE DE SEMENTES DE SOJA

Sementes de boa qualidade dependem de vários atributos, sejam eles genéticos, físicos, fisiológicos e sanitários. Sendo os macro e micronutrientes, fatores que atuam diretamente no crescimento e desenvolvimento das plantas; juntamente com temperatura, água, luz, propriedades físicas e químicas do solo e o manejo adequado (WACHOWICZ; CARVALHO, 2002).

A disponibilidade de nutrientes em solos férteis, para sementes, resulta não só no aumento da produtividade, mas, também, em sementes de melhor qualidade fisiológica, física e química, influenciando na boa formação do embrião, dos órgãos de reserva e do tegumento (SARMENTO; SILVA, 2010). Segundo Carvalho; Nakagawa (2000), a produtividade e a qualidade de sementes estão diretamente ligadas à disponibilidade de nutrientes, os quais influem na composição química e, conseqüentemente, no metabolismo e vigor destas.

O baixo vigor de sementes resulta na emergência reduzida, levando a atrasos no desenvolvimento, desuniformidade durante o ciclo, principalmente na maturação. Da mesma forma, interfere na altura de plantas, ramificações, inserção de primeira vagem, diâmetro do caule, e pode intensificar o acamamento e influenciar negativamente na qualidade final dos produtos, acarretando em efeitos diretos na produtividade (PESKE *et al.*, 2006).

O fósforo em sementes é encontrado como ácido fítico, fosfatídeos, ácidos nucleicos e componentes inorgânicos de P. O ácido fítico representa, em leguminosas, cerca de 70% da quantidade de fósforo total (RABOY, 2009). O ácido fítico pode ser parcialmente desfosforilado no decorrer do processo de germinação, formando compostos como o penta-fosfato, o tetra-fosfato e o tri-fosfato e assim, disponibilizando fósforo para o desenvolvimento e crescimento da plântula (SILVA; SILVA, 1999; AGOSTINI; IDA, 2006).

A deficiência de fósforo em plântulas pode reduzir, segundo Grant *et al.* (2001), a respiração, a fotossíntese e, também, a síntese de ácidos nucléicos e de proteínas, o que resulta no menor crescimento da célula ou, até mesmo, paralisando-a.

O vigor de sementes se refere, dentre outros fatores, à qualidade fisiológica destas, e está relacionado com as condições climáticas na maturação, armazenamento, tamanho de sementes, injúrias, tratamento químico e nutrição, etc. (TOLEDO *et al.*, 2009). Os testes de vigor são indispensáveis, pois permitem avaliar com maior precisão o desempenho dos lotes de sementes no campo em relação ao teste de germinação (DELOUCHE; CALDWELL, 1969; MENDES *et al.*, 2010).

Em estudo realizado por Vieira *et al.* (1987b), trabalhando com doses de adubo fosfatado de até 150 kg ha⁻¹ aplicadas no sulco da semeadura, revelou-se que, conforme aumentava-se a quantidade de adubação fosfatada diminuía a qualidade fisiológica das sementes nas avaliações de germinação e vigor. Ainda, o mesmo autor em outro trabalho realizado (VIEIRA, 1987a), com doses de 0; 80 e 160 kg ha⁻¹ de P₂O₅ não observou efeito da adubação fosfatada sobre a germinação e vigor de sementes de soja nas avaliações de primeira contagem de germinação e índice de velocidade de emergência.

Salum *et al.* (2008) trabalhando com doses entre 0 e 150 kg ha⁻¹ de adubação fosfatada via solo pobre de fósforo (5 mg dm⁻³) na produção de sementes de feijão, não verificaram efeito do nutriente na qualidade das sementes produzidas, em testes de germinação e vigor. Em concordância, Bedin *et al.* (2003), não observaram alterações no teor de fósforo em sementes em estudo com diferentes fontes e doses de fósforo em solos com diferentes teores de nutrientes..

A adubação fosfatada pode aumentar a quantidade de fósforo na semente, refletindo principalmente no seu vigor (VIEIRA *et al.*, 1987c). Para Trigo *et al.* (1997), adicionando-se níveis maiores aos recomendados de fósforo na semente, resulta-se

em efeitos diretos na germinação devido a disponibilizar maiores quantidades de energia para o metabolismo, o que promove crescimento inicial maior de plântula (parte aérea e raiz), elevando assim a absorção de água e demais nutrientes.

O fósforo atua positivamente na qualidade fisiológica das sementes de trigo (CADORE, 2011), pois está envolvido no processo de germinação, devido ao fato de ser a principal fonte deste nutriente que irá nutrir o embrião durante a retomada do seu crescimento, no estágio de plântula (CORRÊA *et al.*, 2004; SOARES, 2009). Esta melhoria refletirá no incremento da produtividade de grãos da geração seguinte (TRIGO *et al.*, 1997; PESKE *et al.*, 2009, MARIN *et al.*, 2015).

2.4 QUALIDADE DE SEMENTES DE SOJA E PRODUTIVIDADE DE GRÃOS

Embora os estudos relacionados ao fósforo e sua relação com as sementes de soja sejam escassos, alguns autores verificaram que em níveis crescentes aos recomendados em campos de produção de grãos, mas na produção de sementes, podem intervir positivamente no atributo da qualidade fisiológica. Isto reflete em incremento de produtividade de grãos da próxima geração (TRIGO *et al.*, 1997; CARVALHO; NAKAGAWA, 2000; CORRÊA *et al.*, 2004; MARCOS-FILHO, 2005; PESKE *et al.*, 2009, MARIN *et al.*, 2015).

Em um estudo com aplicação de doses crescentes de fósforo e molibdênio na qualidade fisiológica das sementes produzidas, Guerra *et al.* (2006a) verificaram que o P aumentou o vigor das sementes, sua germinação e a emergência a campo. O mesmo autor ainda cita que sementes com elevados teores de P têm mais energia inicial para o metabolismo da plântula, aumentando, por consequência, o vigor; o que é de grande valia para o estabelecimento das plantas.

Da mesma forma, Marin *et al.* (2015) constataram que a adubação fosfatada na base gerou sementes de soja com maior vigor à medida que essa adubação foi crescente, refletindo positivamente na concentração de P, Zn e Fe nas sementes, e no aumento de produtividade de grãos da lavoura subsequente. Estes resultados corroboram com Trigo *et al.* (1997), que verificaram que sementes com teores elevados de fósforo, na faixa entre 0,58 e 1,10% promovem incremento na produtividade de grãos da geração subsequente.

Na cultura do feijão, a adubação fosfatada com 150 kg ha⁻¹ aumentou o número de vagens e o número de sementes por planta, porém, a produtividade não

teve incremento, bem como a qualidade das sementes não foi alterada em função de doses crescentes de fósforo (ZUCARELI *et al.*, 2006). Resultados corroborados por Schwade *et al.* (2015), em soja cultivada em solos argilosos, onde diferentes doses de fósforo não aumentaram a produtividade.

Em soja, Scheeren (2002) observou que plântulas provenientes de sementes de alto vigor apresentaram maior tamanho inicial, resultando em um aumento de 9% na produtividade final de grãos. Em estudo similar, Kolchinski (2003), avaliando plantas de soja individualmente, concluiu que sementes com baixo vigor reduziram o rendimento de grãos em 28%.

Sementes de soja com baixos níveis de fitato resultam em menor peso de matéria seca da raiz e parte aérea, e emergência de plântulas a campo, quando comparadas às sementes com níveis elevados de fitato (MEIS *et al.*, 2003; HULKE *et al.*, 2004; OLTMANS *et al.*, 2005; SPEAR *et al.*, 2007).

Em experimento analisando o efeito da adubação com P, K e Zn em soja, Gonçalves Júnior *et al.* (2010), constataram que a adubação fosfatada e potássica contribuiu com o aumento da produtividade da cultura, em função do maior número de vagens por planta. Resultados semelhantes foram constatados por Batistella Filho *et al.* (2013), variando a quantidade de fósforo na linha de semeadura da soja entre 0 a 160 kg ha⁻¹ de P₂O₅.

Apesar do resultado positivo para produtividade, Batistella Filho *et al.* (2013), não constataram efeito da adubação com fósforo sobre a qualidade fisiológica das sementes produzidas, mesmo o trabalho tendo sido realizado em solo com baixa disponibilidade de fósforo. Guerra *et al.* (2006a), com doses de superfosfato triplo variando de 0 a 400 kg ha⁻¹, observaram aumento de germinação e vigor das sementes conforme aumentava a dose de fósforo.

2.5 CONDIÇÕES CLIMÁTICAS FAVORÁVEIS À CULTURA DA SOJA

A produção de grãos e sementes é fortemente influenciada pelas condições climáticas e meteorológicas; alterações nestas condições podem ocasionar impactos tanto positivos como negativos na produtividade da soja (GORNALL *et al.*, 2010).

De acordo com a Embrapa (2014) para o desenvolvimento da soja, a temperatura ideal varia de 20 – 30 °C e na floração acima de 13 °C. Altas

temperaturas e excesso de umidade na maturação podem vir a diminuir a qualidade, e baixa umidade pode resultar em danos mecânicos na hora da colheita.

A soja em todo seu ciclo necessita de um total de água para obtenção de máximo rendimento variando de 450 – 800 mm/ciclo. Exageradamente acima ou abaixo disso, pode vir a prejudicar a uniformidade das plantas resultando em perdas de produtividade (EMBRAPA, 2014).

A necessidade de água da cultura é importante principalmente em dois estádios: germinação-emergência e floração-enchimento de grãos. Neste primeiro, tanto o excesso como o déficit prejudicam a uniformidade e o estabelecimento da população de plantas (FARIAS, 2007). O déficit hídrico é um dos principais fatores que limitam a produtividade da soja, causando severas perdas (SENTELHAS *et al.*, 2015). Para Dogan *et al.* (2007) a ocorrência de déficit hídrico no início da formação das vagens (R3), início de enchimento de grãos e enchimento de grãos ocasiona maior perda de produtividade em comparação com os outros estádios de desenvolvimento da soja.

As fases fenológicas e o ciclo da soja são determinados pelo fotoperíodo juntamente com a temperatura do ar (FIETZ; RANGEL, 2008). Essa leguminosa é considerada uma planta de dia curto, portanto, o florescimento ocorre conforme o ciclo, porém mais rápido em dias curtos (FARIAS *et al.*, (2009). Segundo Boote *et al.* (2003) os grupos de maturação estão ligados ao fotoperíodo de cada cultivar.

Para produtores sementes com alta qualidade fisiológica é um dos principais desafios. Para França Neto *et al.*, (2007) o estresse ocasionado por alta temperatura e seca na fase de enchimento de grãos em sementes podem resultar em sementes pequenas, verdes ou deformadas. Resultando assim na menor produtividade, germinação e vigor, comprometendo a lavoura de sementes.

O excesso de umidade favorece o desenvolvimento de fungos e diminui o potencial de germinação e vigor em sementes armazenadas (AZEVEDO *et al.*, 2008). Além disso, a colheita realizada em condições ambientais desfavoráveis diminuem o potencial de germinação e vigor de sementes, respondendo na menor produtividade da lavoura (BERBERT *et al.*, 2008).

O excesso de água no solo causa danos na embebição das sementes e falta de oxigênio nos solos, resultando em menor germinação e emergência de plântulas de soja. Nos estádios entre a emergência até a maturação fisiológica, o excesso de umidade do ar tem consequência na absorção de água e nutrientes do solo via fluxo

de massa, resultando em menor produtividade devido à baixa disponibilidade de nutrientes para formação de tecidos vegetais e consequentemente plantas menores e menos produtivas (NEUMAIER *et al.*, 2000).

Em estudo sobre produtividade de soja em consequência do atraso da colheita e de condições ambientais, Tsukahara *et al.* (2016) concluíram que a umidade dos grãos tem relação direta com a massa de mil grãos e consequentemente com a produtividade; ainda, observaram que as maiores perdas na produtividade ocorreram em ambientes com grande frequência de chuva, alta temperatura e elevada radiação solar.

Diniz *et al.*, (2013) e Xavier *et al.*, (2015) observaram perdas na produtividade da soja em decorrência do atraso da colheita devido a precipitação pluvial após o estágio R8. Citam ainda os autores, que este atraso na colheita pode acelerar o processo de deterioração da qualidade fisiológica das sementes.

3 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento constou de quatro etapas relacionadas, cada qual conduzida por dois anos/safras em sequência, a saber: produção de sementes, qualidade fisiológica de sementes, composição química das sementes e produção de grãos.

3.1 PRODUÇÃO DE SEMENTES

O trabalho foi conduzido nas safras 2016/17 e 2017/18 na Estação Experimental da Universidade Tecnológica Federal, Câmpus Dois Vizinhos, coordenadas 25,42 S e 53,03 W-GR, e altitude de 520 metros. O solo do local é classificado como Latossolo Vermelho Eutroférico de textura argilosa (EMBRAPA, 2006), conduzido sob plantio direto.

O clima da região é subtropical úmido mesotérmico, tipo Cfa (subtropical úmido), sem estação seca definida (ALVARES *et al.*, 2013), com uma precipitação média anual entre 1800 a 2200 mm / ano (IAPAR, 2017).

Previamente à instalação do ensaio, foi realizada amostragem de solo na camada de 0 – 20 cm, para avaliação da fertilidade da área. Com base nos resultados da análise, utilizou-se o Manual de Adubação e Calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina (CQFS, 2004) a fim de realizar a recomendação de fósforo para o experimento. Adotou-se este manual, visto que até 2017 o estado do Paraná não dispunha de material próprio para recomendações de adubação e calagem, utilizando-se o mesmo para tal. A interpretação do teor de fósforo indicada no manual está apresentada no Anexo A.

A análise de solo indicou teor de argila na classe 2 (com até 60%) e teor de fósforo considerado médio, em ambas as safras para produção de sementes (Anexo B). Com base na interpretação da análise de solo, foram adotados os tratamentos descritos no Quadro 1.

A semeadura e adubação se deram com um conjunto semeadora - adubadora tratorizada, na primeira quinzena de novembro para a safra 2016/17 e segunda quinzena de outubro para a safra 2017/18. A cultivar utilizada foi a NS 4823 RR[®], distribuindo-se 17,6 sementes por metro linear; previamente tratadas com fungicida + inseticida + inoculante (*Bradyrhizobium japonicum*).

QUADRO 1 – Descrição dos tratamentos de doses de fósforo adotadas na etapa de produção de sementes de soja.

Tratamento	Descrição	Dose P ₂ O ₅ (kg ha ⁻¹)	Dose SSP (kg ha ⁻¹)
T1	Controle, sem P	0	0
T2	50% da recomendação de P	30	166,7
T3	100% da recomendação de P	60	333,3
T4	150% da recomendação de P	90	500,0
T5	200% da recomendação de P	120	666,7

*SSP – Super Fosfato Simples, na concentração de 18% de P₂O₅.

O manejo de plantas daninhas, pragas e doenças seguiram as recomendações técnicas para a cultura da soja, mediante monitoramento prévio a cada tomada de decisão de aplicação.

Cada unidade experimental foi composta por cinco linhas de três metros de comprimento, espaçadas em 0,45 m. No momento da colheita, de forma aleatória, cinco plantas foram amostradas em cada parcela para determinação dos seguintes componentes de rendimento: altura de inserção de primeira vagem na haste principal (cm), número de vagens por planta, número de sementes por planta e número de sementes por vagem.

A unidade de observação (UO) foi de três linhas centrais por dois metros de comprimento, eliminando-se as linhas externas e bordaduras de cada linha colhida. Desta, determinou-se a massa de mil sementes de acordo com as Regras para Análise de Sementes - RAS (BRASIL, 2009) e a produtividade de sementes, extrapolando-se o resultado para kg ha⁻¹, depois de limpas e determinada a sua umidade, com correção para 12%.

Logo após o beneficiamento, as sementes foram secas a 12% de umidade, e passaram para a parte de análise. Paralelamente, uma amostra 2,0 kg de sementes de cada tratamento foi armazenada em câmara fria e seca (10 °C e 20% UR) para a etapa de produção de grãos.

3.2 ANÁLISE DA COMPOSIÇÃO QUÍMICA DAS SEMENTES

Para cada ano safra, após o beneficiamento, procedeu-se a homogeneização individual do total colhido de cada UO e retirou-se uma amostra de 20 gramas obtida por meio de quarteador de amostras do tipo Gamet. Estes materiais foram encaminhados ao Laboratório de Análise de Tecidos, do Instituto Campineiro de Análise de solo e Adubo (ICASA) para a determinação dos teores de nutrientes contidos na semente (variáveis respostas). As análises foram realizadas mediante o Escopo Acreditado Inmetro Crl-1198, sendo: N (Kjeldahl); P, S, Ca, Mg, Fe, Mn, Cu, Zn, B, Al (digestão nitro perclórica e determinador ICP-OES), K, Na; (digestão nitro perclórica e determinador fotômetro de chama), conforme Manual de Análises Químicas de Solos, Plantas e Fertilizantes (SILVA, 2009) e (MALAVOLTA & VITTI, 1997).

3.3 QUALIDADE FISIOLÓGICA DE SEMENTES

A avaliação de qualidade das sementes de soja, de cada tratamento da etapa 3.1, se deu imediatamente após o beneficiamento das mesmas, para as safras 2016/17 e 2017/18. Esta avaliação foi realizada no Laboratório de Sementes da UTFPR, Câmpus Dois Vizinhos.

Inicialmente, realizou-se o processo de redução e homogeneização da amostra para retirar a amostra média e as amostras de trabalho, de acordo com a RAS (BRASIL, 2009).

As variáveis respostas mensuradas foram: contagem final da germinação (G) (BRASIL, 2009); índice de velocidade de emergência (IVE) (MAGUIRE, 1962); emergência em campo (EC) (NAKAGAWA, 1999); comprimento de plântula (raiz - CR, parte aérea - CPA e total - CT) (NAKAGAWA, 1999); envelhecimento acelerado EA) (KRZYZANOWSKI *et al.*, 1999; BRASIL, 2009); e, massa seca de plântula (MS) (NAKAGAWA, 1999).

3.4 PRODUÇÃO DE GRÃOS

As sementes produzidas a partir de cada tratamento descrito no item 3.1, ao início das safras subsequentes, ou seja, em 2017/18 e 2018/19, foram semeadas

para implantação do ensaio visando à produção de grãos na mesma metodologia e local da implantação do campo de sementes. Foram assim tratadas nesse caso, como lotes distintos em função da procedência equivalente, T1 - L1, T2 – L2, T3 – L3, T4 – L4, T5 – L5.

O manejo de plantas daninhas, pragas e doenças seguiu o monitoramento e a recomendação para a soja. Quanto à adubação, esta foi à base de formulado NPK 02-20-20, na dose de 407 kg ha⁻¹.

As avaliações realizadas seguiram as mesmas descritas no item 3.1 (Produção de sementes) porém, considerando-se apenas a produção de grãos de soja.

3.5 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL E ANÁLISE ESTATÍSTICA

O delineamento experimental adotado em campo (itens 3.1 e 3.4) foi o de blocos ao acaso, com três repetições. Em laboratório, o delineamento adotado foi o inteiramente casualizado, com quatro repetições para o item 3.2 e duas repetições para o item 3.3.

Após a tabulação dos dados, os mesmos foram submetidos ao teste de homogeneidade de Lilliefors. Cumpridos os pressupostos do modelo, foi realizada a análise de variância no conjunto de dados, para verificar o nível de significância e suas interações pelo teste F ($p > 0,05$), em esquema bifatorial (tratamentos de P/lotos de P x anos).

Submeteu-se o conjunto de dados a ANOVA, para verificação da significância dos fatores e da sua interação. Quando houve efeito significativo dos tratamentos ($p < 0,05$), procedeu-se a comparação de médias das variáveis, utilizando-se o teste de Scott Knott, a 5% de probabilidade, através do Programa Estatístico Genes (CRUZ, 2007).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 PRODUÇÃO DE SEMENTES

Observa-se, na análise de variância (Tabela 1), que não houve interação entre os fatores para as variáveis analisadas. Houve significância dentro do fator anos de cultivo (safras) para as variáveis número de sementes por planta (NSP), número de sementes por vagem (NSV), massa de mil sementes (MMS) e produtividade de sementes (Prod. Sem.). Para o fator tratamentos de P houve significância para as variáveis NSV e Prod. Sem.

TABELA 1 – Resumo da Análise de Variância para a Inserção da primeira vagem (IPV), Número de vagens por planta (NVP), Número de sementes por planta (NSP), Número de sementes por vagem (NSV), Massa de mil sementes (MMS) e Produtividade de sementes (Prod. Sem.) em função de diferentes tratamentos de P e anos de cultivo (safras).

FV	GL	Quadrado médio					
		IPV (cm)	NVP	NSP	NSV	MMS (g)	Prod. Sem. (kg ha ⁻¹)
Blocos	2	0,394	1,20	60,30	,08133	36,25	51515,78
Tratamentos (F1)	4	,138ns	13,95ns	256,92ns	,07783**	52,27ns	314909,91**
Safras (F2)	1	,108ns	3,47ns	1467,2*	,53333**	279,7**	15585570,1**
F1xF2	4	,612ns	23,81ns	30,113ns	,04583ns	34,96ns	53208,69ns
Resíduo	18	0,919	31,25	239,95	,01578	19,94	51451,72
CV (%)		16,78	12,56	14,58	5,26	2,60	5,31

*Significativo a 5%, **significativo a 1%, ns-não significativo.

A IPV teve média geral de 5,71 cm (dados não apresentados), sendo considerada uma inserção prejudicial à colheita mecanizada, de acordo com Shigihara & Hamawaki (2005), que consideram alturas adequadas entre 10 e 15 cm, pois resultam em menores perdas. No entanto, segundo os autores, inserção acima de 20 cm pode comprometer a produtividade pela limitação do número de vagens por planta.

O NVP também não foi sensível aos fatores avaliados, mantendo-se, em média, em 44,5 vagens por planta (dados não apresentados). Zucareli *et al.* (2006), na cultura do feijão verificaram que doses maiores de P, neste caso 150 kg ha⁻¹, aplicados na linha de semeadura da cultivar IAC Carioca, incrementaram o número de vagens por planta, porém, não resultaram em maior produtividade de grãos.

Em pesquisa realizada por Marin *et al.* (2015), não se verificou efeito das doses crescentes de fósforo sobre o NSP. Estes dados vêm ao encontro do observado no presente estudo, em que também não se obteve resposta desta variável em função da adubação fosfatada diferencial (Tabela 1). Já no tratamento de sementes de soja com fitina, Peske *et al.* (2009) constataram que o fornecimento de P, desta forma, favoreceu o número de sementes por planta.

Quando comparadas as safras, houve maior NSP na segunda em relação à primeira. Logicamente, considerando que o número de vagens não variou entre os anos, o NSP foi maior devido ao maior número de sementes por vagem (NSV) (Tabela 2).

TABELA 2 – Dados médios das variáveis número de sementes por planta (NSP), número de sementes por vagem (NSV), massa de mil sementes (MMS) e produtividade de sementes de soja (Prod. Sem.) em função das safras de cultivo.

Safra	NSP	NSV	MMS (g)	Prod. Sem. (kg ha ⁻¹)
2016/17	99,2b	2,3b	168,9b	3.547,1b
2017/18	113,2a	2,5a	175,0a	4.988,7 ^a
CV (%)	14,58	5,26	2,60	5,31

*Médias seguidas por letras distintas na coluna diferem entre si pelo teste de Scott Knott, a 5% de probabilidade.

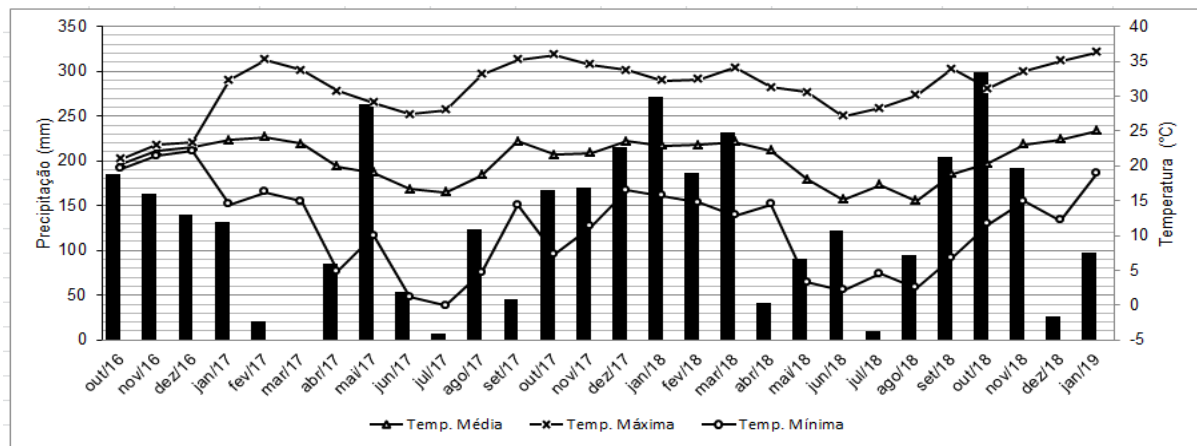
Apesar de o número de sementes por vagem ser resultado da genética da cultivar e em menor grau do ambiente e do manejo, no presente estudo, o fator climático relacionado à precipitação pluviométrica foi atuante na expressão diferencial desta característica. Na segunda safra houve maior ocorrência de chuva na fase reprodutiva das plantas, especialmente nos meses de janeiro e fevereiro. Da mesma forma, a temperatura média foi levemente inferior nesta safra, bem como mais estável (Figura 1), favorável ao enchimento de sementes. Para Lopes *et al.* (2001) os componentes de rendimento NVP e o NSV são bastante instáveis, tendo limitada variabilidade genética, afirmando que esses componentes de rendimento são os mais afetados pelas alterações ambientais.

E no caso do manejo da adubação, verificou-se que a fertilização fosfatada, seguindo o recomendado pela análise de solo, também favoreceu o NSV até o tratamento 3 (150 kg ha⁻¹). (Figura 2A).

Considerando-se os fatores climáticos na segunda safra, constatou-se quantidades significativas de precipitação na fase reprodutiva da soja (Figura 1), especialmente nos meses de janeiro e fevereiro, esta condição fez com que o ciclo

da cultivar se prolongasse uma semana, aproximadamente, em relação à primeira safra. Isso permitiu maior tempo de enchimento das sementes, levando à maior massa de mil sementes em relação à primeira safra (Tabela 2). Leite *et al.* (2017), em estudo durante três safras de soja, observou maior massa de mil grãos no primeiro ano safra. Estes autores explicaram a menor massa nos anos subsequentes pela menor precipitação durante a fase de floração e enchimento de grãos.

FIGURA 1 – Precipitação, temperatura máxima, mínima e média (°C) registradas no período de condução dos ensaios. Dois Vizinhos, 2019. Fonte de dados: BIOMET, 2018.

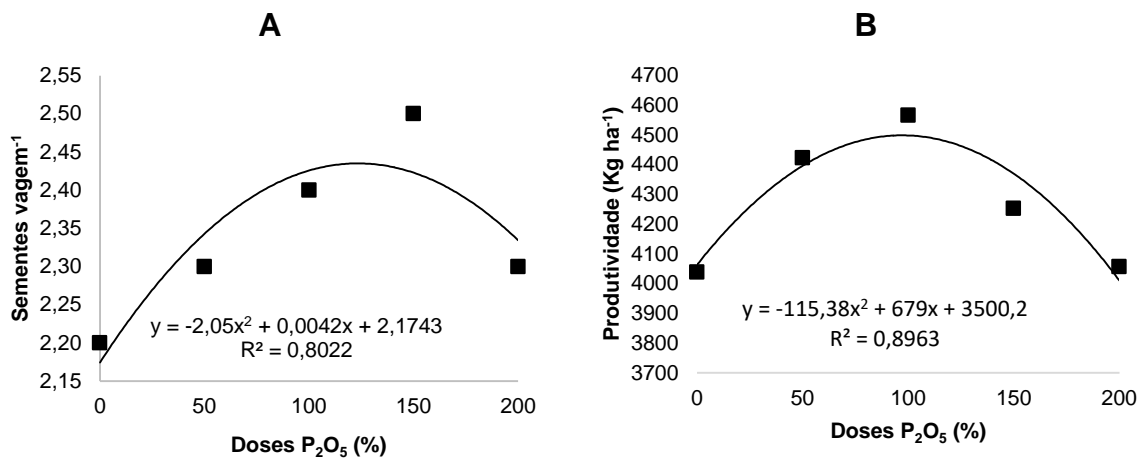


Em estudo com adubação fosfatada e potássica em soja, Moterle *et al.* (2009) observaram que o fator que mais incrementou a produtividade da cultura foi a massa de mil sementes. Trigo *et al.* (1997) e Peske *et al.* (2009) estudando doses superiores ao recomendado em soja, Zucareli *et al.* (2011) em sementes de feijão e Cadore (2011), com sementes de trigo não observaram alteração significativa nesta variável para o fator tratamentos.

Seguindo o que foi observado nos componentes de rendimento, na segunda safra, a produtividade de sementes foi maior em relação à primeira (Tabela 2). Provavelmente, possa ser atribuída essa resposta aos fatores climáticos, como exposto anteriormente (Figura 1).

A adubação fosfatada também influenciou na produtividade, sendo crescente do tratamento sem fósforo até 100% do recomendado pela análise, com posterior queda (Figura 2B). Ainda é possível inferir que o Manual de Adubação e Calagem para SC e RS pode ser adotado para as condições edafoclimáticas da região do trabalho, pois sua recomendação coincidiu com a maior produtividade de sementes.

FIGURA 2 – Resposta do número de sementes por vagem e produtividade de sementes em função da adubação fosfatada.



Verifica-se, outrossim, que doses aquém e além do recomendado foram desfavoráveis à produtividade de sementes. Possivelmente por limitarem o crescimento radicular, tanto por falta como por excesso de P junto às raízes das plantas. Especula-se que tal fenômeno possa ser mais pronunciado para cultivares com ciclo superprecoce como a NS 4823, as quais são caracterizadas por serem mais exigentes em condições edafoclimáticas, devido ao seu menor ciclo e porte.

Segundo Albrecht *et al.* (2008), cultivares precoces de soja apresentam maiores exigências nutricionais e são mais suscetíveis a condições de estresse (déficit hídrico) em comparação a cultivares de ciclo mais longo.

Entretanto, o presente resultado difere do observado por Marin *et al.* (2015). Naquele trabalho, em que os autores testaram o efeito de diferentes doses de P na linha de semeadura em solo arenoso, no Mato Grosso. Os mesmos verificaram contudo, que a adubação fosfatada diferencial não influenciou na produtividade de sementes, apesar de ter influenciado no vigor destas, da mesma forma que no trabalho Zucareli *et al.* (2011) em feijão. Tais resultados são discordantes, pois ao avaliar a adubação fosfatada na produtividade de sementes de soja em solo com baixo P, Batistella Filho (2013) constatou que o incremento deste nutriente foi favorável à produtividade de sementes.

É importante ser destacado que a resposta fenotípica da planta, será sempre influenciada pelas condições edafoclimáticas dos locais em que sejam produzidas. Desta maneira, apesar dos resultados encontrados na presente investigação e os da

literatura diferirem entre si, trazem importantes informações acerca da resposta da cultura da soja em relação à fertilização com P.

4.2 COMPOSIÇÃO QUÍMICA DAS SEMENTES

A análise de variância indicou interação entre os fatores para fósforo (P), cálcio (Ca), magnésio (Mg), enxofre (S), cobre (Cu), ferro (Fe), zinco (Zn) e sódio (Na). Houve significância, dentro de cada fator isolado, para boro (B) e manganês (Mn). E, para nitrogênio (N) e potássio (K), não houve interação entre os fatores, nem significância dentro de cada fator (Tabela 3).

TABELA 3 – Resumo da análise de variância de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), enxofre (S), boro (B), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn), zinco (Zn) e sódio (Na) em função de diferentes tratamentos de P e safras de cultivo.

FV	GL	Quadrado Médio					
		N (g kg ⁻¹)	P (g kg ⁻¹)	K (g kg ⁻¹)	Ca (g kg ⁻¹)	Mg (g kg ⁻¹)	S (g kg ⁻¹)
Blocos	1	1,997	,0036	,0231	,00221	,0118	,00008
Trat. (F1)	4	,4561ns	1,101**	1,028ns	,047**	,15**	,2859**
Anos (F2)	1	,444ns	,8364**	,1960ns	,659**	,012ns	,8989**
Int. F1 x F2	4	3,008ns	,3742**	,6809ns	,095**	,044**	,1393**
Resíduo	9	2,270	,0283	,70718	,00462	,0034	,01203
CV (%)		2,33	3,12	4,76	2,81	2,43	3,17

FV	GL	Quadrado Médio					
		B (mg kg ⁻¹)	Cu (mg kg ⁻¹)	Fe (mg kg ⁻¹)	Mn (mg kg ⁻¹)	Zn (mg kg ⁻¹)	Na (mg kg ⁻¹)
Blocos	1	,6845	2,45	24,642	10,368	11,858	3,042
Trat. (F1)	4	35,84**	4,11ns	115,4**	42,046*	48,5**	131,074n
Anos (F2)	1	2480**	95,9**	3770,3**	405,0**	535**	4,05ns
F1 x F2	4	7,002ns	7,541*	97,1393*	19,86ns	16,72*	185,663*
Resíduo	9	2,3601	1,3056	16,36867	11,208	3,434	47,23756
CV (%)		4,25	8,18	4,54	10,85	4,49	16,71

*significativo a 1%, **significativo a 5%, ns-não significativo pelo teste F.

A concentração média de nitrogênio nas sementes foi de 64,74 g kg⁻¹, não sofrendo alteração em função dos fatores testados. Resultados semelhantes foram constatados por Silva; Vahl (2002) e Salum *et al.* (2008), em sementes de feijão, e Marin *et al.* (2015), em sementes de soja; também sendo testados diferentes tratamentos de fósforo via adubação e seu reflexo na composição química das sementes geradas.

Este valor médio de N verificado nas sementes de soja vem ao encontro do observado por Vargas (2014), que buscou avaliar 2543 lotes de sementes de soja quanto à composição média dos nutrientes.

Da mesma forma que para o N, o K também não foi influenciado quanto à sua concentração nas sementes em função dos fatores testados, tendo uma concentração média de $17,68 \text{ g kg}^{-1}$. Este resultado difere dos encontrados por Marin et al. (2015) que testaram diferentes doses de P, via adubação fosfatada na linha de semeadura. Os autores verificaram acréscimo de K em função das doses crescentes de P. Porém, os valores de potássio observados nas sementes na presente pesquisa, estão dentro do encontrado por Oliveira (2004) e Vargas (2014), com variação de 17 a 25 g kg^{-1} .

As safras de cultivo influenciaram na concentração de P nas sementes. Na segunda safra, 2017/18, a concentração foi maior, de uma forma geral, em relação à primeira, para a maior parte dos tratamentos de P (Tabela 4). Isso pode estar relacionado à precipitação pluviométrica verificada no segundo ano, superior ao primeiro (Figura 1), permitindo às plantas de soja maior absorção e translocação deste nutriente para as sementes.

TABELA 4 – Dados médios de fósforo (P), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S) em sementes de soja, em função de diferentes tratamentos de P e safras de cultivo.

Trat.	P (g kg^{-1})		Ca (g kg^{-1})		Mg (g kg^{-1})		S (g kg^{-1})	
	16/17	17/18	16/17	17/18	16/17	17/18	16/17	17/18
0	4,70B	5,42A	2,63A	2,25B	2,31A	2,39A	3,57A	3,20B
50	4,83B	5,56A	2,29A	2,41A	2,21B	2,52A	3,24A	3,34A
100	4,92A	4,80A	2,50A	2,06B	2,31A	2,39A	3,49A	2,88B
150	5,90A	5,55A	2,84A	2,10B	2,50A	2,39A	4,07A	3,16B
200	5,61B	6,67A	2,75A	2,37B	2,63B	2,81A	4,01A	3,68B
CV(%)	3,12		2,81		2,43		3,17	

*Médias seguidas por letras distintas na linha diferem entre si pelo teste de Scott Knott, a 5% de probabilidade.

Os macronutrientes Ca e S apresentaram maior concentração nas sementes, de uma forma geral, na primeira safra em relação à segunda. Já o Mg teve resposta similar ao P (Tabela 4). Os valores observados para Ca nas sementes estão de acordo com a média de 2543 lotes de sementes de soja avaliados por Vargas (2014), $2,24 \text{ g kg}^{-1}$.

O fósforo tem relação sinérgica com o Mg, devido a esse nutriente ser capaz de produzir pontes entre o ATP e a molécula da enzima atepase sendo esta

energia fundamental para fotossíntese, respiração, entre outras reações da planta (MALAVOLTA, 2006; PRADO, 2008; MARSCHNER, 2012). Segundo Vitti (2006), a necessidade deste macronutriente para um ótimo crescimento das plantas situa-se na faixa de 1,5 a 3,0 g kg⁻¹ de matéria seca vegetal.

A maior concentração dos micronutrientes Cu, Fe, Zn, B e Mn foi verificada na safra 2016/17, em comparação à safra 2017/18. Para o sódio, praticamente não houve variação entre as safras (Tabela 5).

TABELA 5 – Dados médios de cobre (Cu), ferro (Fe), zinco (Zn) e sódio (Na) em sementes de soja, em função de diferentes tratamentos de P e safras de cultivo; e de Boro (B) e Manganês (Mn) em função das safras.

Trat.	Cu (mg kg ⁻¹)		Fe (mg kg ⁻¹)		Zn (mg kg ⁻¹)		Na (mg kg ⁻¹)	
	16/17	17/18	16/17	17/18	16/17	17/18	16/17	17/18
0	13,5A	11,0A	106,1A	81,3B	48,25A	34,95B	37,45A	41,35A
50	16,6A	11,6B	96,2A	80,1B	42,25A	37,75B	37,15A	37,25A
100	19,3A	10,6B	91,6A	70,5B	43,10A	29,35B	33,30A	37,95A
150	16,1A	12,2B	108,0A	68,8B	49,00A	36,45B	41,55B	58,20A
200	15,3A	13,6A	112,4A	76,3B	49,45A	41,85B	53,95A	33,15B
CV(%)	8,18		4,54		4,49		16,71	
	Saфра		B (mg kg ⁻¹)		Mn (mg kg ⁻¹)			
	16/17		47,31a		35,35a			
	17/18		25,04b		26,35b			
	CV (%)		4,25		10,85			

*Médias seguidas por letras distintas diferem entre si pelo teste de Scott Knott, a 5% de probabilidade.

A concentração adequada de Cu para o crescimento normal de plantas está entre 5 e 20 mg kg⁻¹ de matéria seca (MALAVOLTA, 1980; MALAVOLTA *et al.*, 1989; PAIS; JONES JUNIOR, 1996; FURLANI, 2004; VARGAS, 2014). Já para o Fe esta concentração está entre 50 e 100 mg kg⁻¹ de matéria seca e para o ZN 3 e 150 mg kg⁻¹ (MALAVOLTA, 1980; MALAVOLTA *et al.*, 1989; PAIS; JONES JUNIOR, 1996; FURLANI, 2004; VARGAS, 2014).

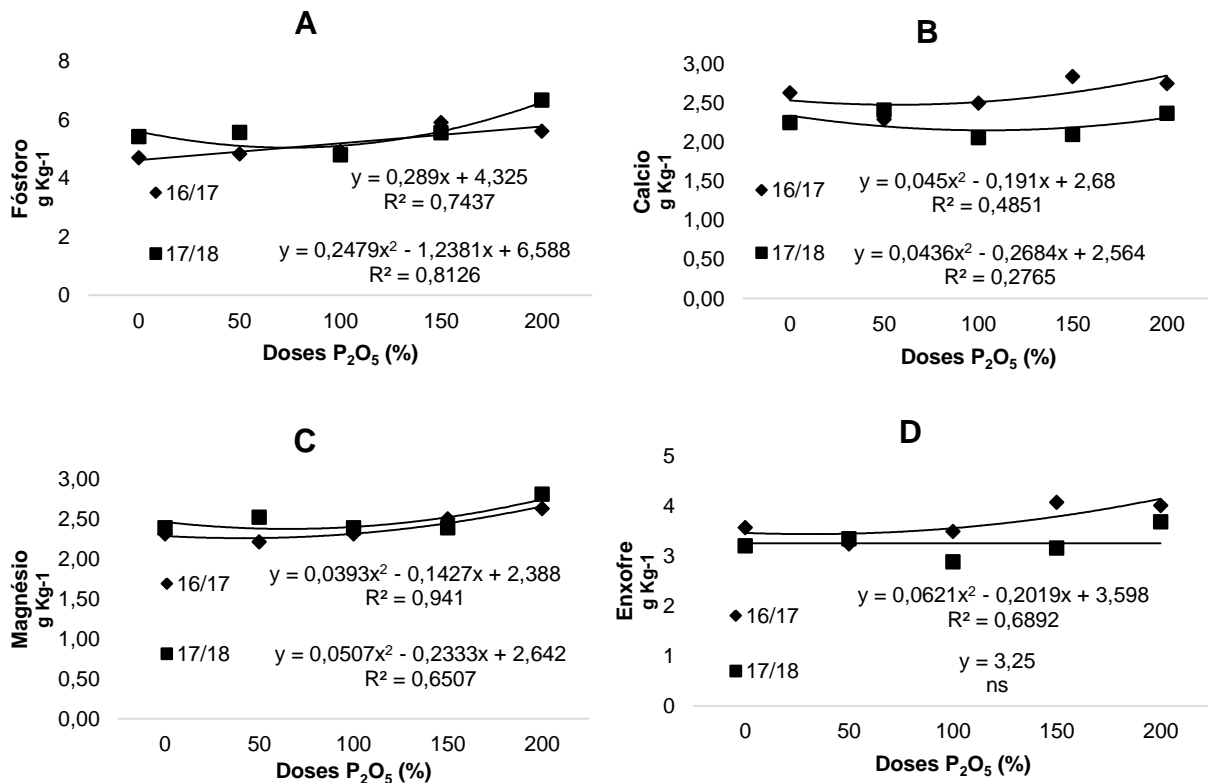
A principal função do sódio na nutrição de plantas é a substituição de K em algumas funções fisiológicas (MARSCHNER, 1995). A média obtida em um estudo com 2543 lotes de sementes de soja, realizado por Vargas (2014), foi de 1,91 mg kg⁻¹ deste elemento. No presente trabalho, verificaram-se médias muito superiores às constatadas pelo referido autor, ou seja, em torno de 41 mg kg⁻¹.

A adubação fosfatada diferencial, além da recomendada pela análise de solo, contribuiu com o aumento da concentração de P nas sementes geradas,

independente da safra (Figura 3A). Evidenciando então que a adubação de base com fósforo, em níveis maiores, favorece o acúmulo deste nutriente nas sementes.

Este resultado corrobora com Corrêa *et al.* (2004) e Marin *et al.* (2015). Segundo esses últimos autores, ao testar doses crescentes de P na adubação de base, a partir da recomendação da análise de solo, em campo de produção de sementes de soja, verificaram aqueles autores, relação positiva entre adubação e concentração de P nas sementes.

FIGURA 3 – Dados médios de fósforo (A), cálcio (B), magnésio (C) e enxofre (D) em sementes de soja sob diferentes tratamentos de P e safras de cultivo. n.s.: não significativo.



O cálcio apresentou pouca variação entre os tratamentos de P, com um pequeno aumento na dose de 200% de fósforo. Porém, o fator safra de cultivo foi mais impactante que a quantidade diferencial de P aplicada (Figura 3B). O Mg apresentou resposta semelhante ao Ca em função dos fatores estudados (Figura 3C). Já o S teve uma tendência de aumento de sua concentração na maior dose de P, porém, apenas na primeira safra. Contudo, não houve resposta na segunda safra

em função de diferentes doses de fósforo aplicadas na linha de semeadura sobre as sementes geradas (Figura 3D).

Já o Zn teve pequena variação nos seus valores absolutos em função das doses de P aplicadas, apesar de ter havido ajuste de equação quadrática para ambos os anos e uma leve crescente na sua concentração na maior dose de P (Figura 4A). Se for observada a tendência do P nas sementes, em função de sua dose crescente no solo, verifica-se tendência de comportamento similar entre Zn e P (Figuras 4A e 3A).

Esse resultado está em concordância com Marin *et al.* (2015), que observaram como resultado a partir de doses crescentes de fósforo na linha de semeadura em sementes de soja, aumento na concentração de zinco nas sementes. Alguns autores estudando a interação de P e Zn observaram antagonismo entre os mesmos em função de doses crescentes de P. Mas outros autores observaram efeito de P no teor de Zn e também ausência de resposta (Vieira, 1986; Andrade *et al.*, 2004; Salum *et al.*, 2008).

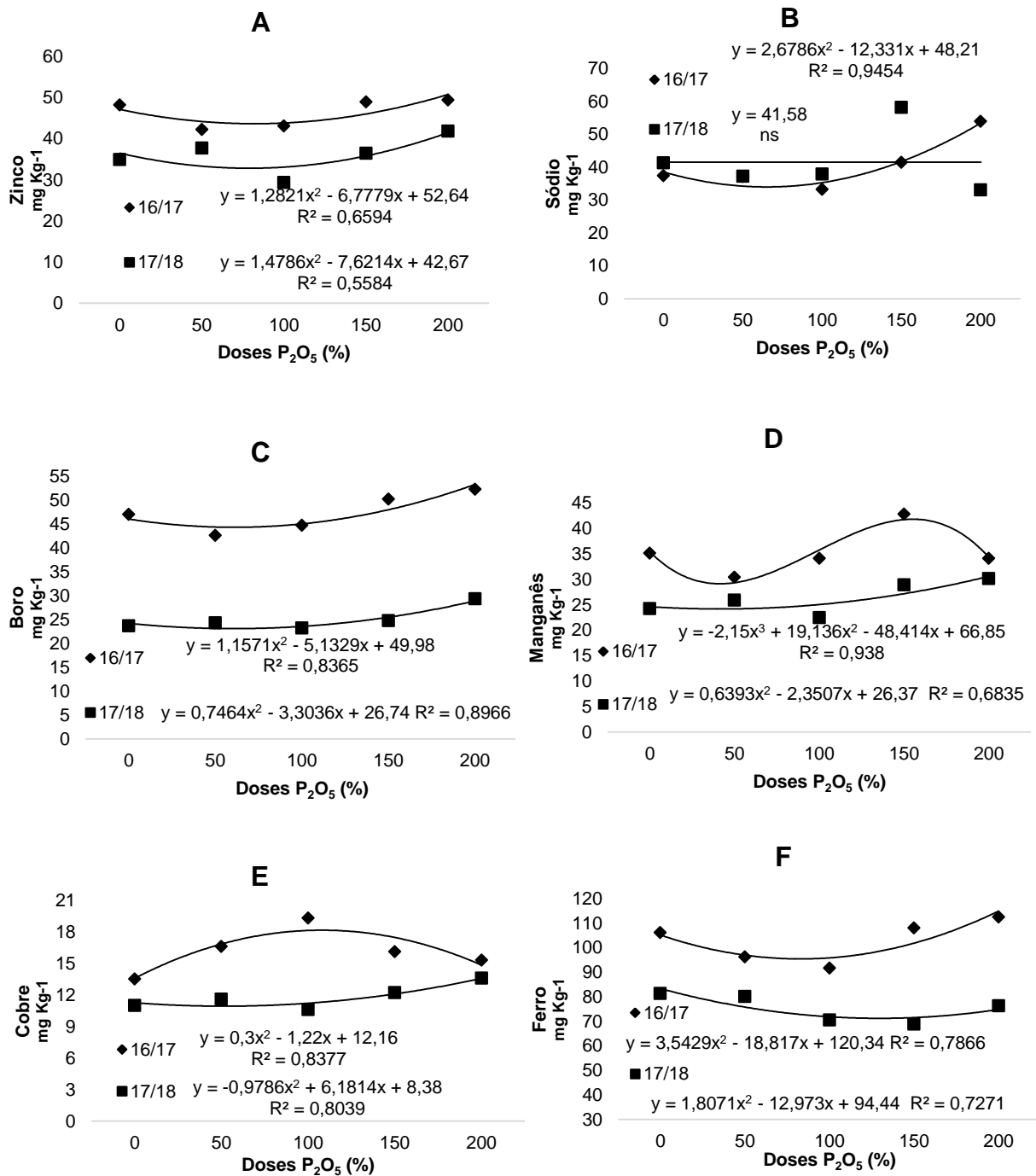
A concentração de Na não respondeu à adubação fosfatada nas sementes na safra 2017/18. Mas na primeira safra constatou-se uma tendência de aumento de sua concentração nas sementes a partir de 150% da dose recomendada pela análise de solo (Figura 4B). Fenômeno semelhante verificou-se para o elemento Boro (Figura 4C).

As concentrações de B consideradas adequadas para o crescimento normal de plantas variam de 30 a 50 mg kg⁻¹ de matéria seca da planta (MALAVOLTA, (1980); MALAVOLTA *et al.*, (1989); PAIS; JONES JUNIOR, (1996); FURLANI, (2004)). Ao estudar o efeito de doses crescentes de P sobre o B em folhas de tomate, Yamanouchi (1980) observou resultado oposto ao verificado no presente estudo.

O manganês teve uma tendência de aumento nas sementes em doses crescentes de P; à exceção da dose de 200% de P na primeira safra, que refletiu em queda de sua concentração (Figura 4D). Vargas (2014), ao avaliar mais de dois mil lotes de sementes de soja quanto à sua composição química, constatou valores próximos a 38,95 mg kg⁻¹ como média. No presente estudo, em ambas as safras, os valores foram inferiores a esse. Porém, de acordo com alguns autores, concentrações entre 20 e 500 mg kg⁻¹ de matéria seca da planta, indicam condições

para o crescimento e desenvolvimento normais das plantas (MALAVOLTA, 1980; MALAVOLTA *et al.*, 1989; PAIS; JONES JUNIOR, 1996; FURLANI, 2004).

FIGURA 4 – Dados médios de zinco (A), sódio (B), boro (C), manganês (D), cobre (E) e ferro (F) em sementes de soja sob diferentes tratamentos de P e safras de cultivo. n.s.: não significativo.



Os micronutrientes Cu e Fe apresentaram respostas muito variáveis em função das doses de P testadas e as safras de cultivo, não sendo possível

estabelecer um padrão de resposta em função dos fatores aplicados, especialmente a adubação fosfatada (Figura 4E e 4F).

4.3 QUALIDADE FISIOLÓGICA DAS SEMENTES

A análise de variância mostrou que, Ocorreu houve interação entre os fatores testados apenas para comprimento de raiz (CR) e comprimento total de plântula (CTPLA). Para a germinação (G), índice de velocidade de emergência (IVE), emergência em campo (EC) e comprimento de parte aérea (CPA) houve significância para ambos os fatores avaliados, de forma isolada. Já a massa seca total de plântulas (MSTPLA) teve significância apenas dentro do fator safras e o envelhecimento acelerado (EA) dentro do fator doses de P (Tabela 6).

TABELA 6 – Resumo da análise de variância da germinação (G), índice de velocidade de emergência (IVE), emergência a campo (EC), comprimento de parte aérea (CPA), comprimento de raiz (CR), comprimento total de plântula (CTPLA), matéria seca total de plântula (MSTPLA) e envelhecimento acelerado (EA) em função de diferentes tratamentos de P e safras de cultivo.

FV	GL	Quadrado médio			
		G (%)	IVE (%)	EC (%)	CPA (cm)
Blocos	3	17,433	0,28794	0,00854	1,09974
Tratamentos (F1)	4	31,6*	1,27892**	0,05287*	4,09592*
Safras (F2)	1	448,9**	6,02836 **	5,67306**	34,26201**
Int. F1 x F2	4	19,9ns	0,30909ns	0,03754ns	0,8788ns
Resíduo	27	10,84	0,28893	0,01739	1,43367
CV (%)		3,56	14,05	1,47	10,46
FV	GL	Quadrado Médio			
		CR (cm)	CTPLA (cm)	MSTPLA (g)	EA (%)
Blocos	3	1,17173	0,09706	0,0	21,167
Tratamentos (F1)	4	13,97005**	24,60994**	0,00002ns	946,75**
Safras (F2)	1	82,57002**	223,25625**	0,00074**	184,9ns
Int. F1 x F2	4	15,8307**	12,58789**	0,0ns	161,65ns
Resíduo	27	0,92746	2,91237	0,00001	76,87
CV (%)		5,57	5,93	7,61	22,63

*Significativo a 5%, **significativo a 1%, ns-não significativo, pelo teste F.

Observou-se que de uma forma geral, a qualidade das sementes foi superior na primeira safra (2016/17) em relação à segunda (2017/18), visto que a maior parte dos testes respaldaram essa constatação, sendo eles: germinação, índice de velocidade de emergência, emergência em campo e massa seca total de plântula (Tabela 7).

TABELA 7 – Dados médios da germinação (G), índice de velocidade de emergência (IVE), velocidade de emergência (VE), emergência a campo (EC), comprimento da parte aérea (CPA), matéria seca total de plântula (MSTPLA) em função das safras de cultivo.

Safra	G (%)	IVE (%)	EC (%)	CPA (cm)	MSTPLA (g)
2016/17	96a	4,21a	9,37a	10,53b	0,55a
2017/18	89b	3,43b	8,62b	12,38a	0,46b
CV (%)	3,56	14,05	1,47	10,46	7,61

*Médias seguidas por letras distintas na coluna diferem entre si pelo teste de Scott Knott, a 5% de probabilidade.

Este resultado superior de qualidade fisiológica das sementes na primeira safra pode estar relacionado à maior concentração de nutrientes nessas, dentre os quais Ca, S, Cu, Fe, Zn, B e Mn (Tabelas 4 e 5). O fósforo, alvo do estudo, apresentou maior concentração na safra 2017/18, em média 7,3% superior. Porém, nas doses de 100 e 150 kg ha⁻¹ de P, as safras não diferiram entre si quanto à concentração deste nutriente na semente; e, à medida que as doses de P foram crescentes, a concentração deste nutriente aumentou nas sementes (Tabela 4). Acompanhando o P, o Mg também foi superior na safra 2017/18.

Segundo Peske & Barros (2006), o cálcio estimula a formação adequada do tegumento de sementes de soja e feijão, aumentando sua resistência aos danos mecânicos e deixando-as mais vigorosas, devido ao nutriente atuar diretamente na formação da parede celular. Apesar dos autores estarem se referindo às concentrações de Ca no solo, sementes com maior concentração deste nutriente, pela lógica, também apresentariam maior viabilidade e vigor, estando de acordo com o observado no presente estudo, para a maior parte dos testes realizados.

Em relação ao comprimento de parte aérea, comprimento de raiz e comprimento total de plântulas, estes foram superiores na segunda safra de produção das sementes (Tabelas 7 e 8), isso pode ser explicado devido a segunda safra devido na segunda safra tem ocorrido maior acúmulo de fósforo nas sementes o qual estimula o crescimento, aumenta o comprimento de raiz e parte aérea, além disso, inicialmente as plantas vivem de suas reservas na semente; assim, falta de P no início do desenvolvimento restringe o crescimento, muitas plantas podem viver do P contínuo na semente por até duas semanas. Entretanto, apesar dos resultados positivos na safra 2017/18 para o comprimento de plântula (raiz, parte aérea e total), é importante destacar que na primeira safra a massa seca de plântula foi superior. Possivelmente isso se deu pelo maior acúmulo de nutrientes nas sementes de uma

forma geral, contribuindo assim, positivamente com os resultados positivos nos demais testes de vigor, bem como os da germinação. Assim, os valores de massa seca foram mais favoráveis que os de comprimento de plântulas para estimar o vigor.

TABELA 8 – Dados médios das variáveis: Comprimento de raiz (CR) e Comprimento total de plântula (CTPLA) sob diferentes doses de Fósforo (Safrá 2016/2017 e Safrá 2017/2018).

Trat.	CR (cm)		CTPLA (cm)	
	16/17	17/18	16/17	17/18
0	13,28B	18,16A	23,6B	29,8A
50	14,10B	20,69A	24,1B	32,0A
100	15,15B	17,36A	25,6B	30,2A
150	17,90A	18,75A	29,1B	32,6A
200	18,92A	18,75A	29,7A	31,0A
CV (%)	5,57			

*Médias seguidas por letras distintas na linha diferem entre si pelo teste de Scott Knott, a 5% de probabilidade.

Doses crescentes de P condicionaram maior germinação das sementes, para ambas as safras (Figura 5A), fenômeno observado da mesma forma para o comprimento de plântulas (Figura 5F). Sendo, porém, que na primeira safra o condicionante para o resultado superior deste valor total foi o comprimento de parte aérea (Figura 5D) e, na segunda safra, o comprimento de raiz (Figura 5E), com maior resposta deste último à adubação fosfatada.

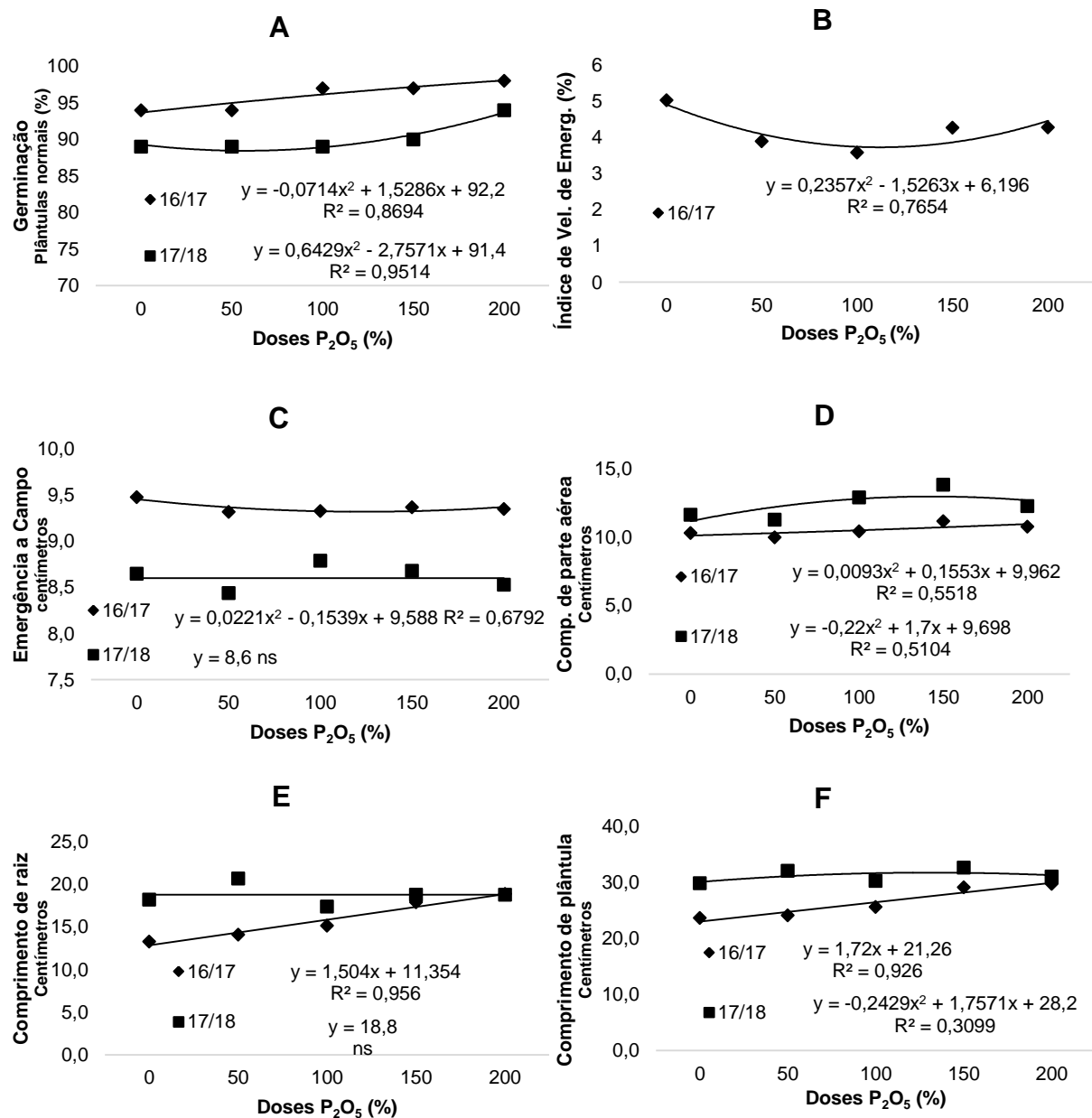
Este resultado em relação ao comprimento está de acordo com De Marco *et al.* (1990), que obtiveram resultados superiores de comprimento de plântulas de trigo mediante o enriquecimento das sementes com fósforo. Os autores também constataram maior emergência de plântulas, resultado não corroborado no presente estudo (Tabela 7 e Figura 5C).

Da mesma forma, Guerra *et al.* (2006b) trabalhando com quatro doses de P_2O_5 em Latossolo Vermelho distroférrico, concluíram que quanto maior o teor de P nas sementes de soja, há maior disponibilidade de energia inicial em atividades metabólicas da plântula, resultando em maior vigor.

Os resultados de germinação observados na presente pesquisa, estão de acordo com Guerra *et al.* (2006a) que conduziram um estudo sobre efeito da aplicação de diferentes doses de fósforo e molibdênio na qualidade fisiológica de sementes. Os autores constataram que este nutriente contribuiu para maior

germinação das sementes e vigor. No entanto, Marin *et al.* (2015), não conseguiram constatar efeito de doses crescentes de P na germinação das sementes geradas, apenas incremento de vigor pelo teste de envelhecimento acelerado, que no caso do presente estudo mostrou-se negativo ao aumento de P, assim como o IVE (Figura 5B).

FIGURA 5 – Germinação (A), Índice de velocidade de emergência (B), Emergência a campo (C), Comprimento de parte aérea (D), Comprimento de Raiz (E), Comprimento de Plântula (F), Envelhecimento acelerado (G) de sementes de soja NS 4823 RR colhidas de plantas cultivadas sob diferentes doses de fósforo em dois anos safra (2016/17 e 2017/18). n.s.: não significativo.



Resultados semelhantes ao presente para o EA, foi constatado por Salum *et al.* (2008), em estudo sobre o efeito de três concentrações de fósforo aplicados via solo em um Latossolo Vermelho. Segundo os autores, à medida que se aumentou a dose de fosfato de potássio, reduziu-se o vigor pelo teste de envelhecimento acelerado. Porém, estimam os autores que, muito provavelmente o efeito negativo, naquele caso, foi devido ao sal de potássio e em menor intensidade do próprio fósforo.

Pode-se verificar que, para a maioria dos testes, a qualidade das sementes foi superior na primeira safra. Como já mencionado, isso pode estar relacionado ao fato de que maior parte dos nutrientes contidos nas sementes apresentou concentração superior na primeira safra, auxiliando no vigor das sementes (Tabelas 4 e 5). Além disso, durante a segunda safra ocorreram chuvas volumosas durante o enchimento das sementes o que pode ter contribuído na redução da sua qualidade fisiológica, já que a conclusão de sua formação adequada pode ser comprometida (MUNDSTOCK; THOMAS, 2005).

Um exemplo é o acúmulo de açúcares da série rafínosica, que conferem a proteção do sistema de membranas durante a perda de água, conferindo tolerância à dessecação. Se as condições climáticas predominantes nessa fase final de formação das sementes forem de muita chuva, associada à nebulosidade, o processo fotossintético pode ficar parcialmente comprometido. Neste caso, as plantas irão transpirar menos e sua respiração consumirá uma proporção maior do que é produzido na fotossíntese, já que essa última é reduzida (TAIZ e ZIEGER, 2009; MARCOS-FILHO, 2005).

Além disso, essa condição de maior precipitação condiciona a um efeito flutuante de umedecimento e secagem anormal das sementes em campo, o que pode levar ao enrugamento das mesmas, reduzindo assim sua qualidade fisiológica, além de abrir fissuras, com conseqüente infecção de microrganismos indesejáveis. Na colheita e beneficiamento, pela maior suscetibilidade do tegumento, os danos mecânicos serão maiores, e a qualidade menor (NEUMAIER *et al.*, 2000).

Se for analisada a concentração de chuva nos meses de janeiro e fevereiro de ambas as safras (2016/17 e 2017/18) (Figura 1), é possível associar tal resultado verificado no presente estudo. Com a precipitação mais elevada, a produtividade pode ser maior, já que o ciclo do material tende a se estender por mais tempo e,

nesse caso, maior condição de enchimento de sementes, porém com menor qualidade.

Já numa condição em que há redução de chuvas no período final de formação das sementes, porém precedida de uma quantidade adequada (Figura 1), a cultura tem condições de encerrar seu ciclo de forma mais natural, com melhor formação e terminação das sementes a campo. Isto reforça o fato de se obter um material com maior qualidade fisiológica e menos suscetível a danos mecânicos e ataque de patógenos.

4.4 PRODUÇÃO DE GRÃOS

A análise de variância indicou não haver interação entre os fatores avaliados no presente estudo para os componentes de rendimento e para a produtividade de grãos da cultivar NS 4823, bem como não se verificou significância dentro do fator tratamentos de P. Apenas houve significância para o número de grãos por vagem, massa de mil grãos e produtividade de grãos dentro do fator safras de cultivo (Tabela 9).

TABELA 9 – Resumo da análise de variância da inserção primeira vagem (IPV), número de vagem por planta (NVP), número de grãos por planta (NGP), número de grãos por vagem (NGV), massa de mil grãos (MMG) e produtividade de grãos (Prod. grãos) em função de diferentes tratamentos de P e safras de cultivo.

FV	GL	Quadrado médio					
		IPV (cm)	NVP	NGP	NGV	MMG (g)	Prod. grãos (kg ha ⁻¹)
Blocos	2	0,569	97,78	355,616	0,009	4,03	331135,06
Tratamento (F1)	4	2,236ns	171,22ns	848,266ns	0,011ns	6,00ns	108717,69ns
Safras (F2)	1	1,728ns	145,2ns	7,4003ns	0,225**	10057,68**	57966614,06**
F1xF2	4	2,749ns	159,66ns	830,780ns	0,011ns	21,93ns	99045,76ns
Resíduo	18	1,656	123,95	819,867	0,022	26,67	68489,42
CV (%)		21,4	23,67	25,27	6,09	3,26	6,29

*Significativo a 5%, **significativo a 1%, ns-não significativo, pelo teste F.

A média geral para a inserção da primeira vagem (IPV) foi de 6,01 cm, ficando abaixo do recomendado por Shigihara; Hamawaki (2005), que consideram alturas adequadas entre 10 e 15 cm para que perdas não ocorram em função da colheita mecanizada.

As médias gerais do NVP e NGP foram de 47,04 e 113,32, respectivamente. Estes dados corroboram com Marin *et al.* (2015), que também não constataram alteração destes componentes de rendimento para uma lavoura de grãos gerada a partir de sementes provenientes de diferentes tratamentos de P na linha de semeadura. No entanto, Gonçalves Júnior *et al.* (2010) observaram que o dobro da dose de P recomendada, com base na interpretação da análise de solo, resultou em incremento de 29% no número de vagens produzidas e 20% na produtividade.

O NGV e a MMG foram maiores na safra 2017/18, ou seja, a partir das sementes produzidas na safra 16/17, em relação à safra 2018/19. O fato de terem ocorridos valores superiores nesses componentes da soja, contribuiu para que a produtividade da primeira safra de grãos fosse superior à segunda (Tabela 10).

TABELA 10 – Dados médios das variáveis número de grãos por vagem (NGV), massa de mil grãos (MMG) e produtividade (Prod. Grãos).

Safra	NGV	MMG (g)	Prod. Grãos (kg ha ⁻¹)
2017/18	2,5a	176,9a	5,550,5a
2018/19	2,3b	140,3b	2,770,4b
CV (%)	6,09	3,26	6,29

*Médias seguidas por letras distintas na coluna diferem entre si pelo teste de Scott Knott, a 5% de probabilidade.

O NGV e a MMG foram maiores na safra 2017/18, ou seja, a partir das sementes produzidas na safra 16/17, em relação à safra 2018/19. O fato de terem ocorridos valores superiores nesses componentes da soja, contribuiu para que a produtividade da primeira safra de grãos fosse superior à segunda (Tabela 10).

Borrmann (2009) conduziu estudo sobre a resposta fisiológica da soja sob déficit hídrico e verificou que na fase de enchimento de grãos ocorrem alterações negativas no tamanho e massa dos mesmos o que justifica a menor massa de mil sementes na primeira safra 16/17. Afirmou ainda, que o déficit hídrico prejudicou a atividade enzimática responsável pela degradação da clorofila, resultando em maior número de grãos verdes. Simeão (2015) investigando o crescimento e produtividade de grãos de soja sob déficit hídrico em solos de cerrado, observou que a falta de água influenciou diretamente a eficiência fotossintética, ocasionando desidratação do citoplasma, fechamento estomático e quando ocorre no período de florescimento causa aborto das flores. Já no estágio de enchimento de grãos, afetou a massa seca, resultando em baixa produtividade.

Provavelmente, o resultado superior em produtividade de grãos na safra 2017/18 em relação à 2018/19 ocorreu devido às condições ambientais positivas verificadas na primeira safra, especialmente a precipitação pluvial durante o ciclo e principalmente, durante a fase reprodutiva. Na safra 2018/19, desde a instalação do ensaio já se constatou períodos de déficit hídrico, que ocorreram na fase vegetativa e reprodutiva da cultura da soja, o que comprometeu significativamente a produtividade de grãos (Figura 1).

Da mesma forma, as sementes utilizadas para produção de grãos da safra 2017/18 apresentaram maior qualidade fisiológica (Tabela 6), o que pode ter contribuído para o resultado superior, aliada ao fator precipitação.

Em trabalho realizado no cerrado, durante três safras, Leite *et al.* (2017) constataram que doses crescentes de fósforo influenciaram positivamente a produtividade de grãos. Os autores verificaram ainda que, em períodos de déficit hídrico, apenas a altura de plantas é responsiva às doses de P, fato não corroborado no presente estudo.

Leite *et al.* (2017) e Marin *et al.* (2015) testaram o efeito de lotes de sementes provenientes de diferentes tratamentos de P na linha de semeadura. Ambos concluíram que as sementes geradas à partir de doses crescentes de P, acima do recomendado pela análise de solo, incrementaram significativamente a produtividade de grãos da safra subsequente, em relação aos lotes provenientes com tratamentos de P menores.

Desta forma, os variados resultados encontrados na literatura se referem à experimentos realizados em condições de solos muito distintas. Entretanto o presente estudo foi realizado em um solo argiloso, no qual a dinâmica do P com os coloides é mais complexa. Justifica-se deste modo, resultados contrastantes ou relativizados em relação às descobertas científicas sobre o assunto investigado.

5 CONCLUSÕES

Doses crescentes de fósforo até a recomendação, a partir da análise de solo, bem como chuvas em maior proporção durante todo o ciclo da soja, contribuem para a maior produtividade de sementes, por prolongar o ciclo da cultivar.

Chuvas adequadas durante o ciclo da soja, e em menor quantidade na fase final de maturação das sementes, contribuem para a qualidade fisiológica destas, bem como para o adequado acúmulo de macro e micronutrientes nas sementes.

As condições climáticas dos anos safra testados influenciaram de maneira diferente a qualidade e a quantidade das sementes produzidas.

A adubação fosfatada em doses crescentes contribui para o acúmulo deste nutriente nas sementes produzidas e na sua qualidade fisiológica, porém, com respostas variáveis entre anos de cultivo.

A produtividade de grãos sofre influência direta de períodos prolongados de déficit hídrico, sendo mais sensível a este fator do que às sementes de qualidade fisiológica distinta, desde que estas tenham alta germinação e vigor.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGOSTINI, Juliana da Silva; IDA, E.I. Caracterização parcial e utilização da fitase extraída de sementes germinadas de girassol. **Pesq. agropec. bras.**, Brasília, v.41, n.6, p.1041-1047, jun. 2006.

ALBRECHT, Leandro Paiola; BRACCINI, A. de L.; SCAPIM, C. A.; AGUIAR, C. G. de.; ÁVILA, M. R.; STULP, M. Qualidade fisiológica e sanitária das sementes sob semeadura antecipada da soja. **Scientia Agraria**, Curitiba, v.9, n. 4, p. 445-454, 2008.

ALVARES, Clayton Alcarde, STAPE, J.L; SENTELHAS, P.C. *et al.* Koppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v.10, p.0941-2948, 2013.

ARAÚJO, Wellington Farias; SAMPAIO, R. A.; MEDEIROS, R. D. Resposta de cultivares de soja à adubação fosfatada. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 36, n. 02, p. 129-134, 2005.

ANDRADE, Carlos Alberto de Bastos; PATRONI, S. M. S.; CLEMENTE, E.; SCAPIM, C. Produtividade e qualidade nutricional de cultivares de feijão em diferentes adubações. **Ciência e Agrotecnologia**, 28:1077-1086. 2004.

ARNON, Daniel Israel; STOUT, P.R. The essentiality of certain elements in minute quantity for plants with special reference to copper. **Plant Physiology**. v.14, p.371-375. 1939.

AZEVEDO, Marcio R. de Q. A.; GOUVEIA, J. P. G. de; TROVAO, D. M. M.; QUIEROGA, V. de. Influência das embalagens e condições de armazenamento no vigor de sementes de gergelim. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.7, p.119-124, 2008.

BALARDIN, Ricardo Silveiro; DALLAGNOL, L. J.; DIDONÉ, H. T.; NAVARINI, L. Influência do fósforo e do potássio na severidade da ferrugem da soja *Phakopsora pachyrhizi*. **Fitopatologia Brasileira**, v. 31, p. 462-467, 2006.

BARBER, Stanley, A. **Soil nutrient bioavailability: A mechanistic approach**. 2.ed. New York, John Wiley & Sons, p.330-338, 1995.

BATISTELLA FILHO, Felipe.; FERREIRA, M. E.; VIEIRA, R. D.; DA CRUZ, M. C. P.; CENTURION, M. A. P.; SYLVESTRE, T. B.; RUIZ, J. G. C. L. Adubação com fósforo

e potássio para produção e qualidade de sementes de soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 48, n. 7, p. 783-790, 2013.

BEDIN, I.; FURTINI NETO, A. E.; RESENDE, A. V.; FAQUIN, V.; TOKURA, A. M.; SANTOS, J. Z. L. Fertilizantes fosfatados e produção da soja em solos com diferentes capacidades tampão de fosfato. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, p. 639-646, 2003.

BERBERT, Pedro Amorin; SILVA, J. S.; RUFATO, S.; AFONSO, A. D. L. Indicadores da qualidade dos grãos. In: SILVA, J. S. (Ed.). Secagem e armazenamento de produtos agrícolas. Viçosa: Aprenda Fácil, P.63-107. 2008.

BIOMET, **Grupo de Estudos em Biometeorologia- UTFPR- Campus Dois Vizinhos**. Disponível em: <<http://www.gebiomet.com.br/downloads.php>>. Acesso em 10 fev. 2019.

BOOTE, Kenneth J.; JONES, J. W.; HOOGENBOOM, G.; PICKERING, N. B. Simulation of crop growth: CROPGRO model. In: PEART, R. M.; CURRY, R. B. Agricultural systems modeling and simulation. New York: Marcel Dekker, 1998, p. 651-692.

BORRMANN, D. **Efeito do déficit hídrico em características químicas e bioquímicas da soja e na degradação da clorofila, com ênfase na formação de metabolitos incolores**. 2009. 107f. Tese (Doutorado em Ciência dos Alimentos) - Faculdade de Ciências Farmacêuticas, Universidade de São Paulo, São Paulo.

BRASIL (2009) – **Regras para Análise de Sementes**. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. Brasília, DF: MAPA/ACS, 395 p.

CADORE, Pablo Ricardo Belarmino. **Desempenho de sementes de trigo revestidas com duas fontes de fósforo**. 2011. 33p. Dissertação (Mestrado – Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Sementes) – Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Pelotas. 2011.

CARVALHO, Marco Antonio Camilo; FURLANI JUNIOR, E.; ARF, O.; SÁ, M.E.; PAULINO, H.B.; BUZETTI, S. Doses e épocas de aplicação de nitrogênio e teores foliares deste nutriente e de clorofila em feijoeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.2, p.445-450, 2003.

CARVALHO, Nelson Moreira; NAKAGAMA, J. **Sementes**: ciência, tecnologia e produção. 3ed. Campinas: Fundação Cargill, 424 p. 1988.

CARVALHO, Nelson Moreira; NAKAGAMA, J. **Sementes**: ciência, tecnologia e produção. 4ed. Jaboticabal: FUNEP, 588p. 2000.

CHAUDHARY, Muhammad Iqbal; ADU-GYAMFI, J. J.; SANEAKA, H.; NGGUYEN, N. T.; SUWA, R.; KANAI, S.; EL-SHEMY, H. A.; LIGHTFOOT, D. A.; FUJITA, K. The effect of phosphorus deficiency on nutrient uptake, nitrogen fixation and photosynthetic rate in mashbean, mungbean and soybean. **Acta Physiology Plant**, v. 30, p. 537-544, 2008.

COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO – CQFS RS/SC. Manual de adubação e de calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina. 10.ed. Porto Alegre, **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, 2004. 400p.

CONAB – Companhia Brasileira do Abastecimento. **Sétimo levantamento da safra 2018/19**. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos?limitstart=0> Acesso em: 20 de fevereiro de 2019.

CORRÊA, Juliano Corulli; MAUAD, M.; ROSOLEM, C.A. Fósforo no solo e desenvolvimento de soja influenciados pela adubação fosfatada e cobertura vegetal. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v.39, n.12, p.1231-1237, 2004.

CRUZ, Cosme Damião. **Programa GENES** - Aplicativo computacional em genética e estatística. Disponível em: . Versão Windows 2007, 2007

De MARCO, D. F. Effect of sees weight, and seed phosphorus and nitrogen concentrations on the early growth of wheat seedlings. **Australian Journal of Experimental Agriculture**, v.30, p. 545-549, 1990.

DELOUCHE, James C.; CALDWELL, W.P. Seed vigor and vigor test. Proceedings Association of Official Seed Analysts, Lansing, v.50, n.1, p.124-129, 1969.

DINIZ, Fabio Oliveira; REIS, M.S.; DIAS, L.A. dos S.; ARAÚJO, E.F.; SEDIYAMA, T.; SEDIYAMA, C.A. Physiological quality of soybean seeds of cultivars submitted to harvesting delay and its association with seedling emergence in the field. **Journal of Seed Science**, v.35, p.147-152, 2013. DOI: 10.1590/S2317-15372013000200002.

DOGAN, Ergun; KIRNAK, H.; COPUR, O. Deficit irrigations during soybean reproductive stages and CROPGRO-Soybean simulations under semi-arid climatic conditions. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 103, p. 154-159, 2007.

EMBRAPA. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - Centro Nacional de Pesquisa de Solos - CNPS. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília, Embrapa-SPI/Rio de Janeiro, Embrapa Solos. p.306, 2006.

EMBRAPA. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Tecnologias de produção de soja – Região Central do Brasil 2014. - Londrina: Embrapa Soja, 2013. 268 p. (Embrapa Soja. Sistemas de produção, 16). Disponível em: < <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/95489/1/SP-16-online.pdf> > Acesso em: 12 março 2019.

EPSTEIN, Emanuel; BLOOM. A. J.; Mineral Nutrition of Plants: Principles and Perspectives, 2nd ed. **Sinauer Associates**, Sunderland, MA. 2005

FARIAS, Jose Renato Bouças; NEUMAIER, N.; NEPOMUCENO, A. L. Soja. In: MONTEIRO, J. E. B. A. Agrometeorologia dos cultivos: o fator meteorológico na produção agrícola. Brasília: INMET, 2009. p. 261-278.

FARIAS, Jose Renato Bouças; NEPOMUCENO, A.L.; NEUMAIER, N. Ecofisiologia da soja. Londrina: Embrapa Soja, 2007. 9p. (Circular técnica, 48).

FIETZ, Carlos R.; RANGEL, M. A. S. Época de semeadura da soja para a região de Dourados-MS, com base na deficiência hídrica e no fotoperíodo. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 28, p. 666-672, 2008.

FRANÇA-NETO, Jose de Barros; KRZYZANOWSKI, F.C.; PÁDUA, G.P.; COSTA, N.P.; HENNING, A.A. Tecnologia para produção de sementes de soja de alta qualidade – Série Sementes. Londrina: Embrapa Soja, 2007. 12p. (Embrapa Soja, Circular Técnica, 40).

FURLANI, A.M.C. Nutrição Mineral. In: KERBAUY, G.B.,ed. **Fisiologia vegetal**. Rio de Janeiro, Guanabara Koogan, 2004. P.40-75.

GONÇALVES JÚNIOR, Affonso Celso; NACKE, H.; MARENGONI, N. G.; CARVALHO, E. A. de; COELHO, G. F. Produtividade e componentes de produção da soja adubada com diferentes doses de fósforo, potássio e zinco. **Ciência e Agrotécologia**, Lavras, v. 34, n. 3, p. 660-666, 2010.

GORNALL, Jemm; BETTS, R.; BURKE, E.; CLARK, R.; CAMP, J.; WILLET, K.; WILTSHIRE, A. Implications of climate change for agricultural productivity in the early twenty-first century. **Philosophical Transactions of the Royal Society**, v. 365, p. 2973-2989, 2010.

GRANT, C.A; FLATEN, D.N.; TOMASIEWICZ, D.J.; SHEPPARD, S.C. A importância do fósforo no desenvolvimento inicial da planta. **Informações Agrônomicas**, 2001.

GUERRA, Claudio Augusto; MARCHETTI, M. E.; ROBAINA, A. D.; DE SOUZA, L. C. F.; GONÇALVES, M. C.; NOVELINO, J. O. Qualidade fisiológica de sementes de soja em função da adubação com fósforo, molibdênio e cobalto. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 28, n. 1, p. 1-7, 2006a.

GUERRA, Maria Elane de Carvalho; MEDEIROS FILHO, S.; GALLÃO. M. I. Morfologia de sementes, de plântulas e da germinação de *Copaifera langsdorfii* Desf. (Leguminosae Caesalpinioideae). **Cerne**, v.12, n.04, p.322-328, 2006b.

HULKE, Brent S.; FEHR, W.R.; WELKE, G.A. Agronomic and seed characteristics of soybean with reduced phytate and palmitate. **Crop Science**, Iowa, v.44, n. 6, p. 2027-2031, 2004.

IAPAR – Cartas Climáticas do Paraná – Disponível em: <<http://www.iapar.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=863>>. Acesso em 22 de janeiro de 2018.

KOLCHINSKI, Eliane Maria. **Vigor de sementes e competição intraespecífica em soja**. 2003. 44 p. Tese de doutorado – Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2003.

KRZYZANOWSKI, Francisco Carlos; VIEIRA, R. D.; FRANÇA NETO, J. B. **Vigor de Sementes: conceitos e testes**. Londrina: ABRATES – Comitê de vigor de sementes, 1999. 218p.

LEITE, Rubson da Costa; CARNEIRO, J. S. da S.; FREITAS, G. A. de; CASALI, M. E.; SILVA, R. R. da. Adubação fosfatada na soja durante três safras consecutivas na nova fronteira agrícola brasileira. **Scientia Agraria**, Curitiba, v. 18, n. 4, p. 28-35, 2017.

LOPES, Ângela Celis de Almeida; FREIRE FILHO, F. R.; SILVA, R. B. Q. da; CAMPOS, F. L.; ROCHA, M. de M. Variabilidade entre caracteres agrônomicos em

caupi (*Vigna unguiculata*). **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.36, p.515-520, 2001.

MAGUIRE, J.D. Speeds of germination-aid and evaluation for seedling emergence and vigor. **Crop Science**, Madison, v.2, n.2, p.176-7, 1962.

MALAVOLTA, Euripedes. Elementos de nutrição mineral de plantas. São Paulo, **Agrônômica "Ceres"**, 251-254p. 1980.

MALAVOLTA, Euripedes. **Manual de nutrição de plantas**. São Paulo: Ceres, 2006.

MALAVOLTA, Euripedes; VITTI, G.C. & OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 1 ed, Piracicaba, POTAFOS, 201p. 1989.

MALAVOLTA, Euripedes, VITTI, G.C., OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2 ed. Piracicaba: POTAFÓS, 319 p. 1997.

MALAVOLTA, Euripedes. **O fósforo na planta e interações com outros elementos**. Fósforo na agricultura brasileira. Piracicaba: POTAFOS, 726 p. 2004.

MARCOS-FILHO, Julio. **Fisiologia de sementes de plantas cultivadas**. Piracicaba: FEALQ, 2005.

MARENCO, Ricardo A.; LOPES, Nei Fernandes. **Fisiologia Vegetal**. 3. ed. Viçosa: UFV, 2011. 486 p.

MARSCHNER, Petra. **Mineral nutrition of higher plants**. San Diego: Academic Press, 889 p. 1995.

MARSCHNER, Petra. **Mineral nutrition of higher plants**. 3ª ed. Austrália: Elsevier, 2012, 651 p.

MARIN, Rosidelma da Silva Felício; BAHRY, C. A.; NARDINO, M.; NARDINHO, Z. Paulo Dejalma. Efeito da adubação fosfatada na produção de sementes de soja. **Revista Ceres** [online]. 2015, v.62, n.3, pp.265-274. ISSN 0034-737X. <http://dx.doi.org/10.1590/0034-737X201562030006>.

MEDEIROS, Marta. **Doidas e Santas**. Porto Alegre: L&PM, 2008.

MEIS, Shane J.; FEHR, W.R.; SCHNEBLY, S.R. Seed source effect on field emergence of soybean lines with reduced phytate and raffinose saccharides. **Crop Science**, Ames, v. 43, p. 1336-1339, 2003.

MENDES, Rita de Cássia; DIAS, D. C. F. dos S.; PEREIRA, M. D.; DIAS, L. A. dos S. Testes de vigor para avaliação do potencial fisiológico de sementes de mamona (*Ricinus communis* L.). **Ciênc. agrotec.** [online]. 2010, v.34, n.1, pp.114-120. ISSN 1413-7054. <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-70542010000100015>.

MONDO, Vitor Henrique Vaz; GOMES JUNIOR, F. G.; PINTO, T. L. F.; MARCHI, J. L.; MOTOMIYA, A. V. A.; MOLIN, J. P.; CICERO, S. M. Spatial variability of soil fertility and its relationship with seed physiological potential in a soybean production area. **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v. 34, n. 2, p. 193- 201, 2012.

MOTERLE Lia Mara; SANTOS, R. F. dos; LUCCA e BRACCINI, A. de; SCAPIM, C. A.; LANA, M. do C. Influência da adubação com fósforo e potássio na emergência das plântulas e produtividade da cultura da soja. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 40, p.256-265, 2009.

MUNDSTOCK, Claudia. M; THOMAS, A. L; Soja: Fatores que afetam o crescimento e o rendimento de grãos. Porto Alegre: Departamento de plantas de lavoura da UFRGS: Evangraf, 2005.

NAKAGAWA, João. 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. cap.2, p.1-24.

NEUMAIER, Norman; NEPOMUCENO, A.L.; FARIAS, J,R.; OYA,T. Estádios de desenvolvimento da cultura de soja. In: BONATO, E.R. (ed.) **Estresses em soja**. Passo Fundo: Embrapa Trigo,. p.19-44, 2000.

NUNES, Ernane Nogueira; FERNANDES, Y. T. D.; MONTENEGRO, I. N. de A.; ALVES, C. A. B.; SOUTO, J. S. Eficiência da translocação de nutrientes em plantas. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, Mossoró – RN - BRASIL, 14 dez. 2013. v. 8, n. 5, p. 90 - 95, (Edição Especial).

OLIVEIRA, Fabio Alves de; SFREDO, G. J.; CASTRO, C. de; KLEPKER, D. Fertilidade do solo e nutrição da soja. Londrina: Embrapa Soja, 2007. 8 p. (Embrapa Soja. **Circular técnica**, 50).

OLIVEIRA JÚNIOR, Adilson; PROCHNOW, L. I.; KLEPKER, D. Soybean yield in response to application of phosphate rock associated triple superphosphate. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 68, n. 3, p. 376-385, 2011.

OLIVEIRA, Lenaldo Munis; PAIVA, R.; SANTOS, B.R.; PAIVA, P.D.O. **Fatores abióticos e produção vegetal**. In: PAIVA, R.; OLIVEIRA, L. M. (Eds.) *Fisiologia e produção vegetal*. UFLA, 104p. 2006.

OLIVEIRA, S.A. Cerrado: correção do solo e adubação. 2.ed., Brasília, DF: Embrapa, 2004. Capítulo 10, p. 245-256.

PAIS, Istvan; JONES JUNIOR, J.B. **The handbook of trace elements**. Boca Raton, St. Lucie Press, 1996. 223p.

OLTMANS, Sheilah E.; FEHR, W.R.; WELKE, G.A.; RABOY, V.; PETERSON, K.L. Agronomic and seed traits soybean line with low-phytate phosphorus. **Crop Science**, Ames, v. 45, n. 2, p. 593-598, 2005.

PARFITT, Roger L. Anion adsorption by soils and soil materials. **Advances in Agronomy**, San Diego, v.30, p.1-50, 1978.

PESKE, Fabrício Becker; BAUDET, L.; PESKE, S.T. Produtividade de plantas de soja provenientes de sementes tratadas com fósforo. **Revista Brasileira de Sementes**. Londrina, v.31, n. 1, 2009.

PESKE, Silmar Teichert; BARROS, A.C.S.A. **Produção de sementes In: Sementes: Fundamentos científicos e tecnológicos**. PESKE, S.T.; LUCCA FILHO, O.A.; BARROS, A.C.S.A 2a Edição (Revista e Ampliada), Pelotas, Editora e Gráfica Universitária/UFPEL, 470p, 2006.

PRADO, Renato de Mello. **Nutrição de plantas**. São Paulo: Editora Unesp, 2008. 407p.

RABOY, Victor. Approaches and challenges to engineering seed phytate and total phosphorus. **Plant Science**, Davis, v. 177, p. 281-296, 2009.

RAIJ, Bernardo Van; ANDRADE, J.C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais. Campinas: **Instituto Agrônomo**, 2001. 285p.

SALUM, Juliane Dossi; ZUCARELI, C.; GAZOLA, E.; NAKAGAWA, J. Características químicas e fisiológicas de sementes de feijão em função do teor de fósforo na semente e doses de fósforo na semente. **Revista Brasileira de Sementes**, Pelotas, v. 30, n. 1, p. 140-149, 2008.

SANTOS, José Zilton Lopes; FURTINI NETO, A. E.; RESENDE, A. V. de; CURI, N.; CARNEIRO, L. F.; COSTA, S. E. V. F. de A. Frações de fósforo em solo adubado com fosfatos em diferentes modos de aplicação e cultivado com milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 2, p. 705-714, 2008.

SARMENTO, Marcelo Benevenga; SILVA, C. S. Temas especiais em ciência e tecnologia de sementes. SARMENTO, M. B.; SILVA, C. S.; VILLELA F. A. (Ed.). Pelotas: Ed. Dos autores, 410p., 2010.

SENTELHAS, Paulo Cesar; BATTISTI, R.; CÂMARA, G. M. S.; FARIAS, J. R. B.; HAMPF, A.; NENDEL, C. The soybean yield gap in Brazil: magnitude, causes and possible solution. **Journal of Agricultural Science**, Cambridge, v. 158, p. 1394-1411, 2015.

SCHEEREN, Bruno Ricardo. Vigor das sementes de soja e produtividade. Pelotas, 2002. 48f. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia de Sementes) – Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel – UFPel, 2002.

SCHWADE Sergio; GALLO, J.; OLIVEIRA JÚNIOR, R.C.; OLIVEIRA, D.R.; MELEM JÚNIOR, N.J.; SANTOS, D. B. (2015) Avaliação da produtividade da soja sob diferentes doses de fósforo na região de Santarém – PA. In: XXXV Congresso Brasileiro de Ciência do Solo: O solo e suas múltiplas funções. 2-7 de agosto de 2015.

SHIGIHARA, D; HAMAWAKI, O. T. Seleção de Genótipos para Juvenildade em Progênes de soja (*Glycine max* (L.) Merrill). **Revista Eletrônica**. Universidade Federal de Uberlândia (UFU), Uberlândia-MG, 2005, p.1-26.

SILVA, Fabio Cesar da. Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes. 2.ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2009. 627p.

SILVA, Mara Reis; SILVA, M. A. A. P. Aspectos nutricionais de fitatos e taninos. **Revistade Nutrição**, Campinas, v. 12, n. 1, p. 21-32, 1999.

SILVA, Ricardo J. S.; VAHL, L. C. Resposta do feijoeiro a adubação fosfatada num Neossolo Litólico Distrófico da região sul do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Agrociência**, 8:129-132, 2002.

SIMEÃO, Marcelo. **Crescimento e produtividade de grãos de soja sob déficit hídrico no solo**. 2015. 78p. Dissertação (Mestrado em Agronomia: Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal do Piauí, PI.

SOARES, Marcos Morais. **Efeito do recobrimento de sementes com fósforo na qualidade das sementes, nodulação e crescimento das plantas de soja**. 2009. 61f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2009.

SPEAR, Jordan Dustin; FEHR, W.R. Genetic improvement of seedling emergence of soybean lines with low phytate. **Crop Science**, Ames, v. 47, n.4, p. 1354-1360, 2007.

TAIZ, Lincol; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 4.ed. Porto Alegre: Artmed, 2009. 819p.

TANAKA, Roberto Tetsuo.; MASCARENHAS, H.A.A.; BORKERT, C.M. Nutrição mineral da soja. In: ARANTES, N.E.; SOUZA, P.I.M., (Eds.) **Cultura da soja nos cerrados**. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, p.105-135. 1993.

TANAKA, Roberto Tetsuo; MASCARENHAS, H.A.A. Soja: nutrição, correção do solo e adubação. Campinas: Fundação Cargill, 1992. 60p. (Serie Técnica, 7).

TEIXEIRA, Itamar Rosa; BORÉM, A.; ARAÚJO, G. A. de A. e ANDRADE, M. J. B. de. Teores de nutrientes e qualidade fisiológica de sementes de feijão em resposta a adubação foliar com manganês e zinco. **Bragantia**, v.64, n.1, p.83-88, 2005.

THOMSON, J.R.; BELL, R.W. & BOLLAND, M.D.A. Low seed phosphorus concentration depress early growth and nodulation of narrow-leafed lupin (*Lupinus angustifolius* cv. Gungurro). **J. Plant Nutr.**, New York, v.15, n.8, p.1193-1214. 1992.

TOLEDO, Mariana Zampar; FONSECA, N. R.; CÉSAR, M. L.; SORATTO, R. P.; CAVARIANI, C.; CRUSCIOL, C. A. C. Qualidade fisiológica e armazenamento de sementes de feijão em função da aplicação tardia de nitrogênio em cobertura. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 39, n. 2, p. 124-133, 2009.

TRIGO, Luis Felipe Navia; PESKE, S.T.; GASTAL, M.F.; VAHL, L.C.; TRIGO, M.F.O. Efeito do conteúdo de fósforo na semente de soja sobre o rendimento da planta resultante. **Revista Brasileira de sementes**, v.19, n.1, p.111-115, 1997.

TSUKAHARA, Rodrigo Yoiti; FONSECA, I. C. de B.; SILVA, M. A. de A.; KOCHINSKI, E. G.; PRESTES NETO, J.; SUYAMA, J. T. Produtividade de soja em consequência do atraso da colheita e de condições ambientais. **Pesquisa agropecuária brasileira**, 2016, v.51, n.8, pp.905-915. ISSN 0100-204X. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2016000800002>.

VARGAS, Rodrigo Lamaison de. **Teores de macronutrientes e micronutrientes em sementes de soja**. 2014. 63p. Dissertação (Mestrado – Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Sementes) – Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Pelotas, 2014.

VENTIMIGLIA, Luis Alberto; COSTA, J.A.; THOMAS, A.L.; PIRES, J.L.F. Potencial de rendimento da soja em razão da disponibilidade de fósforo no solo e dos espaçamentos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.34, p.195-199, 1999.

VIEIRA, R. D.; MALHEIROS, E. B.; SCHIAVON JÚNIOR, A. A.; TANAKA, R. T. Efeito de fontes e doses de fósforo sobre a qualidade de sementes de soja (*Glycine max* (L.) Merrill). **Ciência Agrônômica**, Jaboticabal, v. 2, n. 1, p. 15, 1987a.

VIEIRA, R. D.; SCHIAVON JÚNIOR, A. A.; MALHEIROS, E. B.; CARNIER, P. E.; SOUZA, D. A. G. Efeito de doses de adubação fosfatada a lanço e no sulco de semeadura sobre a qualidade de sementes de soja (*Glycine max* (L.) Merrill). **Ciência Agrônômica**, Jaboticabal, v. 2, n. 2, p. 20-21, 1987b.

VIEIRA, R. D.; SEDIYAMA, T.; CARVALHO, N. M.; THIEBAUT, J. T. L.; SILVA, R. F.; SEDIYAMA, C. S. Avaliação do efeito de doses de P e K na qualidade de sementes de soja. **Revista Brasileira de Sementes**, Pelotas, v. 9, n. 1, p. 83-88, 1987c.

Vieira R. F. Influência de teores de fósforo no solo sobre a composição química, qualidade fisiológica e desempenho no campo de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.). **Revista Ceres**, 33:173-188. 1986.

VITTI, Godofredo Cesar; LUZ, P.H.C. Manejo químico do solo para alta produtividade da soja. In: CÂMARA, G.M.S., ed. Tecnologia da produção. Piracicaba, 1998. p.84-112.

VITTI, Godofredo Cesar. **Nutrição mineral de plantas**. ed. FERNANDES. M. S. – Viçosa, MG : Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 432p. p.216-352, 2006.

VITTI, Godofredo Cesar; TREVISAN, W. **Manejo de macro e micronutrientes para alta produtividade da soja**. Potafos. Informações Agronômicas. n. 90. 16p. jun/2000.

WACHOWICZ, Cyntia Maria; CARVALHO, R. I. N. **Fisiologia vegetal: produção e pós-colheita**. Curitiba: Champagnat, 423p. 2002.

WHITE, Philip. J.; VENEKLAAS, E. J. Nature and nurture: the importance of seed phosphorus content. **Plant and Soil**, v. 357, n. 1-2, p. 1-8, 2012.

XAVIER, Thiago da Silva; DARONCH, D.J.; PELUZIO, J.M.; AFFÉRI, F.S.; CARVALHO, E.V. de; SANTOS, W.F. dos. Época de colheita na qualidade de sementes de genótipos de soja. **Comunicata Scientiae**, v.6, p.241-245, 2015.

YAMANOUCHI, M. Effect of phosphorus, potassium, calcium, magnesium and iron treatment on the absorption and translocation of boron in several crop grown in high concentration of boron. **Nippon Dojo Hiriyogaku Zasshi**, v.51, p.126-130, 1980.

ZUCARELI, Claudemir; RAMOS JUNIOR, E. U.; BARREIRO, A. P.; NAKAGAWA, J.; CAVARIANI, C. Adubação fosfatada, componentes de produção, produtividade e qualidade fisiológica em sementes de feijão. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 28, n. 1, p. 9-15, 2006.

ZUCARELI, Claudemir; PRANDO, A. M.; RAMOS JÚNIOR, E. U.; NAKAGAWA, J. Fósforo na produtividade e qualidade de sementes de feijão Carioca Precoce cultivado no período das águas. **Revista Ciência Agronômica**, v. 42, n. 1, p. 32-38, jan-mar, 2011.

ANEXOS

ANEXO A - Interpretação do teor de fósforo no solo extraído pelo método Mehlich⁻¹, conforme o teor de argila e para solos alagados.

Interpretação	Classe de solo conforme o teor de argila ⁽¹⁾				Solos alagados
	1	2	3	4	
	----- mg/dm ³ -----				
Muito baixo	≤ 2,0	≤ 3,0	≤ 4,0	≤ 7,0	-
Baixo	2,1 – 4,0	3,1 – 6,0	4,1 – 8,0	7,1 – 14,0	≤ 3,0
Médio	4,1 – 6,0	6,1 – 9,0	8,1 – 12,0	14,1 – 21,0	3,1 – 6,0
Alto	6,1 – 12,0	9,1 – 18,0	12,1 – 24,0	21,1 – 42,0	6,1 – 12,0
Muito alto	> 12,0	> 18,0	> 24,0	> 42,0	> 12,0

⁽¹⁾ Teores de argila: classe 1 = > 60%; **classe 2 = 60 a 41%**; classe 3 = 40 a 21%; classe 4 = ≤ 20%.

ANEXO B – Resumo do laudo de análise de solo da primeira safra de sementes.

M.O. (g dm ⁻³)	C.T.C.	Argila (%)	pH (CaCl ₂)	P (mg dm ⁻³)	K (cmol _c dm ⁻³)	SMP
34,85	10,67	60	5,10	8,10	0,30	6,30
Al ³⁺ (cmol _c dm ⁻³)	H+Al (cmol _c dm ⁻³)	Ca (cmol _c dm ⁻³)	Mg (cmol _c dm ⁻³)	SB (cmol _c dm ⁻³)	V (%)	Sat. Al (%)
0,00	3,97	4,80	1,60	6,70	62,79	0,00

Metodologias: M.O. por digestão úmida; P, K extraídos com solução de Mehlich – I; pH em CaCl 1:2,5; Ca, Mg e Al trocáveis extraídos com KCl 1 mol L⁻¹. **Fonte:** Laboratório de Solos da UTFPR, Câmpus Pato Branco.