

Crescimento e acúmulo de fósforo em milho sob doses de fosfato radicular e fosfito via foliar
Growth and phosphorus accumulation in corn under doses of root phosphate and phosphite via leaf

Crecimiento y acumulación de fósforo en maíz bajo dosis de fosfato de raíz y fosfato a través de la hoja

Recebido: 20/03/2020 | Revisado: 21/03/2020 | Aceito: 27/03/2020 | Publicado: 28/03/2020

Plínio José Patriota Vitorino

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2455-0448>

Universidade Federal de Campina Grande, Brasil

E-mail: plinio_jpv@hotmail.com

Elidayane da Nóbrega Santos

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5554-8442>

Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Brasil

E-mail: Dayane-nobrega@outlook.com

Josinaldo Lopes Araujo Rocha

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4669-6114>

Universidade Federal de Campina Grande, Brasil

E-mail: jhosinal_araujo@yahoo.com.br

Rita Magally Oliveira da Silva Marcelino

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0025-0563>

Universidade Federal Rural de Pernambuco, Brasil

E-mail: rm.magally@gmail.com

Leônidas Canuto dos Santos

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0385-4736>

Universidade Federal de Campina Grande, Brasil

E-mail: canuto.100@hotmail.com

Resumo

O uso eficiente de fósforo (P) na agricultura tem sido o foco principal das pesquisas com este macronutriente. Os fosfitos, que têm sido considerados estimulantes de plantas, podem contribuir para aumentar a eficiência do uso de P pelo milho. Objetivou-se avaliar a influência do fosfito via foliar sobre o crescimento e acúmulo de fósforo de milho na fase inicial de

crescimento sob doses de P. Um experimento foi instalado em delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial 5 x 2 com quatro repetições. Aos 45 dias após o plantio foram avaliadas a altura de planta e diâmetro de caule, massa seca de parte aérea, caule e raízes, teores, acúmulo e P a eficiência de utilização de P (EUP). A adubação fosfatada do milho, cultivado em Luvisolo crômico no estágio inicial é fundamental para incrementar seu crescimento e a produção de massa seca e acúmulo de P. O fosfito aplicado via foliar não produziu benefício adicional no crescimento, produção de biomassa ou nutrição fosfata do milho, mas aumentou a EUP na dose intermediária (200 mg dm⁻³) deste nutriente.

Palavras-chave: Fosfato; Adubação fosfatada; Fosfito de potássio; *Zea mays*.

Abstract

The efficient use of phosphorus (P) in agriculture has been the main focus of research on this macronutrient. Phosphites, which have been considered plant stimulants, can contribute to increase the efficiency of the use of P by corn. The objective was to evaluate the influence of phosphite via leaf on the growth and accumulation of corn phosphorus in the initial growth phase under doses of P. An experiment was installed in a completely randomized design, in a 5 x 2 factorial scheme with four replications. At 45 days after planting, the plant height and stem diameter, shoot dry matter, stem and roots, contents, accumulation and P and the efficiency of using P (EUP) were evaluated. Phosphorus fertilization of corn, cultivated in chromium Luvisol in the initial stage is essential to increase its growth and the production of dry mass and accumulation of P. The phosphite applied via leaf did not produce additional benefit in growth, biomass production or phosphate nutrition of corn, but increased EUP at the intermediate dose (200 mg dm⁻³) of this nutrient.

Keywords: Phosphate; Phosphate fertilization; Potassium phosphite; *Zea mays*.

Resumen

El uso eficiente del fósforo (P) en la agricultura ha sido el foco principal de la investigación sobre este macronutriente. Los fosfitos, que se han considerado estimulantes de las plantas, pueden contribuir a aumentar la eficiencia del uso de P por el maíz. El objetivo fue evaluar la influencia del fosfito a través de la hoja en el crecimiento y la acumulación de fósforo de maíz en la fase de crecimiento inicial bajo dosis de P. Se instaló un experimento en un diseño completamente al azar, en un esquema factorial de 5 x 2 con cuatro repeticiones. A los 45 días después de la siembra, se evaluó la altura de la planta y el diámetro del tallo, la materia seca del brote, el tallo y las raíces, el contenido, la acumulación y el P, y la eficiencia del uso de P

(EUP). La fertilización con fósforo del maíz, cultivado en cromo Luvisol en la etapa inicial es esencial para aumentar su crecimiento y la producción de masa seca y acumulación de P. El fosfito aplicado a través de la hoja no produjo un beneficio adicional en el crecimiento, la producción de biomasa o la nutrición de fosfato del maíz. , pero aumentó la EUP a la dosis intermedia (200 mg dm^{-3}) de este nutriente.

Palabras clave: Fosfato; Fertilización con fosfato; Fosfito de potasio, *Zea mays*.

1. Introdução

O milho (*Zea mays* L.) é tido como o terceiro cereal de maior relevância no mundo, depois do trigo e do arroz (Prestes et al., 2019). A cultura possui grande adaptabilidade, sendo cultivada em várias partes do mundo (Silva, 2019). Em termos de quantidade produzida, no Brasil o milho é a segunda cultura mais importante, tendo seu cultivo em todos os estados do país, principalmente na região Centro Oeste (Conab, 2018).

Para alavancar a produtividade do milho no Brasil, a adubação fosfatada é indispensável, tendo em vista que a baixa disponibilidade de P no solo é generalizada. Este fato é explicado pelos baixos teores de P nos materiais de origem dos solos e devido aos diversos processos de adsorção e precipitação com óxidos de ferro e de alumínio em solos com elevada intemperização e precipitação em forma de fosfatos de cálcio insolúveis e solo jovens (Fink et al., 2014; Borges, 2018).

O fósforo (P) desempenha papel essencial na transferência e na utilização de energia pelas plantas, bem como é componente de diversos compostos vitais ao metabolismo dos vegetais, como fitina, lecitina, nucleotídeos e outros (Chan, 2016; Borges, 2018). Tem seu requerimento durante todo o ciclo da cultura. Desta forma, o P interfere em diversos processo celulares envolvidos no crescimento das plantas, tais como a fotossíntese e divisão celular.

Embora as exigências do milho em P sejam inferiores ao nitrogênio e ao potássio, a recomendação de elevadas doses desse nutriente e se deve à baixa eficiência da adubação fosfatada (20 a 30 %), proporcionando uma baixa taxa de aproveitamento desse nutriente pela cultura (Almeida, 2019). Isto resulta da alta fixação do fósforo aos colóides do solo através de mecanismos de adsorção e precipitação, reduzindo sua disponibilidade às plantas.

As projeções que consideram vários cenários da produção agrícola no Brasil, indicam que o incremento da demanda por fertilizantes fosfatados de 2,2 Tg (teragrama) em 2016 para 4,6 Tg em 2050, será insustentável, a menos que sejam estabelecidas estratégias para

umentar a eficiência de utilização deste nutriente (Withers et al., 2018). Tendo em vista que a escassez de fósforo no planeta é uma realidade muito próxima.

Portanto, atualmente, em relação ao fósforo na produção vegetal, as pesquisas têm focado especialmente o uso eficiente deste nutriente pelas plantas e a eficiência da adubação fosfatada (Roberts & Johnston, 2015; Salgado, 2017; Heuer et al., 2017) e no uso de novas tecnologias como os produtos à base de fosfitos.

Os ânions fosfitos (H_2PO_3^- , HPO_3^{2-}) são formas reduzidas de fósforo (P), análogas aos fosfatos (H_2PO_4^- , HPO_4^{2-} e PO_4^{3-}), originadas a partir da redução do fosfato (McDonald et al., 2001; Thao & Yamakawa, 2009). Embora os fosfitos não possam ser metabolizados como o fosfato (Lee et al., 2005), Araujo et al. (2013) observaram que o P fornecido na forma de fosfito foi mais translocado para a parte aérea do feijoeiro que o fosfato. Em outros trabalhos há relatos que os fosfitos atuam como estimulante do crescimento de plantas por favorecer a síntese de compostos do metabolismo secundário (Estrada-Ortiz et al., 2013).

Objetivou-se avaliar a influência do fosfito via foliar sobre o crescimento e acúmulo de fósforo no milho na fase inicial de crescimento sob doses de P via radicular.

2. Metodologia

O presente trabalho trata-se de uma pesquisa experimental, quantitativa, seguindo os preceitos fundamentais deste tipo de pesquisa, conforme recomendam Pereira et al. (2018). Parte dos dados quantitativos foram obtidos em campo e parte em laboratório. A parte experimental de campo foi realizada em casa de vegetação na Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar (UFCG/CCTA) do Campus de Pombal – PB, no período de outubro a dezembro de 2018.

O experimento foi realizado em delineamento inteiramente casualizado em esquema fatorial 5×2 , sendo cinco doses de fósforo (0, 100, 200, 300, e 400 mg/dm^3) e dois tratamentos referentes a aplicação foliar de KCl e fosfito de potássio, com quatro repetições cada tratamento. Cada repetição consistiu de um vaso contendo 10 L de solo com uma planta.

O tipo do solo utilizado nos vasos é um Luvissole Crômico que foi coletado em uma área do Campus da UFCG, Pombal (PB) na camada de 0 a 20 cm. Uma amostra deste solo foi submetida à secagem ao ar e posterior peneiramento, para em seguida ser analisado quimicamente e fisicamente (Tabela 1) de acordo com as metodologias preconizadas pela Embrapa (2011).

Tabela 1. Atributos químico e físicos do solo utilizado nos experimentos.

Atributos químicos	Valor	Atributos físicos	Valor
pH (CaCl ₂)	6,03	Areia (gkg ⁻¹)	636,8
H+Al	0,50	Silte (gkg ⁻¹)	97,2
Al ³⁺	0,50	Argila (gkg ⁻¹)	266,0
P (mg kg ⁻¹)	9,17	Ds (g cm ⁻³)	1,36
K ⁺ (cmol _c dm ⁻³)	0,40	Dp (g cm ⁻³)	2,64
Na ⁺ (cmol _c dm ⁻³)	1,04	Porosidade (m ³ m ³)	0,48
Ca ²⁺ (cmol _c dm ⁻³)	4,8	Classe textural	Franco-arenosa
Mg ²⁺ (cmol _c dm ⁻³)	3,30		
M.O (gkg ⁻¹)	7,40		
CTC (cmol _c dm ⁻³)	9,54		

Fonte: Própria dos autores.

Conforme os resultados da Tabela 1, o solo apresenta textura franco-arenosa, pH ligeiramente ácido, baixos teores de fósforo e matéria orgânica, elevados teores de cálcio, magnésio e de potássio (Alvarez, V. et al., 1999), sendo, portanto, ideal para a realização do presente estudo.

As sementes de milho foram semeadas diretamente no solo dos vasos (10 L), inserindo-se três sementes por vaso da variedade AG 1051. A irrigação foi realizada diariamente conforme a necessidade das plantas, utilizando-se água de abastecimento (0,3 dS m⁻¹) duas vezes ao dia, nas horas mais frescas. Após 15 dias da emergência foi realizado o desbaste quando as plantas apresentaram quatro folhas completas, deixando-se uma planta por vaso.

Os tratamentos referentes as doses de fósforo via radicular foram aplicadas antes da semeadura utilizando-se como fonte o superfosfato simples (18% de P₂O₅). Para os tratamentos via foliar foram utilizadas as soluções de KCl p.a (4,46g/L) e de fosfito (10 mL/L) sendo estas aplicadas em duas fases fenológicas: a primeira foi realizada em V4 e a segunda em V8. A fonte de fosfito utilizada foi o produto comercial Quimifol Fosfito® contendo 596 g/L de P₂O₅ e 298g/L de K₂O de densidade de 1,49g/mL.

Na adubação com nitrogênio e potássio, foram utilizados como fontes a ureia (45% de N) e o cloreto de potássio (58% de K₂O), respectivamente. As doses de N (200 mg/dm³) e K (200 mg/dm³) foram divididas em quatro parcelas iguais, sendo a primeira realizada em fundação, e as outras três doses aplicadas a cada 10 dias.

As avaliações de crescimento e acúmulo de P foram realizadas a partir da fase fenológica V9, onde as plantas foram separadas em raízes, caules e folhas e levadas à estufa de secagem (60-65 °C) para obtenção da matéria seca das raízes (MSR), do caule (MSC), das folhas (MSF) e a partir destes dados, estimou-se a relação parte aérea/raiz (RPAR = (MSF+MSC)/MSR) e a massa seca total (MST). Nesses tecidos foram determinados os teores de fósforo total de acordo com metodologia proposta por Malavolta et al. (1997). De posse dos teores e dos dados de fitomassa seca produzida em cada parte, foram estimados os acúmulos de P pela fórmula: Acúmulo de P = P na folha + P no caule + P na raiz. Com os dados de acúmulo de P nas partes da planta foram obtidos a eficiência de utilização de P (EUP), a eficiência de absorção de P (EAb) e a eficiência agrônômica de P (EA) de acordo com a expressão descrita em Roberts & Johnston (2015): $EUP = \frac{MS^2}{QF}$,

Onde MS = massa seca produzida pela parte aérea em g/planta e Q = quantidade de P acumulado na parte aérea (mg/planta).

Para análise dos dados obtidos no experimento foi utilizado o programa estatístico Sisvar 5.1 (Ferreira, 2011), submetendo a análise de variância e regressão polinomial linear e quadrática, ao nível de 5% de probabilidade.

3. Resultados e discussão

De acordo com a análise de variância (Tabela 2), não houve efeito ($p > 0,05$) das doses de P, do fosfito e da interação doses de P e fosfito sobre a altura de planta, diâmetro do caule, massa seca de caule e massa seca de raízes. Por outro lado, as demais variáveis avaliadas foram influenciadas pelas doses de P.

Tabela 2. Quadrados médios da análise de variância para altura de planta (ALT), diâmetro do caule (DIAM), massa seca de folhas (MSF), caule (MSC), de raízes (MSR) e total (MST), teores de P nas folhas (TPF), caule (TPC), raízes (TPR) e no caule (TPC), acúmulos de P nas folhas (APF), caule (APC) e raízes (APR), índice de translocação de P (ITP) e eficiência de utilização de P (EUP).

FV	GL	ALT	DIAM	MSF	MSC	MSR
Fósforo (P)	4	244,2750ns	10,4857ns	268,7984**	1323,8045ns	129,2113ns
Fosfito (Phi)	1	200,2562ns	0,160022ns	0,050410ns	974,3664ns	44,8592ns
P x Phi	4	261,2250ns	4,0453ns	43,3597ns	1068,6017ns	47,2332ns
Erro	30	126,9229	3,248713	35,7372	679,6905	49,1070
CV (%)	-	13,14	7,69	13,31	41,78	22,56
		MST	TPF	TPC	TPR	APF
Fósforo (P)	4	2923,6897*	23,7210**	2,9216 **	0,9962 **	82636,62**
Fosfito (Phi)	1	612,1498ns	0,5894ns	0,2658ns	0,2142ns	1121,688ns
P x Phi	4	1592,6702ns	11,8465**	0,8792**	0,7083**	23757,62*
Erro	30	885,8596ns	1,732815	0,1430	0,1419	5546,588
CV (%)	-	21,51	23,70	13,77	25,42	29,06
		APC	APR	APT	ITP	EUP
Fósforo (P)	4	36654,22**	1951,23**	253732,95*	39,2225*	864,7272**
Fosfito	1	10413,55ns	322,78ns	2559,25ns	35,1576ns	285,6682ns

(Phi)

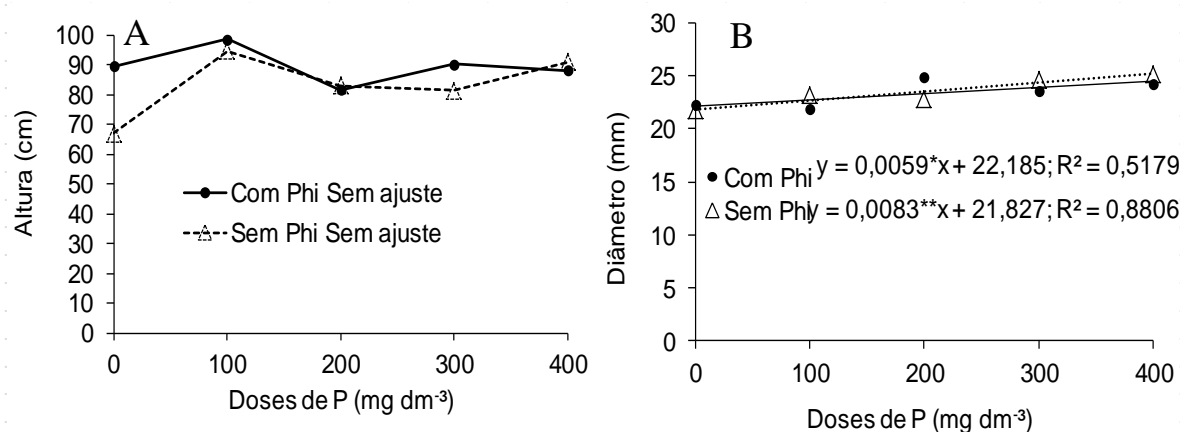
P x Phi	4	2485,518ns	574,89ns	18064,76ns	17,6644ns	1497,7985**
Erro	30	4289,176986	281,85	11034,21	13,8137ns	184,8845
CV (%)		38,03	36,01	22,11	4,15	30,02

*, ** e ns: significativo a 5%, 1% e ns, respectivamente, pelo teste de F. Fonte: Própria dos autores.

Mediante os dados expressos na Tabela 2, pode-se observar que, em alguns casos, como os teores de P em folhas, caule e raízes, o acúmulo de P nas folhas e a eficiência de utilização de P também foram influenciados pela interação entre os fatores doses de P e fosfito foliar. Portanto, ao contrário das doses de P, destaca-se que, para quase todas as variáveis avaliadas o fosfito não interferiu significativamente (Tabela 2).

O crescimento das plantas representado pela altura de plantas (Figura 1A) e diâmetro do caule (Figura 1B) foram pouco afetados pelas doses de P. Para a altura de plantas não houve ajuste de função de regressão, entretanto, houve um acréscimo na altura proporcionada pelo fosfito na dose zero de fosfato via radicular. Para o diâmetro, o ajuste foi linear, tanto com fosfito quanto sem fosfito via foliar, entretanto, o incremento desta variável na maior dose de P, em média foi de apenas 7,5%.

Figura 1. Altura de planta (A) e diâmetro (B) do caule de milho em função de doses de fósforo com e sem adubação foliar com fosfito (Phi). * e **: significativo à 5% e 1%, respectivamente, pelo teste t.



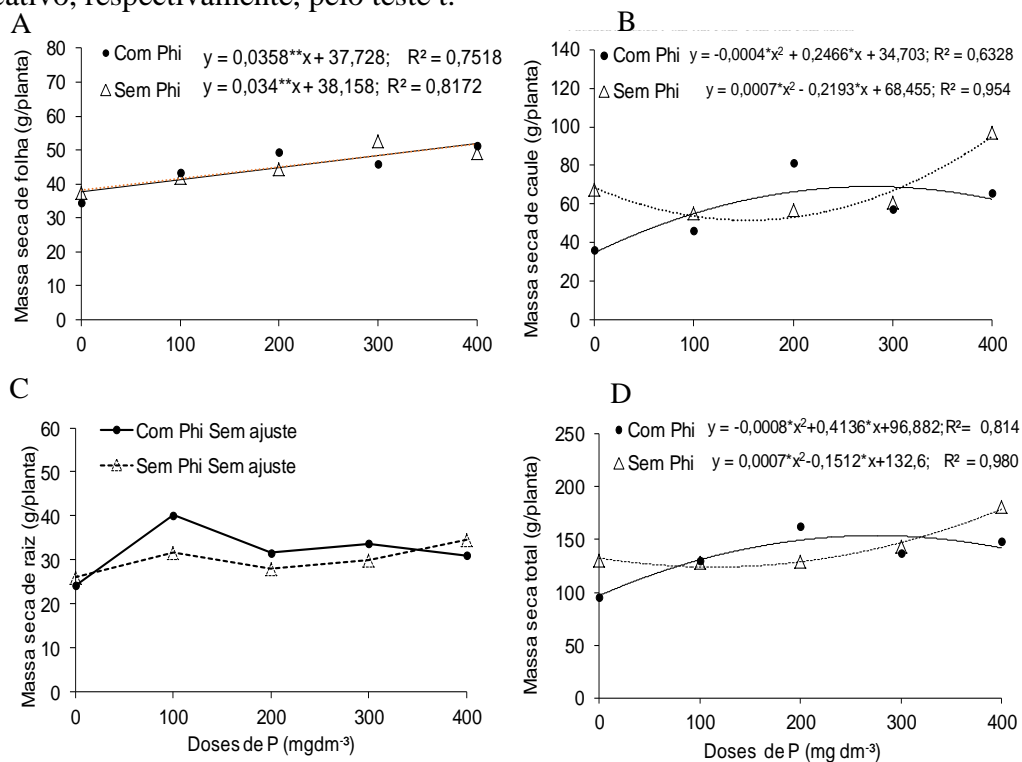
Fonte: Própria dos autores.

A produção de massa seca de folhas (Figura 2A) elevou-se linearmente com as doses de P aplicadas, mas com pequena diferença entre os tratamentos de adubação foliar com fosfito. A massa seca de caule (Figura 2B) apresentou ajuste quadrático em função das doses de P. Observou-se que na maior dose de P, esta variável foi desfavorecida pela adubação foliar com fosfito.

A massa seca de raízes (Figura 2C), para ambos os tratamentos de adubação foliar, não se ajustou aos modelos de regressão testados, embora tenha sofrido um incremento na primeira dose de P, especialmente com fosfito via foliar. Por sua vez, a massa seca total (Figura 2D) apresentou comportamento similar a massa seca do caule.

Com a aplicação de fosfito via foliar a produção máxima 150,28g/planta ocorreu com 258 mg P/dm³, representando incremento de 55% em relação à dose zero de P. Contudo, sem a aplicação de fosfito via foliar, a produção obtida na maior dose de P foi de 184,12 g/planta, representando um incremento de 38% em relação à dose zero no tratamento sem fosfito via foliar.

Figura 2. Massa seca de folhas, caule, raízes e total do milho em função de doses de fósforo com e sem adubação foliar com fosfito (Phi). *,** e ns: significativo à 5%, 1% e não significativo, respectivamente, pelo teste t.



Fonte: Própria dos autores.

O efeito positivo das doses de P sobre o crescimento e produção de massa seca do milho deve-se aos baixos teores desse nutriente no solo (Tabela 1) e às funções que este nutriente exerce nas plantas, tais como componentes dos fosfolipídios, ATP, DNA, RNA, açúcares fosfatos e outras moléculas fundamentais no crescimento dos vegetais (Marschner, 2012).

De acordo com os resultados da figura 2D, houve decréscimo na produção de massa seca total em duas situações: na menor e maior dose de P. A influência do fosfito sobre o crescimento das plantas foi assunto em outros trabalhos. Araujo et al. (2014 e 2016) estudaram a influência do fosfito aplicado via radicular e via foliar em feijoeiro. Os autores observaram que o fosfito não substitui o fosfato na nutrição fosfatada da cultura, provocando fitotoxidez quando as plantas se encontram sob suprimento inadequado de fosfato. Entretanto, quando foi fornecido via radicular, na proporção fosfito:fosfato 25:75, houve incremento de 10-15% na produção de matéria seca da cultura. Em trabalho realizado em solução nutritiva, com plantas jovens de milho, Ávila et al. (2011) observaram que a produção de massa seca não foi afetada pelos tratamentos com fosfito, contudo, a substituição de fosfato por fosfito em 25%, incrementou as respostas bioquímicas associadas à estresses ambientais tais como a atividade da enzima guaiacol peroxidase e biossíntese de lignina.

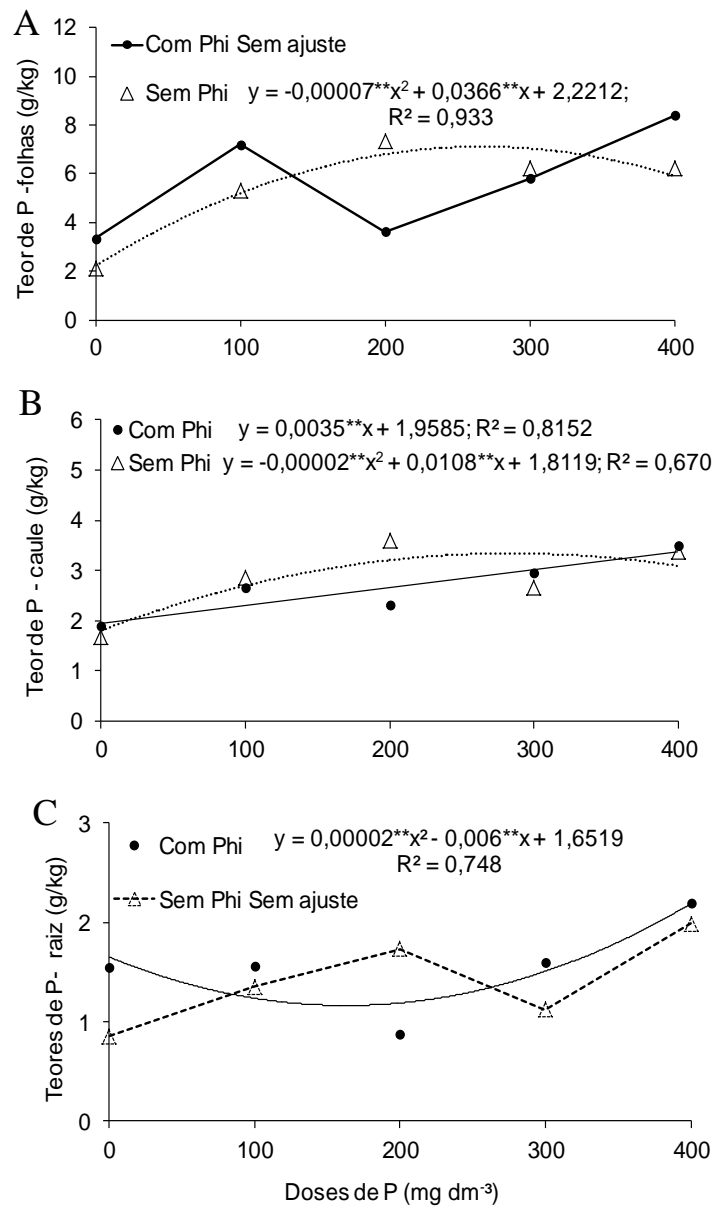
Finalmente destaca-se que, a diminuição da produção de massa seca total na maior dose de P com a aplicação de fosfito via foliar, provavelmente deveu-se à toxidez provocada pelo excesso de P na planta, em função do P “extra” fornecido pelo fosfito.

Os teores de P nas folhas com a aplicação foliar de fosfito não se ajustaram às doses de P (Figura 3A). Contudo, houve ajuste quadrático para esta variável em quando o fosfito não foi aplicado, cujo valor máximo foi obtido com 261 mg P/dm³.

No caule (Figura 3B) os teores de P elevaram-se de forma linear com a aplicação de fosfito via foliar e quadrática na ausência de fosfito via foliar. Se a aplicação de fosfito, o teor máximo neste compartimento foi obtido com a dose de 270 mg P/dm³.

Nas raízes (Figura 3C), houve ajuste quadrático com as doses de P apenas quando o fosfito não foi aplicado. Quando o fosfito foi aplicado, embora a tendência geral tenha sido de aumento, não houve ajuste dos modelos de regressão testados. Nas menores e maiores doses de P, o fosfito elevou os teores deste nutriente nas raízes.

Figura 3. Teores de P em folhas (A), caule (B), raízes (C) do milho em função de doses de fósforo com e sem adubação foliar com fosfito (Phi). *, ** e ns: significativo à 5%, 1% e não significativo, respectivamente, pelo teste t.

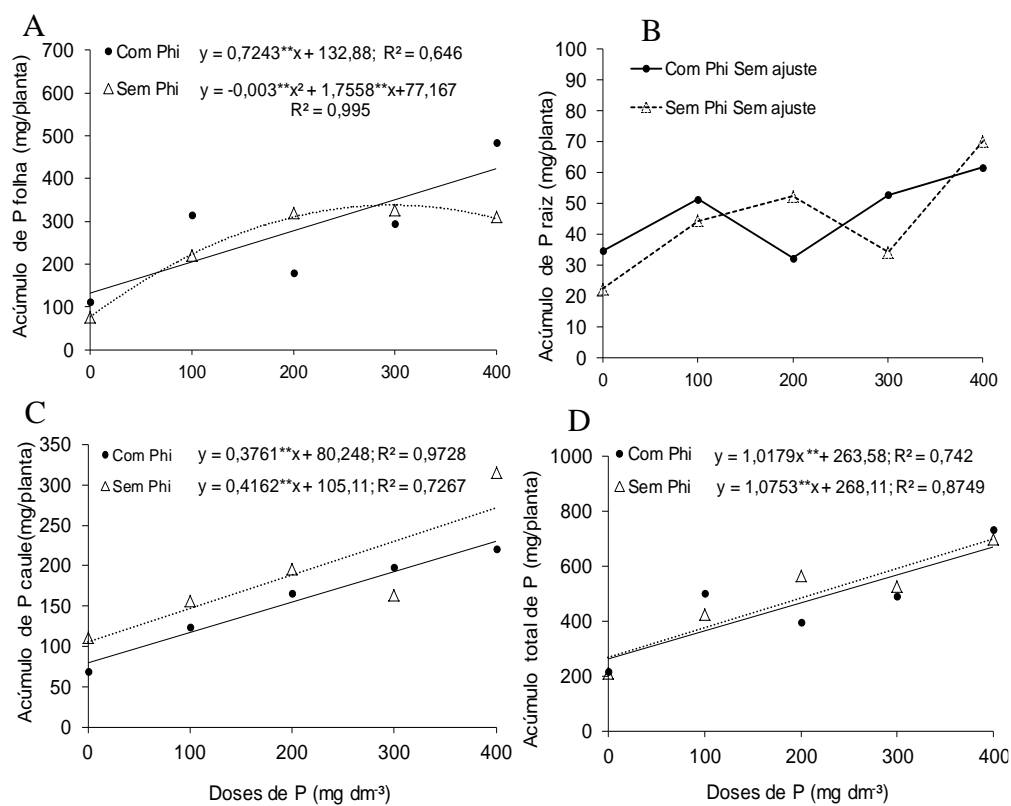


Fonte: Própria dos autores.

As quantidades acumuladas de P nas folhas (Figura 4A) aumentaram de forma linear no tratamento com fosfito via foliar e de forma quadrática no tratamento sem aplicação de fosfito. Sem a aplicação de fosfito o acúmulo máximo se deu com 292 mg P/dm³. Nas raízes (Figura 4B) os acúmulos de P, com ou sem adubação foliar com fosfito não se ajustaram aos modelos de regressão testados, embora a tendência geral seja de aumento com o aumento das doses de P no solo, com comportamento semelhante aos teores de P nesta parte da planta. No

caule (Figura 4C) houve aumento linear da quantidade acumulada de P, com ou sem fosfito via foliar, com destaque para o tratamento sem fosfito. Por sua vez, as quantidades totais acumuladas (Figura 4D), também elevaram-se de forma linear com as doses de P aplicadas no solo, mas sem qualquer distinção clara entre os tratamentos de adubação com fosfito via foliar.

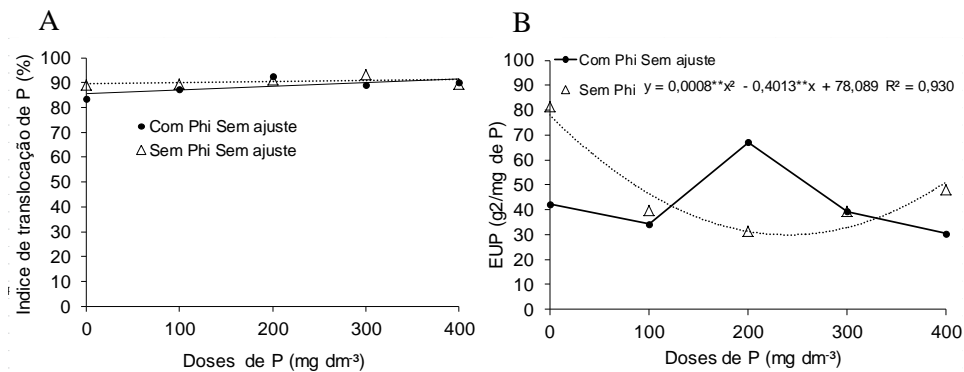
Figura 4. Acúmulo de P em folhas, caule, raízes e total no milho em função de doses de fósforo com e sem adubação foliar com fosfito (Phi). *,** e ns: significativo à 5%, 1% e não significativo, respectivamente, pelo teste t.



Fonte: Própria dos autores.

O índice de translocação não foi afetado pelas doses de P nem pela adubação foliar com fosfito (Figura 5A). Estes resultados corroboram com os obtidos por Araujo et al. (2016), que também não observaram influência do fosfito via foliar sobre a translocação de P em feijoeiro. A eficiência de utilização de P (Figura 5B) decresceu de forma quadrática sem a aplicação de fosfito via foliar.

Figura 5. Índice de translocação de P (A) e eficiência de utilização de P (B) no milho em função de doses de fósforo com e sem adubação foliar com fosfito (Phi). *,** e ns: significativo à 5%, 1% e não significativo, respectivamente, pelo teste t.



Fonte: Própria dos autores.

Este decréscimo deve-se à resposta elevada da planta em aumento de massa seca nas doses mais baixas de P, em virtude da baixa disponibilidade de P no solo (Malavolta et al., 2006), assim como foi observado por Araujo et al. (2013). Com a aplicação foliar de fosfito, esta variável não se ajustou aos modelos de regressão testados, contudo, houve um pico na dose de 200 mg dm⁻³ de P, que coincide com o valor máximo observado para a produção de massa seca total (Figura 4A).

Pelo teste de Tukey para o fator adubação foliar (Tabela 3), observou-se aumento de 7,5% na altura de plantas e decréscimo de 14,6% e 5,5% na massa seca de caule e total, respectivamente com fosfito aplicado via foliar, independentemente das doses de P via radicular. Nas demais variáveis relacionadas como o crescimento do milho não houve efeito significativo da aplicação de fosfito. A aplicação de fosfito via foliar, proporcionou incremento no acúmulo de P nas folhas, mas diminuiu o acúmulo total deste nutriente no caule (-17,4%) e à eficiência de utilização de P em 11,1%. Para as demais variáveis relacionadas com a nutrição fosfatada do milho, não houve efeito da adubação foliar com fosfito.

Tabela 3. Altura de planta (ALT), diâmetro do caule (DIAM), massa seca de folhas (MSF), caule (MSC), de raízes (MSR) e total (MST), teores de P nas folhas (TPF), caule (TPC), raízes (TPR) e no caule (TPC), acúmulos de P nas folhas (APF), caule (APC) e raízes (APR), índice de translocação de P (ITP) e eficiência de utilização de P (EUP) em função da adubação (+Phi) ou não (-Phi) com fosfito via foliar.

Fosfito	ALT	DIAM	MSF	MSC	MSR	MST	TPF	TPC
	cm	Mm	-----g/planta-----				-----g/kg-----	
+Phi	89,75 a	23,36 a	44,89 a	57,46 b	32,12 a	134,47 b	5,68 a	2,67 a
-Phi	83,47 b	23,49 a	44,96 a	67,33 a	30,00 a	142,29 a	5,43 a	2,82 a
	TPR	APF	APC	APR	APT	ITP	EUP	
	-----g/kg-----		-----mg/planta-----			%	g ² /mg P	
+Phi	1,56 a	277,7 a	155,5 b	46,5 a		467,2 a	88,6 a	42,6 b
-Phi	1,40 a	251,1 b	188,3 a	44,5 a		483,1 a	90,5 a	47,9 a

Para cada variável em cada coluna, médias seguidas por letras diferentes diferem entre si pelo teste de Tukey (p< 0,05).

Por estes resultados, é possível supor que a aplicação foliar com fosfito incrementou o acúmulo de P nas folhas, mas não elevou a produção de massa seca da planta, fato possivelmente associado a não metabolização do fosfito pelo milho (Ávila et al., 2011; Araujo et al., 2016). Por outro lado, o decréscimo no caule, pode estar relacionados com a influência do fosfito no transporte de P na planta, ou seja, é possível, que tenha havido uma maior demanda de fosfato nas folhas adubadas com fosfito, tendo em vista que o fosfito pode interferir negativamente em processos metabólicos envolvendo o fosfato. Os mecanismos fisiológicos e, ou, bioquímicos da toxicidade por fosfitos são pouco compreendidos em vegetais. De acordo com Varadarajan et al. (2002), em fungos, a inibição do crescimento ocorre por causa do acúmulo de poli e pirofosfatos e da inibição de várias enzimas da via glicolítica e também da enzima pentose-fosfato desses organismos.

Os resultados obtidos na presente pesquisa elucidaram que a adubação do milho com fósforo em Luvissois pobres neste nutriente, é fundamental para aumentar o seu crescimento, produção de biomassa e o acúmulo de fósforo na massa seca. Por outro lado, a adubação do

milho com fosfito via foliar, nas condições deste trabalho, não possui qualquer efeito benéfico sobre a cultura.

4. Conclusão

A adubação fosfata do milho, cultivado em Luvissole crômico no estágio inicial é fundamental para incrementar seu crescimento, a produção de massa seca e o acúmulo de P em seus tecidos.

O fosfito aplicado via foliar não produziu benefício adicional no crescimento, produção de biomassa ou nutrição fosfata do milho, mas aumentou a eficiência de utilização de P na dose intermediária (200 mg dm^{-3}) deste nutriente.

Considerando a escassez de informações científicas precisas sobre os efeitos fosfito nas culturas, este trabalho contribui com aumento do atual nível de conhecimento científico sobre o modo de ação dos fosfitos em plantas de grande expressão econômico como o milho. Contudo, é importante que trabalhos futuros sejam realizados para avaliar a influência dos fosfitos sobre outras variedades de milho, outras classes de solos, assim como diferentes doses e formas de aplicação de fosfito no milho.

Referências

Almeida, A. F. (2019). *Desempenho agrônômico e eficiência de utilização de fósforo por cultivares de milho*. 67f. Tese (Doutorado em Fitotecnia) - Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró- RN, 2019. <http://repositorio.ufersa.edu.br/handle/prefix/3726>.

Araujo, J. L., Ávila, F. W., & Faquin, V. (2016). Fosfito e fosfato no acúmulo e translocação de nutrientes em feijoeiro. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, 357-366.

Araujo, J. L., Faquin, V., Ávila, F. W. & Pedroso, T. Q. (2014). Crescimento e acúmulo de fósforo pelo feijoeiro tratado com fosfato e fosfito via foliar. *Revista Semina: Ciências Agrárias*, 35, 1425-1437. <http://dx.doi.org/10.5433/1679-0359.2014v35n4Suplp2381>.

Araujo, J. L., Faquin, V., Ávila, F. W. & Pedroso, T. Q. (2013). Interação fosfito e fosfato no crescimento e na Nutrição fosfatada do feijoeiro em solução nutritiva. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 37, 482-490. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832013000200019>.

Ávila, F. W., Faquin, V., Araujo, J. A., Marques, D. J., Ribeiro júnior, P. M., Lobato, A. K. S., Ramos, S. J. & Baliza, D. P. (2011). Phosphite supply affects phosphorus nutrition and biochemical responses in maize plants. *Australian Journal Crop Science*, 5(1): 646-653.

Borges, C. S. (2018). *Interação fósforo-silício-flúor em materiais de solo oxidico e uso benéfico de subproduto da indústria de fertilizantes fosfatados na soja*. 138 f. Dissertação (Mestrado em Qualidade Ambiental) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2018.

Chan, G. A. H. (2016). *Nitrogênio e fósforo na cultura de chia*. 87f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Universidade Federal do Tocantins, Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, Gurupi.

Conab, A. (2018). *Cultura do Milho: análise dos custos de produção e da rentabilidade nos anos-safra 2007 a 2017*. Brasília: Conab.

Embrapa, Centro Nacional de Pesquisa de Solos. (2011). *Manual de métodos de análise de solo*. Rio de Janeiro: rev. atual.

Estrada-Ortiz, E., Trejo-Téllez, L. I., Gómez-Merino, F.C., Núñez-Escobar, R. & Sandoval-Villa, M. (2013). The effects of phosphite on strawberry yield and fruit quality. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition* 13, 612–620, 2013.

Ferreira, D. F. (2011). Sisvar: um sistema de análise estatística computacional. *Ciênc. agrotec.*, 35 (6), 1039-1042.

Fink, J. R., N, A. V., Bayer, C., Torrent, J. & Barrón, V. (2014). Mineralização e adsorção de fósforo em solos sob preparo conversional e plantio direto nas regiões sul e centro oeste do Brasil. *Acta Scientiarum, Maringá*, 36 (3), 379-387.

Heuer, S., Gaxiola, R., Schilling, Herrera-estrella, L., Lopez-arredondo, D., Wissuwa, M., Delhaize. & Rouached, H. (2017). Improving phosphorus use efficiency: a complex trait with emerging opportunities. *The Plant Journal*, 90 (5) 868–885.

Malavolta, E. (2006). *Elementos de nutrição de plantas*. São Paulo: Agronômica Ceres.

Malavolta, E., Vitti, G. C. & Oliveira, S. A. (1997). *Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações*. Piracicaba: Associação Brasileira da Potassa e do Fosfato.

Marschner, H. (2012). *Mineral nutrition of higher plants*. London: Elsevier.

Mcdonald, A. E., Grant, B. R. & Plaxton, W. C. (2001). Phosphite (Phosphorous acid): Its relevance in the environment and agriculture and influence on plant phosphate starvation response. *Journal of Plant Nutrition*, 24,1505-1519.

Pereira, A. S., Shitsuka, D. M, Parreira, F. J. & Shitsuka, R. (2018). *Metodologia da pesquisa científica*. [e-book]. Santa Maria. Ed. UAB/NTE/UFSM. Disponível em: https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/15824/Lic_Computacao_Metodologia-Pesquisa-Cientifica.pdf?sequence=1. Acesso em: 21 março 2020.

Prestes, I. D., Rocha, L. O., Nuñez, K. V., & Silva, N. C. (2019). Principais fungos e micotoxinas em grãos de milho e suas consequências. *Scientia Agropecuaria*, 10 (4), 559-570.

Roberts, T. & Jonston, A. E. (2015). Phosphorus use efficiency and management in agriculture. *Resources, Resources, conservation and recycling*. 105, 275-281. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2015.09.013>.

Salgado, A. A. D. B. B. (2017). *Efeito residual da aplicação de gesso na eficiência da adubação fosfatada para a sucessão trigo-soja em sistema plantio direto*. 56f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Estadual de Ponta Grossa, PONTA GROSSA – PR, 2017.

Silva, M. L. G. (2019). *Uso do sólido de suínos de forma parcelada como fonte de nitrogênio (n) em adubação de cobertura no cultivo do milho verde irrigado por gotejamento*. 18 f. TCC (Graduação em Engenharia Agrícola) - Instituto Federal Goiano, Urutaí-GO. <https://repositorio.ifgoiano.edu.br/handle/prefix/612>.

Thao, H.T.B. & Yamakawa, T. (2009). Phosphite (phosphorus acid): Fungicide, fertilizer or bio-stimulator? *Soil Sci. Plant Nutr.*, 55, 228-234.

Varadarajan, D. K., Karthikeyan, A. S., Matilda, P. D. & Raghothama, K. G. (2002). Phosphite, an analog of phosphate suppresses the coordinated expression of genes under phosphate starvation. *Plant Physiol.*, 129, 1-9.

Withers, P. J. A., Rodrigues, M., Soltangheisi, A., Carvalho, T. S. de, Guilherme, L. R. G., Benites, V. de M., Gatiboni, L. C., Sousa, D. M. G., Nunes, R. S., Rosolem, C. A., Andreote, F. D., Oliveira Junior, A., Coutinho, E. L. M. & Pavinato, P. S. (2018). Transitions to sustainable management of phosphorus in Brazilian agriculture. *Nature Scientific Reports*. 8 (1), 1-13. 10.1038/s41598-018-20887-z.

Porcentagem de contribuição de cada autor no manuscrito

Plínio José Patriota Patriota – 30%

Elidayane da Nóbrega Santos – 20%

Josinaldo Lopes Araujo Rocha – 30%

Rita Magally Oliveira da Silva Marcelino – 10%

Leônidas Canuto dos Santos – 10%