

JÉSSYCA DELLINHARES LOPES MARTINS

**NUTRIÇÃO MINERAL E PRODUTIVIDADE DA CULTURA DA BATATA EM
FUNÇÃO DA APLICAÇÃO DE SUBSTÂNCIA HÚMICA E ADUBAÇÃO
FOSFATADA**

Botucatu

2017

JÉSSYCA DELLINHARES LOPES MARTINS

**NUTRIÇÃO MINERAL E PRODUTIVIDADE DA CULTURA DA BATATA EM
FUNÇÃO DA APLICAÇÃO DE SUBSTÂNCIA HÚMICA E ADUBAÇÃO
FOSFATADA**

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

Orientador: Rogério Peres Soratto

Coorientador: Adalton Mazetti Fernandes

Botucatu

2017

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA SEÇÃO TÉCNICA DE AQUISIÇÃO E TRATAMENTO DA INFORMAÇÃO - DIRETORIA TÉCNICA DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - UNESP - FCA - LAGEADO - BOTUCATU (SP)

M386n Martins, Jéssyca Dellinhares Lopes, 1989-
Nutrição mineral e produtividade da cultura da batata em função da aplicação de substância húmica e adubação fosfatada / Jéssyca Dellinhares Lopes Martins. - Botucatu : [s.n.], 2017
122 p. : grafs., tabs.

Tese (Doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 2017
Orientador: Rogério Peres Soratto
Coorientador: Adalton Mazetti Fernandes
Inclui bibliografia

1. Batata - Adubação. 2. Ácido húmicos. 3. Matéria orgânica. 4. Fósforo. I. Soratto, Rogério Peres. II. Fernandes, Adalton Mazetti. III. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (Câmpus de Botucatu). Faculdade de Ciências Agrônômicas. IV. Título.

"Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte"

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO


TÍTULO DA TESE: NUTRIÇÃO MINERAL E PRODUTIVIDADE DA CULTURA DA BATATA EM FUNÇÃO DA APLICAÇÃO DE SUBSTÂNCIA HÚMICA E ADUBAÇÃO FOSFATADA

AUTORA: JÉSSYCA DELLINHARES LOPES MARTINS

ORIENTADOR: ROGÉRIO PERES SORATTO

COORIENTADOR: ADALTON MAZETTI FERNANDES

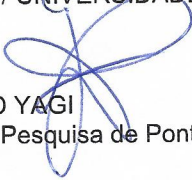
Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Doutora em AGRONOMIA (AGRICULTURA), pela Comissão Examinadora:


Prof. Dr. ROGÉRIO PERES SORATTO
Dep de Produção e Melhoramento Vegetal / Faculdade de Ciências Agrômicas de Botucatu


Prof. Dr. ROBERTO LYRA VILLAS BÔAS
Depto de Solos e Recursos Ambientais / Faculdade de Ciências Agrômicas de Botucatu


Prof. Dr. JULIANO CARLOS CALONEGO
Departamento de Produção e Melhoramento Vegetal / Faculdade de Ciências Agrômicas de Botucatu


Prof. Dr. JOSÉ MAGNO QUEIROZ LUZ
Departamento de / UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA


Prof. Dr. RENATO YAGI
Polo Regional de Pesquisa de Ponta Grossa / Instituto Agrônômico do Paraná / IAPAR

Botucatu, 20 de março de 2017

*Aos meus pais,
Maria de Fátima e José Antonio,
e irmão, Tony Dellinhares,
pelos ensinamentos, palavras de apoio, força
e carinho em todos os momentos,
e por acreditarem em mim,
dedico.*

AGRADECIMENTOS

A DEUS, pela graça da vida, por me conceder sabedoria e conhecimento que tornaram possíveis minhas realizações pessoais e profissionais.

Ao meu orientador Prof. Dr. Rogério Peres Soratto, pela amizade, por colaborar com seus conhecimentos, pela enorme contribuição profissional e pelo exemplo de dedicação à docência e a pesquisa.

Ao meu coorientador Prof. Dr. Adalton Mazetti Fernandes, pela amizade, paciência e pelo exemplo de profissional.

Ao Programa de Pós-graduação em Agronomia-Agricultura, da Faculdade de Ciências Agrônômicas - UNESP, pela oportunidade gratificante de realização deste curso e desta pesquisa.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de doutorado.

À empresa Agrolatino, pelo fornecimento da substância húmica comercial (Humic HF®), utilizada nesta pesquisa.

Aos professores do Departamento de Produção e Melhoramento Vegetal, excelentes, em seus ensinamentos e contribuições.

Aos funcionários do Departamento de Produção e Melhoramento Vegetal e da Fazenda Experimental de São Manuel: Casimiro Alves, Ciro de Oliveira (Cirinho), Milton Matheus, Antônio Camargo, Mario de Oliveira e Nilton Aparecido, que me auxiliaram imensamente nas atividades desenvolvidas no campo.

Aos colegas André Job, Bruno Gazolla e Jasion Geibel, aos estagiários Beatriz Namaite e Jean, Ana Carolina e Júlia Cassemiro, e técnico Dorival de Arruda, por contribuírem com a realização desta pesquisa, nas etapas de plantio, coleta e processamento de amostras e análises químicas no laboratório.

Aos meus amigos da pós-graduação, aos quais me refiro como “minha família em Botucatu”: Giovanna Lundgren, Michely Alves, Douglas Bassegio, Laís Melo, Erilene Romeiro, Fernanda Bortolheiro, Samara Zanetti e Jessica Aparecida. Vocês me apoiaram nos momentos difíceis e fizeram parte dos momentos mais felizes.

Enfim, agradeço e compartilho o mérito desta com todos aqueles que colaboraram direta ou indiretamente para realização deste trabalho.

“Tudo que o ser humano não conhece, não existe para ele. Por isso o mundo tem, para cada um, o tamanho que abrange o seu conhecimento. ”

Carlos Bernardo González Pecotche

RESUMO

Dentre os nutrientes que mais limitam a produtividade da cultura da batata (*Solanum tuberosum* L.) está o fósforo (P). Esta cultura tem respondido à adubação fosfatada com incrementos na produtividade até altas doses, principalmente em solos com baixo teor de P disponível, que é uma característica dos solos tropicais brasileiros, os quais são naturalmente deficientes em P. A fim de melhorar a eficiência de aplicação do adubo fosfatado, é possível utilizar fertilizantes contendo substâncias húmicas (SH) ou aplicá-las diretamente no solo. No entanto, o efeito da aplicação de SH pode depender dentre outros fatores, da textura do solo, que interfere na retenção do P. Portanto, o objetivo do presente estudo foi avaliar o efeito da aplicação de SH e doses de fertilizante fosfatado sobre a nutrição, acúmulo de matéria seca (MS), crescimento radicular, absorção e exportação de nutrientes e produtividade de tubérculos da cultura da batata, em solos de diferentes texturas. Esta pesquisa foi desenvolvida através da condução de quatro experimentos, dois em casa de vegetação e dois em campo. Dois dos experimentos foram realizados em solo de textura arenosa (um de casa de vegetação e um de campo) e os dois demais em solo de textura argilosa. Em todos os experimentos, o delineamento experimental utilizado foi em blocos ao acaso, no esquema fatorial 4 x 3. Os tratamentos consistiram de quatro doses de P (10, 50, 100 e 200 mg dm⁻³ de P nos experimentos de casa de vegetação; 0, 100, 200 e 400 kg ha⁻¹ de P₂O₅ nos de campo) e três doses da SH (0, 1,25 e 7,5 mL vaso⁻¹ de P nos experimentos de casa de vegetação; 0, 50 e 300 L ha⁻¹ nos de campo). A aplicação de SH afetou ligeiramente o crescimento radicular da batateira somente no solo arenoso. No solo de textura arenosa, a aplicação da SH, especialmente na dose de 50 L ha⁻¹ (equivalente a 1,25 mL vaso⁻¹) no sulco de plantio, aumentou a produção de matéria seca na planta, a absorção e exportação de nutrientes e melhorou o desempenho produtivo da batateira, porém, somente na ausência ou com o fornecimento de dose reduzida do adubo fosfatado. Contudo, não aumentou a eficiência da adubação fosfatada. No solo de textura argilosa, a aplicação de substância húmica aumentou a produtividade de tubérculos da classe especial, porém não interferiu na nutrição e produtividade total da cultura da batata, independentemente da dose de fertilizante fosfatado aplicado. A associação da dose mais elevada de SH e de P não teve efeito ou reduziu a produção de MS, teor e acúmulo de nutrientes e a produtividade de

tubérculos da batata. Em ambos os solos, a adubação fosfatada aumentou de forma similar a absorção de nutrientes pelas plantas, exportação de nutrientes pelos tubérculos, número de tubérculos por planta, peso médio de tubérculos e a produtividade de tubérculos da barateira.

Palavras-chave: *Solanum tuberosum* L. Ácidos húmicos. Matéria orgânica do solo. Fósforo.

ABSTRACT

Phosphorus (P) is among the nutrients that most limits the potato crop yield (*Solanum tuberosum* L.). This crop has responded to phosphate fertilization with increases in productivity up to high rates, especially in soils with low available P content, which is a characteristic of the Brazilian tropical soils, which are naturally deficient in P. In order to improve the efficiency of application of the phosphate fertilizer, it is possible to use fertilizers containing humic substances (HS) or to apply them directly to the soil. However, the effect of HS application may depend, among other factors, on soil texture, which interferes with the retention of P. Therefore, the objective of this study was to evaluate the effect of the application of SH and rates of phosphorus fertilizer on nutrition, dry matter accumulation (DM), root growth, nutrient uptake and removal and yield of tubers from the potato in different textures soils. This research was developed through the conduction of four experiments, two in greenhouse and two in the field. Two of the experiments were carried out on sandy soils (one from a greenhouse and one from the field) and the other two from a clayey soil. The treatments consisted of four rates of P (10, 50, 100, and 200 mg dm⁻³ of P in the greenhouse experiments, and 0, 100, 200, and 400 kg ha⁻¹ of P₂O₅ in the field experiments) and three rates of the HS (0, 1.25, and 7.5 mL pot⁻¹ in the greenhouse experiments; 0, 50 and 300 L ha⁻¹ in the field experiments). The application of HS only slightly affected the potato root growth and only when it was cultivated in the sandy soil. In sand soil, HS application, especially at the rate of 50 L ha⁻¹ (equivalent to 1.25 mL pot⁻¹) in planting furrow, had increased dry matter (DM) yield, nutrient uptake and removal, and improved productive performance of the potato, but only in the absence or the supply of reduced rate of the phosphate fertilizer. However, it did not increase the efficiency of phosphate fertilization. In clay soil, the HS increased tuber yield special class, but did not affect the total tuber yield and nutrition of the potato, regardless of phosphate fertilizer rate applied. The association of the highest rates of HS and P had no effect or reduced the production of DM, concentration and uptake of nutrients, and tuber yield of potato. In both soils, phosphate fertilization increased similarly the nutrient uptake by plants, nutrient removal by tubers, number of tubers per plant, mean weight of tubers, and tuber yield of potato.

Keywords: *Solanum tuberosum* L. Humic acids. Soil organic matter. Phosphorus.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 - Precipitação pluviométrica (■), irrigação (■), temperatura mínima (—) e temperatura máxima diária (—) entre maio e setembro de 2015 em São Manuel (a) e Botucatu (b)41
- Figura 2 - Teores de P (a) e Ca (b) na folha diagnose da cultura da batata cultivada em solo de textura arenosa, em resposta à adição de substância húmica e adubação fosfatada47
- Figura 3 - Teores de P (a), Ca (b), Cu (c) e Fe (d) na folha diagnose da cultura da batata cultivada em solo de textura argilosa, em resposta à adição de substância húmica e adubação fosfatada48
- Figura 4 - Altura da planta (a), número de folhas (b) e área foliar (c) da cultura da batata cultivada em solo de textura arenosa, em resposta à adição de substância húmica e adubação fosfatada51
- Figura 5 - Altura da planta (a), número de folhas (b) e área foliar (c) da cultura da batata cultivada em solo de textura argilosa, em resposta à adição de substância húmica e adubação fosfatada53
- Figura 6 - Número de tubérculos por planta (a), peso de tubérculos fresco por planta (b), matéria seca de tubérculos (c), parte aérea (d) e total (e) da cultura da batata cultivada em solo de textura arenosa, em resposta à adição de substância húmica e adubação fosfatada55
- Figura 7 - Número de tubérculos por planta (a), peso de tubérculos fresco por planta (b), matéria seca das raízes (c), tubérculos (d), parte aérea (e) e total (f) da cultura da batata cultivada em solo de textura argilosa, em resposta à adição de substância húmica e adubação fosfatada56
- Figura 8 - Comprimento radicular da cultura da batata cultivada em solo de textura arenosa, em resposta à adição de substância húmica e adubação fosfatada60
- Figura 9 - Comprimento (a), superfície (b), volume (c) e diâmetro radicular (d) da cultura da batata cultivada em solo de textura argilosa, em resposta à adição de substância húmica e adubação fosfatada60

Figura 10 - Quantidades de N (a), P (b), K (c), Ca (d), Mg (e), S (f), Cu (g) e Zn (h) acumuladas na cultura da batata cultivada em solo de textura arenosa, em resposta à adição de substância húmica e adubação fosfatada	67
Figura 11 - Quantidades de N (a), P (b), K (c), Ca (d), Mg (e) e S (f) acumuladas na cultura da batata cultivada em solo de textura argilosa, em resposta à adição de substância húmica e adubação fosfatada.....	70
Figura 12 - Quantidades de Cu (a), Fe (b), Mn (c) e Zn (d) acumuladas na cultura da batata cultivada em solo de textura argilosa, em resposta à adição de substância húmica e adubação fosfatada	71
Figura 13 - Teores de N (a), P (b), Ca (c), Mg (d), S (e), Fe (f), Mn (g) e Zn (h) na folha diagnose da cultura da batata cultivada em solo de textura arenosa, em resposta à adição de substância húmica e adubação fosfatada.....	73
Figura 14 - Teores de P (a), Ca (b), Mg (c), Cu (d) e Fe (e) na folha diagnose da cultura da batata cultivada em solo de textura argilosa, em resposta à adição de substância húmica e adubação fosfatada.....	75
Figura 15 - Quantidade de matéria seca acumulada na parte aérea (a), tubérculos (b) e total (c) na cultura da batata cultivada em solo de textura arenosa, em resposta à adição de substância húmica e adubação fosfatada	79
Figura 16 - Quantidade de matéria seca acumulada na parte aérea (a), tubérculos (b) e total (c) na cultura da batata cultivada em solo de textura argilosa, em resposta à adição de substância húmica e adubação fosfatada	80
Figura 17 - Teor de N na parte aérea da cultura da batata, antes da dessecação, cultivada em solo de textura argilosa, em resposta à adição de substância húmica e adubação fosfatada	83
Figura 18 - Quantidades de N (a), P (b), K (c), Ca (d), Mg (e) e S (f) acumuladas na cultura da batata cultivada em solo de textura arenosa, em resposta à adição de substância húmica e adubação fosfatada.....	86
Figura 19 - Quantidades de N (a), P (b), K (c), Ca (d), Mg (e) e S (f) acumuladas na cultura da batata cultivada em solo de textura argilosa, em resposta à adição de substância húmica e adubação fosfatada.....	89
Figura 20 - Quantidades de Cu (a), Fe (b), Mn (c) e Zn (d) acumuladas na cultura da batata cultivada em solo de textura arenosa, em resposta à adição de substância húmica e adubação fosfatada	90

Figura 21 - Quantidades de Cu (a), Fe (b), Mn (c) e Zn (d) acumuladas na cultura da batata cultivada em solo de textura argilosa, em resposta à adição de substância húmica e adubação fosfatada.....	91
Figura 22 - Número total de tubérculos (a), número de tubérculos comercializáveis (b) e número de tubérculos das classes especial (c), primeira (d) e miúda (e) e peso médio de tubérculos (f) da cultura da batata, cultivada em solo de textura arenosa, em resposta à adição de substância húmica e adubação fosfatada.....	93
Figura 23 - Número total de tubérculos (a), número de tubérculos comercializáveis (b) e número de tubérculos das classes especial (c), segunda (d) e miúda (e) e peso médio de tubérculos (f) de batata, cultivada em solo de textura argilosa, em resposta à adição de substância húmica e adubação fosfatada	95
Figura 24 - Produtividade total de tubérculos (a), produtividade de tubérculos comercializáveis (b) e produtividade das classes especial (c), primeira (d) e miúda (e) da cultura da batata, cultivada em solo de textura arenosa, em resposta à adição de substância húmica e adubação fosfatada	98
Figura 25 - Produtividade total de tubérculos (a), produtividade de tubérculos comercializáveis (b) e produtividade de tubérculos das classes especial (c), segunda (d) e miúda (e) de batata, cultivada em solo de textura argilosa, em resposta a adubação fosfatada e adição de substância húmica	100
Figura 26 - Teores de P (a), Cu (b) e Zn (c) no tubérculo da cultura da batata, na colheita final, cultivada em solo de textura arenosa, em resposta à adição de substância húmica e adubação fosfatada	102
Figura 27 - Teores de P (a), Cu (b) e Zn (c) no tubérculo da cultura da batata, na colheita final, cultivada em solo de textura argilosa, em resposta à adição de substância húmica e adubação fosfatada.....	103
Figura 28 - Exportação de N (a), P (b), K (c), Ca (d), Mg (e) e S (f) pelo tubérculo da cultura da batata cultivada em solo de textura arenosa, em resposta à adição de substância húmica e adubação fosfatada	106

Figura 29 - Exportação de N (a), P (b), K (c), Ca (d), Mg (e) e S (f) pelo tubérculo da cultura da batata cultivada em solo de textura argilosa, em resposta à adição de substância húmica e adubação fosfatada.....	108
Figura 30 - Exportação de Cu (a), Fe (b), Mn (c) e Zn (d) pelo tubérculo da cultura da batata cultivada em solo de textura arenosa, em resposta à adição de substância húmica e adubação fosfatada	109
Figura 31 - Exportação de Fe (a), Mn (b) e Zn (c) pelo tubérculo da cultura da batata cultivada em solo de textura argilosa, em resposta à adição de substância húmica e adubação fosfatada	110

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Características químicas e granulométricas dos solos estudados, na profundidade 0-20 cm, antes da instalação do experimento e após a correção da acidez do solo.....	37
Tabela 2 - Características químicas e granulométricas dos solos, na profundidade 0-20 cm, antes da instalação do experimento	42
Tabela 3 - Teores de nutrientes (N, P, K, Ca, Mg, S, Cu, Fe, Mn e Zn) na folha diagnose da cultura da batata, cultivada em solos de textura arenosa e argilosa, em resposta à adição de substância húmica e adubação fosfatada	47
Tabela 4 - Altura da planta, número de folhas e área foliar da cultura da batata, cultivada em solos de textura arenosa e argilosa, em resposta à adição de substância húmica e adubação fosfatada.....	50
Tabela 5 - Número de tubérculos por planta (NT), peso de tubérculos fresco por planta (PTF), matéria seca das raízes (MSR), tubérculos (MST), parte aérea (MSPA) e total (MSTotal) da cultura da batata, cultivada em solos de textura arenosa e argilosa, em resposta à adição de substância húmica e adubação fosfatada.....	54
Tabela 6 - Comprimento, superfície, volume e diâmetro radicular da cultura da batata, cultivada em solos de textura arenosa e argilosa, em resposta à adição de substância húmica e adubação fosfatada	58
Tabela 7 - Teores de macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg e S) nas raízes, parte aérea e tubérculos da cultura da batata, cultivada em solos de textura arenosa e argilosa, em resposta à adição de substância húmica e adubação fosfatada	62
Tabela 8 - Teores de micronutrientes (Cu, Fe, Mn e Zn) nas raízes, parte aérea e tubérculos da cultura da batata, cultivada em solos de textura arenosa e argilosa, em resposta à adição de substância húmica e adubação fosfatada	64
Tabela 9 - Quantidades de nutrientes (N, P, K, Ca, Mg, S, Cu, Fe, Mn e Zn) acumuladas na cultura da batata, cultivada em solos de textura	

	arenosa e argilosa, em resposta à adição de substância húmica e adubação fosfatada	66
Tabela 10 -	Teores de nutrientes (N, P, K, Ca, Mg, S, Cu, Fe, Mn e Zn) na folha diagnose da cultura da batata, cultivada em solos de textura arenosa e argilosa, em resposta à adição de substância húmica e adubação fosfatada.....	72
Tabela 11 -	Quantidade de matéria seca (MS) acumulada, antes da dessecação das plantas, na parte aérea, tubérculos e total na cultura da batata, cultivada em solos de textura arenosa e argilosa, em resposta à adição de substância húmica e adubação fosfatada	78
Tabela 12 -	Teores de macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg e S) na parte aérea e tubérculos da cultura da batata, cultivada em solos de textura arenosa e argilosa, em resposta à adição de substância húmica e adubação fosfatada.....	82
Tabela 13 -	Teores de micronutrientes (Cu, Fe, Mn e Zn) na parte aérea e tubérculos da cultura da batata, cultivada em solos de textura arenosa e argilosa, em resposta à adição de substância húmica e adubação fosfatada ...	84
Tabela 14 -	Quantidades de nutrientes (N, P, K, Ca, Mg, S, Cu, Fe, Mn e Zn) extraídas pela cultura da batata, antes da dessecação, cultivada em solos de textura arenosa e argilosa, em resposta à adição de substância húmica e adubação fosfatada	85
Tabela 15 -	Número total de tubérculos, número de tubérculos comercializáveis e número de tubérculos das classes especial, primeira, segunda e miúda e peso médio de tubérculos da cultura da batata, cultivada em solos de textura arenosa e argilosa, em resposta à adição de substância húmica e adubação fosfatada	92
Tabela 16 -	Produtividade total, comercial, e das classes especial, primeira, segunda e miúda, de tubérculos da cultura da batata, cultivada em solos de textura arenosa e argilosa, em resposta à adição de substância húmica e adubação fosfatada	96
Tabela 17 -	Teores de nutrientes (N, P, K, Ca, Mg, S, Cu, Fe, Mn e Zn) no tubérculo da cultura da batata na colheita final, cultivada em solos de textura arenosa e argilosa, em resposta à adição de substâncias húmicas e adubação fosfatada	101

Tabela 18 - Quantidades de nutrientes (N, P, K, Ca, Mg, S, Cu, Fe, Mn e Zn) exportados pelo tubérculo da cultura da batata, na colheita final, cultivada em solos de textura arenosa e argilosa, em resposta à adição de substância húmica e adubação fosfatada.....	104
--	-----

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	25
2	REVISÃO DE LITERATURA.....	27
2.1	Importância da cultura da batata.....	27
2.2	Fósforo no solo	28
2.3	Nutrição e adubação fosfatada na batateira.....	30
2.4	Uso de substância húmica (SH) na agricultura.....	31
2.4.1	Efeitos no solo.....	32
2.4.2	Efeitos nas plantas cultivadas	34
3	MATERIAL E MÉTODOS	36
3.1	Experimentos de casa de vegetação	36
3.1.1	Localização dos experimentos.....	36
3.1.2	Delineamento experimental e tratamentos.....	36
3.1.3	Instalação e condução dos experimentos.....	36
3.1.4	Avaliações	38
3.2	Experimentos de campo	40
3.2.1	Localização dos experimentos.....	40
3.2.2	Delineamento experimental e tratamentos.....	41
3.2.3	Instalação e condução dos experimentos.....	42
3.2.4	Avaliações	43
3.3	Análise estatística	44
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	46
4.1	Experimentos de casa de vegetação	46
4.1.1	Teores de nutrientes na folha diagnose	46
4.1.2	Altura da planta, número de folhas e área foliar	49
4.1.3	Número de tubérculos, peso de tubérculos fresco, quantidade de MS acumulada nas raízes, parte aérea, tubérculos e total	52

4.1.4	Comprimento, superficial, volume e diâmetro médio radicular	58
4.1.5	Teores e acúmulos de nutrientes na planta.....	61
4.2	Experimentos de campo	72
4.2.1	Teor de nutrientes na folha diagnose	72
4.2.2	Quantidade de MS acumulada na parte aérea, tubérculos e total, teor e extração de nutrientes.....	77
4.2.3	Número, produtividade e classificação dos tubérculos produzidos	91
4.2.4	Teores e exportações de nutrientes pelos tubérculos.....	100
5	CONCLUSÕES	111
	REFERÊNCIAS	112

1 INTRODUÇÃO

Aproximadamente 15 a 20% dos custos operacionais no cultivo da batata (*Solanum tuberosum* L.) são com fertilizantes, requerendo relativamente mais que a maioria das culturas. O sistema radicular pouco desenvolvido, o ciclo curto e a alta produção por unidade de área, fazem da batata uma cultura com alta demanda nutricional de fertilizantes.

Dentre os macronutrientes cujas deficiências mais limitam a produção da batateira, está o fósforo (P). A planta absorve do solo aproximadamente 0,6 kg de P para cada tonelada de tubérculo produzido e cerca de 78% é exportado pelos tubérculos (FERNANDES; SORATTO; SILVA, 2011). Sob deficiência de P, a planta de batata tem o comprimento das hastes, o tamanho e número de folhas e a área foliar reduzidos, comprometendo a produção de matéria seca (MS) da planta; o número e tamanho de tubérculos, e a produtividade de tubérculos também são reduzidos expressivamente (FERNANDES; SORATTO, 2016a; 2016b).

Apesar do P ser absorvido em menores quantidades que o N, K e Ca, a cultura tem respondido à adubação fosfatada com incremento na produtividade até altas doses, principalmente em solos com baixo teor de P disponível (FERNANDES; SORATTO, 2016a, 2016b). Esta é uma característica dos solos tropicais brasileiros, os quais são naturalmente deficientes em P e sua disponibilidade é baixa devido à alta fixação deste elemento aos constituintes do solo.

A fim de melhorar a eficiência de aplicação do adubo fosfatado, é possível utilizar fertilizantes contendo substâncias húmicas (SH), ou aplicar essas substâncias diretamente no solo. Estes produtos também têm sido denominados condicionadores do solo, estimuladores fisiológicos ou fertilizantes organomineral, e podem ser extraídos naturalmente de turfas e minas, ou podem ser sintetizados industrialmente e, de forma geral, são fontes de ácidos húmicos e fúlvicos.

Essas frações da matéria orgânica (MO), ou seja, os ácidos húmicos e fúlvicos, diminuem a retenção de P nas partículas do solo por possuírem um grande número de cargas negativas, grupos carboxila e hidroxila, que competem fortemente pelos locais de adsorção com o P (SHEN et al., 2011) e solubilizam fosfatos de Fe e Al, reduzindo a precipitação (TRAINA et al., 1986). No entanto, o efeito da aplicação de SH no solo vai depender não só do tipo e dose do produto utilizado, mas também

de características do solo, como textura, que interferem na retenção do P, e teor de MO, que pode promover ou mascarar os efeitos da adubação com SH.

Além da redução na adsorção de P, as SH exercem influência benéfica direta nas plantas. A atuação semelhante ao hormônio auxina, seria o principal fator biológico responsável pelos diversos efeitos benéficos das SH sobre as plantas, com melhorias no sistema radicular (CANELLAS et al., 2011), ativação das ATPases bombadoras de prótons presentes na membrana celular e, conseqüentemente, maior absorção de nutrientes e produção de biomassa vegetal (CANELLAS et al., 2002; MORA et al., 2010).

Diante do exposto, formulou-se como hipótese para esta pesquisa que a adição de SH ao solo pode proporcionar maior crescimento radicular da batateira e/ou reduzir a fixação de P, aumentando a eficiência da adubação fosfatada, com maior absorção de nutrientes e produtividade de tubérculos da cultura e que os efeitos da aplicação de SH podem variar em função da textura do solo. Portanto, o objetivo do presente estudo foi avaliar o efeito da aplicação de SH e doses de fertilizante fosfatado sobre a nutrição, acúmulo de MS, crescimento radicular, absorção e exportação de nutrientes e produtividade de tubérculos da cultura da batata, em solos de diferentes texturas.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Importância da cultura da batata

A batateira pertence à família Solanaceae e trata-se de uma planta dicotiledônea, cultivada como cultura anual, herbácea, caracterizada por formar um caule subterrâneo modificado, intumescido pela acumulação de substâncias de reserva, denominado tubérculo (BEUKEMA; VAN DER ZAAG, 1979). O sistema radicular é superficial, com raízes concentradas nos primeiros 30 cm de profundidade (LESCZYNSKI; TANNER, 1976).

O desenvolvimento da cultura é dividido em quatro fases ou estádios. A fase I tem início no plantio do tubérculo-semente e vai até a emergência; a fase II compreende o intervalo entre a emergência e o início da tuberização; a fase III vai do início da tuberização até o enchimento dos tubérculos e a fase IV compreende o período da maturação ou senescência. O ciclo vegetativo pode ser precoce (menor que 90 dias), médio (90-110 dias) ou tardio (>110 dias), sendo que este período varia entre as cultivares (FILGUEIRA, 2003; FORTES; PEREIRA, 2003).

O tubérculo é o órgão de interesse econômico, além de ser a principal forma de propagação da planta. É composto de cerca de 78-80% de água, seguido de 16-20% de carboidratos, principalmente amido, e cerca de 2% de proteínas. No que se refere às vitaminas, a batata é fonte principalmente de ácido ascórbico e vitaminas do complexo B (LISINSKA; LESZCZYNSKI, 1989; MOUILLÉ; CHARRONDIÈRE; BURLINGAME, 2010).

A batata é uma das principais fontes de alimento no mundo, juntamente com o milho, arroz e trigo. O maior produtor mundial é a China, seguido da Rússia, Índia, Ucrânia e Estados Unidos, enquanto o Brasil ocupa a 19ª posição (FAO, 2014). Uma vez que a batata apresenta elevada produtividade, a cultura produz mais energia e proteínas comestíveis por unidade de área e tempo que muitas outras culturas e, além de se adequar a diversas condições agroclimáticas, seu cultivo é lucrativo e gera muitos empregos (SINGH, 2008).

Em 2016, a produção de batata no Brasil foi de 3,8 milhões de toneladas nas três safras da cultura, com produtividade média de 29 t ha⁻¹. Os estados responsáveis pelas maiores produções são Minas Gerais, Paraná, São Paulo, Rio

Grande do Sul, Bahia e Goiás, os quais concentram mais de 95% da produção nacional (IBGE, 2016).

A maior parte da produção nacional é comercializada *in natura*, sendo que apenas 10% são destinados ao processamento industrial, nas formas de pré-frita congelada, “chips” e batata palha. A cultivar Agata representa a maior área plantada no Brasil devido às características do tubérculo que apresenta coloração amarelada, pele lisa e tubérculos normalmente de tamanho uniforme, além de possuir ciclo precoce. Isto a torna atrativa aos consumidores e produtores (FILGUEIRA, 2003; ABBA, 2012).

O ciclo curto, alta taxa de crescimento e elevada produção por unidade de área, fazem da batateira uma planta exigente em nutrientes disponíveis no solo, para que tenha um bom desenvolvimento e produtividade de tubérculos (ROSEN; BIERMAN, 2008; FERNANDES; SORATTO; SILVA, 2011; FERNANDES; SORATTO 2016a; 2016b).

2.2 Fósforo no solo

O P constitui cerca de 0,12% da crosta terrestre, e as maiores reservas encontram-se em segmentos marinhos, solos, fosfatos inorgânicos dissolvidos nos oceanos e rochas e em minerais como a apatita (STEWART; HAMMOND; VAN KAUWENBERGH, 2005; ARAÚJO; MACHADO, 2006). Apesar de existirem na natureza mais de 200 minerais de P, apenas o grupo das apatitas tem significado quantitativo (WALKER; SIYIER, 1976; ARAÚJO; MACHADO, 2006).

O mineral liberado das apatitas por intemperismo é absorvido pelas plantas e reciclado, incorporado à MO dos solos e segmentos, ou precipitado com minerais pouco solúveis de Ca, Fe e Al e outros elementos, formando o P orgânico e o P inorgânico (HANSEN; CADE-MENUN; STRAWN, 2004; TURNER et al., 2007).

Estas formas químicas, P inorgânico e P orgânico, estão em um equilíbrio complexo e podem suprir o P da solução do solo. Dada a complexidade da dinâmica do P no solo, esta, pode ser entendida como uma série de processos influenciado pela natureza das fases sólidas inorgânicas e orgânicas presentes no solo, pelo tipo e intensidade da atividade biológica, química da solução do solo (pH, força iônica, potencial redox), além de fatores abióticos como textura e umidade do solo (SMECK, 1985; PIERZYNSKI; McDOWELL; SIMS, 2005).

O teor total de P nos solos está entre 0,2 e 0,5 g kg⁻¹, mas apenas uma pequena fração está na forma disponível para as plantas (ARAÚJO; MACHADO, 2006). O P lábil é aquele que está em equilíbrio rápido com o P da solução (PIERZYNSKI; McDOWELL; SIMS, 2005). O P não-lábil é responsável pela maior parte do P inorgânico do solo e é representado por compostos insolúveis que só lentamente podem se transformar em fosfatos lábeis (PIERZYNSKI; McDOWELL; SIMS, 2005; ARAÚJO; MACHADO, 2006).

A retenção do P adicionado ao solo em formas lábeis ou não, ocorre tanto pela precipitação do P em solução com formas iônicas de Fe, Al e Ca, como de maneira mais significativa pela sua adsorção pelos oxidros de Fe e de Al (SCHULTE; KELLING, 1996; CONDRON; TIESSEN, 2005; PIERZYNSKI; McDOWELL; SIMS, 2005; TURNER et al., 2007), mais presentes em solos tropicais intemperizados (NOVAIS; SMYTH, 1999).

Estas reações, de sorção e dessorção, se equilibram com a solução do solo porque os ortofosfatos podem ser adsorvidos nas superfícies e bordas de óxidos hidratados, minerais de argila e carbonatos, substituindo H₂O ou OH⁻ (SPOSITO, 1984). Este processo envolve duas etapas: adsorção, que é a acumulação de P nas superfícies dos constituintes sólidos do solo e, difusão, do P no interior destes constituintes (SPOSITO, 1984; PIERZYNSKI; McDOWELL; SIMS, 2005).

O P também pode estar adsorvido à MO e existe uma correlação positiva e significativa entre o teor de MO do solo e adsorção de P, cuja razão principal seria dado ao caráter aniônico da MO por via de pontes de cátions como Al, Fe e Ca a elas adsorvido e que reteriam o P (ARAÚJO; MACHADO, 2006). Há também trabalhos que demonstraram participação da MO na diminuição da retenção de P, por meio de ácidos orgânicos adsorvidos, que bloqueiam os sítios de adsorção e/ou solubilizam esses oxidros, reduzindo sua superfície de adsorção (SAUNDERS, 1965; SHEN et al., 2011). A adsorção de P às partículas do solo pode ser reduzida através da aplicação de substâncias orgânicas. As SH presentes na MO contêm um grande número de cargas negativas, grupos carboxila e hidroxila, que competem fortemente pelos locais de adsorção com P (SIBANDA; YOUNG, 1986; HUE; IKAWA; SILVA, 1994; SHEN et al., 2011).

2.3 Nutrição e adubação fosfatada na batateira

A batateira tem sido considerada pouco eficiente em absorver P do solo em condições de baixa disponibilidade deste nutriente (DECHASSA et al., 2003). Visto que o volume de solo explorado por uma planta é proporcional ao comprimento total da raiz da planta (BARBER, 1995) e, o sistema radicular da batata concentra-se principalmente nos primeiros 30 cm da superfície do solo (LESCZYNSKI; TANNER, 1976), a baixa densidade de raízes certamente parece ser um fator limitante a absorção de P. Além disso, o ciclo relativamente curto e alta produtividade tornam a batateira uma planta nutricionalmente exigente (FERNANDES; SORATTO; SILVA, 2011).

Quando a disponibilidade de P no solo é baixa, a batata tem seu desenvolvimento reduzido, com redução no comprimento de hastes, no número e tamanho das folhas e área foliar, comprometendo a produção de MS (FLEISHER et al., 2013; SUN; CUI; LIU, 2015; SORATTO et al., 2015; FERNANDES; SORATTO; PILON, 2015). O número e tamanho de tubérculos (ROSEN; BIERMAN, 2008; FERNANDES; SORATTO, 2016a; 2016b) e a produtividade de tubérculos também reduzem expressivamente (DECHASSA et al., 2003; HOPKINS; STARK, 2003; HOPKINS et al., 2010; FLEISHER et al., 2013; LUZ et al., 2013).

Embora o P seja absorvido praticamente em todo ciclo, os maiores aumentos nas quantidades absorvidas ocorrem após o início do crescimento dos tubérculos (FERNANDES; SORATTO; SILVA, 2011). Nas primeiras semanas após a emergência, a batateira absorve pouco P. A partir de 41 dias após o plantio (DAP), ou seja, início da formação de tubérculos, as quantidades absorvidas aumentam e a época de maior demanda por P é entre 47 a 67. Nesse período a absorção varia de 0,26-0,46 kg ha⁻¹ dia⁻¹ de P, dependendo da cultivar (FERNANDES; SORATTO, 2012a). Após esse período o P continua sendo absorvido até o final do ciclo em menores taxas. Aproximadamente 78% do P absorvido pela batata são exportados pelos tubérculos (FERNANDES; SORATTO; SILVA, 2011).

Pelos motivos já mencionados, a aplicação de fertilizante fosfatado na cultura da batata é elevada. No entanto, o fornecimento de altas doses do adubo fosfatado em solo com alto teor disponível desse nutriente, não remete a ganhos na produtividade da cultura. Fernandes e Soratto (2016b) observaram que em solos com alta disponibilidade de P (70 mg dm⁻³ de P_{resina}), a aplicação de doses

superiores a 125 kg ha^{-1} de P_2O_5 , não aumentaram o número, tamanho e produtividade dos tubérculos. No entanto, em solos com baixo teor de P disponível, o fornecimento do fertilizante fosfatado, pode incrementar a produtividade da batateira até altas doses, como constatado por Luz et al. (2013), no qual a produtividade total de $49,1 \text{ t ha}^{-1}$, foi obtida com a aplicação de aproximadamente 700 kg ha^{-1} de P_2O_5 . Estudando diferentes cultivares de batata, Fernandes e Soratto (2016a, 2016b) observaram que foram necessários 500 kg ha^{-1} de P_2O_5 para a cultura atingir a máxima produtividade de tubérculos.

De acordo com Fernandes, Soratto e Silva (2011), mesmo em condições de alta disponibilidade do nutriente no solo, a extração de P pela batateira é baixa. Em solos com teores considerados altos ($\geq 70 \text{ mg dm}^{-3}$ de P) e com aplicação de altas doses de P_2O_5 ($\geq 500 \text{ kg ha}^{-1}$) a absorção do nutriente pela batateira ficou entre 14 e 18 kg ha^{-1} e representou entre 5 e 7,3 % do P aplicado via adubação (FERNANDES; SORATTO; SILVA, 2011; FERNANDES; SORATTO, 2016b). Isto reforça que o fornecimento do fertilizante fosfatado a cultura deve ser adequado, visto que a aplicação de altas doses deste insumo eleva os custos de produção (MUNOZ; MYLAVARAPU; HUTCHINSON, 2005), podem provocar desbalanço nutricional, como a deficiência de Zn (McCOLLUM, 1978), e até mesmo comprometer a produtividade. Rosen e Bierman (2008) observaram que a aplicação de fertilizante fosfatado em solos de média a alta disponibilidade de P aumentou o número de tubérculos de tamanho inferior a 85 g e promoveu menor produtividade de tubérculos de tamanho maior (maior que 285 g), conseqüentemente, a produtividade de tubérculos comercializáveis não foi afetada.

2.4 Uso de substância húmica (SH) na agricultura

As SH têm papel fundamental na produção das culturas. São compostos da MO que não apresentam características químicas e físicas bem definidas e se dividem em ácido húmico, ácido fúlvico e humina, com base nas suas características de solubilidade (VARANINI; PINTON, 1993; STEVENSON, 1994).

Representam uma fonte de lenta liberação de nutrientes para a nutrição das plantas, em especial N, P e S, contribuem com a maior parte da capacidade de troca catiônica (CTC) dos solos (CANELLAS et al., 2005; ALBERS et al., 2008), podem formar complexos com vários íons metálicos e agem como tamponantes da reação

do solo em uma ampla faixa de pH (ROCHA; ROSA, 2003; ARSLAN; PELIVA, 2008). Essas características as transformam em um dos principais fatores que governam a dinâmica de disponibilidade dos nutrientes no solo.

Além de influenciar indiretamente o crescimento das plantas, na disponibilidade de nutrientes, agregação e retenção de água no solo (ROCHA; ROSA, 2003; CANELLAS et al., 2005), as SH podem agir diretamente nas plantas, facilitando a absorção de nutrientes, aumentando a produção de ATP e clorofila e aumentando ou inibindo a atividade de várias enzimas (NARDI et al., 2007; MORA et al., 2010; VACCARO et al., 2015). Isso fez com que o emprego agrícola de produtos à base de SH como fertilizantes orgânicos, condicionadores de solo e estimuladores fisiológicos crescesse.

2.4.1 Efeitos no solo

As SH têm influência direta na estrutura física, química e microbiológica do solo (ROCHA; ROSA, 2003; CANELLAS et al., 2005). São usadas como insumos com a finalidade de melhorar as condições do solo para o desenvolvimento, principalmente, do sistema radicular das culturas implantadas.

As SH podem incrementar a disponibilidade de P solúvel no solo. De acordo com Andrade et al. (2007), elas podem afetar a disponibilidade de P no solo das seguintes formas: bloqueando os sítios de adsorção de P dos hidróxidos de Fe e Al; competindo com os sítios de adsorção da fração mineral pelo P solúvel; e deslocando parte do P adsorvido pela fração mineral. O mecanismo de bloqueio dos sítios de adsorção ocorre através de ligações que se dão entre os grupos funcionais COOH e as hidroxilas da superfície dos óxidos de Fe e Al (HUE, 1991). Segundo Traina et al. (1986), as SH também podem solubilizar fosfatos de Fe e Al, reduzindo a precipitação de fosfatos. Tais efeitos na redução da adsorção de P aumentam os teores deste nutriente no solo e absorção pelas plantas (SELIM; EL-NEKLAWY; EL-ASHRY, 2009; EL-SAYED et al., 2011). Contudo o efeito da aplicação de SH no solo tem limitações, quanto ao tipo de produto (LITTLE et al., 2014), dose e concentração a ser aplicada (NIKBAKHT et al., 2008; LEVENTOGLU; ERDAL, 2014), teor de MO e textura do solo.

A textura do solo influencia diretamente na maior ou menor disponibilidade de P no solo (MACHADO; SOUZA, 2012). Os solos arenosos são caracterizados por

possuir baixo teor de carbono orgânico, baixa CTC e alto risco de lixiviação (SANCHEZ; LOGAN, 1992), sendo necessário na produção de batata nestes solos, maior frequência de irrigação e fornecimento de doses maiores de adubo (SHRESTHA; COOPERBAND; MACGUIDWIN, 2010). Já os solos argilosos apresentam alta capacidade de adsorção de P, a qual tem correlação positiva com o teor de argila (FALCÃO; SILVA, 2004). Assim, nos solos argilosos a adsorção de P é maior, enquanto nos solos arenosos os teores de P disponível permanecem mais elevados após a aplicação do fertilizante fosfatado (MACHADO et al., 2011). Portanto, o aumento ou redução na disponibilidade de P no solo em função da aplicação de SH pode ser variável de acordo com a textura do solo.

Além da textura, a forma como a SH é adicionada ao solo exerce influência sobre sua eficiência na redução da adsorção de P no solo. Antelo et al. (2007) observaram redução da adsorção de fosfato quando os ácidos húmicos foram aplicados anterior ou simultaneamente ao fertilizante no solo. Fu et al. (2013) obtiveram em seus estudos que a menor adsorção de fosfato foi obtida com adição prévia de SH. A formação de complexos que bloqueiam os sítios de adsorção na superfície dos óxidos de Fe e de Al, reduzindo a adsorção de P (ANTELO et al., 2007; FU et al., 2013), viabiliza aplicação da SH no sulco de plantio.

Solos com alto teor de MO neutralizam os efeitos de fertilizantes à base de ácidos orgânicos de forma que seu fornecimento não aumenta a solubilização de nutrientes no solo (SUMMERHAYS et al., 2014). Hartz e Bottoms (2010), mediante aplicação de SH, observaram melhora na atividade microbiana em solo com baixo teor de MO e nenhum efeito em solo com alto teor. Estes autores estudaram o fornecimento de fertilizante fosfatado combinado com ácido húmico em solos de baixo teor de MO (solo argilo-arenoso contendo 8 g kg⁻¹ de MO), e obtiveram efeitos positivos na atividade microbiana e de ácidos graxos de fosfolipídios, no entanto, não houve efeito no solo de alto teor de MO (solo argiloso contendo 25 g kg⁻¹ de MO).

Estudando doses de SH na cebola cultivada em solo de textura franco-argilosa, Osvald et al. (2012) constataram que ela foi ineficaz em aumentar a produtividade da cultura e absorção de nutrientes no cultivo convencional, ou causou efeitos negativos no cultivo orgânico, teoricamente, em um solo com características biológicas melhores.

Em estudo semelhante à presente pesquisa, Little et al., (2014) testaram produtos derivados da lignita (usados para fabricar SH comerciais) em pastagem, alfafa (*Medicago sativa* L.) e azavém (*Lolium multiflorum* Lam.), em solos de textura arenosa e argilosa. Estes autores observaram que, embora alguns produtos tenham incrementado o crescimento vegetal, os efeitos foram inconsistentes em ambas as plantas e tipos de solo.

2.4.2 Efeitos nas plantas cultivadas

Nos vegetais, as SH podem favorecer seu desenvolvimento, alterando tanto a parte aérea quanto o sistema radicular (RODDA et al., 2006). Alguns autores propuseram que elas promovem o crescimento da planta, melhorando a biodisponibilidade de certos nutrientes no solo (CHEN; CLAPP; MAGEN, 2004), enquanto outros sugerem que as SH podem afetar diretamente o metabolismo das plantas (NARDI et al., 2002). Essa ação estimulante é atribuída, em geral a um efeito direto dos hormônios vegetais ou ainda no comportamento hormonal das plantas, em especial ao hormônio auxina (MORA et al., 2010; TREVISAN et al., 2011).

Este efeito primário, de atuação semelhante ao hormônio auxina nas plantas, seria o principal fator biológico responsável pelos diversos efeitos benéficos sobre as plantas, como o desenvolvimento da raiz lateral que é controlado pela auxina (ZANDONADI; CANELLAS; FAÇANHA, 2007; DOBBSS et al., 2010; CANELLAS et al., 2011; CALVO; NELSON; KLOEPPER, 2014). É evidente a modificação no crescimento e arquitetura da raiz, através do desenvolvimento de raízes laterais (CANELLAS et al., 2002; ZANDONADI; CANELLAS; FAÇANHA, 2007).

O aumento na atividade de ATPases em células radiculares (CANELLAS et al., 2009) resultando em maior desenvolvimento e densidade radicular, está ligada também a absorção de nutrientes (MORA et al., 2010). A ativação das ATPases bombeadoras de prótons presentes na membrana celular leva a maior troca de íons e, assim, maior absorção de nutrientes, como nitratos, os quais favorecem o crescimento vegetativo das plantas (CANELLAS et al., 2002; MORA et al., 2010; DOBBSS et al., 2010).

Além do aumento na absorção de nutrientes, a produção de biomassa vegetal também é incrementada (EYHERAGUIBEL; SILVESTRE; MORARD, 2008;

BALDOTTO et al., 2009; MORA et al., 2010), atrelado a melhorias na biossíntese de clorofila e carotenoides e características fotossintéticas das plantas (TEJADA; GONZALEZ, 2003; BALDOTTO et al., 2009; AMERI; TEHRANIFAR, 2012; AHMAD et al., 2013; FAN et al., 2014).

Incrementos na MS da parte aérea e de raízes, bem como na absorção e acúmulo de nutrientes, devido ao uso de SH, foram observados em diversas culturas como: batata (HOPKINS; STARK, 2003; SELIM; EL-NEKLAWY; EL-ASHRY, 2009; ŞAHIN; KARAMAN; GEBOLOGLU, 2014; SUH; YOO; SUH, 2014; ABU-ZINADA; SEKH-ELEID, 2015; AZAM SHAH et al., 2016), batata-doce (EL-SAYED et al., 2011), feijão (ABBAS et al., 2013), milho (CANELLAS et al., 2002; VACCARO et al., 2015), cana-de-açúcar (CIVIERO et al., 2014), morango (AMERI; TEHRANIFAR, 2012), alface (BORCIONI; MÓGOR, 2016), pepino (MORA et al., 2010) abacaxi (BALDOTTO et al., 2010), gladiolo (AHMAD et al., 2013) e crisântemo (FAN et al., 2014). Porém, pouco se conhece sobre efeito da adição de SH na resposta da cultura da batata a adubação fosfatada em solos com diferentes texturas.

3 MATERIAL E MÉTODOS

Esta pesquisa foi desenvolvida através da condução de quatro experimentos, dois em casa de vegetação e dois em campo. Dois dos experimentos foram realizados em solo de textura arenosa (um de casa de vegetação e um de campo) e os dois demais em solo de textura argilosa.

3.1 Experimentos de casa de vegetação

3.1.1 Localização dos experimentos

Os experimentos foram conduzidos em casa de vegetação pertencente ao Departamento de Produção e Melhoramento Vegetal da Faculdade de Ciências Agrônomicas (FCA) – UNESP, campus Botucatu-SP. No interior da casa de vegetação a temperatura máxima foi mantida a 27 °C e mínima de 14 °C e fotoperíodo de 12 h.

3.1.2 Delineamento experimental e tratamentos

Foram conduzidos dois experimentos, um com solo de textura arenosa e outro com solo de textura argilosa. Em ambos experimentos, o delineamento foi em blocos casualizados em esquema fatorial 4 x 3, com três repetições. Os tratamentos consistiram de quatro doses de P (10, 50, 100 e 200 mg dm⁻³) e três doses de SH (0, 1,25 e 7,5 mL vaso⁻¹). Os experimentos foram conduzidos em vasos plásticos com dimensões de 46 x 32 x 26 cm contendo 35 L de solo, sendo que cada vaso continha uma planta e foi considerado uma unidade experimental.

3.1.3 Instalação e condução dos experimentos

Os solos de textura argilosa e arenosa foram classificados como Latossolo Vermelho distrófico (EMBRAPA, 2006). O solo arenoso foi coletado na Fazenda Experimental São Manuel, localizada no município de São Manuel-SP, e o solo argiloso foi coletado na Fazenda Experimental Lageado, localizada no município de Botucatu-SP, ambas pertencentes à FCA/UNESP. Foi retirada uma amostra de cada

solo, a qual foi submetida à análise para determinação das características químicas (RAIJ et al., 2001) e granulométricas (EMBRAPA, 2011) (Tabela 1).

Tabela 1 - Características químicas e granulométricas dos solos estudados, na profundidade 0-20 cm, antes da instalação do experimento e após a correção da acidez do solo

Características	Antes da correção		Após a correção
	Solo arenoso	Solo argiloso	Solo argiloso
pH (CaCl ₂)	5,4	4,1	5,2
MO (g dm ⁻³)	7	21	21
P _(resina) (mg dm ⁻³)	8	3	10
S (mg dm ⁻³)	3	38	62
Al (mmol _c dm ⁻³)	0	10,4	0
H+Al (mmol _c dm ⁻³)	14	73	41
K (mmol _c dm ⁻³)	0,8	0,5	0,6
Ca (mmol _c dm ⁻³)	13	6	38
Mg (mmol _c dm ⁻³)	6	3	31
SB (mmol _c dm ⁻³)	20	9	69
CTC (mmol _c dm ⁻³)	33	82	110
V (%)	59	11	63
Fe (mg dm ⁻³)	13	17	17
Cu (mg dm ⁻³)	0,5	10,1	11,4
Mn (mg dm ⁻³)	13,9	2,4	7,8
Zn (mg dm ⁻³)	0,8	0,4	0,3
B (mg dm ⁻³)	0,09	0,07	0,14
Areia (g kg ⁻¹)	874	174	-
Silte (g kg ⁻¹)	22	226	-
Argila (g kg ⁻¹)	102	600	-

Como somente o solo argiloso apresentou elevada acidez e baixa saturação por bases, foi realizada aplicação de calcário dolomítico (PRNT = 96%) em dose calculada para elevar a saturação por bases a 60% (LORENZI et al., 1997).

No dia anterior ao plantio, o solo foi adubado e as doses de P foram aplicadas a fim de alcançar os níveis de cada tratamento, utilizando a fonte de adubo superfosfato triplo (46% de P₂O₅). O solo também recebeu adubação com 150 mg dm⁻³ de K (KCl, 60% de K₂O), 30 mg dm⁻³ de N (ureia, 44% de N). Como fonte de micronutrientes, o solo recebeu 56 mg dm⁻³ do fertilizante FTE BR-12 (5 mg dm⁻³ Zn, 1 mg dm⁻³ B, 0,4 mg dm⁻³ Cu, 1,7 mg dm⁻³ Fe, 1,1 mg dm⁻³ Mn, e 0,06 mg dm⁻³ Mo).

Os tubérculos-semente tipo III (30 a 50 mm de diâmetro) da cultivar comercial Agata, foram imersos por 5 minutos em solução contendo o fungicida mancozebe ($3,7 \text{ g L}^{-1}$) e o fungicida/bactericida casugamicina ($0,02 \text{ g L}^{-1}$), em seguida foi realizado o plantio no dia 26/08/15, a profundidade de 12 cm.

Como fonte de SH foi utilizado o produto comercial Humic HF[®] (Agrolatino[®] Condicionadores de Solo & Fertilizantes Especiais, Rincão-SP), caracterizado como um fertilizante organomineral, fonte de ácidos húmicos e fúlvicos, que apresenta em sua composição química $15,45 \text{ g L}^{-1}$ de N, $15,45 \text{ g L}^{-1}$ de K_2O , $30,9 \text{ g L}^{-1}$ de carbono orgânico total e MO composta por hidróxido de potássio, ureia, turfa e água. A SH foi aplicada nas doses correspondentes a cada tratamento, sobre o tubérculo-semente depositado na cova de plantio e na sequência, os tubérculos foram enterrados.

Foi determinada a máxima capacidade de retenção de água do solo por meio da diferença de peso dos vasos com solo seco e molhado (após encharcar e escoar a água) para regular a reposição de água. A disponibilidade de água no solo de cada vaso foi quantificada com tensiômetros de mercúrio instalados no dia do plantio à profundidade de 10 cm. As irrigações foram realizadas a fim de manter a tensão média de água no solo entre 5 e 10 kPa (MAROUELLI et al., 1998).

As plantas emergiram 13 dias após o plantio. Oito dias após a emergência (DAE), foi realizado o corte das hastes, deixando-se apenas duas hastes por planta. A adubação nitrogenada de cobertura foi realizada aplicando-se 80 mg dm^{-3} de N (sulfato de amônio, 20% de N) de forma parcelada, com a primeira aplicação 10 DAE, seguida da operação de amontoa; e a segunda 40 DAE. O manejo fitossanitário foi realizado segundo recomendações técnicas para a cultura, de forma preventiva com o fungicida clorotalonil ($24 \text{ mg i.a. vaso}^{-1}$) e inseticida tiametoxam ($0,34 \text{ mg i.a. vaso}^{-1}$) aos 16 e 30 DAE, fungicida metiram + piraclostrobina ($31,2 + 3,1 \text{ mg i.a. vaso}^{-1}$) e inseticida abamectina ($0,31 \text{ mg i.a. vaso}^{-1}$) aos 23 e 37 DAE. O experimento foi desmontado e as plantas coletadas 52 DAE, ocasião em que atingiram o máximo crescimento vegetativo e radicular.

3.1.4 Avaliações

a) Teores de nutrientes na folha diagnose

Aos 30 DAE retirou-se a terceira folha a partir do tufo apical em cada unidade experimental (LORENZI et al., 1997) e o material amostrado foi lavado, seco em

estufa com circulação forçada de ar a 65 °C, por 72 h, moído e utilizado para a determinação do teor de N, P, K, Ca, Mg, S, Cu, Fe, Zn e Mn (MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1997).

b) Altura da planta

A altura da planta foi mensurada com fita métrica, tomando como base a superfície do solo e, como ponto mais alto da haste, a gema apical.

c) Número de folhas

A determinação desta variável foi realizada contando-se o número de folhas totalmente expandidas.

d) Área foliar

A determinação da área foliar foi realizada após coleta de todas as folhas de cada unidade experimental, e análise em integrador de área foliar de bancada LICOR, modelo 3100C.

e) Número de tubérculos, peso de tubérculos fresco, quantidade de matéria seca (MS) acumulada nas raízes, parte aérea, tubérculos e total

Os tubérculos foram separados da planta, lavados, contados e em seguida pesados para obtenção do peso de tubérculos fresco. Estes mesmos tubérculos, as raízes e a parte aérea (hastes, folhas e estolões), foram secos em estufa com circulação forçada de ar, a 65 °C, por 96 h, e pesados para a determinação da MS. A MS total foi calculada pelo somatório dos valores obtidos na raiz, parte aérea e tubérculos.

f) Comprimento, área superficial, volume e diâmetro médio radicular

As raízes foram separadas da parte aérea e lavadas em água corrente sobre peneiras com malha de 0,5 mm. Do material lavado e separado foi tomada uma amostra de aproximadamente 30% do sistema radicular, sendo acondicionado em

coletor universal, em etanol 70%, e em seguida levado à geladeira à temperatura de 4 °C, onde foi mantida até o momento da avaliação.

Para as análises, evitando-se a sobreposição, as raízes foram espalhadas em uma cuba de acrílico preenchida por uma lâmina de água destilada. Procedeu-se à captura das imagens por meio de scanner tridimensional, desenvolvido para este fim, acoplado a um computador dotado do Software WinRhizo versão 3.2, que utiliza como princípio a metodologia proposta por Tennant (1975). Determinou-se as seguintes características: comprimento radicular ($m\ planta^{-1}$), área superficial radicular ($cm^2\ planta^{-1}$), volume radicular ($cm^3\ planta^{-1}$) e diâmetro médio radicular (mm).

g) Teores e acúmulos de nutrientes na planta

O mesmo material utilizado para determinação da MS foi moído em moinho tipo Wiley com peneira de 1 mm e amostras desse material foram submetidas à análise dos teores de N, P, K, Ca, Mg, S, Cu, Fe, Zn e Mn (MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1997). As quantidades de nutrientes acumuladas na planta foram obtidas multiplicando-se a quantidade de MS pelo respectivo teor de nutriente e realizada a somatória.

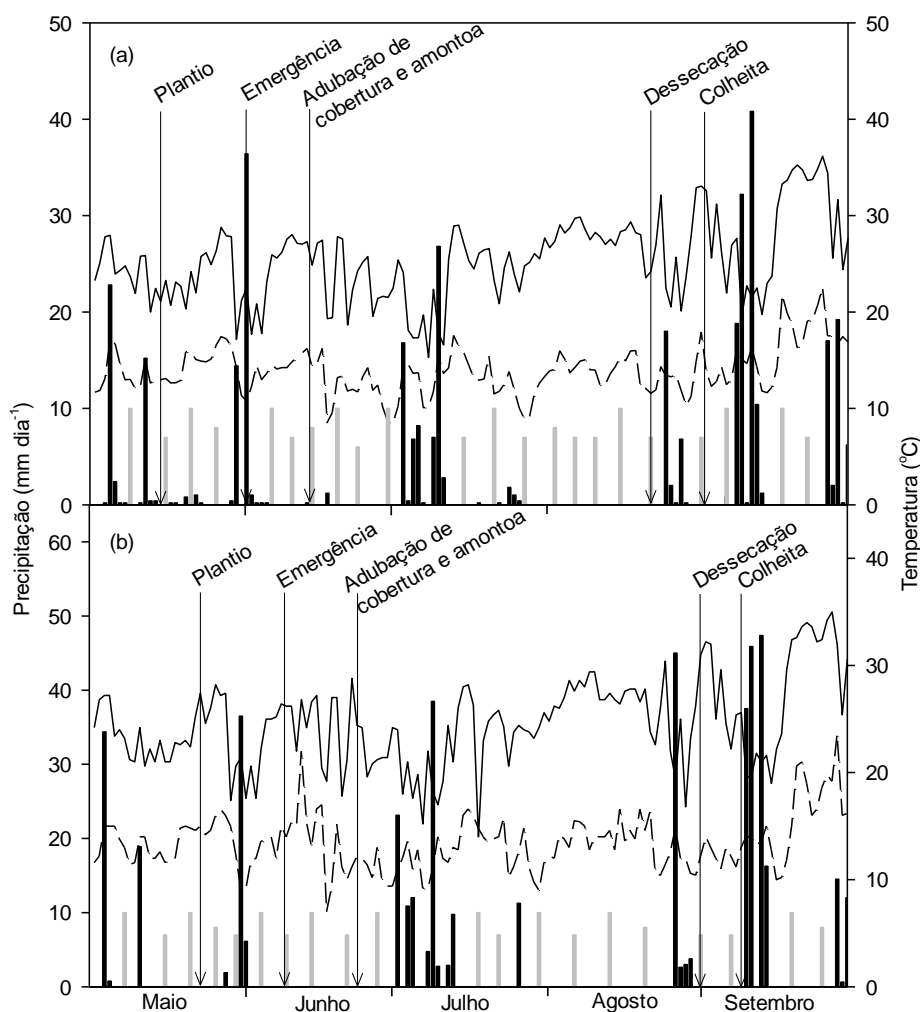
3.2 Experimentos de campo

3.2.1 Localização dos experimentos

O experimento desenvolvido em solo arenoso foi realizado na Fazenda Experimental de São Manuel, município de São Manuel-SP, nas coordenadas geográficas 22°46' S de latitude e 48°34' W de longitude e altitude de 740 m. O experimento no solo argiloso foi realizado na Fazenda Experimental Lageado, Botucatu-SP, com as coordenadas geográficas 22°51' S de latitude e 48°26' W de longitude e altitude de 786 m.

A precipitação pluvial, irrigação e as temperaturas máximas e mínimas registradas durante a condução dos experimentos estão apresentadas na Figura 1.

Figura 1 - Precipitação pluviométrica (■), irrigação (■), temperatura mínima (---) e temperatura máxima diária (—) entre maio e setembro de 2015 em São Manuel (a) e Botucatu (b)



3.2.2 Delineamento experimental e tratamentos

O delineamento experimental foi em blocos casualizados em esquema fatorial 4 x 3, com quatro repetições. Os tratamentos consistiram de quatro doses de P (0, 100, 200 e 400 kg ha⁻¹ de P₂O₅) e três doses da SH (0, 50 e 300 L ha⁻¹). As parcelas experimentais foram constituídas por cinco fileiras de 5 m de comprimento. Para as avaliações foram consideradas as fileiras centrais desprezando 0,5 m na extremidade de cada fileira de plantas e uma fileira de cada lado da parcela experimental.

3.2.3 Instalação e condução dos experimentos

Foram coletadas amostras de solo na camada de 0,0-0,20 m de profundidade, e analisadas para a determinação do teor de nutrientes (RAIJ et al., 2001) e características granulométricas (EMBRAPA, 2011) (Tabela 2).

Tabela 2 - Características químicas e granulométricas dos solos, na profundidade 0-20 cm, antes da instalação do experimento

Solo	pH(CaCl ₂)	MO	P _(resina)	S	K	Ca	Mg	Al	H+Al	CTC	SB	V
		g dm ⁻³	mg dm ⁻³	—	—	—	—	mmol _c dm ⁻³	—	—	—	%
Arenoso	5,4	7	8	3	0,8	13	6	0	14	33	20	59
Argiloso	5,1	26	13	4	2,2	46	22	0	39	109	70	64
	B	Cu	Fe	Mn	Zn	Areia	Silte	Argila				
	mg dm ⁻³					g kg ⁻¹						
Arenoso	0,09	0,5	13	13,9	0,8	874	22	102				
Argiloso	0,44	4,3	26	8,1	1,8	280	90	630				

Os solos das áreas experimentais foram manejados de forma convencional com duas gradagens pesadas e uma leve antes do plantio. Nos dias 14/05 e 22/05/2015 foram instalados os experimentos em São Manuel (solo arenoso) e Botucatu (solo argiloso), respectivamente.

Para o plantio, os sulcos foram abertos mecanicamente no espaçamento de 0,80 m entre fileiras e, em seguida, realizou-se a distribuição do fertilizante manualmente, de acordo com os tratamentos. As doses de P foram aplicadas a fim de alcançar os níveis definidos para cada tratamento, utilizando a fonte de adubo superfosfato triplo (46% de P₂O₅). A adubação de plantio em ambos experimentos foi realizada com 80 kg ha⁻¹ de N (ureia, 44% de N) e 150 kg ha⁻¹ de K₂O (cloreto de potássio, 60% de K₂O) e 200 kg ha⁻¹ de gesso agrícola. Como fonte de micronutrientes o solo recebeu 50 kg ha⁻¹ do fertilizante FTE BR-12 (4,5 kg ha⁻¹ de Zn, 0,9 kg ha⁻¹ de B, 0,4 kg ha⁻¹ de Cu, 1,5 kg ha⁻¹ de Fe, 1,0 kg ha⁻¹ de Mn, e 0,5 kg ha⁻¹ de Mo).

Em seguida, os fertilizantes foram incorporados ao solo, com auxílio de enxada, e os tubérculos-semente (tipo III) foram distribuídos manualmente, no espaçamento de 0,30 m entre eles. Foi aplicado no sulco de plantio o bactericida/fungicida casugamicina (0,02 g L⁻¹) e o inseticida tiametoxam (0,3 g L⁻¹). A SH foi aplicada sobre os tubérculos-semente com auxílio de pulverizador costal

nas doses correspondentes a cada tratamento e, na sequência, os sulcos foram cobertos com auxílio de enxadas.

Constatou-se que todas as plantas emergiram aos 16 e 17 DAP em São Manuel e Botucatu, respectivamente. A adubação de cobertura foi realizada 30 dias após o plantio em ambos experimentos, com 80 kg ha⁻¹ de N (sulfato de amônio, 20% de N) e 100 kg ha⁻¹ de K₂O (cloreto de potássio, 60% de K₂O). Na sequência foi realizada a amontoa.

O controle de plantas invasoras foi realizado com capina manual, quando necessário. O manejo fitossanitário preventivo foi realizado semanalmente a partir de 34 DAP, com inseticidas e fungicidas: acetamiprido (300 g i.a. ha⁻¹), clorfenapir (300 g i.a. ha⁻¹), abamectina (10 g i.a. ha⁻¹), clorpirifós (530 g i.a. ha⁻¹), casugamicina (35 g i.a. ha⁻¹), metiram (1500 g i.a. ha⁻¹), mancozebe (1500 g i.a. ha⁻¹), cloridrato de propamocabe (100 g i.a. ha⁻¹), oxicloreto de cobre (360 g i.a. ha⁻¹). A irrigação das áreas experimentais foi realizada com sistema de aspersão convencional, de acordo com as necessidades hídricas da cultura.

As plantas de batata de ambos experimentos foram dessecadas com herbicida paraquate (400 g i.a. ha⁻¹) aos 96 e 98 DAP em São Manuel e Botucatu, respectivamente. A colheita de tubérculos foi realizada aos 108 e 102 DAP em São Manuel e Botucatu, respectivamente.

3.2.4 Avaliações

a) Teores de nutrientes na folha diagnose

Aos 50 e 45 DAP em São Manuel e Botucatu, respectivamente, coletou-se a terceira folha a partir do tufo apical (LORENZI et al., 1997) em dez plantas da fileira central da parcela. O material amostrado foi lavado, seco em estufa com circulação forçada de ar a 65 °C, por 72 h, moído e utilizado para a determinação do teor de N, P, K, Ca, Mg, S, Cu, Fe, Zn e Mn (MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1997).

b) Quantidade de MS acumulada na parte aérea, tubérculos e total, teor e extração de nutrientes

Para determinar o acúmulo de MS e a extração de nutrientes pela cultura, foram coletadas cinco plantas ao acaso na área útil de cada parcela experimental no

final do ciclo, antes da dessecação, período no qual a cultura atinge o acúmulo máximo de MS e de nutrientes (FERNANDES et al., 2010; FERNANDES; SORATTO; SILVA, 2011). Depois de colhidas, as plantas foram lavadas, separadas em parte aérea (hastes, folhas e estolões) e tubérculos e submetidas à secagem em estufa com circulação forçada de ar a 65 °C, por 96 h. Após a secagem, as amostras foram pesadas para obtenção da MS e moídas em moinho tipo Wiley, com peneira de 1 mm. Esta porção triturada foi utilizada para a determinação do teor de N, P, K, Ca, Mg, S, Cu, Fe, Zn e Mn (MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1997). As quantidades totais de nutrientes extraídas foram obtidas pela multiplicação do teor de nutrientes pela quantidade de MS acumulada em cada parte da planta e realizada a somatória.

c) Número, produtividade e classificação dos tubérculos produzidos

Na colheita foram coletados tubérculos de 10 plantas da área útil de cada unidade experimental. Estes foram lavados, contados e classificados segundo o diâmetro em quatro classes: especial (tubérculos com diâmetro maior que 45 mm), primeira (tubérculos com diâmetro entre 33 e 45 mm), segunda (tubérculos com diâmetro entre 23 e 33 mm) e miúda (tubérculos com diâmetro inferior a 23 mm). Após classificados os tubérculos foram pesados para determinação da produtividade de tubérculos por classe. A partir do somatório de todas as classes foi determinada a produtividade total de tubérculos e a produtividade comercial de tubérculos foi obtida pelo somatório das classes especial, primeira e segunda.

d) Teores e exportações de nutrientes pelos tubérculos

Uma amostra dos tubérculos da colheita final de cada tratamento, foi seca em estufa com circulação forçada de ar a 65 °C, por 96 h, para análise do teor de nutrientes (MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1997). A exportação de nutrientes foi estimada mediante a multiplicação do teor pela quantidade de MS acumulada nos tubérculos colhidos, sendo os dados expressos em quantidade de nutrientes exportados por área.

3.3 Análise estatística

Tanto nos experimentos desenvolvidos em casa de vegetação, quanto em campo, os dados obtidos foram submetidos à análise de variância, sendo as médias das doses de SH comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Os efeitos das doses de P foram avaliados por meio de análise de regressão, adotando-se como critério para escolha do modelo, a magnitude dos coeficientes de regressão significativos a 5% de probabilidade pelo teste F. O software estatístico utilizado foi o SISVAR (FERREIRA, 2011).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Experimentos de casa de vegetação

4.1.1 Teores de nutrientes na folha diagnose

Com base na análise foliar, apenas a adubação fosfatada influenciou os teores de alguns macro e micronutrientes na folha diagnose da batata cultivada tanto no solo arenoso, quanto argiloso (Tabela 3). Dentre os macronutrientes, apenas o teor de P e Ca foram influenciados pela adubação fosfatada, em ambos os solos. No solo de textura arenosa, o teor de P na folha diagnose aumentou até a dose estimada de 170 mg dm^{-3} de P (Figura 2a), enquanto no solo argiloso o teor de P aumentou expressivamente apenas até a dose de 50 mg dm^{-3} de P e manteve-se estável em doses superiores (Figura 3a). Em ambos os solos, apenas na menor dose de P (10 mg dm^{-3}) o teor deste nutriente ficou abaixo do recomendado para cultura, que vai de 2,5 a $5,0 \text{ g kg}^{-1}$ (LORENZI et al., 1997) e aumentou até a faixa adequada com aplicação de doses maiores de adubo fosfatado. Da mesma forma, o teor foliar de P foi maior na batata cultivada em solo com alta disponibilidade de P, em relação ao solo com disponibilidade limitada, no experimento de Fernandes, Soratto e Pilon (2015).

A adubação fosfatada promoveu aumento linear no teor de Ca na folha diagnose da batateira cultivada em solo arenoso (Figura 2b). Contudo, o teor ficou dentro da faixa considerada adequada, entre 10 e 20 g kg^{-1} (LORENZI et al., 1997), apenas na maior dose de P (200 mg dm^{-3}), embora não tenha sido detectado visualmente sintomas de deficiência. No solo argiloso, o incremento no teor de Ca foi menos expressivo e apenas até a dose de 100 mg dm^{-3} de P, além de terem ficado dentro da faixa considerada adequada para a cultura independentemente das doses de P (Figura 3b).

Os macronutrientes N, K, Mg e S não foram influenciados pela adubação fosfatada em ambos os solos e apresentaram teores adequados para cultura, de acordo com Lorenzi et al. (1997), com valores de 45 e 48 g kg^{-1} de N, 61 e 62 g kg^{-1} de K, 3,7 e $5,0 \text{ g kg}^{-1}$ de Mg, no solo arenoso e argiloso, respectivamente (Tabela 3). Apenas o teor de S ficou abaixo do considerado adequado para batata, com valores entre 1,4 e $1,8 \text{ g kg}^{-1}$ de S. Fernandes, Soratto e Pilon (2015) também observaram

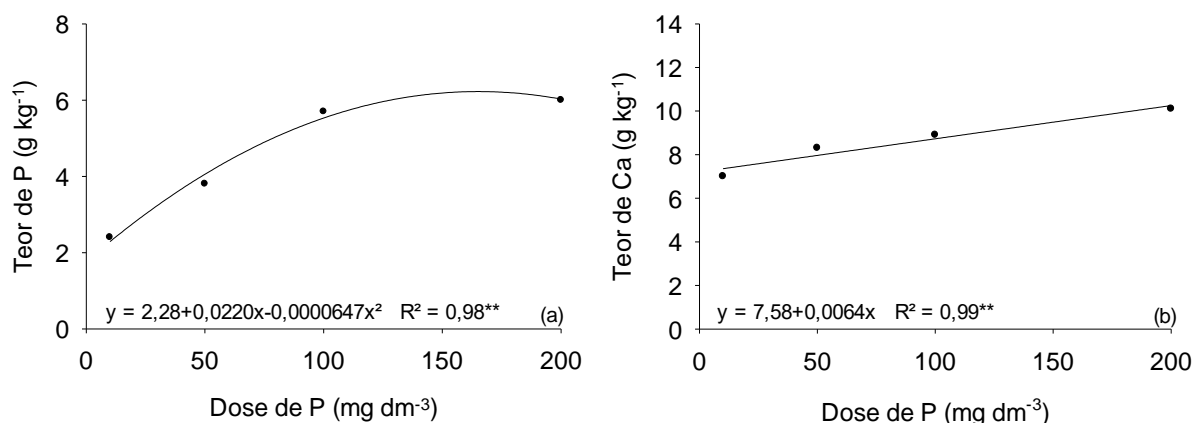
que não houve efeito da adubação fosfatada sobre os teores N, K, Ca, Mg e S em diferentes cultivares de batata.

Tabela 3 - Teores de nutrientes (N, P, K, Ca, Mg, S, Cu, Fe, Mn e Zn) na folha diagnose da cultura da batata, cultivada em solos de textura arenosa e argilosa, em resposta à adição de substância húmica e adubação fosfatada

Tratamento	N	P	K	Ca	Mg	S	Cu	Fe	Mn	Zn
	g kg ⁻¹					mg kg ⁻¹				
SH (mL vaso ⁻¹)						Solo arenoso				
0	47,7a	4,5a	56,9a	8,5a	3,7a	1,9a	12,1a	207,0a	540,3a	73,3a
1,25	47,2a	4,6a	63,7a	8,8a	3,7a	1,9a	11,5a	165,2a	527,4a	76,2a
7,50	49,8a	4,4a	62,4a	8,8a	3,7a	1,7a	11,9a	183,8a	477,6a	81,2a
FV						(P > F)				
Dose de SH	0,235	0,692	0,071	0,759	0,961	0,594	0,763	0,514	0,767	0,846
Dose de P	0,177	<0,001	0,427	<0,001	0,230	0,896	0,108	0,136	0,588	0,067
SH x P	0,450	0,705	0,250	0,189	0,186	0,121	0,168	0,228	0,428	0,406
CV (%)	7,8	15,1	11,9	13,2	17,9	24,1	17,8	47,3	43,0	43,8
SH (mL vaso ⁻¹)						Solo argiloso				
0	45,1a	3,4a	60,5a	13,7a	6,7a	1,4a	22,4a	138,8a	44,4a	17,9a
1,25	44,9a	3,6a	61,7a	14,4a	6,7a	1,3a	22,5a	107,9a	44,7a	18,5a
7,50	44,4a	3,9a	61,4a	15,2a	6,7a	1,4a	23,8a	101,1a	47,1a	17,8a
FV						(P > F)				
Dose de SH	0,853	0,247	0,936	0,156	0,999	0,869	0,334	0,141	0,749	0,928
Dose de P	0,180	<0,001	0,909	0,008	0,699	0,269	0,037	0,005	0,297	0,463
SH x P	0,352	0,828	0,941	0,592	0,717	0,240	0,728	0,400	0,261	0,936
CV (%)	6,6	17,5	13,5	12,6	14,4	28,3	10,9	38,5	20,9	27,3

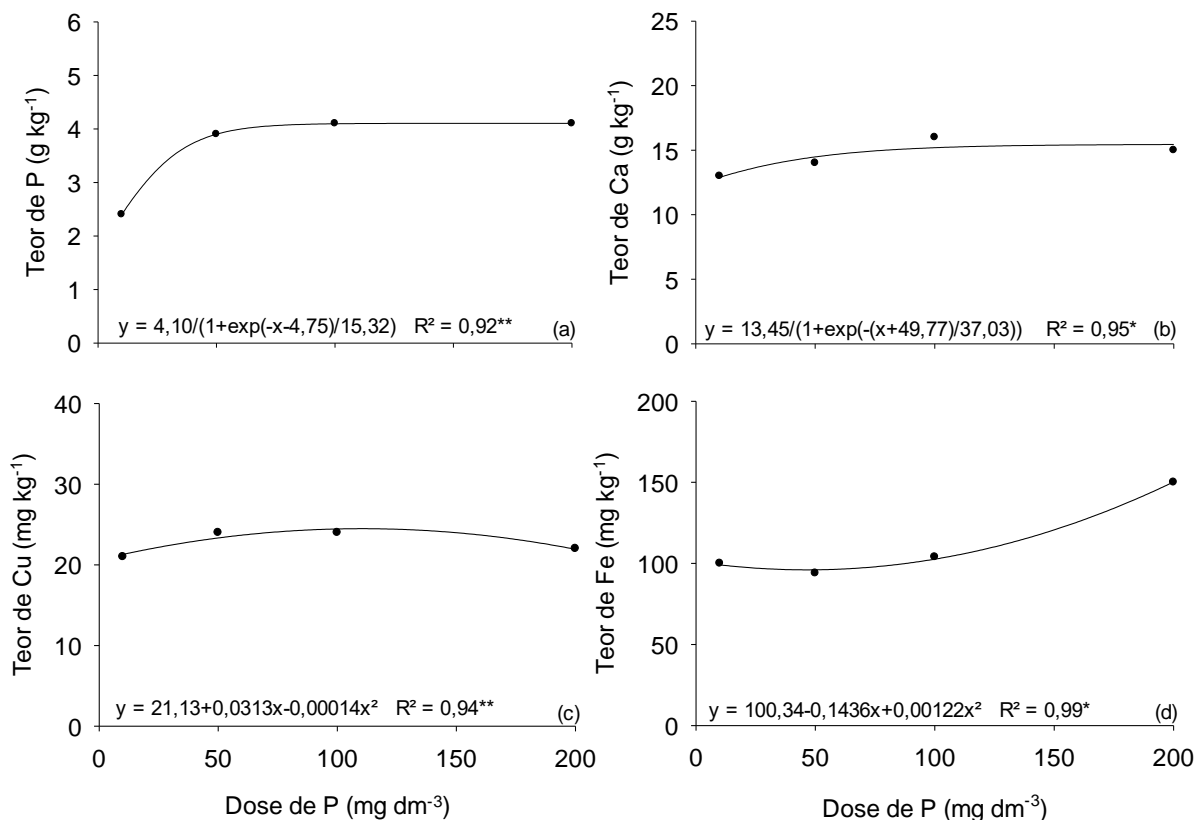
SH: substância húmica. P: fósforo. SH x P: interação. FV: fonte de variação. Médias seguidas de letras distintas na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

Figura 2 - Teores de P (a) e Ca (b) na folha diagnose da cultura da batata cultivada em solo de textura arenosa, em resposta à adição de substância húmica e adubação fosfatada



Legenda:(●) média de três doses de substância húmica; * $p \leq 0,05$ e ** $p \leq 0,01$ pelo teste F.

Figura 3 - Teores de P (a), Ca (b), Cu (c) e Fe (d) na folha diagnose da cultura da batata cultivada em solo de textura argilosa, em resposta à adição de substância húmica e adubação fosfatada



Legenda: (●) média de três doses de substância húmica; * $p \leq 0,05$ e ** $p \leq 0,01$ pelo teste F.

Não houve efeito dos fatores estudados sobre os teores Cu, Fe, Mn e Zn na batata cultivada no solo arenoso (Tabela 3). O teor médio de Cu foi 12 mg kg⁻¹ e está dentro do intervalo, que vai de 7 a 20 mg kg⁻¹ de Cu, considerado adequado para batateira (LORENZI et al., 1997). Os micronutrientes Fe, Mn e Zn apresentaram teores médios de 185, 515 e 77 mg kg⁻¹, respectivamente, e ficaram acima dos que são recomendados para a batata, que compreende a faixa entre 50 a 100 mg kg⁻¹ de Fe, 30 a 250 mg kg⁻¹ de Mn, 20 a 60 mg kg⁻¹ de Zn de acordo com Lorenzi et al. (1997). É possível que a aplicação de fungicidas contendo Mn e Zn em sua composição e os elevados teores de Fe e Mn no solo (RAIJ et al., 1997) tenham favorecido os teores elevados.

No solo de textura argilosa, o teor de Cu aumentou de forma pouco expressiva até a dose estimada de 110 mg dm⁻³ de P, e manteve-se dentro da faixa considerada adequada por Lorenzi et al. (1997), entre 7 e 20 mg kg⁻¹ de Cu (Figura

3c). Fernandes, Soratto e Pilon (2015) observaram aumento no teor de Cu na folha diagnose da batata cultivar Agata, a mesma utilizada neste experimento, porém não foi significativo, no cultivo com alta disponibilidade de P no solo, em relação ao cultivo sob baixa disponibilidade.

O teor de Fe foi reduzido até a dose estimada de 60 mg dm^{-3} de P e aumentou expressivamente em doses superiores, ficando acima do recomendado para cultura na maior dose de P (Figura 3d). O teor de Mn não foi influenciado pelos fatores e apresentou valor médio de 18 mg kg^{-1} de Mn, abaixo do adequado para batateira. O teor de Zn também não foi influenciado pelos fatores e ficou dentro da faixa considerada adequada para cultura, com teor médio de 45 mg kg^{-1} de Zn.

4.1.2 Altura da planta, número de folhas e área foliar

No solo arenoso, a altura da planta foi influenciada apenas pela interação entre os fatores SH x P, enquanto o número de folhas por planta e a área foliar foram influenciados pela aplicação de SH e pela interação SH x P (Tabela 4). Na menor dose de P, 10 mg dm^{-3} , a aplicação de $7,5 \text{ mL vaso}^{-1}$ de SH reduziu significativamente a altura das plantas, número de folhas por planta e área foliar, em relação a aplicação de $1,25 \text{ mL vaso}^{-1}$ de SH e a testemunha (sem adição de SH) (Figura 4). Embora Sanli, Karadogan e Tonguc (2013), ao estudar doses de leonardita (forma concentrada de ácidos húmicos e fúlvicos), tenham observado incremento na altura de cultivares de batata até a maior dose (600 kg ha^{-1}); no presente estudo, a maior dose de SH ($7,5 \text{ mL vaso}^{-1}$, equivalente a 300 L ha^{-1}) reduziu significativamente o crescimento da batateira sob suprimento limitado de P. É possível que a dose mais elevada de SH tenha limitado o crescimento da planta em função do desequilíbrio na absorção de nutrientes, pois as absorções de N e de micronutrientes são estimuladas em doses mais baixas e diminui à medida que a dose de SH aumenta ou também devido a um efeito fitohormonal tóxico (AYUSO et al., 1996). Da mesma forma, Leventoglu e Erdal (2014) observaram que altas doses de SH (até 2000 mg kg^{-1}) reduziu a quantidade de MS acumulada na cultura do milho. O crescimento da planta aumentou progressivamente com concentrações crescentes de ácido húmico na faixa de $50\text{-}500 \text{ mg kg}^{-1}$, mas diminuiu quando as concentrações excederam $500\text{-}1000 \text{ mg kg}^{-1}$, no experimento de Atiyeh et al. (2002) com milho.

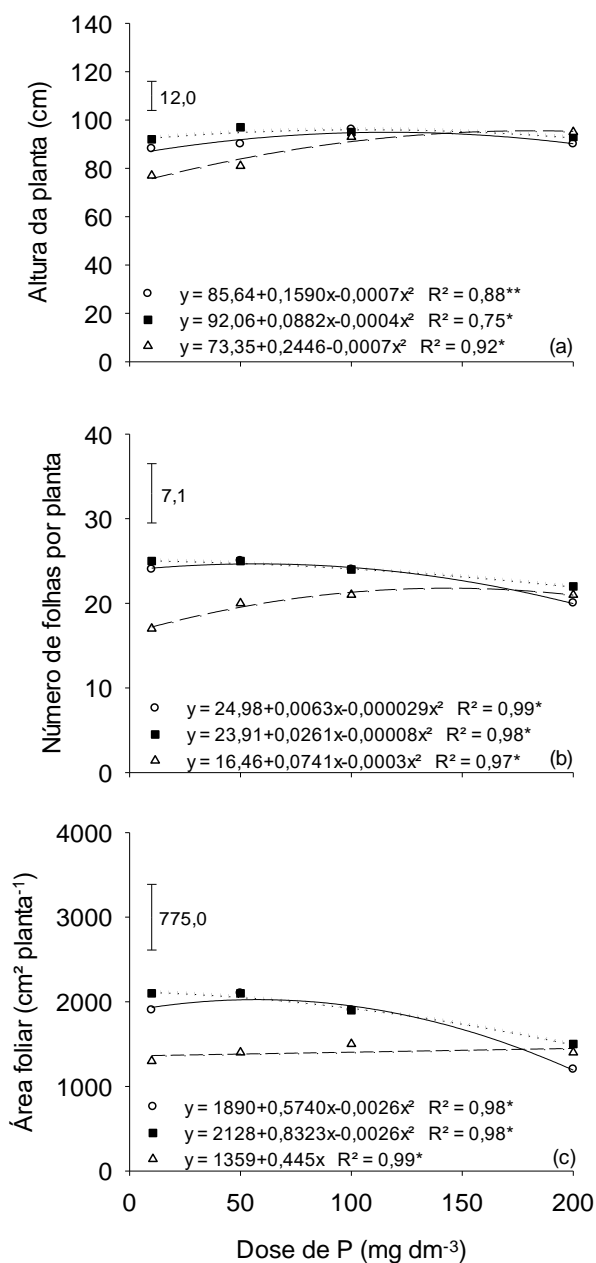
Tabela 4 - Altura da planta, número de folhas e área foliar da cultura da batata, cultivada em solos de textura arenosa e argilosa, em resposta à adição de substância húmica e adubação fosfatada

Tratamento	Altura da planta cm	Número de folhas no. planta ⁻¹	Área foliar cm ² planta ⁻¹
Solo arenoso			
SH (mL vaso ⁻¹)			
0	86,4a	21,4a	1.598ab
1,25	93,9a	23,8a	1.939a
7,50	86,8a	13,6b	940b
FV	(P > F)		
Dose de SH	0,088	<0,001	0,023
Dose de P	0,149	0,385	0,848
SH x P	0,046	<0,001	0,026
CV (%)	10,0	26,2	32,5
Solo argiloso			
SH (mL vaso ⁻¹)			
0	99,4a	30,6a	2.806a
1,25	97,2a	34,8a	3.207a
7,50	91,4a	39,0a	3.647a
FV	(P > F)		
Dose de SH	0,127	0,215	0,074
Dose de P	<0,001	<0,001	<0,001
SH x P	0,756	0,700	0,305
CV (%)	9,9	32,6	26,4

SH: substância húmica. P: fósforo. SH x P: interação. FV: fonte de variação. Médias seguidas de letras distintas na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

A adubação fosfatada elevou de forma pouco expressiva a altura da planta, número de folhas e área foliar da batata, especialmente na ausência ou com a aplicação da menor dose de SH (1,25 mL vaso⁻¹) (Figura 4). Houve também pequena redução no crescimento vegetativo da planta na dose mais alta de P. Na presença da aplicação de 7,5 mL vaso⁻¹ de SH, as doses de P incrementaram as referidas variáveis até doses estimadas que variaram de 124 a 200 mg dm⁻³ de P₂O₅. Embora o suprimento adequado de P promova o desenvolvimento mais rápido do dossel, incluindo o tamanho das folhas, o número final de folhas nem sempre é afetado (JENKINS; ALI, 1999). Diferente do que foi observado no presente estudo, na pesquisa de Zelalem, Tekalign e Nigussie (2009), o fornecimento de 20 kg ha⁻¹ de P para a batateira foi suficiente para aumentar a altura da planta, embora incrementos significativos não tenham sido observados em doses superiores (40 e 60 kg ha⁻¹ de P), sem efeitos também no número de hastes por planta.

Figura 4 - Altura da planta (a), número de folhas (b) e área foliar (c) da cultura da batata cultivada em solo de textura arenosa, em resposta à adição de substância húmica e adubação fosfatada



Legenda: Doses de substância húmica: (○) 0 mL vaso⁻¹, (■) 1,25 mL vaso⁻¹ e (△) 7,5 mL vaso⁻¹.
 * $p \leq 0,05$ e ** $p \leq 0,01$ pelo teste F. Barras verticais indicam o valor de DMS pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Não houve efeito da SH ou interação SH x P na altura da planta, número de folhas e área foliar da batateira cultivada no solo de textura argilosa (Tabela 4). Da mesma forma, Hartz e Bottoms (2010), estudando o efeito de ácidos húmicos comerciais associados à fertilização fosfatada, observaram que a SH exerceu efeito sobre a MS da alface em apenas um, dos quatro solos estudados, embora a

adubação fosfatada tenha influenciado o crescimento da planta em todos. Estes autores observaram que o fertilizante fosfatado combinado com ácido húmico em solos de baixo teor de MO (solo argilo-arenoso contendo 8 g kg⁻¹ de MO) resultou em efeitos positivos na atividade microbiana; no entanto, não houve efeito no solo com alto teor de MO (solo argiloso contendo 25 g kg⁻¹ de MO). No presente estudo, o solo de textura arenosa apresentou 7 g dm⁻³ de MO, enquanto o argiloso, 21 g dm⁻³ de MO (Tabela 1), o que pode explicar a ausência de resposta a aplicação de SH.

Apenas o fator dose de P influenciou a altura da planta, número de folhas por planta e área foliar da batata cultivada no solo argiloso (Tabela 4 e Figura 5). A altura da planta aumentou de forma pouco expressiva até a dose de 50 mg dm⁻³ de P e estabilizou nas maiores doses (Figura 5a). O número de folhas por planta e a área foliar foram aumentados linearmente com o incremento da adubação fosfatada, com acréscimo de aproximadamente 150% em relação à menor dose de P, independentemente da adição de SH ou não (Figuras 3b e 3c). O incremento na adubação fosfatada favorece o desenvolvimento dos ramos laterais e comprimento médio, número de folhas e área foliar da batateira (FLEISHER et al., 2013). Fernandes, Soratto e Gonsales (2014) observaram redução em até 72% na área foliar da batata em solução nutritiva com suprimento limitado de P, em relação ao fornecimento adequado.

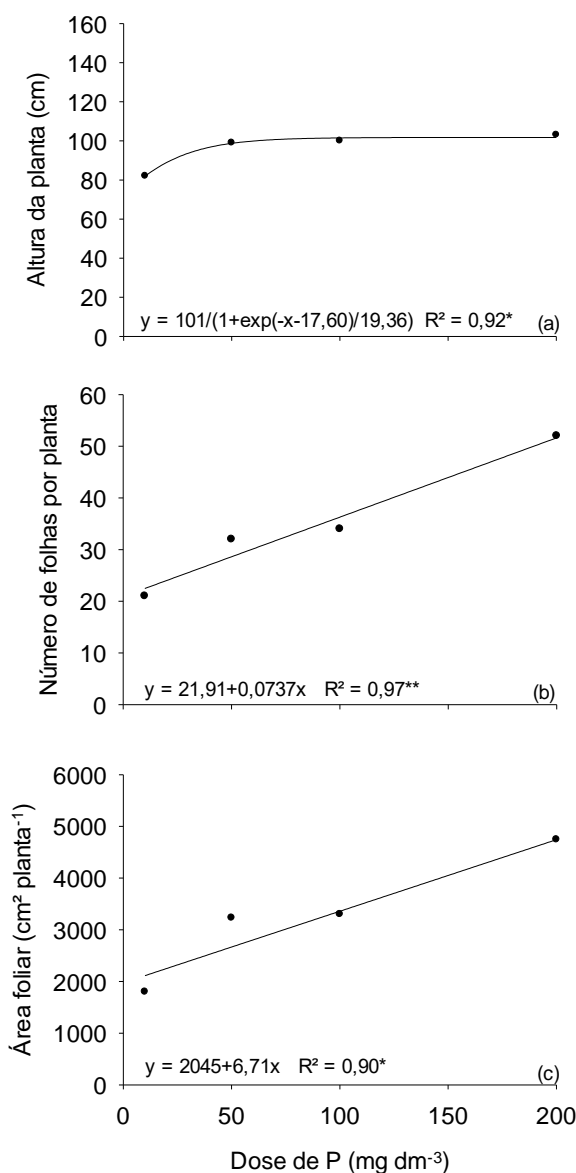
4.1.3 Número de tubérculos, peso de tubérculos fresco, quantidade de MS acumulada nas raízes, parte aérea, tubérculos e total

Em ambos os solos, o número de tubérculos por planta foi afetado apenas pelas doses de P e respondeu positivamente até doses próximas de 100 mg dm⁻³ de P, independentemente da aplicação de SH (Tabela 5 e Figuras 6a e 7a). Estes resultados confirmam que um adequado suprimento de P é fundamental para aumentar o número de tubérculos da batateira, como já havia sido observado por Rosen e Bierman (2008) e Fernandes e Soratto (2016a; 2016b).

O peso fresco de tubérculos por planta foi afetado pela dose de P e pela interação SH x P, no solo arenoso, e apenas pela dose de P, no solo argiloso (Tabela 5). No solo arenoso, sob a presença das menores doses de P (10 e 50 mg dm⁻³), o fornecimento de 1,25 mL vaso⁻¹ de SH, aumentou significativamente o peso fresco de tubérculos em relação à aplicação de 7,5 mL vaso⁻¹ de SH (Figura 6b). A

área foliar interfere no crescimento dos tubérculos, devido principalmente, a maior ou menor atividade fotossintética na folhagem. Nota-se que a aplicação de 1,25 mL vaso⁻¹ de SH também proporcionou maior área foliar, nos tratamentos com as menores doses de P (Figura 4c), semelhante ao observado para o peso fresco de tubérculos por planta (Figura 6b). Este efeito também pode ser atribuído ao aumento na biossíntese de clorofila (AHMAD et al., 2013; FAN et al., 2014), estrutura dos cloroplastos e características fotossintéticas (FAN et al., 2014), que associados à maior área foliar, podem ter promovido maior produção e alocação de fotoassimilados nos tubérculos.

Figura 5 - Altura da planta (a), número de folhas (b) e área foliar (c) da cultura da batata cultivada em solo de textura argilosa, em resposta à adição de substância húmica e adubação fosfatada



Legenda: (●) média de três doses de substância húmica; * $p \leq 0,05$ e ** $p \leq 0,01$ pelo teste F.

Tabela 5 - Número de tubérculos por planta (NT), peso de tubérculos fresco por planta (PTF), matéria seca das raízes (MSR), tubérculos (MST), parte aérea (MSPA) e total (MSTotal) da cultura da batata, cultivada em solos de textura arenosa e argilosa, em resposta à adição de substância húmica e adubação fosfatada

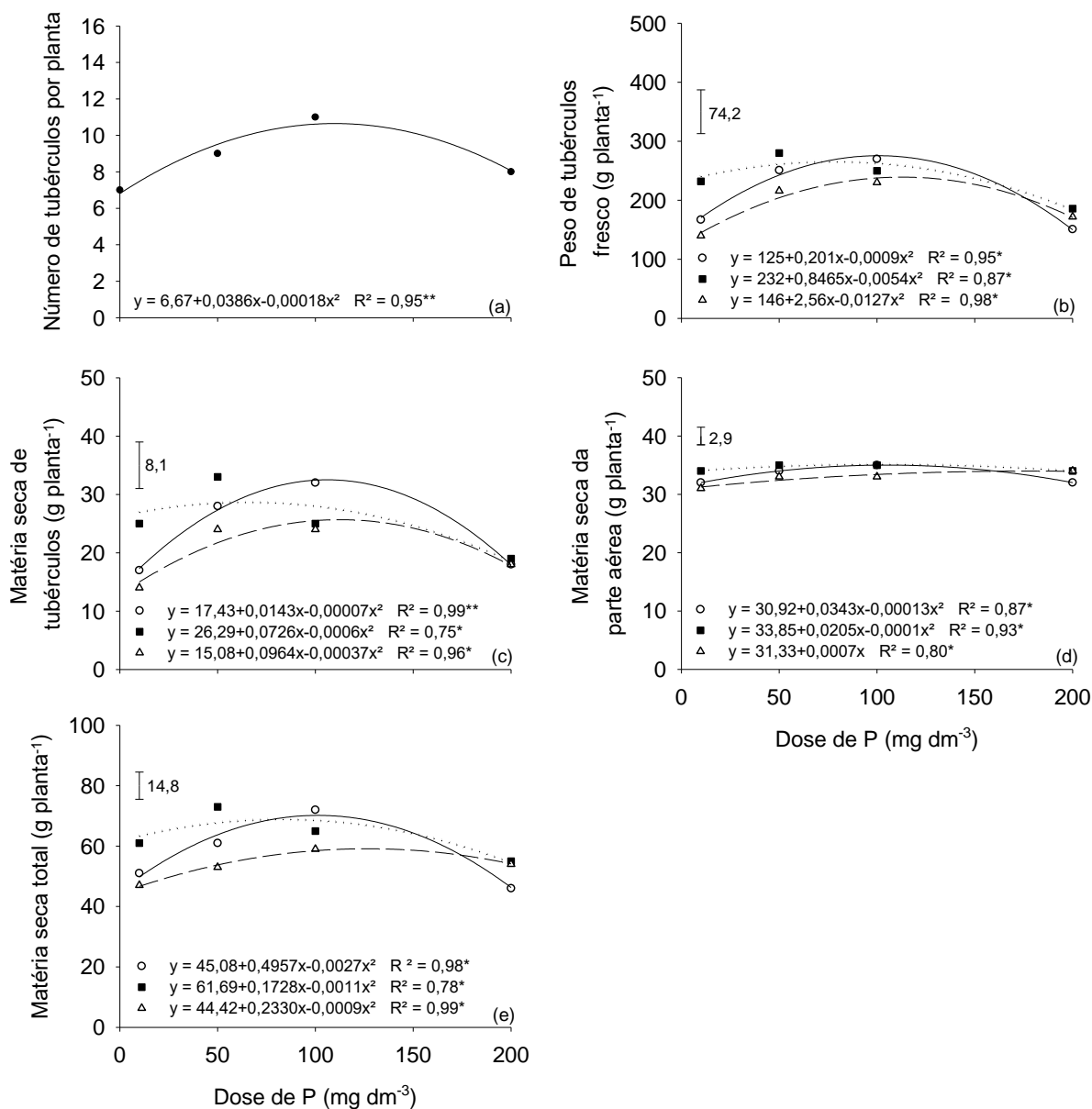
Tratamento	NT	PTF	MSR	MST	MSPA	MSTotal
	no. planta ⁻¹	g planta ⁻¹				
Solo arenoso						
SH (mL vaso ⁻¹)						
0	8,7a	189a	1,7a	23,9ab	32,1b	57,6a
1,25	9,0a	235a	1,6a	25,3a	34,7a	61,7a
7,50	8,8a	216a	1,5a	20,3b	31,5b	53,2b
FV	(P > F)					
Dose de SH	0,977	0,066	0,174	0,050	0,003	0,002
Dose de P	0,024	0,003	0,161	<0,001	0,007	<0,001
SH x P	0,851	0,007	0,166	0,045	<0,001	0,001
CV (%)	32,7	21,3	20,4	20,6	6,5	8,9
Solo argiloso						
SH (mL vaso ⁻¹)						
0	9,9a	330a	1,0a	40,9a	43,3a	85,1a
1,25	9,1a	324a	1,2a	38,2a	41,4a	80,8a
7,50	9,6a	340a	1,1a	40,0a	38,6a	79,5a
FV	(P > F)					
Dose de SH	0,674	0,850	0,078	0,881	0,097	0,551
Dose de P	0,004	<0,000	0,011	0,009	<0,001	<0,001
SH x P	0,151	0,420	0,307	0,760	0,652	0,638
CV (%)	24,1	21,8	21,6	33,5	12,1	15,4

SH: substância húmica. P: fósforo. SH x P: interação. FV: fonte de variação. Médias seguidas de letras distintas na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

Em ambos os solos, a aplicação de P incrementou o peso fresco de tubérculos por planta (Figuras 6b e 7b). Contudo, no solo arenoso, o efeito das doses de P foram menos expressivas, especialmente, na presença da aplicação de 1,25 mL vaso⁻¹ de SH (Figura 6b). Essa variável foi apenas ligeiramente incrementada até a dose de 78 mg dm⁻³, quando na presença da dose intermediária de SH, enquanto nas demais doses de SH, a adubação com P aumentou os valores da variável até doses estimadas de aproximadamente 100 mg dm⁻³. No solo argiloso, a aplicação de P incrementou o peso fresco de tubérculos por planta até a dose de 50 mg dm⁻³, com posterior estabilização, independentemente da adição de SH (Figura 7b). Segundo Houghland (1960), o P tem importante papel no metabolismo do amido na planta de batata, sendo requerido em quantidades relativamente elevadas pela batateira para a fosforilação do amido durante a fase de enchimento dos tubérculos. Fernandes e Soratto (2016a; 2016b) também

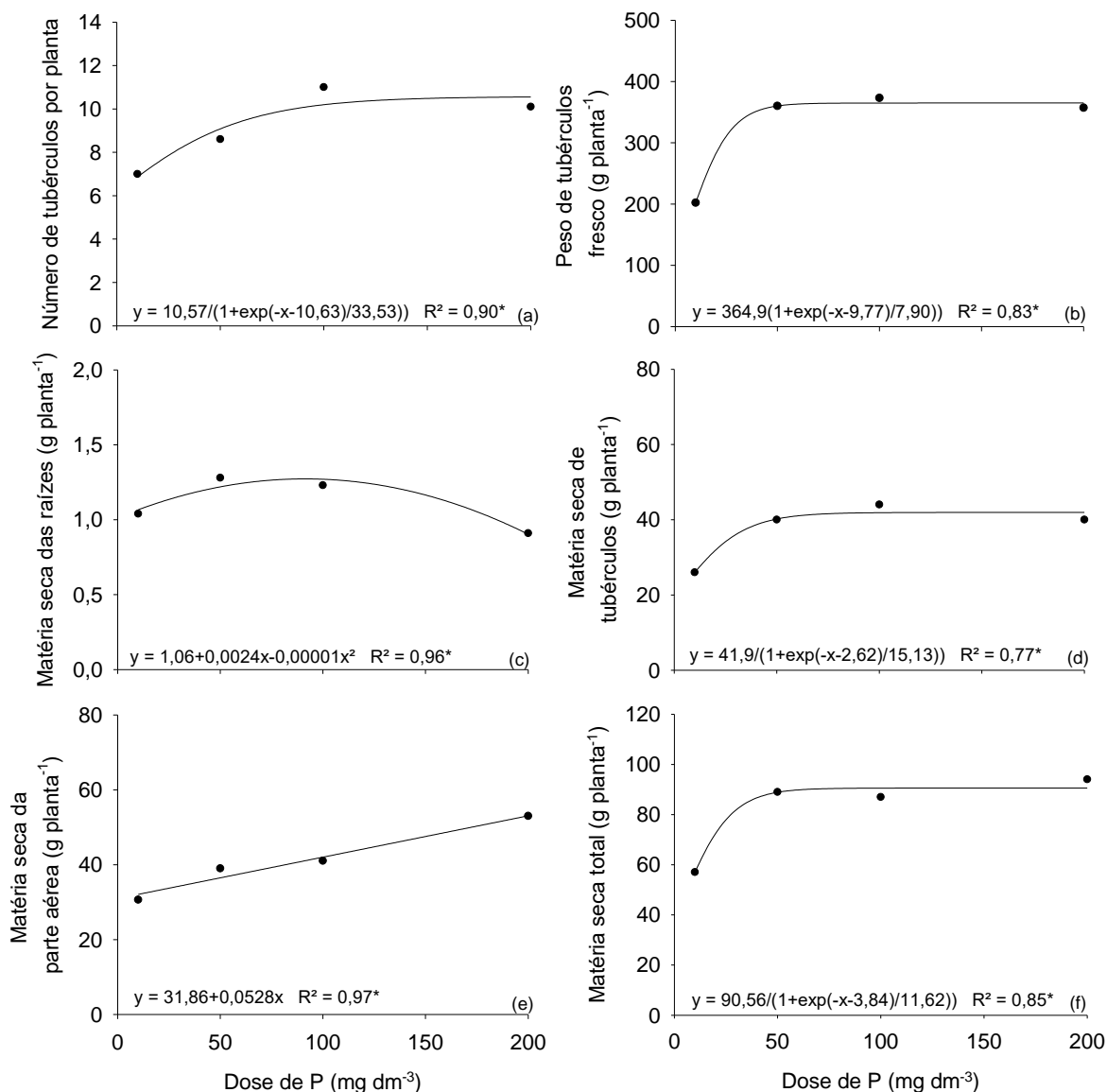
verificaram aumento no tamanho dos tubérculos da cultura da batata com a adição de P, especialmente em solos pobres neste nutriente.

Figura 6 - Número de tubérculos por planta (a), peso de tubérculos fresco por planta (b), matéria seca de tubérculos (c), parte aérea (d) e total (e) da cultura da batata cultivada em solo de textura arenosa, em resposta à adição de substância húmica e adubação fosfatada



Legenda: Doses de substância húmica: (○) 0 mL vaso⁻¹; (■) 1,25 mL vaso⁻¹; (△) 7,5 mL vaso⁻¹; (●) média de três doses de substância húmica; * $p \leq 0,05$ e ** $p \leq 0,01$ pelo teste F. Barras verticais indicam o valor de DMS pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Figura 7 - Número de tubérculos por planta (a), peso de tubérculos fresco por planta (b), matéria seca das raízes (c), tubérculos (d), parte aérea (e) e total (f) da cultura da batata cultivada em solo de textura argilosa, em resposta à adição de substância húmica e adubação fosfatada



Legenda: (●) média de três doses de substância húmica; * $p \leq 0,05$ e ** $p \leq 0,01$ pelo teste F.

No solo arenoso, a matéria seca de raízes não foi influenciada pelos fatores estudados (Tabela 5). Contudo, a MS de tubérculos, da parte aérea e total foram influenciados pelos fatores isolados e pela interação SH x P. Semelhante ao observado para o peso fresco de tubérculos por planta (Figura 6b), nas menores doses de P (10 e 50 mg dm⁻³), o fornecimento de 1,25 mL vaso⁻¹ de SH, aumentou a MS de tubérculos, da parte aérea e total, em relação a aplicação de 7,5 mL vaso⁻¹ de

SH (Figuras 6c, 6d e 6e), o que, provavelmente, está relacionado a maior área fotossinteticamente ativa proporcionada pela aplicação da dose intermediária de SH (Figura 4c).

As doses de P aumentaram a MS de tubérculos, da parte aérea e total da batateira cultivada em solo arenoso, de forma mais expressiva e até maiores doses, quando na ausência ou na presença da aplicação de 7,50 mL vaso⁻¹ de SH, do que quando foi aplicado 1,25 mL vaso⁻¹, tratamento no qual a resposta ao P foi menor (Figuras 6c, 6d e 6e). No solo argiloso, houve efeito apenas do P sobre o acúmulo de MS em todas as partes da planta, sendo que a MS da raiz aumentou até aproximadamente a dose estimada de 120 mg dm⁻³ de P, porém, com redução em doses maiores (Figura 7c). Fernandes e Soratto (2012b), em estudo com a cultivar Agata em solução nutritiva, observaram que sob baixa disponibilidade de P a produção de MS da raiz foi maior, em relação as plantas cultivadas sob alta disponibilidade de adubo fosfatado, devido ao maior número de raízes longas e finas.

A MS da parte aérea foi aumentada linearmente com o incremento da adubação fosfatada (Figura 7e) e seguiu o mesmo comportamento do número de folhas e área foliar (Figuras 5b e 5c). Isto se deve ao aumento no número de folhas e de ramos laterais, comprimento médio e área foliar da batateira promovido pela adubação fosfatada (FLEISHER et al., 2013).

A MS de tubérculo e MS total aumentou expressivamente até a dose de 50 mg dm⁻³ de P, sem maiores incrementos em doses superiores (Figuras 7b, 7d e 7f). Apesar de a planta manter o crescimento vegetativo (número de folhas, área foliar e MS da parte aérea) até a maior dose de P, a MS de tubérculo e total, não aumentaram expressivamente com o fornecimento da adubação fosfatada, visto que esse aumento só foi expressivo até a dose de 50 mg dm⁻³ de P. Observa-se que a aplicação de fertilizante fosfatado a taxas elevadas não aumenta a MS da batata porque a concentração residual de P no solo é suficiente para gerar produção de MS satisfatória (FERNANDES; SORATTO, 2016b). Resposta significativa no incremento da MS de tubérculo da batata foi obtido até a dose de 500 kg ha⁻¹ de P₂O₅, na pesquisa de Soratto e Fernandes (2016), embora as respostas mais expressivas tenham ocorrido em baixas taxas de aplicação de P, assim como no presente estudo.

4.1.4 Comprimento, superficial, volume e diâmetro médio radicular

O comprimento radicular da batateira cultivada no solo arenoso foi influenciado pela interação SH x P, enquanto o volume radicular sofreu efeito apenas da aplicação da SH (Tabela 6). O comprimento radicular aumentou linearmente com adição de 1,25 mL vaso⁻¹ de SH em função do incremento da adubação fosfatada, enquanto os demais tratamentos (0 e 7,50 mL vaso⁻¹ de SH) não foram influenciados pelas doses de P (Figura 6). É possível que as SH tenham aumentado a proliferação e alongamento de raízes laterais, as quais induzem aumento no comprimento e área da superfície radicular das plantas (CANELLAS et al., 2002; EYHERAGUIBEL; SILVESTRE; MORARD, 2008). As modificações na morfologia radicular induzidas pela ação da SH são relatadas em outras culturas, como alface (BORCIONI; MÓGOR, 2016), cana-de-açúcar (CIVIERO et al., 2014) e abacaxi (BALDOTTO et al., 2010).

Tabela 6 - Comprimento, superfície, volume e diâmetro radicular da cultura da batata, cultivada em solos de textura arenosa e argilosa, em resposta à adição de substância húmica e adubação fosfatada

Tratamento	Comprimento radicular m planta ⁻¹	Superfície radicular cm ² planta ⁻¹	Volume radicular cm ³ planta ⁻¹	Diâmetro radicular mm
Solo arenoso				
SH (mL vaso ⁻¹)				
0	302a	2.670a	18,8a	0,283a
1,25	281a	2.406a	16,5ab	0,292a
7,50	268a	2.223a	14,8b	0,283a
FV	(P > F)			
Dose de SH	0,378	0,117	0,037	0,831
Dose de P	0,217	0,603	0,914	0,571
SH x P	0,023	0,187	0,161	0,665
CV (%)	21,1	20,8	21,7	13,5
Solo argiloso				
SH (mL vaso ⁻¹)				
0	169a	1.854a	14,0a	0,298a
1,25	218a	2.076a	15,8a	0,301a
7,50	233a	2.158a	15,9a	0,292a
FV	(P > F)			
Dose de SH	0,209	0,354	0,376	0,403
Dose de P	0,015	0,012	0,030	0,030
SH x P	0,300	0,341	0,121	0,555
CV (%)	22,9	25,7	24,8	5,3

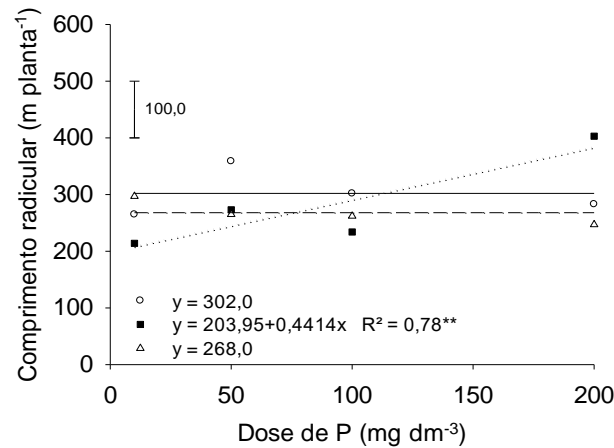
SH: substância húmica. P: fósforo. SH x P: interação. FV: fonte de variação. Médias seguidas de letras distintas na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

O volume radicular da batata foi reduzido pela aplicação de 7,50 mL vaso⁻¹ de SH em relação a testemunha, porém sem diferir da dose intermediária (Tabela 6). O volume de raízes é um importante parâmetro, pois apresenta relação direta com o volume de solo explorado pelas raízes e com a área de absorção de água e nutrientes (BORCIONI; MÓGOR, 2016; DORNELES et al., 2016). Embora a aplicação de SH possa promover melhorias no desenvolvimento radicular de diversas culturas (BALDOTTO et al., 2010; CIVIERO et al., 2014; BORCIONI; MÓGOR, 2016), no presente estudo, o fornecimento de dose elevada de SH limitou o volume radicular da cultura da batata. Discordam destes resultados, Borcione e Móggor (2016), os quais observaram resposta crescente, tanto para o comprimento, quanto para o volume radicular da cultura da alface, com o fornecimento de doses de ácido fúlvico (1, 2, 4 e 8 mL L⁻¹).

A superfície radicular e o diâmetro médio radicular da batateira, cultivada no solo de textura arenosa, não foram influenciados pelos fatores estudados. Dechassa et al. (2003) observaram que o aumento no suprimento de P até doses semelhantes às do presente estudo aumentaram o comprimento radicular da batata, porém, não exerceram efeitos na densidade de pelos radiculares.

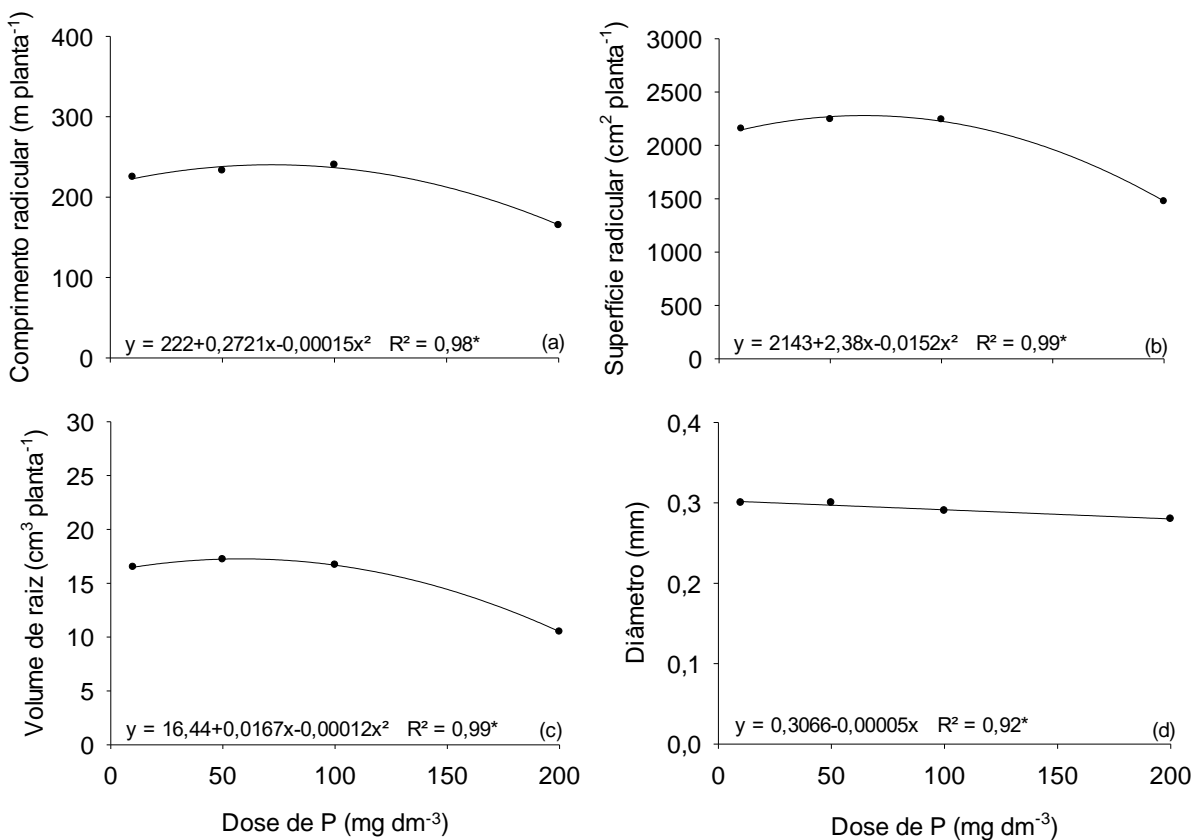
No solo de textura argilosa, as características radiculares da batateira responderam apenas às doses de P, não havendo efeito do fator isolado SH e interação SH x P (Tabela 6). O comprimento, a superfície e o volume radicular da batata aumentaram entre as doses de 70 e 90 mg dm⁻³ de P, reduzindo expressivamente nas doses superiores (Figuras 7a, 7b e 7c). O diâmetro radicular diminuiu linearmente com o aumento da adubação fosfatada (Figura 7d). Fernandes, Soratto e Gonsales (2014) observaram que o comprimento e a área superficial de raízes de cultivares de batata foi menor sob condições de baixa disponibilidade de P, em relação à alta disponibilidade. No entanto, neste experimento, é possível inferir que os caracteres morfológicos da raiz da batata, tenham sido favorecidos pela baixa disponibilidade de P, devido à formação de raízes longas e finas, com mais pelos radiculares sendo produzidos (HALING et al., 2013; YUAN et al., 2016). Este pode ser um mecanismo para aumentar a eficiência da absorção de P sob suprimento limitado, visto que, plantas com um sistema radicular mais longo são mais eficientes na captação de P (NARANG; BRUENE; ALTMANN, 2000; HOPKINS et al., 2014).

Figura 8 - Comprimento radicular da cultura da batata cultivada em solo de textura arenosa, em resposta à adição de substância húmica e adubação fosfatada



Legenda: Doses de substância húmica: (○) 0 mL vaso⁻¹; (■) 1,25 mL vaso⁻¹; (△) 7,5 mL vaso⁻¹. * $p \leq 0,05$ e ** $p \leq 0,01$ pelo teste F. Barras verticais indicam o valor de DMS pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Figura 9 - Comprimento (a), superfície (b), volume (c) e diâmetro radicular (d) da cultura da batata cultivada em solo de textura argilosa, em resposta à adição de substância húmica e adubação fosfatada



Legenda: (●) média de três doses de substância húmica; * $p \leq 0,05$ e ** $p \leq 0,01$ pelo teste F.

4.1.5 Teores e acúmulos de nutrientes na planta

Houve apenas efeito isolado dos fatores SH e dose de P sobre os teores de alguns macronutrientes nas raízes, parte aérea e tubérculos da batata cultivada em ambos os solos (Tabela 7). O efeito da aplicação de SH influenciou os teores de P, K, Ca, Mg e S nos órgãos da batata cultivada no solo de textura arenosa. A aplicação de 1,25 mL vaso⁻¹ de SH elevou o teor de P nas raízes em relação aos demais tratamentos. O teor de K na parte aérea foi incrementado pela aplicação de ambas as doses de SH, em relação a testemunha. Já os menores teores de K foram observados nos tubérculos com a aplicação da dose de 1,25 mL vaso⁻¹ de SH. O fornecimento de 7,50 mL vaso⁻¹ de SH reduziu os teores de Ca e Mg nas raízes em relação aos demais tratamentos; no entanto, elevou os teores de Mg e de S na parte aérea da batata.

No solo de textura argilosa, a aplicação de 7,50 mL vaso⁻¹ de SH promoveu aumento no teor de P na parte aérea, em relação aos demais tratamentos (Tabela 7). A aplicação de 1,25 mL vaso⁻¹ de SH elevou o teor de Ca no tubérculo, em comparação a testemunha e a dose mais elevada. O teor de Mg nas raízes foi elevado pela aplicação de SH, independentemente da dose.

Observa-se que os efeitos da aplicação de SH sobre o teor de nutrientes na batateira foi bastante variável e concorda com Suh, Yoo e Suh (2014), os quais observaram aumento acentuado no teor de P com aplicação de 80 g m⁻² de ácido húmico na batata, em relação a testemunha e afirmam que, em geral, a aplicação de ácido húmico pareceu influenciar a captação de alguns nutrientes. A aplicação de metade do NPK associado ao ácido húmico (0,03% via foliar) proporcionou o teor máximo de N e P nos tubérculos de batata, no experimento de Azam Shah et al. (2016). Şahin, Karaman e Gebologlu (2014) estudando doses de ácidos húmicos e P, observaram que não houve efeito da interação entre os fatores, porém, o ácido húmico aumentou o teor de K e Ca na planta de tomate e acrescentam que os teores de N, S e Mg não foram influenciados pelos fatores. O teor de N, P e K na raiz tuberosa da batata-doce também foi incrementado com aplicação de ácido húmico (0,5%) (EL-SAYED et al., 2011).

Tabela 7 - Teores de macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg e S) nas raízes, parte aérea e tubérculos da cultura da batata, cultivada em solos de textura arenosa e argilosa, em resposta à adição de substância húmica e adubação fosfatada

Parte da planta	SH (mL vaso ⁻¹)			Dose de P (mg dm ⁻³)				CV	Regressão	R ²
	0	1,25	7,50	0	50	100	200			
Solo arenoso										
Teor de N, g kg ⁻¹ %										
Raízes	12,4a	12,7a	12,2a	12,6	12,0	12,4	12,8	7,1	-	
Parte aérea	32,9a	34,1a	31,2a	33,2	33,2	32,7	33,8	9,3	-	
Tubérculos	22,0a	22,4a	23,2a	21,8	21,6	22,8	24,4	16,5	-	
Teor de P, g kg ⁻¹										
Raízes	1,3b	1,5a	1,3b	1,4	1,2	1,4	1,4	14,3	-	
Parte aérea	3,3a	3,2a	3,3a	2,1	2,6	3,5	4,9	12,7	y=2,04+0,007x	0,99**
Tubérculos	4,1a	4,2a	4,2a	3,1	3,4	4,5	5,7	16,6	y=2,89+0,0143x	0,98**
Teor de K, g kg ⁻¹										
Raízes	2,9a	3,1a	3,0a	3,1	2,8	2,2	2,9	26,1	-	
Parte aérea	56,4b	59,7ab	61,3a	60,6	60,2	59,7	56,3	6,9	-	
Tubérculos	31,1a	28,2b	32,1a	30,3	28,5	31,1	32,0	10,8	-	
Teor de Ca, g kg ⁻¹										
Raízes	6,9ab	7,7a	6,2b	6,5	6,7	7,2	7,2	14,8	-	
Parte aérea	17,7a	18,5a	19,3a	14,6	20,3	20,4	18,6	12,0	y=19,49/(1+exp(-x+21,7)/26,6)	0,98**
Tubérculos	1,3a	1,2a	1,3a	1,3	1,0	1,3	1,5	31,1	-	
Teor de Mg, g kg ⁻¹										
Raízes	1,1ab	1,2a	1,0b	1,2	1,2	1,2	1,0	13,2	-	
Parte aérea	3,8b	4,1ab	4,4a	3,8	4,6	4,1	3,8	12,7	-	
Tubérculos	1,6a	1,7a	1,7a	1,9	1,5	1,6	1,6	17,5	-	
Teor de S, g kg ⁻¹										
Raízes	0,9a	0,7a	0,7a	1,0	0,7	0,7	0,7	37,7	-	
Parte aérea	2,2b	2,3b	2,7a	2,6	2,5	2,4	2,2	18,2	-	
Tubérculos	1,8a	1,9a	2,0a	2,2	1,6	1,7	2,0	23,4	y=2,20 -0,0056x+0,00002x ²	0,91**
Solo argiloso										
Teor de N, g kg ⁻¹										
Raízes	15,2a	14,6a	15,2a	14,9	15,4	15,1	14,8	7,7	-	
Parte aérea	32,2a	31,5a	29,5a	32,6	29,9	29,0	34,0	19,1	-	
Tubérculos	13,2a	13,2a	13,3a	13,3	11,7	13,9	16,0	17,1	-	
Teor de P, g kg ⁻¹										
Raízes	1,2a	1,4a	1,6a	1,7	1,3	1,2	1,4	24,8	-	
Parte aérea	2,0b	2,0b	2,4a	1,8	2,1	2,0	2,5	18,4	y=1,82+0,0016x	0,84**
Tubérculos	2,4a	2,5a	2,6a	1,8	2,0	2,6	3,5	26,4	y=1,71+0,0043x	0,99**
Teor de K, g kg ⁻¹										
Raízes	3,4a	3,5a	3,6a	5,2	2,0	3,1	3,7	25,5	-	
Parte aérea	57,5a	56,2a	55,4a	58,2	57,8	55,1	54,3	9,3	-	
Tubérculos	28,9a	28,8a	29,1a	28,0	27,2	28,8	31,5	9,2	y=27,17+0,0019x	0,82**
Teor de Ca, g kg ⁻¹										
Raízes	7,1a	8,1a	7,1a	7,9	7,1	7,4	8,5	17,6	-	
Parte aérea	22,7a	22,2a	25,0a	19,7	25,7	24,5	23,2	13,9	y=24,49/(1+exp(x-7,68)/1,63)	0,74**
Tubérculos	0,4b	0,5a	0,3b	0,39	0,38	0,36	0,70	31,0	y=0,177+0,0024x	0,94**
Teor de Mg, g kg ⁻¹										
Raízes	1,2b	2,2a	2,2a	2,3	1,8	1,9	1,6	21,6	-	
Parte aérea	6,8a	6,6a	7,0a	6,1	7,2	7,1	6,8	16,8	-	
Tubérculos	1,4a	1,4a	1,3a	1,3	1,2	1,3	1,5	19,0	-	
Teor de S, g kg ⁻¹										
Raízes	0,8a	1,0a	0,7a	0,8	0,8	0,8	0,8	33,1	-	
Parte aérea	0,9a	1,2a	1,1a	1,3	1,3	0,9	0,8	35,3	y=1,31-0,0013x	0,77**
Tubérculos	0,8a	0,8a	0,8a	0,8	0,5	0,6	1,2	31,4	y=0,75-0,0017x+0,00001x ²	0,95**

SH: substância húmica. P: fósforo. Não foi verificada significância da interação SH x P para nenhuma das variáveis avaliadas. Médias seguidas de letras distintas na linha, dentro do fator SH, diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$). * $p \leq 0,05$ e ** $p \leq 0,01$ pelo teste F.

Com relação a adubação fosfatada, em ambos os solos, os teores de macronutrientes nas raízes da batateira não foram influenciados pelas doses de P (Tabela 7), diferente do que foi observado por Soratto e Fernandes (2016), que constataram que o fornecimento de P, elevou os teores de P, Mg e S, reduziu o N e Zn e não influenciou os teores de K e Ca na raiz de duas cultivares de batata.

Quanto ao efeito da adubação fosfatada nos teores de macronutrientes na parte aérea da planta, observa-se que independentemente da textura do solo, os teores de N, K e Mg não foram modificados pelo fornecimento de P (Tabela 7). O teor de P na parte aérea foi aumentado pelo incremento na adubação fosfatada em ambos os solos. Esse aumento foi pouco expressivo sobre o teor de Ca na parte aérea até a dose de 100 mg dm^{-3} de P, independentemente da textura do solo. O teor de S na parte aérea da batata foi reduzido pelo incremento na adubação fosfatada apenas no solo argiloso. O fornecimento de doses de P incrementou o teor de P, assim como observado no presente estudo, e diminuiu os teores de N, K, S e Zn na parte aérea de duas cultivares de batata, no experimento de Soratto e Fernandes (2016).

Nos tubérculos, os teores de N e Mg não foram influenciados pela adubação fosfatada, independentemente da textura do solo (Tabela 7). As doses de P promoveram aumento no teor de P no tubérculo da batata cultivada tanto no solo arenoso, quanto argiloso. Estes resultados corroboram com os obtidos por Fernandes, Soratto e Pilon (2015) e Soratto e Fernandes (2016), nos quais o teor de P no tubérculo da batata cultivada em solo com disponibilidade adequada foi maior, em relação a batata cultivada em solo com baixa disponibilidade de P. Houve incrementos lineares nos teores de K e Ca em resposta as doses de P, apenas no solo de textura argilosa. O aumento no teor de Ca em função da adubação fosfatada pode ser atribuído ao fornecimento do fertilizante superfosfato triplo, o qual possui Ca em sua composição (RAIJ, 1991) e pode ter elevado a disponibilidade deste nutriente no solo. Quanto ao teor de S nos tubérculos, o fornecimento de P reduziu de forma acentuada o teor entre as doses de 120 e 85 mg dm^{-3} de P, nos solos de textura arenosa e argilosa, respectivamente.

Apenas a adubação fosfatada influenciou o teor de alguns micronutrientes nas raízes, parte aérea e tubérculos da batata cultivada em ambos os solos (Tabela 8). Nas raízes da batateira, o teor de Cu foi reduzido até a dose estimada de 150 mg dm^{-3} de P no solo arenoso e, no solo argiloso, esta redução foi até a maior dose

estudada. Independente da textura do solo, não houve efeito da adubação fosfatada sobre os teores de Fe, Mn e Zn na raiz da cultura.

Na parte aérea da batata, apenas o teor de Cu foi reduzido até a dose estimada de 150 mg dm⁻³ de P, quando a cultura foi cultivada no solo arenoso (Tabela 8). Em ambos os solos, não houve efeito da adubação fosfatada sobre os teores de Fe, Mn e Zn. Na pesquisa de Soratto e Fernandes (2016), o teor de Zn na parte aérea da batateira foi reduzido em função da elevação nas doses de P, o que pode estar relacionado com a não aplicação de fertilizante contendo Zn ou à época de avaliação mais tardia (início da maturação) naquele trabalho.

Tabela 8 - Teores de micronutrientes (Cu, Fe, Mn e Zn) nas raízes, parte aérea e tubérculos da cultura da batata, cultivada em solos de textura arenosa e argilosa, em resposta à adição de substância húmica e adubação fosfatada

Parte da planta	SH (mL vaso ⁻¹)			Dose de P (mg dm ⁻³)				CV	Regressão	R ²
	0	1,25	7,50	0	50	100	200			
Solo arenoso										
Teor de Cu, mg kg ⁻¹										
Raízes	25,0a	24,4a	22,2a	30,1	22,5	22,3	22,1	15,5	y=29,3+0,061x-0,0002x ²	0,90**
Parte aérea	16,0a	15,7a	16,1a	17,7	15,5	15,3	15,3	10,7		
Tubérculos	19,4a	17,9a	17,9a	18,9	17,9	19,1	17,9	9,2		
Teor de Fe, mg kg ⁻¹										
Raízes	618a	637a	607a	654	602	618	612	8,7	-	-
Parte aérea	190a	231a	247a	252	198	156	284	65,6	-	-
Tubérculos	150a	139a	142a	169	130	129	146	35,7	-	-
Teor de Mn, mg kg ⁻¹										
Raízes	205a	224a	198a	220	211	219	186	17,2	-	-
Parte aérea	605a	631a	740a	599	689	683	654	26,4	-	-
Tubérculos	22,6a	17,6a	25,5a	19,6	17,3	23,1	27,5	33,9	y=17,81+0,0233x	0,80*
Teor de Zn, mg kg ⁻¹										
Raízes	120a	122a	110a	129	117	116	106	22,2	-	-
Parte aérea	130a	121a	153a	124	137	134	127	27,2	-	-
Tubérculos	49,9a	48,9a	56,3a	54,2	51,4	51,0	50,2	27,7	-	-
Solo argiloso										
Teor de Cu, mg kg ⁻¹										
Raízes	56,0a	62,9a	60,2a	69,5	61,9	57,1	50,3	22,0	y = 67,70-0,0459x	0,95**
Parte aérea	28,1a	28,1a	28,6a	26,9	29,1	27,9	29,1	9,7		
Tubérculos	5,6a	5,5a	5,4a	4,7	5,4	5,3	6,3	28,4		
Teor de Fe, mg kg ⁻¹										
Raízes	892a	930a	888a	937	915	892	869	10,3	-	-
Parte aérea	473a	447a	459a	320	529	471	516	50,3	-	-
Tubérculos	101a	126a	102a	90,2	102	106	142	33,1	y=87,83+0,1275x	0,95**
Teor de Mn, mg kg ⁻¹										
Raízes	95,8a	96,1a	91,2a	100	99,0	88,3	90,1	23,9	-	-
Parte aérea	89,6a	51,8a	76,2a	69,6	87,9	83,2	75,7	23,3	-	-
Tubérculos	3,2a	4,3a	4,4a	3,9	3,9	3,3	4,5	32,5	-	-
Teor de Zn, mg kg ⁻¹										
Raízes	64,2a	65,2a	59,0a	69,3	65,5	56,4	60,1	18,5	-	-
Parte aérea	45,6a	37,9a	47,7a	40,2	47,9	44,0	42,8	30,9	-	-
Tubérculos	21,1a	23,6a	19,2a	22,4	18,2	19,6	25,1	35,3	-	-

SH: substância húmica. P: fósforo. Não foi verificada significância da interação SH x P para nenhuma das variáveis avaliadas. Médias seguidas de letras distintas na linha, dentro do fator SH, diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$). * $p \leq 0,05$ e ** $p \leq 0,01$ pelo teste F.

Apenas o teor de Mn nos tubérculos das plantas cultivadas no solo arenoso e de Fe naquelas cultivadas no solo argiloso foram influenciados pelas doses de P (Tabela 8). Assim como no presente estudo, não houve variação expressiva no teor de micronutrientes na raiz, parte aérea e tubérculos de cultivares de batata sobre baixa e alta disponibilidade de P no solo, na pesquisa de Fernandes, Soratto e Pilon (2015).

Houve efeito da SH, doses de P e da interação SH x P sobre as quantidades de macronutrientes acumulados na batateira cultivada no solo arenoso (Tabela 9). A adição de SH na dose de 1,25 mL vaso⁻¹ promoveu maiores acúmulos de N, K, Ca e Mg nas plantas de batata cultivada sob as menores doses de P (10 e 50 mg dm⁻³ de P), porém, apenas na presença da dose de 50 g dm⁻³ de P houve diferença evidente em relação à testemunha e a dose de 7,50 mL vaso⁻¹ de SH (Figuras 10a, 10c, 10d e 10e). O acúmulo de P seguiu o mesmo comportamento dos demais macronutrientes, o qual foi favorecido pelo fornecimento da SH nas menores doses de P (Figura 10b), porém, não houve diferença significativa em relação aos demais tratamentos. As quantidades de N, P, Ca e S acumuladas na batata foram reduzidos pela aplicação de 7,50 mL vaso⁻¹ de SH em relação a testemunha com aplicação de 100 mg dm⁻³ de P. Com o aumento nas doses de P praticamente não houve efeito da aplicação ou não de SH, exceto sobre o acúmulo de S, que foi favorecido pela aplicação de 7,50 mL vaso⁻¹ de SH na presença de 200 mg dm⁻³ de P (Figura 10f).

De forma geral, o acúmulo de macronutrientes acompanhou a produção de MS total da planta, no qual o efeito da SH (1,25 mL vaso⁻¹) foi mais expressiva nas menores doses de P, em relação a aplicação de 7,50 mL vaso⁻¹, e apresentou pouco efeito a partir da dose de 100 mg dm⁻³ de P (Figura 6e). Além do incremento na produção de MS total, a aplicação da SH também elevou o teor de alguns macronutrientes (P, Ca e Mg nas raízes e K, Mg e S na parte aérea) (Tabela 7), contribuindo para aumentar o acúmulo destes nutrientes na batata. O efeito da aplicação de SH na quantidade acumulada de nutrientes na batata, foi mais expressivo nas menores doses de P. O mesmo foi observado Summerhays et al. (2014), que verificaram que o adubo fosfatado ligado a ácidos orgânicos foi mais efetivo quando o teor de P era baixo, em solos de baixa a moderada concentração de MO. Provavelmente, em função do menor teor de MO no solo arenoso do presente estudo (7 g dm⁻³ de MO), as SH podem ter atuado diretamente na liberação de ácidos orgânicos, o que beneficiou o crescimento e absorção de nutrientes pela

batata. De acordo com Hartz e Bottoms (2010), os efeitos as SH são limitados e variam em função da MO do solo.

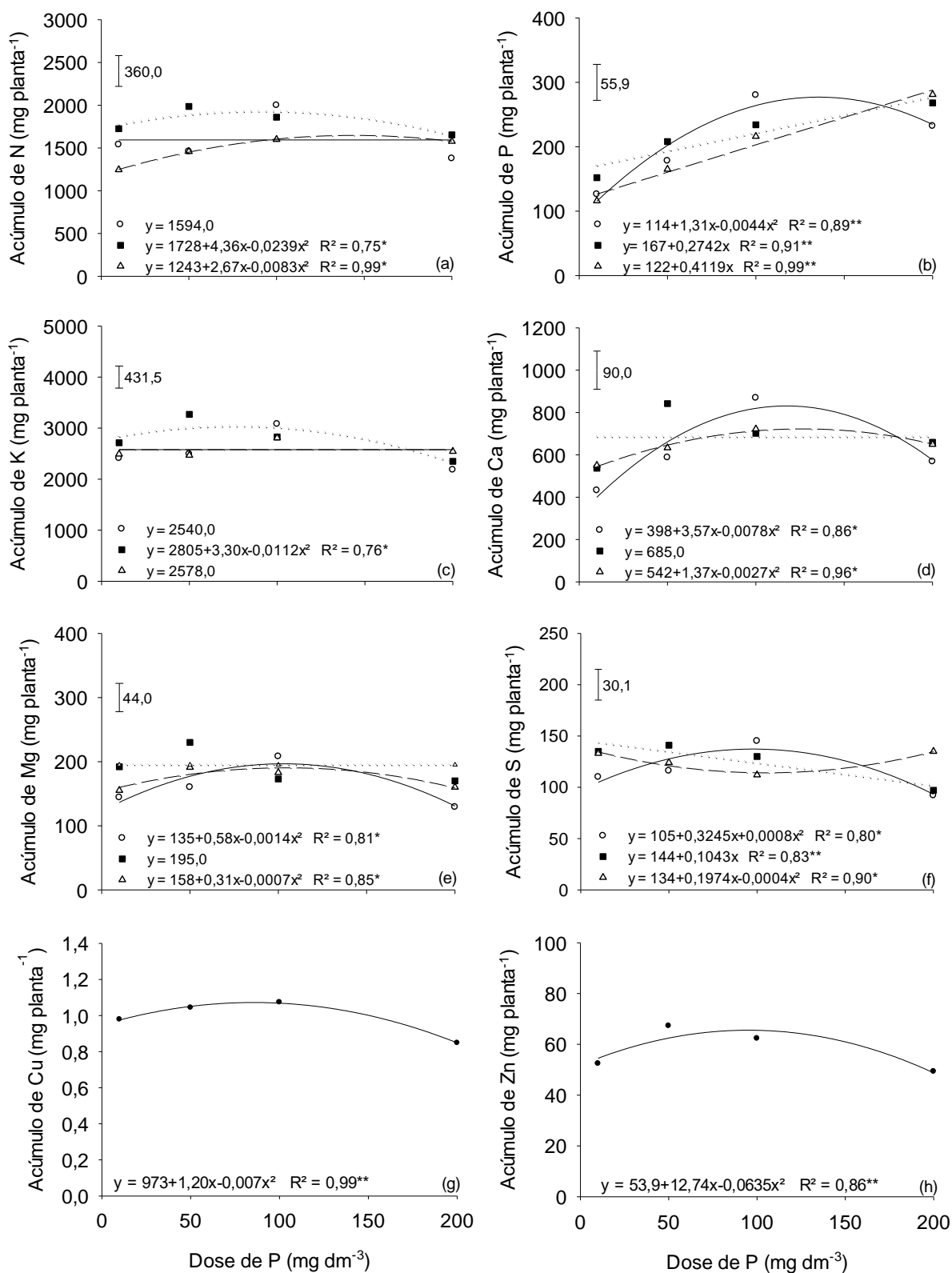
Tabela 9 - Quantidades de nutrientes (N, P, K, Ca, Mg, S, Cu, Fe, Mn e Zn) acumuladas na cultura da batata, cultivada em solos de textura arenosa e argilosa, em resposta à adição de substância húmica e adubação fosfatada

Tratamento	N	P	K	Ca	Mg	S	Cu	Fe	Mn	Zn
mg planta ⁻¹										
Solo arenoso										
SH (mL vaso ⁻¹)										
0	1.594b	204,1a	2.540b	614,3a	160,1b	116,1a	1,0a	10,5a	20,8a	56,6a
1,25	1.753a	216,3a	2.790a	685,5a	190,3a	126,0a	1,0a	12,3a	22,6a	56,7a
7,50	1.470ab	195,2a	2.578ab	639,0a	172,2ab	126,2a	0,9a	11,4a	23,7a	60,2a
FV	(P > F)									
Dose de SH	0,003	0,189	0,017	0,159	0,011	0,178	0,067	0,673	0,514	0,723
Dose de P	0,030	<0,001	<0,001	<0,001	0,002	0,027	0,003	0,668	0,382	0,019
SH x P	0,004	0,031	0,003	0,012	0,020	0,004	0,311	0,621	0,107	0,380
CV (%)	10,9	13,3	8,0	13,7	12,7	12,4	12,3	43,2	28,1	21,5
Solo argiloso										
SH (mL vaso ⁻¹)										
0	2.075a	185,1a	3.657a	1.016a	353,0a	70,4a	15,1a	26,5a	41,7a	28,9a
1,25	1.822a	181,4a	3.418a	962,3a	333,2a	80,8a	14,4a	24,3a	33,0a	24,3a
7,50	1.637a	200,6a	3.302a	977,5a	325,5a	72,4a	13,8a	22,9a	31,1a	26,4a
FV	(P > F)									
Dose de SH	0,099	0,436	0,412	0,698	0,643	0,539	0,284	0,711	0,311	0,233
Dose de P	0,002	<0,001	0,002	<0,001	<0,001	0,022	<0,001	0,005	0,002	0,001
SH x P	0,263	0,788	0,492	0,087	0,628	0,088	0,316	0,458	0,185	0,801
CV (%)	23,7	20,2	12,9	15,8	22,3	29,2	13,8	42,6	27,4	24,1

SH: substância húmica. P: fósforo. SH x P: interação. FV: fonte de variação. Médias seguidas de letras distintas na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

Os benefícios do uso de SH se devem ao efeito estimulante de ação direta nas plantas, agindo de forma semelhante aos hormônios ou estimulando-os, e ainda, a ação indireta, atuando na dinâmica de absorção de nutrientes pelas plantas, e por melhorar as características químicas e físicas do solo. No cultivo da batata em solo de textura arenosa, Selim, El-Neklawy e El-Ashry (2009) observaram incremento no teor de N, P e K tanto da parte aérea, quanto nos tubérculos, com fornecimento de NPK associado ao ácido húmico, em relação a aplicação apenas da dose recomendada de NPK. El-Sayed et al. (2011), testando doses de P (15, 30 e 45 kg ha⁻¹ de P₂O₅), na presença e ausência de ácido húmico, constataram que a adubação com 30 kg ha⁻¹ de P₂O₅ associado ao ácido húmico aplicado no solo, proporcionou aumento no crescimento vegetativo, teores de N, P e K e produção de batata-doce, reduzindo a necessidade de fertilizante fosfatado em cerca de 33,3%.

Figura 10 - Quantidades de N (a), P (b), K (c), Ca (d), Mg (e), S (f), Cu (g) e Zn (h) acumuladas na cultura da batata cultivada em solo de textura arenosa, em resposta à adição de substância húmica e adubação fosfatada



Legenda: (○) 0 mL vaso⁻¹; (■) 1,25 mL vaso⁻¹; (△) 7,5 mL vaso⁻¹; (●) média de três doses de substância húmica; * $p \leq 0,05$ e ** $p \leq 0,01$ pelo teste F. Barras verticais indicam o valor de DMS pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

De forma geral, a adubação fosfatada promoveu aumento acentuado no acúmulo de N, K e Mg até aproximadamente a dose de 100 mg dm^{-3} de P (Figuras 10a, 10c e 10e). Na ausência da aplicação de SH esse aumento foi mais expressivo sobre os acúmulos de P, Ca e S até aproximadamente 100 mg dm^{-3} de P (Figuras 10b, 10d e 10f). Apenas o acúmulo de P respondeu até a maior dose do fertilizante fosfatado, porém apenas quando feita aplicação de SH. Isto se deve ao aumento no teor de P na parte aérea e tubérculos da batata provido pela adubação fosfatada (Tabela 7). O fornecimento de P eleva a disponibilidade deste nutriente no solo (LUZ et al., 2013; SUN; CUI; LIU, 2015) e nos órgãos da planta (raízes, parte aérea e tubérculos) resultando em maior quantidade acumulada de P na batateira (SUN; CUI; LIU, 2015; SORATTO; FERNANDES, 2016; FERNANDES; SORATTO, 2016b).

O acúmulo de nutrientes, de maneira geral, acompanhou a MS total da batata que alcançou maior quantidade acumulada na dose aproximada de 100 mg dm^{-3} de P (Figura 6e). O incremento na absorção de nutrientes ocorre em consonância com o máximo acúmulo de MS dado que, a adubação fosfatada não reduz ou não modifica os teores de nutrientes nos órgãos da batata (SORATTO; FERNANDES, 2016).

Quanto ao acúmulo de micronutrientes na batata cultivada no solo arenoso, as quantidades acumuladas de Cu e Zn aumentaram até a dose estimada de aproximadamente 100 mg dm^{-3} de P (Figuras 10g e 10h). O teor de Cu nas raízes e parte aérea diminuiu com o fornecimento da adubação fosfatada, enquanto o teor de Zn nas raízes, parte aérea e tubérculos não foi modificado pelas doses de P. É possível inferir que a redução no acúmulo destes micronutrientes na maior dose de P, esteja associado a redução da MS total da planta observado com maior fornecimento do fertilizante fosfatado (Figura 6e).

Apesar dos efeitos da SH no solo arenoso, não houve efeito da sua aplicação ou da interação SH x P no acúmulo de nutrientes na planta de batata cultivada no solo argiloso (Tabela 9). Possivelmente o maior teor MO neste solo (21 g dm^{-3}), ou seja, a maior liberação ácidos orgânicos, tenha proporcionado pouco ou nenhum efeito na solubilidade de P e outros nutrientes pelas SH. O mesmo foi observado por Summerhays et al. (2014).

No solo argiloso, a aplicação de P promoveu incremento nas quantidades de N, P, Mg e S acumuladas na batateira até a maior dose estudada (Figura 11a, 11b, 11c e 11d). Apesar do teor de N nos diferentes órgãos da planta (raízes, parte aérea

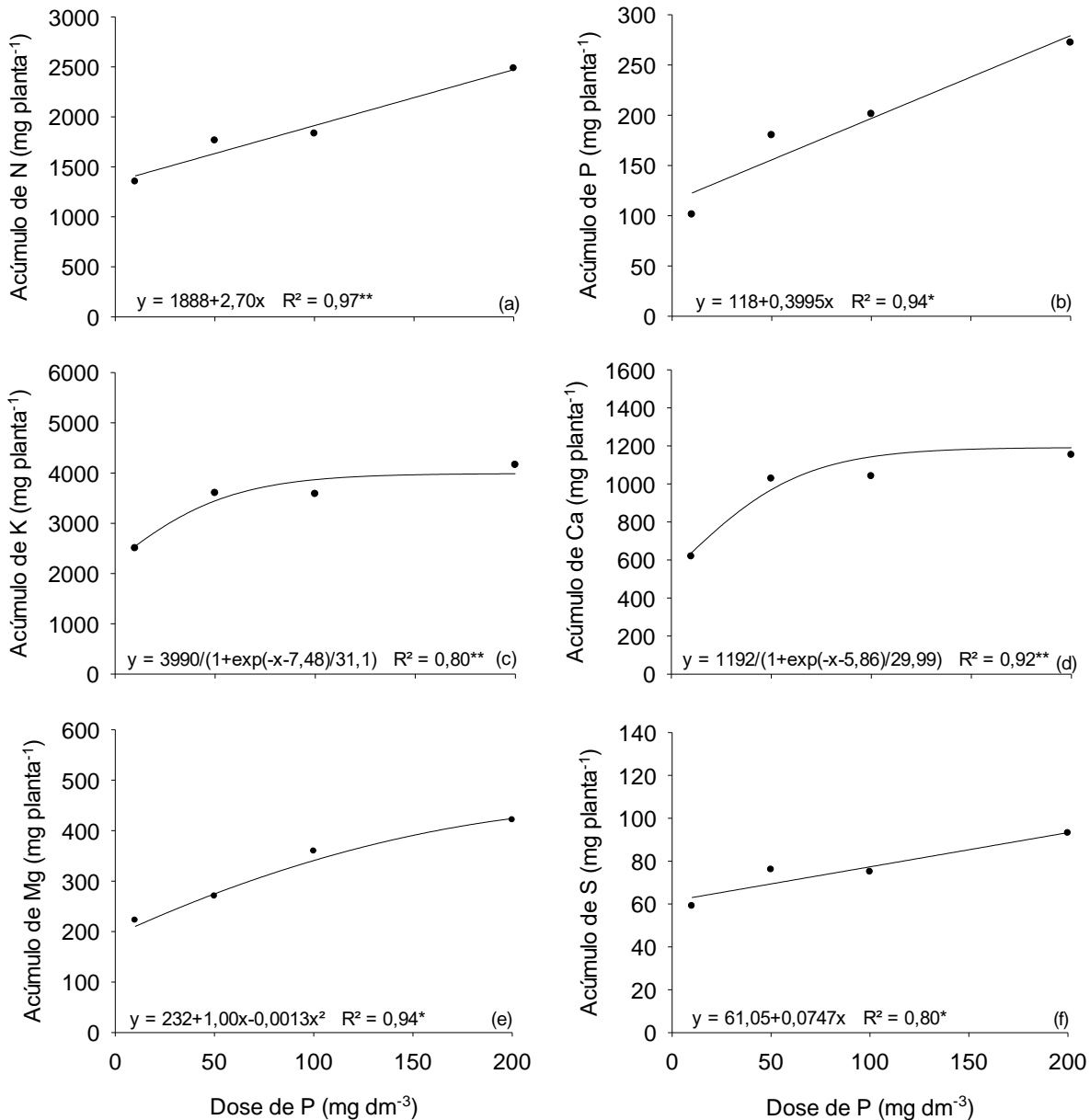
e tubérculos) não terem sido influenciados pela adubação fosfatada, a quantidade de N acumulada foi crescente em resposta à adubação fosfatada. Isto se deve ao incremento na MS da planta (Figura 7e), visto que, o N é um constituinte importante de proteínas, ácidos nucleicos e de metabólitos secundários e afeta desde o metabolismo até a alocação de fotossintatos, crescimento e desenvolvimento vegetal (MARSCHNER; RIMMINGTON, 1995; SCHEIBLE, 2004).

Com relação ao acúmulo de P, o incremento no fornecimento do adubo fosfatado elevou em quase três vezes a quantidade acumulada pela batateira (Figura 11b). Provavelmente o aumento no fornecimento de P, elevou a disponibilidade deste nutriente na solução do solo, favorecendo a maior absorção pelas raízes e o aumento em todas as partes da planta (MOREIRA et al., 2016). Além disso, este nutriente é importante em processos fisiológicos incluindo geração de energia, síntese de ácidos nucleicos, fotossíntese, glicólise, respiração, síntese e estabilidade de membrana, ativação e inativação de enzimas, reações redox, sinalização, metabolismo de carboidratos e fixação de nitrogênio (VANCE; UHDE-STONE; ALLAN, 2003; LAMBERS et al., 2006). Soratto et al. (2015) obtiveram o dobro do P acumulado na batata cultivada com alta disponibilidade de P, em relação a baixa disponibilidade deste nutriente no solo.

A quantidade acumulada de K e Ca foi aumentada expressivamente pela adubação fosfatada apenas até a dose de 50 mg dm⁻³ de P (Figuras 11c e 11d). Visto que, os teores de Ca nas raízes, parte aérea e tubérculos, assim como o de K nos tubérculos, foram aumentados com o fornecimento de P, eram esperados incremento no acúmulo destes nutrientes na planta. Além disso, a adubação fosfatada pode afetar a atividade da H⁺-ATPase da membrana plasmática e melhorar a captação de K⁺, Ca²⁺ e Mg²⁺ (SALINAS et al., 2013).

Não houve efeito da adubação fosfatada no teor de Mg nos órgãos da batateira (Tabela 7), porém, a quantidade acumulada respondeu até a maior dose de P (Figura 11e), possivelmente devido a essencialidade do nutriente no desenvolvimento vegetal, por fazer parte da molécula de clorofila e atuar na ativação de muitas enzimas incluindo RNA polimerases, ATPases, fosfatases, glutatona sintase e carboxilases (MALAVOLTA, 2006). Da mesma forma, o teor de S nas raízes não foi influenciado na parte aérea e tubérculos foi reduzido pelas doses que proporcionaram a maior produção de MS na planta, mas o acúmulo foi incrementado até a maior dose de P (Tabela 7 e Figura 11f).

Figura 11 - Quantidades de N (a), P (b), K (c), Ca (d), Mg (e) e S (f) acumuladas na cultura da batata cultivada em solo de textura argilosa, em resposta à adição de substância húmica e adubação fosfatada

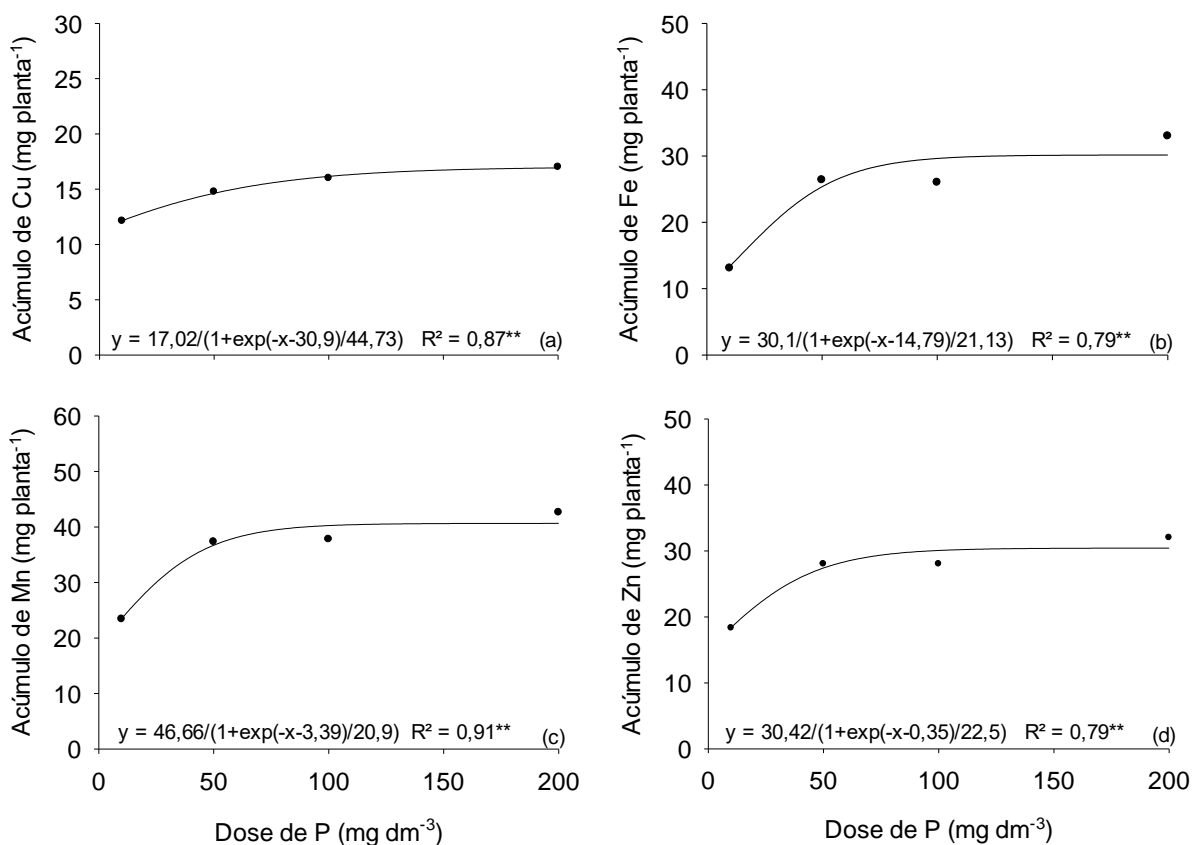


Legenda: (●) média de três doses de substância húmica; * $p \leq 0,05$ e ** $p \leq 0,01$ pelo teste F.

No solo argiloso, a adubação fosfatada promoveu aumento acentuado no acúmulo de Cu até 100 mg dm⁻³ de P (Figura 12a). Esse aumento foi expressivo até a dose de 50 mg dm⁻³ de P na quantidade acumulada de Fe, Mn e Zn, enquanto doses superiores praticamente não interferiram no acúmulo destes micronutrientes pela batata (Figuras 12b, 12c e 12d). Observa-se que praticamente não houve variação no teor de micronutrientes nos órgãos da batata em função da adubação

fosfatada (Tabela 8); portanto, a quantidade absorvida e acumulada acompanhou a produção de MS, a qual aumentou expressivamente até a dose de 50 mg dm⁻³ de P e praticamente não mudou com o incremento das doses de P (Figura 5f). Fernandes, Soratto e Pilon (2015) obtiveram maior quantidade acumulada de Fe e Mn na batata cultivar Agata, cultivada sob alta disponibilidade de P, em relação a baixa disponibilidade desse nutriente, concordando com o que foi verificado no presente estudo.

Figura 12 - Quantidades de Cu (a), Fe (b), Mn (c) e Zn (d) acumuladas na cultura da batata cultivada em solo de textura argilosa, em resposta à adição de substância húmica e adubação fosfatada



Legenda: (●) média de três doses de substância húmica; * $p \leq 0,05$ e ** $p \leq 0,01$ pelo teste F.

4.2 Experimentos de campo

4.2.1 Teor de nutrientes na folha diagnose

Os teores de alguns nutrientes na folha diagnose da batata cultivada em ambos os solos foram influenciados pela adubação fosfatada e interação SH x P (Tabela 10).

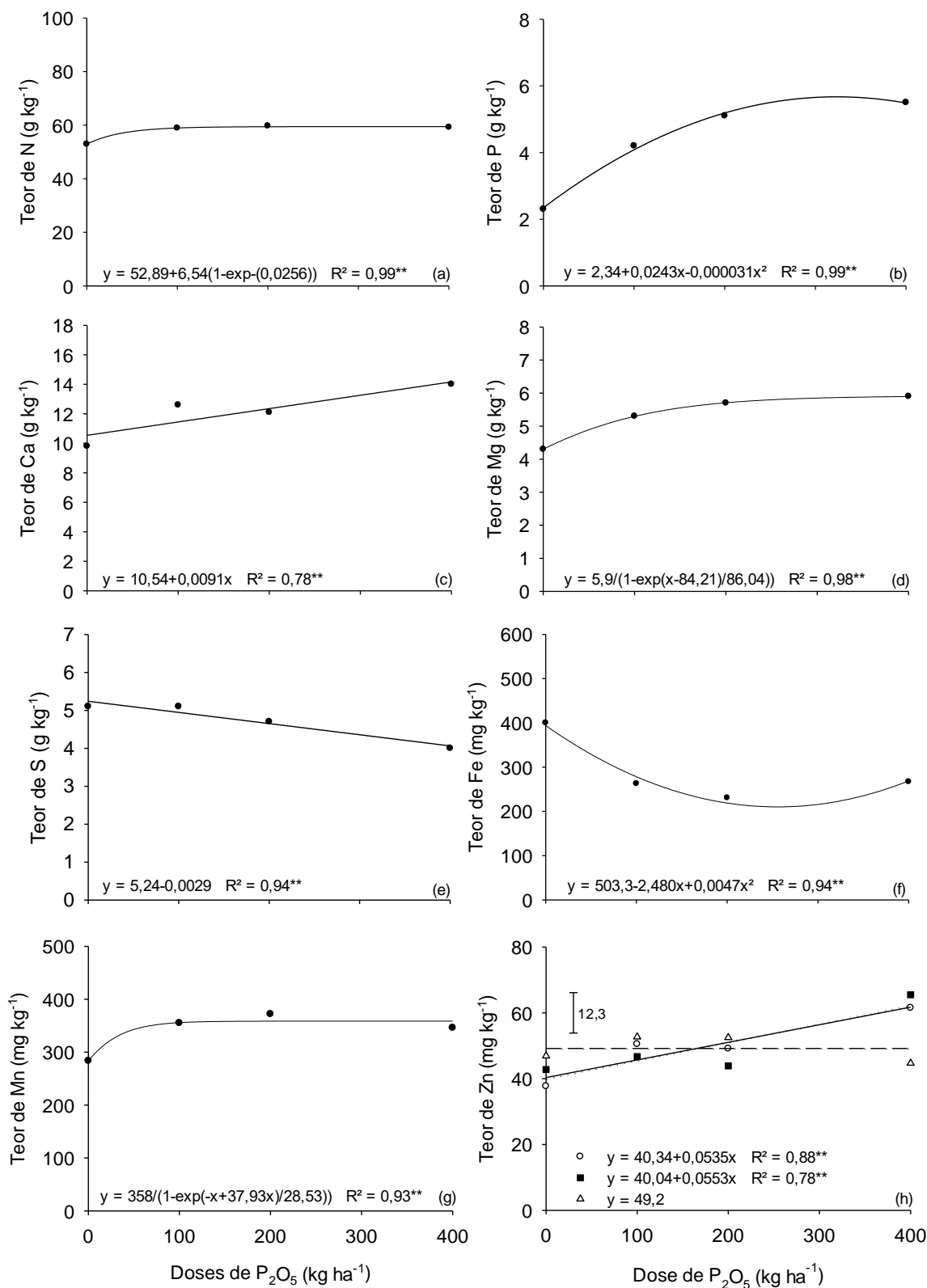
Na batata cultivada no solo de textura arenosa, o teor foliar de N foi aumentado pelas doses de P de forma acentuada até a dose de 50 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e estabilizou-se nas doses superiores (Figura 13a). No solo argiloso, o teor de N não foi influenciado pela adubação fosfatada e apresentou teor médio de 52 g kg⁻¹ de N (Tabela 10). Em ambos os solos os teores estão acima do considerado adequado para batateira, que é de 40 e 50 g kg⁻¹ de N (LORENZI et al., 1997), e semelhante ao valor obtido por Fernandes, Soratto e Silva (2011), de 53 g kg⁻¹ de N.

Tabela 10 - Teores de nutrientes (N, P, K, Ca, Mg, S, Cu, Fe, Mn e Zn) na folha diagnose da cultura da batata, cultivada em solos de textura arenosa e argilosa, em resposta à adição de substância húmica e adubação fosfatada

Tratamento	N	P	K	Ca	Mg	S	Cu	Fe	Mn	Zn
	g kg ⁻¹					mg kg ⁻¹				
SH (L ha ⁻¹)	Solo arenoso									
0	56,9a	4,1a	61,0a	12,4a	5,6a	4,6a	11,5a	333,0a	344,3a	49,7a
50	57,7a	4,4a	64,7a	11,7a	5,2a	4,6a	11,4a	314,8a	349,2a	49,7a
300	58,6a	4,3a	63,4a	12,2a	5,5a	4,9a	12,4a	313,3a	332,8a	49,1a
FV	(P > F)									
Dose de SH	0,379	0,187	0,266	0,635	0,523	0,423	0,660	0,843	0,767	0,975
Dose de P	<0,001	<0,001	0,268	0,004	0,003	0,013	0,127	<0,001	0,015	0,002
SH x P	0,193	0,656	0,224	0,957	0,705	0,444	0,479	0,342	0,368	0,017
CV (%)	5,8	10,1	10,1	17,8	19,6	17,9	29,2	33,07	20,3	17,2
SH (L ha ⁻¹)	Solo argiloso									
0	51,6a	3,6a	46,5a	10,7a	5,3a	2,9a	14,1a	819,2a	88,7a	29,8a
50	51,8a	3,5a	46,5a	10,8a	5,2a	2,7a	14,5a	768,9a	82,9a	29,1a
300	51,8a	3,5a	46,5a	10,7a	5,2a	2,7a	14,5a	768,2a	81,3a	30,5a
FV	(P > F)									
Dose de SH	0,980	0,459	0,999	0,918	0,928	0,126	0,917	0,464	0,388	0,807
Dose de P	0,116	<0,001	0,902	<0,001	<0,001	0,579	<0,001	<0,001	0,559	0,899
SH x P	0,322	0,275	0,995	0,003	0,038	0,569	0,405	0,362	0,988	0,974
CV (%)	5,5	9,5	10,6	7,7	7,6	12,1	17,2	16,8	16,9	19,9

SH: substância húmica. P: fósforo. SH x P: interação. FV: fonte de variação. Médias seguidas de letras distintas na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

Figura 13 - Teores de N (a), P (b), Ca (c), Mg (d), S (e), Fe (f), Mn (g) e Zn (h) na folha diagnose da cultura da batata cultivada em solo de textura arenosa, em resposta à adição de substância húmica e adubação fosfatada



Legenda: Doses de substância húmica: (○) 0 L ha⁻¹; (■) 50 L ha⁻¹; (△) 300 L ha⁻¹; (●) média de três doses de substância húmica. * $p \leq 0,05$ e ** $p \leq 0,01$ pelo teste F. Barra vertical indica o valor de DMS pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Apenas na ausência da adubação fosfatada no solo arenoso, o teor foliar de P ficou abaixo da faixa considerada adequada para batateira (Figura 13b), entre 2,5 e 5,0 g kg⁻¹ (LORENZI et al., 1997). Com o fornecimento de doses do fertilizante fosfatado, o teor de P foi incrementado até a dose estimada de 392 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e, até a maior dose na batata cultivada no solo argiloso (Figura 14b). Concorda com estes resultados, a pesquisa de Fernandes, Soratto e Pilon (2015), os quais observaram redução na concentração de P na folha diagnose da batateira em função da baixa disponibilidade de P no solo.

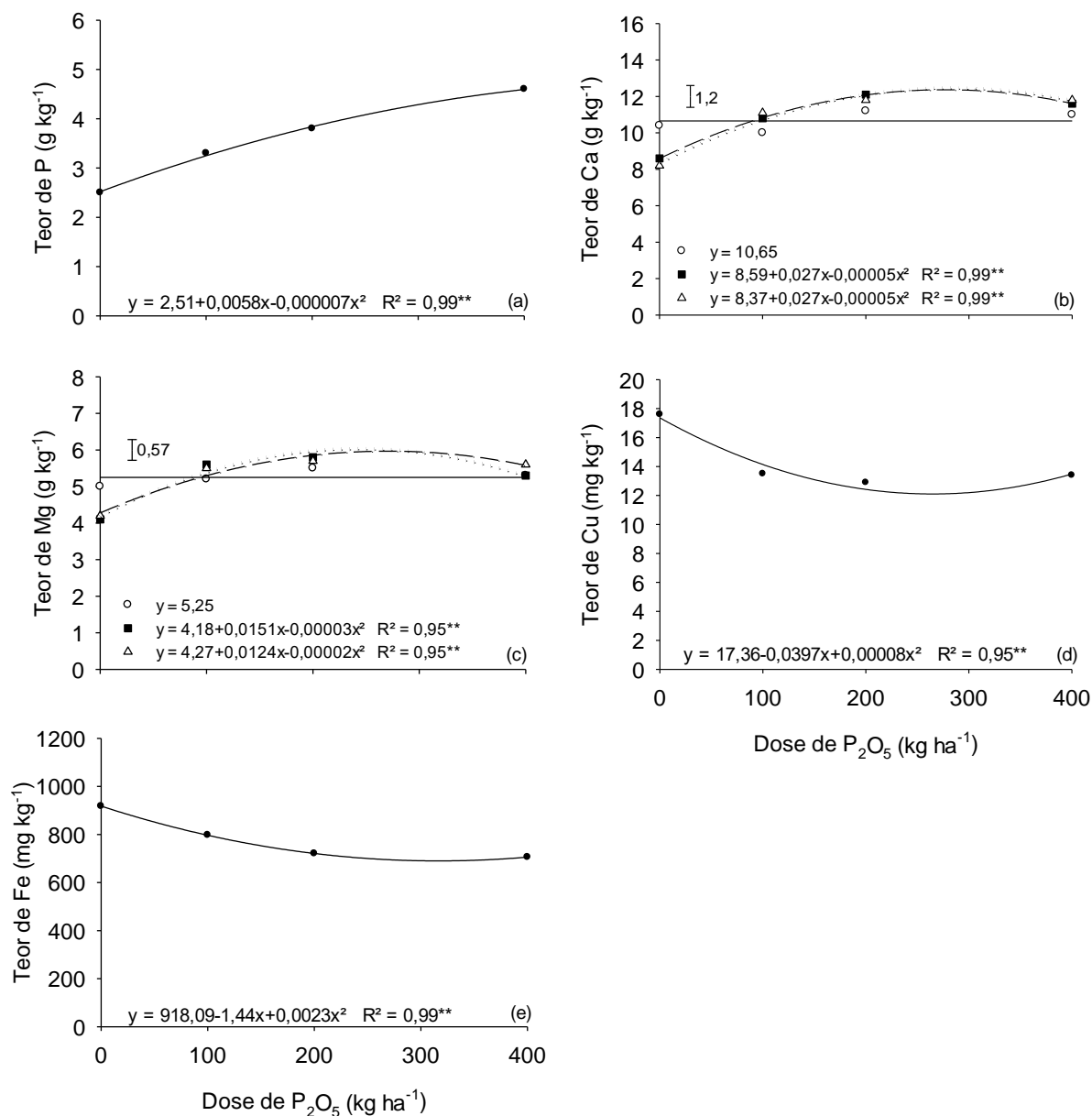
Em ambos os solos o teor foliar de K não foi influenciado pela adubação fosfatada e apresentou valor médio de 63 e 43 g kg⁻¹, no solo arenoso e argiloso, respectivamente (Tabela 10). Estes teores estão dentro da faixa (40 a 65 g kg⁻¹ de K) considerada adequada por Lorenzi et al. (1997).

No solo de textura arenosa, a adubação fosfatada incrementou os teores foliares de Ca e Mg até a maior dose estudada (Figura 13c e 13d). O teor de Ca foi considerado adequado (10 a 20 g kg⁻¹ de Ca), independentemente das doses de P, enquanto o teor Mg ficou acima do intervalo de 3 a 5 g kg⁻¹ de Mg, considerado adequado para batateira por Lorenzi et al. (1997), com o fornecimento da adubação fosfatada.

No solo de textura argilosa, houve interação SH x P para os teores foliares de Ca e Mg na batateira (Figura 14b e 14c). Na ausência da adubação fosfatada, a aplicação da SH (50 e 300 L ha⁻¹) reduziu os teores de Ca e Mg em relação a testemunha, deixando o teor de Ca abaixo do considerado adequado para cultura. Embora a aplicação da SH tenha reduzido os teores destes nutrientes na ausência da adubação fosfatada, somente quando utilizadas as doses de 50 e 300 L ha⁻¹ de SH, as doses de P elevaram os teores de Ca e Mg até as doses estimadas de 270 e 250 kg ha⁻¹ de P₂O₅, respectivamente.

Ao contrário dos demais macronutrientes analisados no tecido foliar da batata cultivada no solo arenoso, o teor de S foi reduzido pelo incremento na adubação fosfatada, embora tenha permanecido dentro da faixa (2,5 a 5 g kg⁻¹) considerada adequada por Lorenzi et al. (1997) (Figura 13e). No solo argiloso, não houve efeito dos fatores estudados sobre o teor de S, que apresentou valor médio de 2,8 g kg⁻¹ de S.

Figura 14 - Teores de P (a), Ca (b), Mg (c), Cu (d) e Fe (e) na folha diagnose da cultura da batata cultivada em solo de textura argilosa, em resposta à adição de substância húmica e adubação fosfatada



Legenda: Doses de substância húmica: (\circ) 0 L ha⁻¹; (\blacksquare) 50 L ha⁻¹; (\triangle) 300 L ha⁻¹; (\bullet) média de três doses de substância húmica. * $p \leq 0,05$ e ** $p \leq 0,01$ pelo teste F. Barras verticais indicam o valor de DMS pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Quanto aos teores de micronutrientes na folha diagnose da batata cultivada no solo arenoso, o teor de Cu não sofreu efeito da adubação fosfatada e apresentou teor médio de 11,8 mg kg⁻¹, o qual está dentro do intervalo considerado adequado para cultura, por Lorenzi et al. (1997). No solo argiloso, o teor foliar de Cu foi reduzido até a dose estimada de 248 kg ha⁻¹ de P₂O₅, porém, apresentou teor

adequado, independentemente da adubação fosfatada (Figura 14d). Fernandes, Soratto e Pilon (2015) observaram que o único micronutriente a sofrer influência da adubação fosfatada na folha diagnose da batata foi o Cu; no entanto, ele foi incrementado na cultivar de batata Asterix e não sofreu variações na cultivar Agata.

A adubação fosfatada promoveu redução no teor de Fe até as doses estimadas de 263 e 313 kg ha⁻¹ de P₂O₅ nos solos arenoso e argiloso, respectivamente (Figura 13f e 14d). Em ambos os solos, o teor de Fe obtido está acima do recomendado por Lorenzi et al. (1997), que vai de 50 a 100 mg kg⁻¹. No presente estudo, os teores ficaram entre 200 e 400 mg kg⁻¹ de Fe no solo arenoso, e entre 700 e 1000 mg kg⁻¹ de Fe no solo argiloso. Esses valores foram superiores aqueles obtidos por Soratto, Fernandes e Souza-Schlick (2011) na cultivar Agata, que apresentou valor médio de 520 mg kg⁻¹, e por Fernandes, Soratto e Pilon (2015), entre 95 e 189 mg kg⁻¹ em cinco diferentes cultivares de batata.

O teor foliar de Mn na batata cultivada no solo arenoso foi incrementado até aproximadamente a dose de 100 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e apresentou teor entre 280 e 380 mg kg⁻¹ de Mn (Figura 13g). Embora esteja acima do teor adequado para cultura, está abaixo do verificado por Soratto, Fernandes e Souza-Schlick (2011), na batata cultivar Agata (449 mg kg⁻¹ de Mn). Não houve efeito dos fatores estudados sobre os teores foliares de Mn e Zn na batata cultivada no solo argiloso, cujo valor médio foi de 83,0 e 30,2 mg kg⁻¹, respectivamente (Tabela 10). Estes teores estão dentro do intervalo considerado adequado para batata de acordo com Lorenzi et al. (1997).

No solo arenoso, o teor foliar de Zn foi afetado pela interação entre os fatores SH x P (Figura 13h). Na testemunha (0 L ha⁻¹ de SH) e com a aplicação de 50 L ha⁻¹ de SH, o teor de Zn aumentou até a maior dose de P. Na presença da aplicação da dose de 400 kg ha⁻¹ de P₂O₅, o fornecimento de 300 L ha⁻¹ de SH proporcionou menor teor de Zn que os demais tratamentos de SH. Sarwar, Akhtar e Hyder (2012) observaram incremento na disponibilidade Zn no solo com aplicação de 150 kg ha⁻¹ de ácido húmico associado a 80 kg ha⁻¹ de P e aumento na absorção deste nutriente pela ervilha (*Pisum sativum* L.). No entanto, essas doses são inferiores à maior dose aplicada no presente estudo. De forma geral, o teor de Zn estava na faixa considerada adequada à cultura da batata, que vai de 20 a 60 mg kg⁻¹ de Zn (LORENZI et al., 1997).

4.2.2 Quantidade de MS acumulada na parte aérea, tubérculos e total, teor e extração de nutrientes

As quantidades de MS acumuladas na parte aérea, nos tubérculos e total da cultura da batata antes da dessecação foram influenciadas pelos fatores SH, dose de P e pela interação SH x P, no solo de textura arenosa (Tabela 11). A aplicação da SH (50 e 300 L ha⁻¹ de SH) aumentou significativamente a MS da parte aérea nas menores doses de P (0 e 100 kg ha⁻¹ de P₂O₅) em relação à testemunha (Figura 15a). Na ausência da adubação fosfatada, a aplicação de 50 L ha⁻¹ de SH incrementou a produção de MS nos tubérculos e total em relação aos demais tratamentos, em aproximadamente 1.000 kg ha⁻¹ (Figura 15b e 15c). Tal aumento na MS de tubérculos também foi substancial com aplicação da maior dose da SH associado à dose de 100 kg ha⁻¹ de P₂O₅. Com o aumento no fornecimento de P até a maior dose, a aplicação de SH, independente da dose, elevou a quantidade de MS acumulada nos tubérculos e total na cultura em relação à testemunha. A ação da SH na produção de MS nas plantas deve-se a uma soma de efeitos no crescimento e desenvolvimento vegetal, ocasionado pelo aumento na absorção de nutrientes (EYHERAGUIBEL; SILVESTRE; MORARD, 2008; BALDOTTO et al., 2009; MORA et al., 2010), incremento da biossíntese de clorofila e carotenoides e melhoria nas características fotossintéticas das plantas (TEJADA; GONZALEZ, 2003; BALDOTTO et al., 2009; AMERI; TEHRANIFAR, 2012; AHMAD et al., 2013; FAN et al., 2014). A promoção no crescimento vegetativo, altura da planta, área foliar e MS da batata, também foi observado no experimento de Abu-Zinada e Sekh-Eleid (2015) com adição de doses de ácido húmico associado ao fertilizante NPK.

Independentemente da aplicação ou não da SH, a adubação fosfatada elevou a produção de MS da parte aérea entre as doses estimadas de 200 e 300 kg ha⁻¹ de P₂O₅ (Figura 15a). A MS de tubérculos e total aumentou expressivamente até a dose de 200 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e praticamente não variou nas doses superiores (Figura 15b). São esperados ganhos significativos na quantidade acumulada de MS pela batata em função da adubação fosfatada; no entanto, observa-se que a planta não responde ao fornecimento de altas doses de P com incremento na produção de MS, mesmo o solo apresentado teor baixo do nutriente (Tabela 2). Na pesquisa de Alvarez-Sánchez (1999), a máxima produção de MS foi observada a doses de 90 a 100 kg ha⁻¹ de P e até 500 kg ha⁻¹ de P₂O₅ nos trabalhos de Fernandes e Soratto (2016a; 2016b), em solos com baixa disponibilidade de P. Portanto, o fornecimento

do adubo fosfatado não resulta em ganhos expressivos de MS dos tubérculos e total (ALVAREZ-SANCHÉZ, 1999; SORATTO; FERNANDES, 2016), pois, uma vez que tenha atingido um nível nutricional adequado, a planta de batata não altera seu índice de colheita (ALVAREZ-SANCHÉZ, 1999; SORATTO; FERNANDES, 2016).

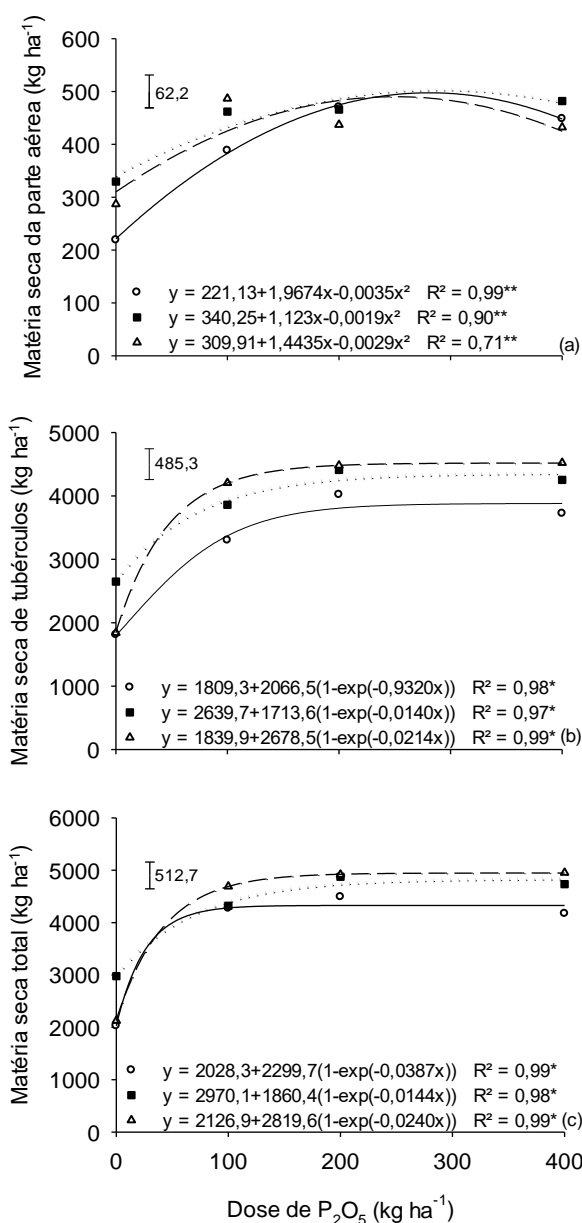
Tabela 11 - Quantidade de matéria seca (MS) acumulada, antes da dessecação das plantas, na parte aérea, tubérculos e total na cultura da batata, cultivada em solos de textura arenosa e argilosa, em resposta à adição de substância húmica e adubação fosfatada

Tratamento	MS da parte aérea	MS de tubérculos	MS total
		kg ha ⁻¹	
SH (L ha ⁻¹)		Solo arenoso	
0	382b	3.359b	3.741b
50	435a	3.792a	4.227a
300	411ab	3.761a	4.172a
FV		(P > F)	
Dose de SH	0,006	0,001	0,001
Dose de P	<0,001	<0,001	<0,001
SH x P	0,028	0,019	0,029
CV (%)	10,6	9,3	8,8
SH (L ha ⁻¹)		Solo argiloso	
0	234b	3.624a	3.858a
50	236b	3.619a	3.854a
300	284a	3.584a	3.868a
FV		(P > F)	
Dose de SH	0,007	0,971	0,997
Dose de P	<0,001	<0,001	<0,001
SH x P	0,890	0,212	0,167
CV (%)	18,8	14,1	13,1

SH: substância húmica. P: fósforo. SH x P: interação. FV: fonte de variação. Médias seguidas de letras distintas na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

Na batata cultivada no solo argiloso, houve efeito isolado dos fatores SH e doses de P sobre a MS da parte aérea e apenas das doses de P sobre a MS de tubérculos e total (Tabela 11). A maior dose de SH (300 L ha⁻¹) aumentou significativamente a MS da parte aérea da batata em relação aos demais tratamentos. Além de aumentar o crescimento vegetativo (ABU-ZINADA; SEKH-ELEID, 2015), a aplicação de SH pode incrementar a eficiência de uso da água, qualidade (peso específico e teor de amido nos tubérculos) e produtividade de tubérculos da batata (ALENAZI et al., 2016).

Figura 15 - Quantidade de matéria seca acumulada na parte aérea (a), tubérculos (b) e total (c) na cultura da batata cultivada em solo de textura arenosa, em resposta à adição de substância húmica e adubação fosfatada

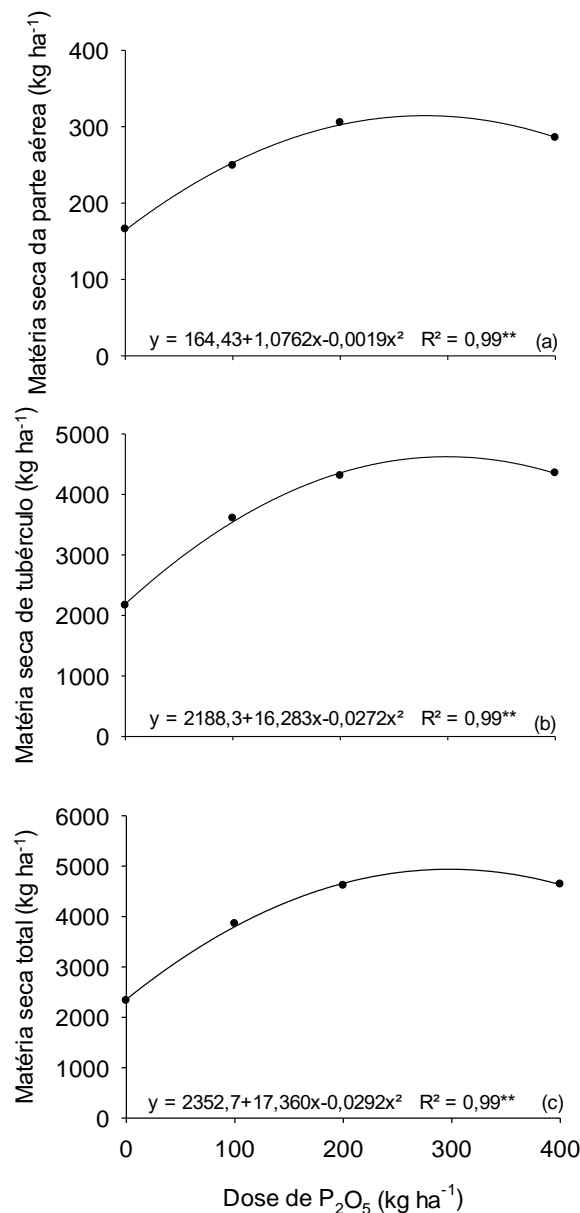


Legenda: Doses de substância húmica: (○) 0 L ha⁻¹; (■) 50 L ha⁻¹; (△) 300 L ha⁻¹. * $p \leq 0,05$ e ** $p \leq 0,01$ pelo teste F. Barras verticais indicam o valor de DMS pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

A quantidade produzida de MS na parte aérea, tubérculos e total foi incrementada até aproximadamente a dose estimada de 300 kg ha⁻¹ de P₂O₅ (Figura 16). A adubação fosfatada pode aumentar a MS nas hastes, folhas, tubérculos e estolão e a área foliar, resultando em maior produção de biomassa total (FLEISHER et al., 2013; SUN; CUI; LIU, 2015). Soratto et al. (2015) e Fernandes, Soratto e Pilon (2015), observaram que no cultivo da batata condicionada a alta e baixa

disponibilidade de P no solo, o alto teor deste nutriente aumentou a produção de MS significativamente, em relação a baixa disponibilidade. No presente estudo, a MS acumulada na batateira foi duas vezes maior com fornecimento adequado de P, em relação à ausência da adubação fosfatada. O P é componente de moléculas como ácidos nucleicos, fosfolipídios e ATP e, conseqüentemente, as plantas não podem crescer sem o fornecimento adequado deste nutriente (THEODOROU; PLAXTON, 1993; SCHACHTMAN; REID; AYLING, 1998).

Figura 16 - Quantidade de matéria seca acumulada na parte aérea (a), tubérculos (b) e total (c) na cultura da batata cultivada em solo de textura argilosa, em resposta à adição de substância húmica e adubação fosfatada



Legenda:(●) média de três doses de substância húmica; * $p \leq 0,05$ e ** $p \leq 0,01$ pelo teste F.

Apenas o teor de N na parte aérea da cultura da batata cultivada no solo argiloso foi influenciado pela interação SH x P (Tabela 12). A aplicação de SH promoveu incremento significativo no teor N na parte aérea, principalmente com fornecimento de 100 kg ha⁻¹ de P₂O₅; contudo, na maior dose de P a aplicação de 50 L ha⁻¹ de SH reduziu significativamente o teor de N (Figura 17). É possível que o aumento na MS da parte aérea, pela aplicação da maior dose de SH (Tabela 11), tenha promovido maior acúmulo de N neste tratamento em quase todas as doses de P. Além disso, as SH podem influenciar positivamente o metabolismo do nitrato, aumentando o teor e síntese de proteínas e aminoácidos solúveis (MORA et al., 2010; VACCARO et al., 2015). De forma geral, observa-se que o teor foliar de N foi reduzido pela aplicação de 300 L ha⁻¹ de SH até a dose estimada de 250 kg ha⁻¹ de P₂O₅; esta redução foi mais acentuada na ausência da aplicação da SH e até a dose estimada de 165 kg ha⁻¹ de P₂O₅.

Praticamente não houve efeito da SH nos teores de nutrientes na batateira em ambos os solos. No solo arenoso, os teores de Ca e Fe foram reduzidos pela aplicação de 50 L ha⁻¹ de SH em relação ao tratamento testemunha (Tabelas 12 e 13). No solo argiloso, apenas o teor de Mn na parte aérea da batata foi reduzido pelo fornecimento de SH. O aumento ou decréscimo nos teores de nutrientes em função da adição de SH é bastante variável na literatura. Nikbakht et al. (2008) observaram que os teores foliares de N, P, K, Ca, Mg, Fe e Zn foram elevados pelo uso de SH na gérbera; no entanto, níveis elevados diminuíram os conteúdos de alguns nutrientes. De acordo com os mesmos autores, houve aumento no teor foliar de Ca com a dose de 500 mg L⁻¹ de ácido húmico, em relação as doses de 0, 100 e 1000 mg L⁻¹. Estudando doses de ácidos húmicos no milho, Leventoglu e Erdal (2014) observaram que não houve efeito da SH sobre as concentrações de N, Mg, Zn e Cu na planta.

No solo arenoso, independentemente da aplicação ou não de SH, o fornecimento de doses crescentes de P reduziu os teores na parte aérea de N até a dose estimada de 280 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e de K e S até a maior dose de P (Tabela 12). Nos tubérculos, a adubação fosfatada promoveu redução no teor de K até a maior dose de P. É possível que o incremento na produção de MS tenha levado a diluição na distribuição destes nutrientes na planta. Estes resultados concordam com os de Fernandes, Soratto e Pilon (2015), os quais observaram que o teor de N na parte aérea da batata diminuiu sob cultivo em solo com baixa disponibilidade de P em

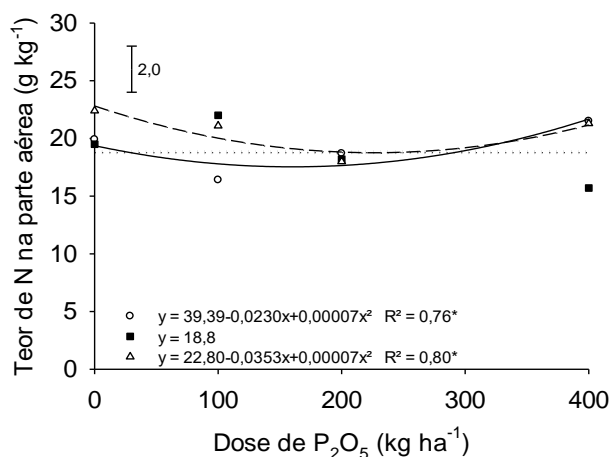
relação a alta disponibilidade; e com Soratto e Fernandes (2016), para quem o aumento no fornecimento da adubação fosfatada também reduziu o teor de S em duas cultivares de batata.

Tabela 12 - Teores de macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg e S) na parte aérea e tubérculos da cultura da batata, cultivada em solos de textura arenosa e argilosa, em resposta à adição de substância húmica e adubação fosfatada

Parte da planta	SH (L ha ⁻¹)			Dose de P ₂ O ₅ (kg ha ⁻¹)				CV	Regressão	R ²
	0	50	300	0	100	200	400			
Solo arenoso										
Teor de N, g kg ⁻¹ %										
Parte aérea	22,6a	23,5a	22,5a	26,8	22,4	20,4	21,7	14,8	y=26,78-0,051x-0,00009x ²	0,99 ²
Tubérculos	15,9a	15,9a	16,3a	16,0	16,4	16,4	15,4	9,82	-	
Teor de P, g kg ⁻¹										
Parte aérea	1,5a	1,6a	1,5a	1,8	1,3	1,4	1,9	17,2	y=1,066+0,0021x	0,98 ^{**}
Tubérculos	2,3a	2,4a	2,3a	1,6	2,0	2,6	3,1	9,6	y=1,540,0064x-0,00006x ²	0,99 ^{**}
Teor de K, g kg ⁻¹										
Parte aérea	62,3a	62,0a	63,0a	68,4	63,7	62,2	55,5	14,3	y=67,87-0,031x	0,98 [*]
Tubérculos	24,8a	25,1a	25,2a	26,5	25,1	23,4	25,1	6,9	y=26,68-0,0267x+0,0005x ²	0,93 ^{**}
Teor de Ca, g kg ⁻¹										
Parte aérea	20,5a	18,0b	20,2ab	14,9	19,5	21,0	22,8	13,7	y=15,09+0,0445x-0,00006x ²	0,98 ^{**}
Tubérculos	2,2a	2,1a	2,2a	2,2	2,1	2,1	2,2	7,6	-	
Teor de Mg, g kg ⁻¹										
Parte aérea	3,9a	3,1a	3,7a	2,9	3,3	4,0	4,0	36,2	-	
Tubérculos	1,2a	1,1a	1,2a	1,2	1,1	1,2	1,1	10,6	-	
Teor de S, g kg ⁻¹										
Parte aérea	2,7a	2,3a	2,4a	3,0	2,7	2,1	2,0	20,6	y=2,95-0,0027x	0,86 [*]
Tubérculos	0,8a	0,8a	0,9a	0,9	1,0	1,0	0,6	42,5	y=0,86+0,0019x-0,0000007x ²	0,99 [*]
Solo argiloso										
Teor de N, g kg ⁻¹										
Parte aérea ^{***}	20,7a	18,8a	19,1a	20,6	19,8	18,3	19,5	10,0	-	
Tubérculos	14,7a	14,3a	14,8a	15,0	14,1	13,9	15,4	14,0	-	
Teor de P, g kg ⁻¹										
Parte aérea	1,4a	1,5a	1,4a	1,2	1,3	1,4	1,8	22,0	y=1,18+0,0015x	0,96 [*]
Tubérculos	2,0a	1,9a	2,0a	1,9	1,8	2,0	2,3	11,4	y=1,79+0,0011x	0,81 ^{**}
Teor de K, g kg ⁻¹										
Parte aérea	39,9a	40,9a	40,7a	41,1	43,9	38,2	38,6	14,8	-	
Tubérculos	23,9a	23,8a	23,6a	24,1	23,3	24,1	23,5	7,2	-	
Teor de Ca, g kg ⁻¹										
Parte aérea	26,6a	27,1a	25,9a	23,7	25,9	27,9	28,5	10,1	y=24,46+0,0115x	0,83 ^{**}
Tubérculos	3,3a	3,4a	3,3a	3,3	3,3	3,2	3,3	6,1	-	
Teor de Mg, g kg ⁻¹										
Parte aérea	5,8a	5,6a	5,8a	4,0	5,7	6,6	6,4	23,9	y=3,98+0,0221x-0,00003x ²	0,99 [*]
Tubérculos	1,1a	1,1a	1,1a	1,1	1,1	1,1	1,2	9,8	-	
Teor de S, g kg ⁻¹										
Parte aérea	1,7a	1,7a	1,9a	1,7	1,7	1,7	2,1	21,1	-	
Tubérculos	0,6a	0,6a	0,5a	0,7	0,5	0,5	0,6	37,8	-	

SH: substância húmica. P: fósforo. Médias seguidas de letras distintas na linha, dentro do fator SH, diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$). * $p \leq 0,05$ ** $p \leq 0,01$ pelo teste F. ***Interação SH x P significativa.

Figura 17 - Teor de N na parte aérea da cultura da batata, antes da dessecação, cultivada em solo de textura argilosa, em resposta à adição de substância húmica e adubação fosfatada



Legenda: Doses de substância húmica: (○) 0 L ha⁻¹; (■) 50 L ha⁻¹; (Δ) 300 L ha⁻¹. * $p \leq 0,05$ e ** $p \leq 0,01$ pelo teste F. Barras verticais indicam o valor de DMS pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

As doses crescentes de adubo fosfatado elevaram o teor de P tanto na parte aérea, quanto nos tubérculos da batateira, independentemente da textura do solo (Tabela 12). Da mesma forma, Soratto e Fernandes (2016), Fernandes, Soratto e Pilon (2015) e Fernandes e Soratto (2016b) observaram aumento no teor deste nutriente na parte aérea e tubérculos de cultivares de batata com aplicação de doses crescentes de P. Isto ocorre porque o aumento no fornecimento do adubo fosfatado eleva a disponibilidade de P na solução do solo (LUZ et al., 2013 ; SUN; CUI; LIU, 2015; MOREIRA et al., 2016), favorecendo a absorção pelas raízes e aumento desse nutriente em todas as partes da planta (MOREIRA et al., 2016). A adubação fosfatada também elevou também o teor de Ca na parte aérea de ambos os solos e de Mg apenas no solo de textura argilosa.

O teor de Cu nos tubérculos da batata cultivada no solo de textura arenosa foi reduzido até a dose estimada de 320 kg ha⁻¹ de P₂O₅, semelhante ao teor de Cu na parte aérea daquelas cultivadas no solo argiloso (Tabela 13). Nos tubérculos, esta redução foi até a maior dose de P. Apenas no solo argiloso, o teor de Fe na parte aérea foi aumentado, porém, de forma pouco expressiva, chegando a 1.100 mg kg⁻¹ de Fe com o incremento das doses de P. Este valor está próximo ao observado por Fernandes, Soratto e Pilon (2015) na cultivar Agata, que apresentou em média 1.400 mg kg⁻¹ de Fe na parte aérea, antes da dessecação. O teor de Zn foi aumentado até a dose estimada de 175 kg ha⁻¹ de P₂O₅, porém, foi reduzido expressivamente na

parte aérea da batata na maior dose de P. De modo contrário, o teor de Zn nos tubérculos foi reduzido até a dose estimada de 284 kg ha⁻¹ de P₂O₅. De forma semelhante ao presente estudo, Soratto e Fernandes et al. (2016), observaram redução no teor de Zn na parte aérea da batata, com o incremento na adubação fosfatada em cultivares de batata.

Tabela 13 - Teores de micronutrientes (Cu, Fe, Mn e Zn) na parte aérea e tubérculos da cultura da batata, cultivada em solos de textura arenosa e argilosa, em resposta à adição de substância húmica e adubação fosfatada

Parte da planta	SH (L ha ¹)			Dose de P ₂ O ₅ (kg ha ⁻¹)				CV	Regressão	R ²
	0	50	300	0	100	200	400			
Solo arenoso										
Teor de Cu, mg kg ⁻¹ %										
Parte aérea	73,2a	63,1a	64,0a	54,0	71,1	64,6	77,5	40,9	-	
Tubérculos	5,9a	5,8a	6,0a	7,2	6,3	5,0	5,0	23,4	y=7,33+0,0154x-0,000024x ²	0,97*
Teor de Fe, mg kg ⁻¹										
Parte aérea	618,5a	336,4b	558,0ab	594,1	535,3	562,9	590,4	14,1	-	
Tubérculos	46,2a	41,1a	51,5a	43,3	48,9	48,9	44,0	39,8	-	
Teor de Mn, mg kg ⁻¹										
Parte aérea	562,3a	623,0a	491,7a	432,5	628,1	614,4	561,1	36,4	-	
Tubérculos	4,1a	3,7a	3,8a	3,8	4,4	3,9	3,4	49,4	-	
Teor de Zn, mg kg ⁻¹										
Parte aérea	101,1a	93,2a	98,5a	103,0	107,5	92,8	86,6	21,4	-	
Tubérculos	27,3a	25,5a	26,7a	28,6	23,7	25,1	28,4	38,6	-	
Solo argiloso										
Teor de Cu, mg kg ⁻¹										
Parte aérea	27,1a	24,0a	26,1a	31,8	25,5	23,0	22,1	19,0	y=31,62-0,0661x+0,0001x ²	0,99**
Tubérculos	6,0a	6,1a	5,6a	6,6	6,0	5,9	5,2	20,6	y=6,51-0,0032x	0,94**
Teor de Fe, mg kg ⁻¹										
Parte aérea	1.102a	1.023a	1.050a	993	1.030	1.121	1.037	8,7	y=983,0+0,9098x-0,0016x ²	0,86*
Tubérculos	131a	110a	138a	157	131	113	106	43,4	-	
Teor de Mn, mg kg ⁻¹										
Parte aérea	203,8a	163,2b	170,1b	175,1	181,1	170,6	186,6	16,0	-	
Tubérculos	4,6a	4,5a	5,2a	5,0	4,5	4,4	5,2	24,5	-	
Teor de Zn, mg kg ⁻¹										
Parte aérea	80,5a	78,2a	91,1a	85,5	88,4	92,7	66,6	21,4	y=84,49+0,1045x-0,0003x ²	0,96*
Tubérculos	18,0a	18,3a	19,1a	22,6	17,9	16,0	17,3	17,9	y=22,5+0,0543x-0,000098x ²	0,94**

SH: substância húmica. P: fósforo. Não foi verificada significância da interação SH x P para nenhuma das variáveis avaliadas. Médias seguidas de letras distintas na linha, dentro do fator SH, diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$). * $p \leq 0,05$ ** $p \leq 0,01$ pelo teste F.

No solo arenoso, as quantidades de macronutrientes extraídos pela batateira foram influenciados pelos fatores SH e doses de P isolados e pela interação SH x P, enquanto os micronutrientes, apenas pelas doses de P (Tabela 14).

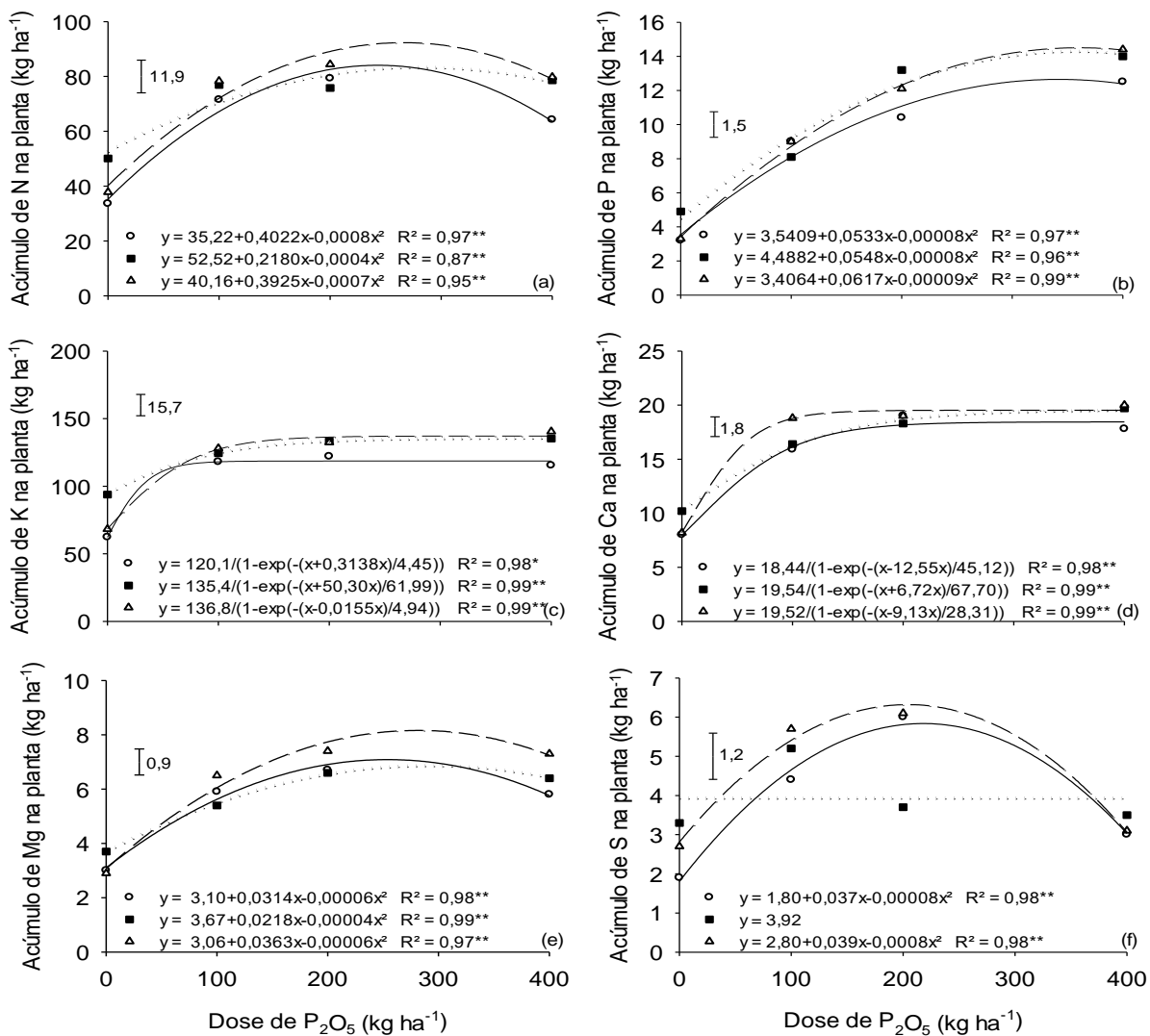
A aplicação de SH (50 e 300 L ha⁻¹) promoveu aumento significativo nas quantidades acumuladas de N, P, K, Ca e Mg, em quase todas as doses de P, em relação a testemunha (Figuras 18a, 18b, 18c, 18e e 18f). Na ausência da adubação fosfatada, o fornecimento de 50 L ha⁻¹ foi mais efetivo em elevar o acúmulo de macronutrientes. Porém, especialmente na maior dose de P, ambas as doses de SH se sobressaíram em relação à testemunha, proporcionando maiores quantidades de N, P, K, Ca e Mg extraídas pela cultura. Houve efeito da SH sobre a quantidade acumulada de S apenas na presença das menores doses de P (0 e 100 kg ha⁻¹ de P₂O₅) (Figura 18f). O acúmulo de macronutrientes seguiu o mesmo comportamento da produção de MS dos tubérculos e total (Figuras 15), no qual as SH elevaram a MS produzida pela batateira, especialmente nas menores e maior dose de P (0, 100 e 400 kg ha⁻¹ de P₂O₅).

Tabela 14 - Quantidades de nutrientes (N, P, K, Ca, Mg, S, Cu, Fe, Mn e Zn) extraídas pela cultura da batata, antes da dessecação, cultivada em solos de textura arenosa e argilosa, em resposta à adição de substância húmica e adubação fosfatada

Tratamento	N	P	K	Ca	Mg	S	Cu	Fe	Mn	Zn
	kg ha ⁻¹					g ha ⁻¹				
Solo arenoso										
SH (L ha ⁻¹)										
0	62,2b	8,8b	105,7b	15,2b	5,4b	3,8a	48,1a	386,1a	244,0a	125,2a
50	70,3a	10,0a	121,7a	16,2a	5,5ab	3,9a	50,2a	390,6a	290,0a	136,6a
300	70,1a	9,7a	119,7a	16,6a	6,0a	4,4a	48,1a	424,5a	223,1a	144,3a
FV	(P > F)									
Dose de SH	0,002	0,005	0,000	0,002	0,006	0,065	0,901	0,354	0,184	0,263
Dose de P	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
SH x P	0,032	0,004	0,003	0,002	0,012	<0,001	0,886	0,845	0,783	0,481
CV (%)	10,2	9,1	7,8	6,6	9,9	16,9	29,6	20,1	41,3	26,8
Solo argiloso										
SH (L ha ⁻¹)										
0	58,1a	7,8a	96,1a	18,1a	5,6a	2,6a	27,1a	745,1a	66,0a	82,1a
50	57,3a	7,4a	95,0a	18,2a	5,5a	2,6a	27,2a	622,7a	54,3b	82,4a
300	58,4a	7,7a	95,3a	19,2a	5,7a	2,2a	27,0a	782,1a	66,8a	92,3a
FV	(P > F)									
Dose de SH	0,943	0,565	0,959	0,143	0,715	0,066	0,986	0,112	0,019	0,119
Dose de P	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,005	<0,001	<0,001
SH x P	0,043	0,130	0,112	0,015	0,205	0,011	0,262	0,749	0,304	0,167
CV (%)	15,7	12,1	11,4	9,7	12,3	23,2	20,6	30,5	20,7	17,4

SH: substância húmica. P: fósforo. SH x P: interação. FV: fonte de variação. Médias seguidas de letras distintas na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

Figura 18 - Quantidades de N (a), P (b), K (c), Ca (d), Mg (e) e S (f) acumuladas na cultura da batata cultivada em solo de textura arenosa, em resposta à adição de substância húmica e adubação fosfatada



Legenda: Doses de substância húmica: (○) 0 L ha⁻¹; (■) 50 L ha⁻¹; (△) 300 L ha⁻¹. * $p \leq 0,05$ e ** $p \leq 0,01$ pelo teste F. Barras verticais indicam o valor de DMS pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

O possível benefício da aplicação de SH na absorção de nutrientes deve-se ao efeito semelhante ao hormônio auxina e, este efeito primário seria o principal fator biológico responsável, por exemplo, pelo desenvolvimento da raiz lateral que é controlado pela auxina (CALVO; NELSON; KLOEPPER, 2014). O aumento na atividade de ATPases em células radiculares (CANELLAS et al., 2009) resultando em maior desenvolvimento e densidade radicular, está ligada também a absorção de nutrientes. A ativação de ATPases bombeadoras de prótons presentes na membrana celular, também levam a uma maior troca de íons e absorção de

nutrientes, como nitratos, os quais favorecem o crescimento vegetativo das plantas (MORA et al., 2010). Selim, El-Neklawy e El-Ashry (2009) recomendaram a associação de SH à adubação com NPK no cultivo da batata em solo de textura arenosa, devido a redução da lixiviação de N e K para camadas mais profundas do solo e maior disponibilização de P para a cultura. Estes autores ressaltaram ainda melhorias no estado nutricional da batata, assim como observado no presente estudo.

As quantidades acumuladas de N e Mg pelas plantas cultivadas no solo arenoso foram crescentes até aproximadamente 250 a 270 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e de forma mais expressiva com aplicação de 300L ha⁻¹ de SH (Figuras 18a e 18e). O acúmulo de P respondeu até a dose mais elevada do adubo fosfatado, independentemente do fornecimento de SH (Figura 18b). Os acúmulos de K e Ca foram aumentados de forma expressiva até a dose de 100 kg ha⁻¹ de P₂O₅, estabilizando nas doses superiores (Figuras 18c e 18d). O acúmulo de S foi aumentado até a dose estimada de 205 kg ha⁻¹ de P₂O₅, exceto com aplicação de 50 L ha⁻¹, que não foi influenciada pelas doses de P (Figura 18f). Observa-se que apenas a quantidade acumulada de K e Ca seguiram o mesmo comportamento da produção de MS total pela batata (Figura 15c); os acúmulos de N, Mg e, principalmente, de P, foram incrementados até quase as maiores doses de P.

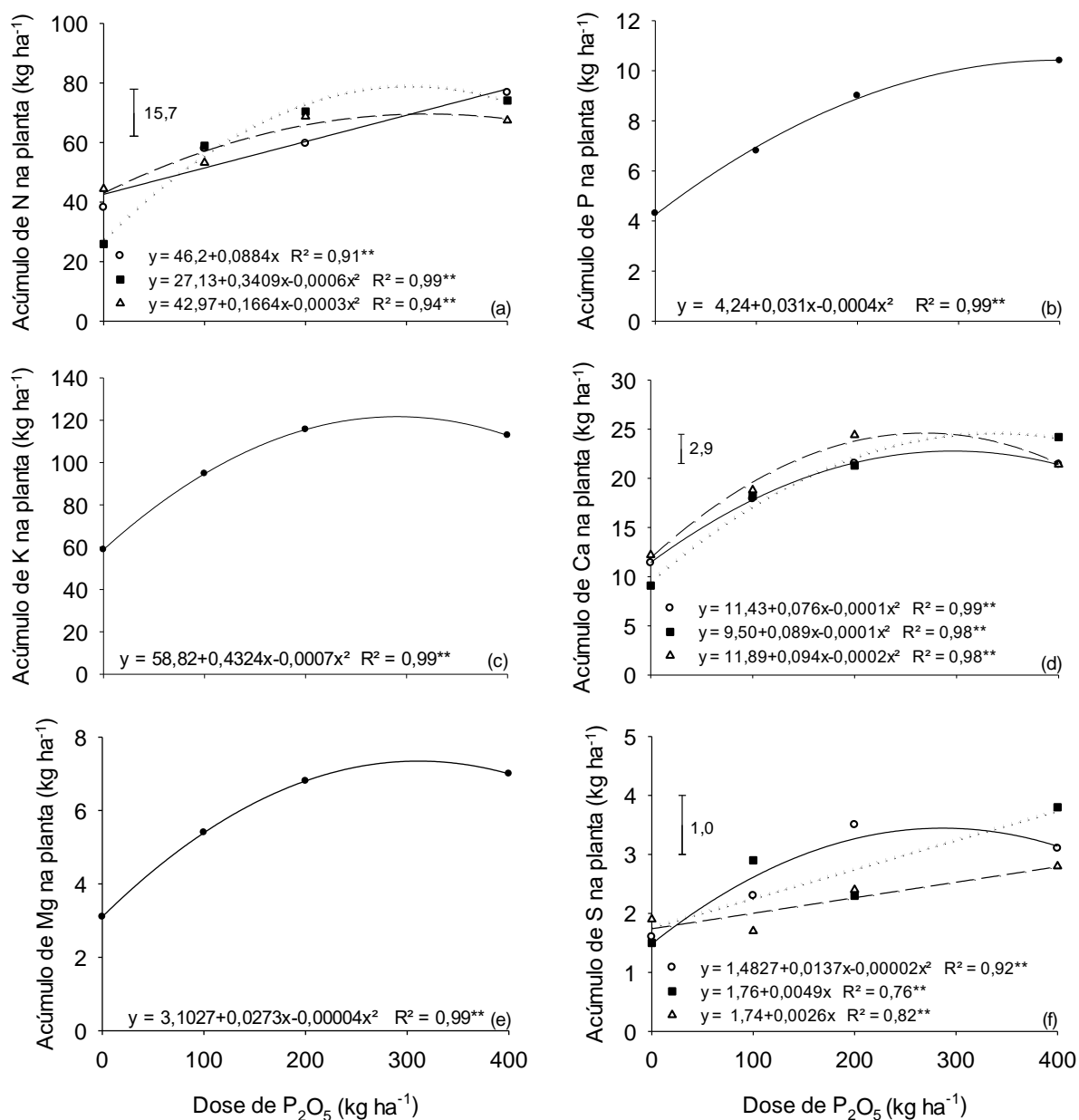
No solo de textura argilosa, houve efeito isolado da aplicação de SH apenas sobre o acúmulo de Mn pela cultura da batata (Tabela 14). Houve efeito isolado da adubação fosfatada sobre a quantidade acumulada de todos os nutrientes e da interação SH x P apenas sobre os acúmulos de N, Ca e S. O acúmulo de Mn diminuiu com a aplicação de 50 L ha⁻¹ de SH. Provavelmente isso ocorreu em função do menor teor deste micronutriente na parte aérea, ocasionado pela aplicação da SH (Tabela 13). De forma distinta, Sarwar, Akhtar e Hyder (2012), obtiveram incremento no teor de Mn em ervilha, até a maior dose de ácido húmico aplicado (150 kg ha⁻¹) atribuída a maior disponibilidade deste micronutriente no solo com aplicação da SH. Diferente do que foi observado no solo arenoso, os nutrientes não tiveram sua absorção pela batata aumentada com uso da SH (Tabela 14). Os efeitos da SH na absorção de nutrientes parecem ser limitados pelo tipo de solo e, mais provavelmente pelo teor de MO. Como o solo arenoso do presente estudo apresentou teor de 7 g dm⁻³ de MO e o solo argiloso 26 g dm⁻³ de MO, os efeitos da SH foram mais evidentes na absorção de nutrientes no solo com menor teor, pois

solos com alto teor de MO neutralizam os efeitos de fertilizantes à base de ácidos orgânicos e não aumentam a solubilização de nutrientes no solo (SUMMERHAYS et al., 2014). Osvalde et al. (2012) observaram que aplicação de SH na cebola cultivada em solo de textura franco-argilosa foi ineficaz em aumentar o rendimento da cultura e absorção de nutrientes na agricultura convencional ou, causou efeitos negativos no cultivo orgânico, teoricamente, em um solo com características biológicas melhores.

Houve interação entre os fatores SH x dose P para o acúmulo de N, Ca e S (Figuras 19a, 19d e 19f). Na menor dose de P, a aplicação de 50 L ha⁻¹ de SH reduziu significativamente a quantidade de N e Ca absorvida, em relação à testemunha e a maior dose de SH. Quanto ao Ca, observa-se que o teor deste nutriente já era deficiente na menor dose de P na folha diagnose da batata, em função da aplicação das SH (Figura 14b). Ao contrário do que foi observado para o N e Ca, o acúmulo de S, apesar de ter sido incrementado pela adubação fosfatada até a maior dose com aplicação de SH, a extração deste nutriente foi maior com a adição 50 L ha⁻¹ nas doses de 100 e 400 kg ha⁻¹ de P₂O₅.

A adubação fosfatada aumentou em mais de 100% a quantidade acumulada de N, K, Ca e Mg, em relação à ausência da aplicação de P (Figuras 19a, 19c, 19d e 19e). A quantidade acumulada de K e Mg respondeu até a dose estimada de 300 kg ha⁻¹ de P₂O₅ (Figura 19c), mesma dose em que a produção de MS atingiu seu máximo acúmulo (Figura 16c), além disso, o teor de Mg na parte aérea da batateira foi aumentado pela adubação fosfatada (Tabela 12). A adubação fosfatada pode afetar a atividade da H⁺-ATPase da membrana plasmática induzindo a absorção de cátions como K⁺, Ca²⁺ e Mg²⁺ (SALINAS et al., 2013). O incremento na extração destes nutrientes em função do aumento da disponibilidade de P no solo também foi observado por Fernandes, Soratto e Pilon (2015) e Soratto e Fernandes (2016) na batata cultivar Agata.

Figura 19 - Quantidades de N (a), P (b), K (c), Ca (d), Mg (e) e S (f) acumuladas na cultura da batata cultivada em solo de textura argilosa, em resposta à adição de substância húmica e adubação fosfatada



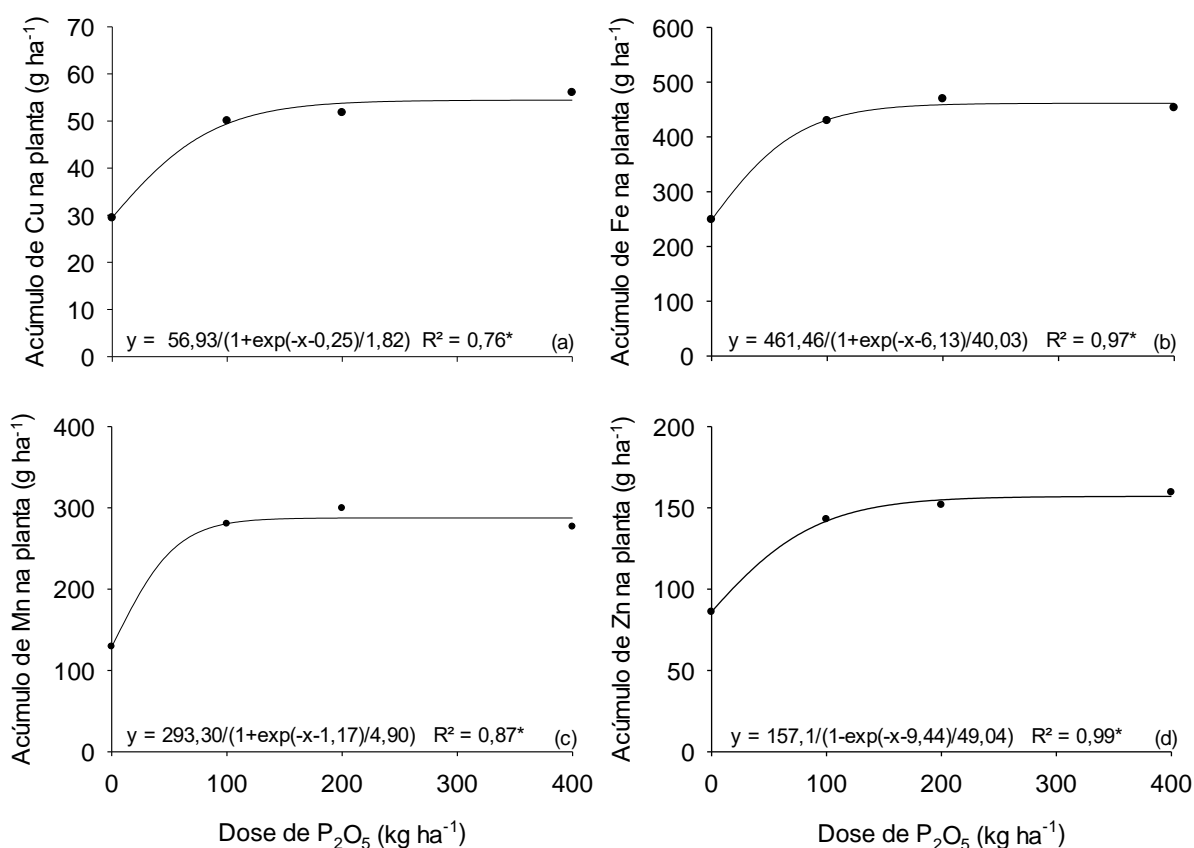
Legenda: Doses de substância húmica: (○) 0 L ha⁻¹; (■) 50 L ha⁻¹; (△) 300 L ha⁻¹; (●) média de três doses de substância húmica. * $p \leq 0,05$ e ** $p \leq 0,01$ pelo teste F. Barras verticais indicam o valor de DMS pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

O incremento no acúmulo de P foi ainda mais expressivo que os demais macronutrientes (Figura 19b). É esperado que o acúmulo de P em resposta ao fornecimento do adubo fosfatado seja alto, visto que o teor deste nutriente na parte aérea e tubérculos também foram elevados (Tabela 12). Contudo, observa-se que a quantidade de MS produzida pela batata atingiu seu máximo acúmulo na dose estimada de 300 kg ha⁻¹ de P₂O₅ (Figura 16c). Isto indica que altas doses de adubo

fosfatado podem levar à absorção desnecessária de P, visto que, a produção de MS não seguiu o mesmo comportamento do acúmulo de P. O mesmo foi observado por Fernandes e Soratto (2016b). De acordo com estes autores, independentemente do teor inicial de P no solo, a absorção de P pela batata respondeu até a aplicação de 500 kg ha⁻¹ de P₂O₅, o que mostra que altas doses não têm efeito sobre o crescimento da planta e absorção deste nutriente.

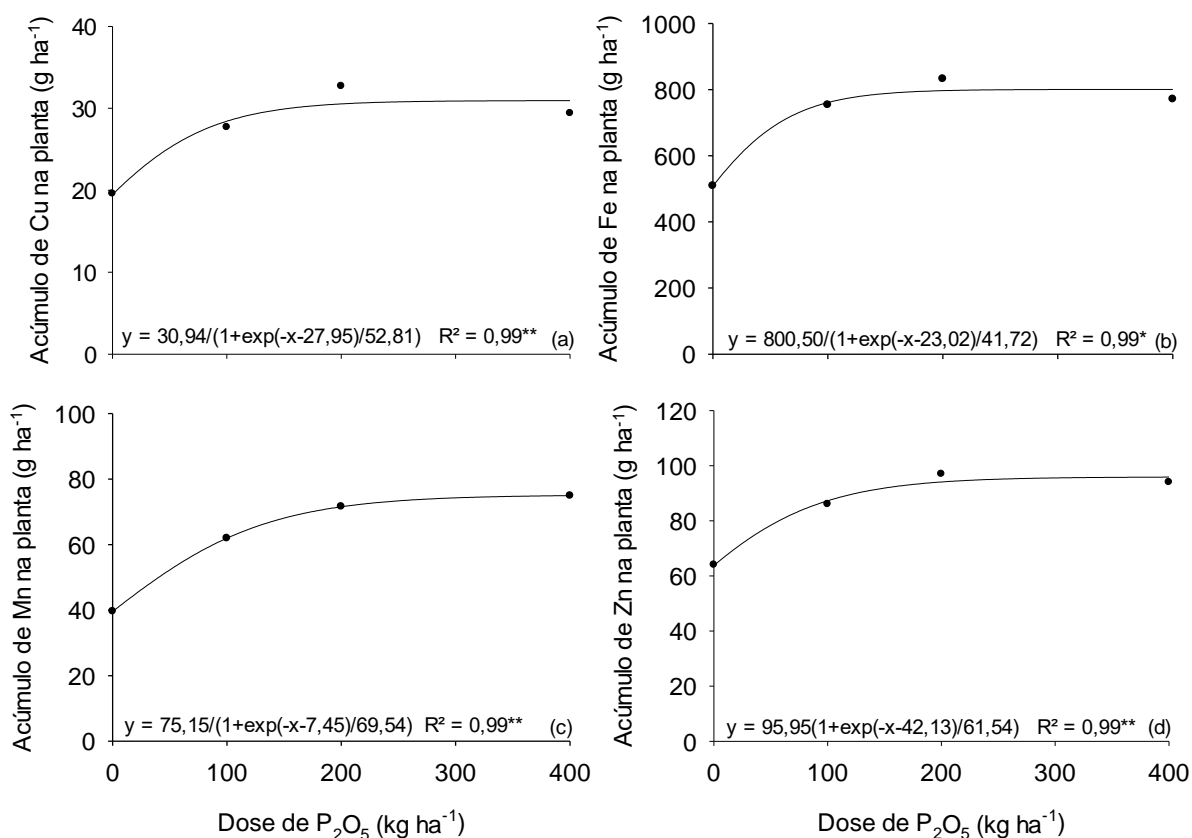
As quantidades acumuladas de Cu, Fe, Mn e Zn foram aumentadas até a dose estimada de 100 kg ha⁻¹ de P₂O₅ no solo arenoso e praticamente não variou em doses superiores (Figura 20). O mesmo foi observado no solo de textura argilosa, sendo que o acúmulo foi mais expressivo até a dose de 200 kg ha⁻¹ de P₂O₅ (Figura 21). A adubação fosfatada pode incrementar o teor de micronutrientes no solo (SARWAR; AKHTAR; HYDER, 2012). Nos experimentos de Fernandes, Soratto e Pilon (2015) a absorção de Fe e Mn, foram significativamente influenciadas pela alta disponibilidade de P na batata cultivar Agata, enquanto o teor de Zn não variou.

Figura 20 - Quantidades de Cu (a), Fe (b), Mn (c) e Zn (d) acumuladas na cultura da batata cultivada em solo de textura arenosa, em resposta à adição de substância húmica e adubação fosfatada



Legenda: (●) média de três doses de substância húmica; * $p \leq 0,05$ e ** $p \leq 0,01$ pelo teste F.

Figura 21 - Quantidades de Cu (a), Fe (b), Mn (c) e Zn (d) acumuladas na cultura da batata cultivada em solo de textura argilosa, em resposta à adição de substância húmica e adubação fosfatada



Legenda: (●) média de três doses de substância húmica; * $p \leq 0,05$ e ** $p \leq 0,01$ pelo teste F.

4.2.3 Número, produtividade e classificação dos tubérculos produzidos

No solo de textura arenosa, o número de tubérculos total, comercial e da classe especial, e o peso médio de tubérculos foram afetados pelos fatores isolados e pela interação SH x P (Tabela 15). Na ausência da adubação fosfatada a adição de SH (50 e 300 L ha⁻¹) aumentou o número de tubérculos total e comercial em relação à testemunha (Figuras 22a e 22b). Para os tubérculos da classe especial, a aplicação da SH na dose de 50 L ha⁻¹ proporcionou maior número em comparação aos demais tratamentos, na ausência da aplicação de P (Figura 22c). Contudo, na maior dose de P, houve uma tendência de diminuição no número de tubérculos por planta com a aplicação de 300 L ha⁻¹ de SH em relação a testemunha e a dose intermediária de SH. A adição de SH (50 e 300 L ha⁻¹) aumentou também o número de tubérculos da classe primeira, independentemente da aplicação de P (Tabela 15). O número de tubérculos da batata é um parâmetro importante pois seu aumento

geralmente vem acompanhado por aumentos na produtividade total (ROSEN; BIERMAN, 2008). Na pesquisa de Sanli, Karadogan e Tonguc (2013), o uso de leonardita, material orgânico fonte de ácidos húmicos e fúlvicos, aumentou em 22% o número de tubérculos por planta de quatro cultivares de batata, incrementando assim a produtividade da cultura. No entanto, é importante salientar que no presente estudo, o efeito das SH sobre o número de tubérculos foi limitado à ausência ou aplicação da menor dose de P_2O_5 (100 kg ha^{-1}) (Figuras 22a, 22b e 22c).

Tabela 15 - Número total de tubérculos, número de tubérculos comercializáveis e número de tubérculos das classes especial, primeira, segunda e miúda e peso médio de tubérculos da cultura da batata, cultivada em solos de textura arenosa e argilosa, em resposta à adição de substância húmica e adubação fosfatada

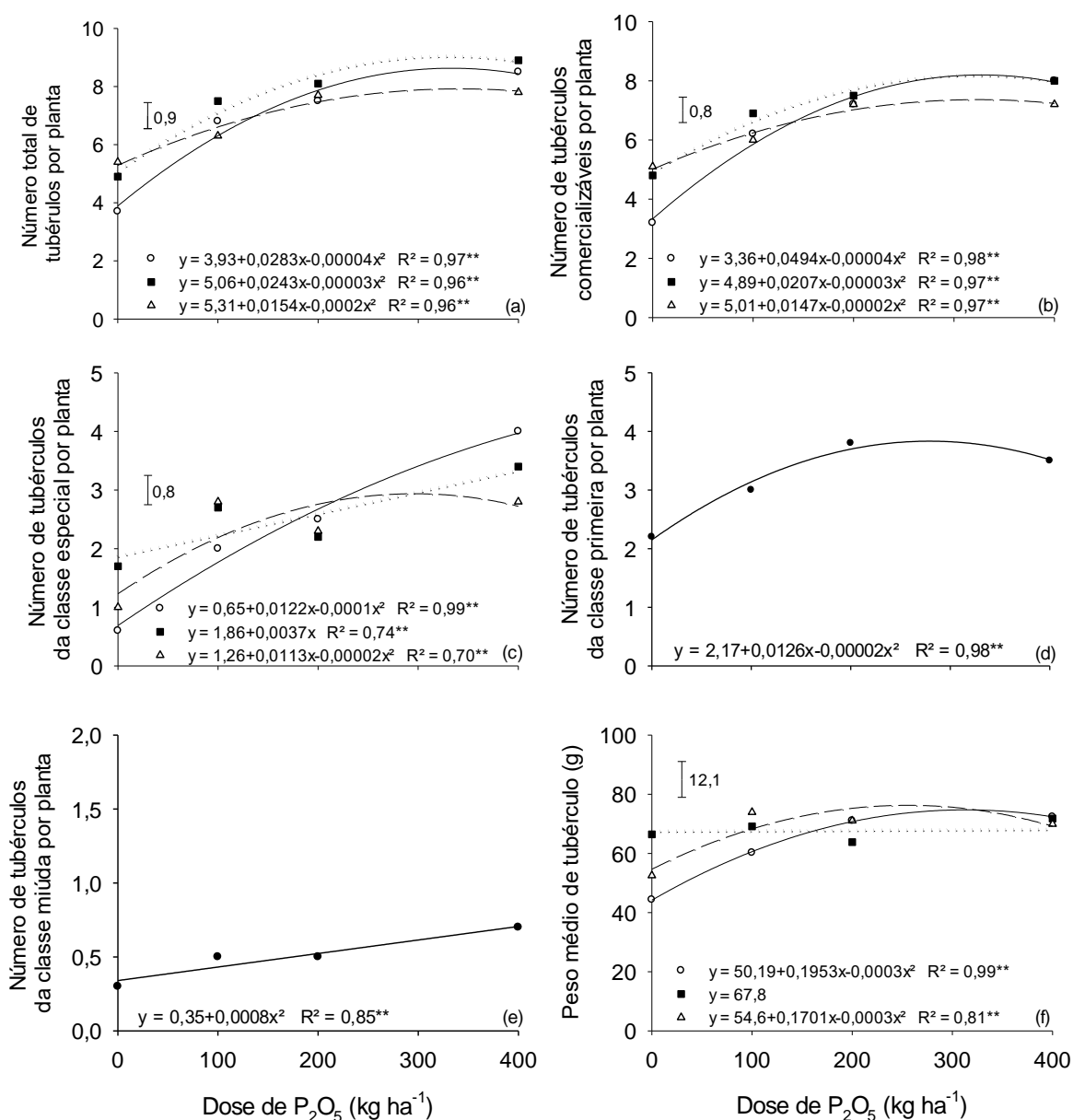
Tratamento	Número médio de tubérculos por planta						Peso médio de tubérculos (g)
	Total	Comercial	Especial	Primeira	Segunda	Miúda	
	tubérculo por planta						
SH (L ha^{-1})	Solo arenoso						
0	6,6b	6,2b	2,3ab	2,8b	1,0a	0,4a	62,0b
50	7,4a	6,8a	2,5a	3,2a	1,0a	0,6a	67,8a
300	6,8b	6,4ab	2,2b	3,3a	1,0a	0,4a	66,8a
FV	$(P > F)$						
Dose de SH	0,005	0,023	0,030	0,003	0,636	0,161	0,045
Dose de P	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,311	0,001	<0,001
SH x P	0,013	0,011	<0,001	0,122	0,170	0,512	0,003
CV (%)	8,9	9,8	14,8	11,8	26,1	35,7	10,7
SH (L ha^{-1})	Solo argiloso						
0	6,5a	6,3a	3,1b	2,4a	0,9a	0,2a	88,4a
50	6,0a	5,7a	3,4a	1,6b	0,7a	0,3a	97,1a
300	6,4a	6,2a	3,5a	1,8b	0,9a	0,2a	97,3a
FV	$(P > F)$						
Dose de SH	0,251	0,118	0,045	0,005	0,187	0,237	0,082
Dose de P	<0,001	<0,001	<0,001	0,121	0,003	0,001	0,004
SH x P	0,095	0,237	0,435	0,299	0,193	0,174	0,135
CV (%)	13,7	13,7	15,4	26,3	39,2	76,5	13,1

SH: substância húmica. P: fósforo. SH x P: interação. FV: fonte de variação. Médias seguidas de letras distintas na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

O peso médio de tubérculos seguiu o mesmo comportamento do número de tubérculos da classe especial e foi aumentado pela aplicação de 50 L ha^{-1} de SH em relação aos demais tratamentos na ausência da adubação fosfatada (Figura 22f). A aplicação da SH, independentemente da dose fornecida elevou o peso médio de tubérculos quando comparado a testemunha somente na dose de 100 kg ha^{-1} de

P₂O₅. De forma semelhante ao presente estudo, Hopkins e Starks (2003) observaram maior peso de tubérculo da batata Russet Burbank, pela associação do ácido húmico à adubação fosfatada.

Figura 22 - Número total de tubérculos (a), número de tubérculos comercializáveis (b) e número de tubérculos das classes especial (c), primeira (d) e miúda (e) e peso médio de tubérculos (f) da cultura da batata, cultivada em solo de textura arenosa, em resposta à adição de substância húmica e adubação fosfatada



Legenda: Doses de substância húmica: (○) 0 L ha⁻¹; (■) 50 L ha⁻¹; (△) 300 L ha⁻¹; (●) média de três doses de substância húmica. * $p \leq 0,05$ e ** $p \leq 0,01$ pelo teste F. Barras verticais indicam o valor de DMS pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Independentemente da aplicação da SH, a adubação fosfatada elevou o número de tubérculos total e comercial até aproximadamente a dose de 370 kg ha⁻¹

de P_2O_5 , e de forma mais expressiva na ausência da aplicação de SH sobre o número de tubérculos da classe especial (Figuras 22a, 22b e 22c). As doses de P não influenciaram o peso médio de tubérculos quando realizada aplicação de $50 L ha^{-1}$ de SH; de modo contrário, o fornecimento de $300 L ha^{-1}$ de SH e a testemunha elevaram de forma expressiva o peso médio de tubérculos até as doses estimadas de 325 e $285 kg ha^{-1}$ de P_2O_5 , respectivamente (Figura 22f). A adubação fosfatada também incrementou o número de tubérculo da classe primeira até a dose estimada de $315 kg ha^{-1}$ de P_2O_5 , e na classe miúda o aumento foi até a maior dose (Figuras 22d e 22e). Estes resultados corroboram com Rosen e Bierman (2008), os quais observaram aumento no número de tubérculos menores que $85g$, com o incremento da adubação fosfatada.

No solo de textura argilosa, não houve interação SH x P para o número de tubérculos da batata (Tabela 15). Houve efeito isolado da SH apenas no número de tubérculos da classe especial e primeira. A adubação com SH (50 e $300 L ha^{-1}$ de SH) aumentou o número de tubérculos da classe especial e reduziu os da classe primeira; contudo, não interferiu no número de tubérculos total ou comercial.

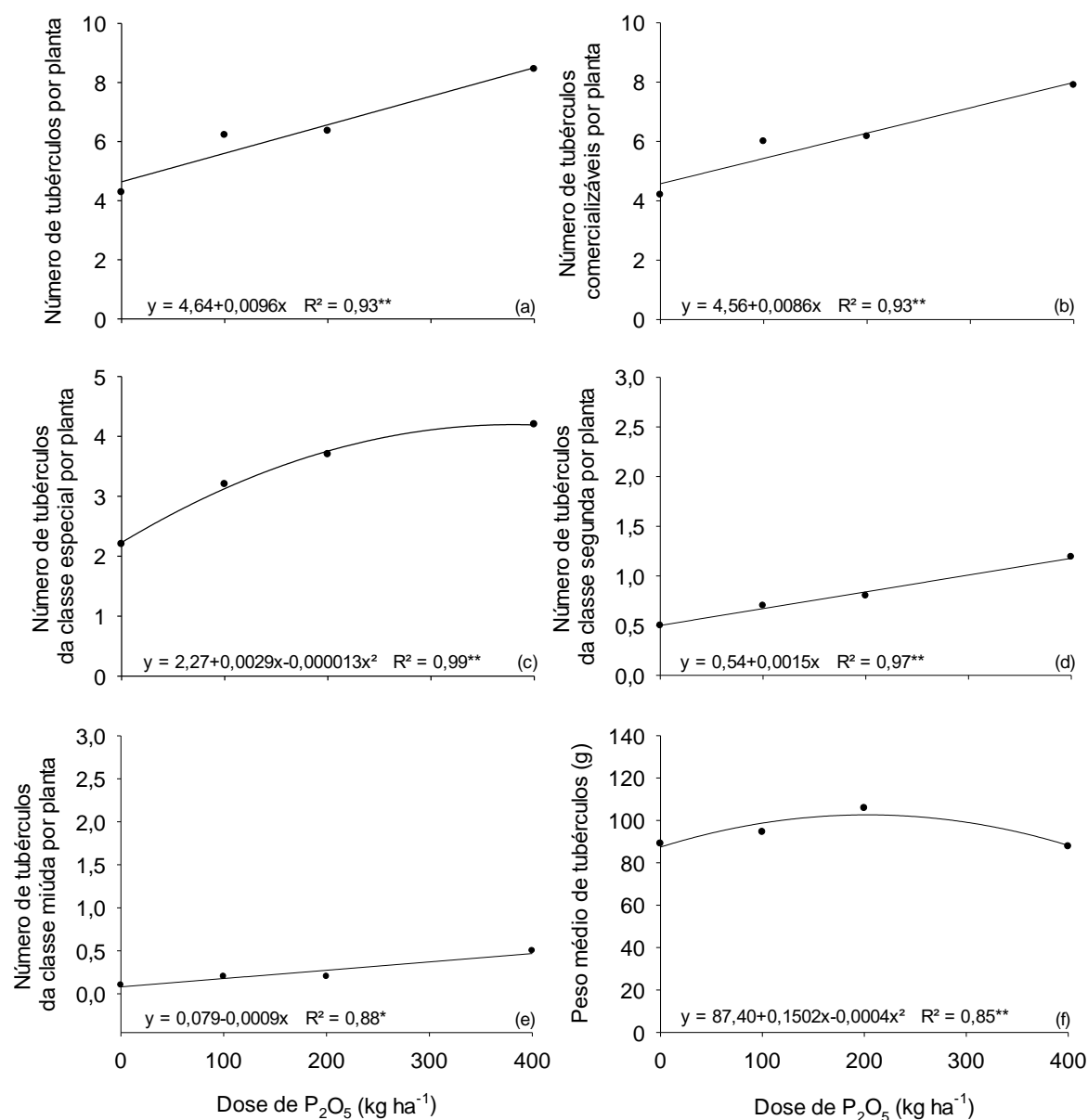
O número de tubérculos total, comercial, das classes especial, segunda e miúda foram incrementados até a maior dose de P e praticamente dobrou em relação a ausência de P (Figuras 23a, 23b, 23c e 23d). Da mesma forma, Fernandes e Soratto (2016a; 2016b), observaram que no solo com baixa disponibilidade de P a adubação resultou em um aumento de nove vezes no número de tubérculos com um diâmetro maior que $45 mm$, comprovando, assim como no presente estudo, que em solos com baixa disponibilidade de P, o número de tubérculos por planta pode ser aumentado através da adubação fosfatada (JENKINS; ALI, 2000; FERNANDES; SORATTO, 2016a; 2016b).

Embora a adubação fosfatada tenha incrementado o número de tubérculos não comercializáveis (classe miúda) em ambos os solos, o número de tubérculos comercializáveis também aumentou em resposta adubação fosfatada (Figuras 22e e 23e), diferente do que foi obtido por Rosen e Biermam (2008), no qual o número de tubérculos comercializáveis não foi influenciado pela adubação fosfatada devido ao aumento no número de tubérculos menores que $85 g$ (não comercializáveis).

O peso médio de tubérculos foi incrementado de forma acentuada pela adubação fosfatada até a dose estimada de $190 kg ha^{-1}$ de P_2O_5 (Figura 23f). Além de ser componente estrutural de moléculas como ácidos nucleicos, fosfolípidios e

ATP (THEODOROU; PLAXTON, 1993; SCHACHTMAN; REID; AYLING,1998), o P participa também do metabolismo de amido na batateira, sendo requerido em quantidades relativamente elevadas durante a fase de enchimento dos tubérculos (HOUGHLAND, 1960). Dubetz e Bole (1975) observaram que o peso médio de tubérculos aumentou com o fornecimento de doses de P. Esse aumento foi até a dose de 500 kg ha⁻¹ de P₂O₅ no peso médio de tubérculos de duas cultivares de batata no experimento de Fernandes e Soratto (2016b).

Figura 23 - Número total de tubérculos (a), número de tubérculos comercializáveis (b) e número de tubérculos das classes especial (c), segunda (d) e miúda (e) e peso médio de tubérculos (f) de batata, cultivada em solo de textura argilosa, em resposta à adição de substância húmica e adubação fosfatada



Legenda: (●) média de três doses de substância húmica; * $p \leq 0,05$ e ** $p \leq 0,01$ pelo teste F.

No solo arenoso houve efeito isolado da aplicação de SH e doses de P e da interação SH x P na produtividade total e comercial de tubérculos da cultura da batata (Tabela 16). Nas menores doses de P (0 e 100 kg ha⁻¹ de P₂O₅) a adição de SH (50 e 300 L ha⁻¹) incrementou significativamente a produtividade de tubérculos total e comercial, que passou de aproximadamente 7.000 kg ha⁻¹ para 12.000 kg ha⁻¹, na ausência da adubação fosfatada (Figuras 24a e 24b) e de tubérculos de classe especial (Figura 24c). No entanto, observa-se que a aplicação de 300 L ha⁻¹ de SH na maior dose de P, reduziu a produtividade de tubérculos em relação à dose intermediária e a testemunha. Estudando o efeito da adubação com leonardita em cultivares de batata, Sanli, Karadogan e Tonguc (2013) observaram aumento de 38% na produtividade de tubérculos comercializáveis e 15% no rendimento de tubérculos total de cultivares de batata. No presente estudo, nas menores doses de P (0 e 100 kg ha⁻¹ de P₂O₅), a aplicação de 50 L ha⁻¹ de SH praticamente dobrou a produtividade de tubérculos em relação a testemunha.

Tabela 16 - Produtividade total, comercial, e das classes especial, primeira, segunda e miúda, de tubérculos da cultura da batata, cultivada em solos de textura arenosa e argilosa, em resposta à adição de substância húmica e adubação fosfatada

Tratamento	Produtividade de tubérculos					
	Total	Comercial	Especial	Primeira	Segunda	Miúda
	kg ha ⁻¹					
SH (L ha ⁻¹)	Solo arenoso					
0	17.972b	17.853b	10.730a	6.327b	797a	118a
50	20.916a	20.791a	10.965a	7.585a	646b	124a
300	19.181b	19.073b	12.559a	7.396a	712ab	108a
FV	(P > F)					
Dose de SH	0,006	0,005	0,151	0,014	0,042	0,535
Dose de P	<0,001	<0,001	<0,000	<0,001	0,200	0,041
SH x P	0,019	0,017	0,012	0,471	0,231	0,152
CV (%)	12,4	12,4	24,6	17,2	24,9	35,7
SH (L ha ⁻¹)	Solo argiloso					
0	24.039a	23.967a	17.965b	5.346a	655a	72a
50	24.147a	24.069a	20.206a	3.401b	463a	78a
300	25.365a	25.303a	20.603a	4.098b	602a	61a
FV	(P > F)					
Dose de SH	0,405	0,398	0,039	0,005	0,062	0,603
Dose de P	<0,001	<0,001	<0,001	0,133	0,001	0,000
SH x P	0,528	0,546	0,394	0,738	0,152	0,551
CV (%)	12,4	12,5	15,3	29,8	37,1	65,6

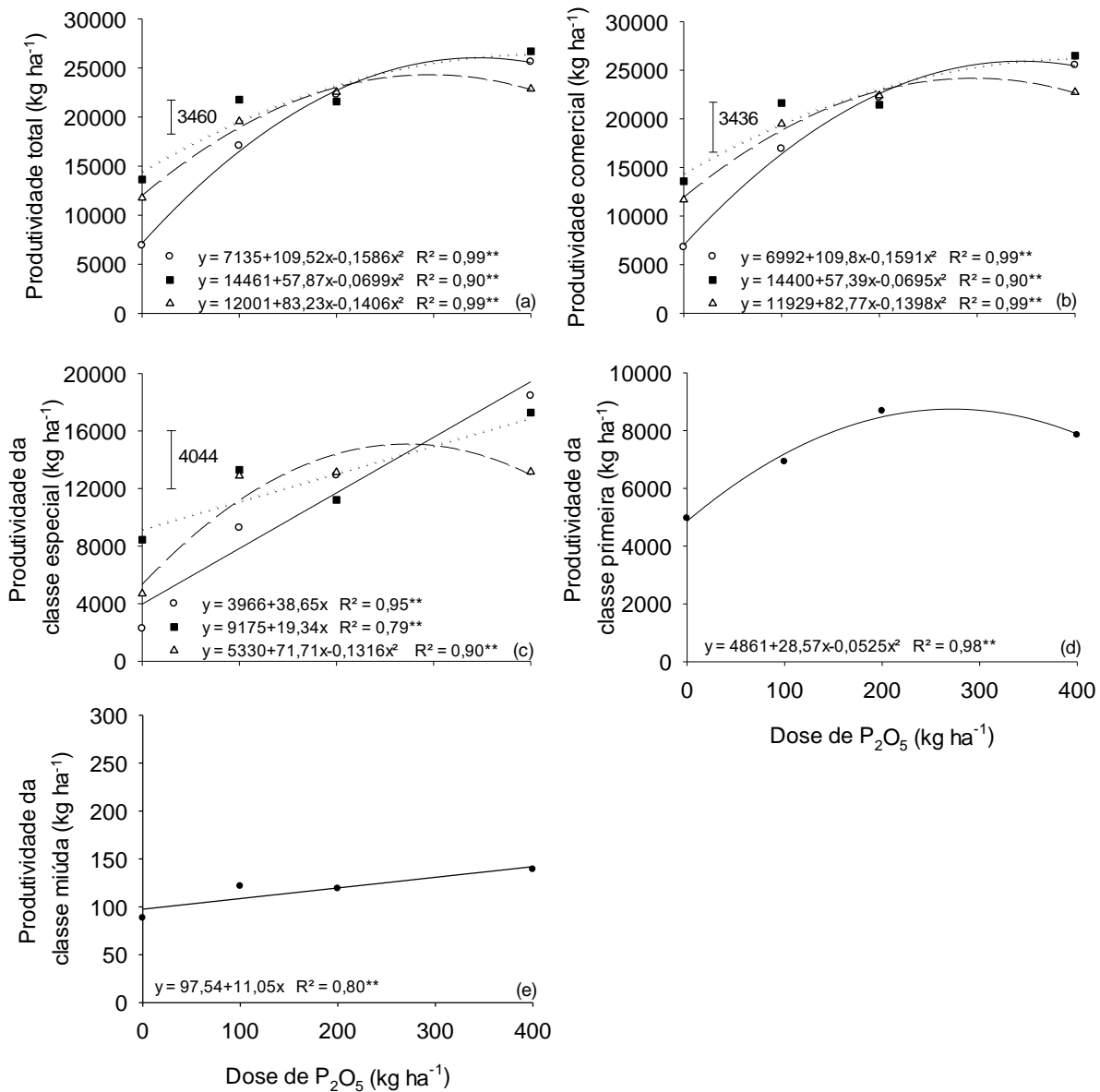
SH: substância húmica. P: fósforo. SH x P: interação. FV: fonte de variação. Médias seguidas de letras distintas na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

O acúmulo de nutrientes na batata tem correlação positiva com a produção de MS e rendimento de tubérculos (SORATTO et al., 2015), de forma que a adição de SH na dose de 50 e 300 L ha⁻¹ aumentou a MS da batata (Figura 21) resultando em maior acúmulo de nutrientes (Figura 27) e produtividade de tubérculos. Observa-se que apesar da maior dose de SH (300 L ha⁻¹) ter elevado o acúmulo de MS e nutrientes, a batata que recebeu este tratamento não foi tão eficiente em realocar os fotoassimilados para produção de tubérculos na maior dose de P. O incremento na produtividade proporcionado pelo uso de SH, principalmente nas menores doses de P, se deve também ao aumento no número de tubérculos total, comercial e da classe especial (Figuras 22a, 22b e 22c) e ao aumento no peso médio de tubérculos (Figuras 22f).

A aplicação de SH contribuiu para formação de tubérculos mais graúdos, visto que, aumentou até a maior dose a produtividade de tubérculos da classe especial (Figura 24c) e da classe primeira e reduziu significativamente a produtividade de tubérculos da classe segunda (Tabela 17).

Os benefícios da SH no solo arenoso podem estar associados ao baixo teor de MO neste solo (SUMMERHAYS et al., 2014), visto que, Hartz e Bottoms (2010) observaram melhoria na atividade microbiana no solo com baixo teor de MO e nenhum efeito no solo com alto teor de MO após aplicação de SH. Além disso, é evidente que a produtividade da batata foi beneficiada nas menores doses de P, concordando com Summerhays et al. (2014), os quais observaram que aplicação de um fertilizante fosfatado contendo ácidos orgânicos foi mais eficiente no solo com baixa disponibilidade de P. Também é possível que os benefícios na produtividade da batata pela adição da SH no solo de textura arenosa possa ser atribuído a melhoria na retenção de umidade e no suprimento de nutrientes (SELIM; EL-NEKLAWY; EL-ASHRY, 2009). É possível inferir que a produção da batateira foi mais efetivamente incrementada pela adição de SH na presença das menores doses de P. Azam Shah et al. (2016) observaram que a adubação com metade da dose de NPK associada a aplicação de ácidos húmicos via foliar, também incrementou a produtividade da batata em relação a testemunha e, embora não tenha diferido da dose completa de NPK, o custo da adubação foi reduzido.

Figura 24 - Produtividade total de tubérculos (a), produtividade de tubérculos comercializáveis (b) e produtividade das classes especial (c), primeira (d) e miúda (e) da cultura da batata, cultivada em solo de textura arenosa, em resposta à adição de substância húmica e adubação fosfatada



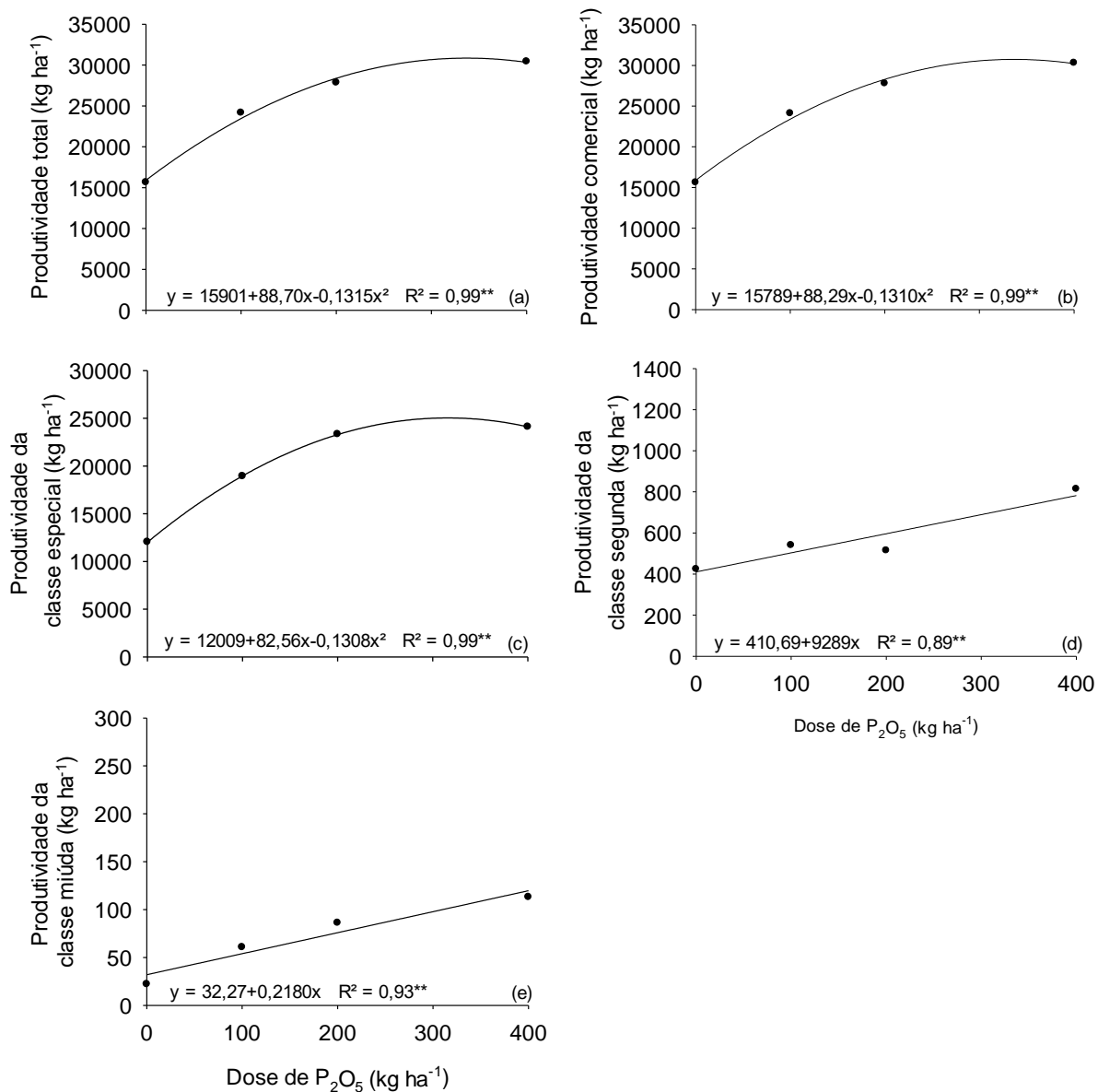
Legenda: Doses de substância húmica: (○) 0 L ha⁻¹; (■) 50 L ha⁻¹; (△) 300 L ha⁻¹; (●) média de três doses de substância húmica. * $p \leq 0,05$ e ** $p \leq 0,01$ pelo teste F. Barras verticais indicam o valor de DMS pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

De modo geral, a adubação fosfatada incrementou a produtividade de tubérculos total e comercial em média até a dose estimada de 360 kg ha⁻¹ de P₂O₅ (Figuras 24a e 24b). Este aumento foi pronunciado até a dose estimada de 270 kg ha⁻¹ de P₂O₅ na produtividade de tubérculos da classe primeira (Figura 24d).

No solo de textura argilosa, houve efeito isolado do fator dose de SH na produtividade de tubérculos da classe especial e primeira, e apenas das doses de P sobre a produtividade de tubérculos total, comercial e das classes especial, segunda e miúda; não houve interação SH x P na produtividade de tubérculos (Tabela 16). A SH (50 e 300 L ha⁻¹) elevou significativamente a produtividade de tubérculos da classe especial e reduziu os tubérculos da classe primeira. Tubérculos mais graúdos, ou seja, da classe especial, tem maior valor de mercado que as demais classes de tubérculo.

A adubação fosfatada aumentou as produtividades de tubérculos total, comercial e da classe especial em média até a dose estimada de 340 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e promoveu aumento na produtividade de tubérculos das classes segunda e miúda até a maior dose (Figuras 25a, 25b, 25c e 25d). Os aumentos na produtividade total de tubérculos indicam que a cultura é altamente responsiva a níveis mais elevados de adubo fosfatado, principalmente quando cultivada em solos com baixa disponibilidade de P (FERNANDES; SORATTO, 2016b), assim como no presente estudo, cujo teor inicial de P no solo argiloso foi de 13 mg dm⁻³ (Tabela 2). Além disso, a adubação fosfatada elevou o número de tubérculos por planta e o peso médio de tubérculos, contribuindo para elevar a produtividade da cultura (Figuras 23a, 23b, 23c, 23d, 23e e 23f). Da mesma forma, Fernandes e Soratto (2016a) observaram que as produtividades de duas cultivares de batata aumentaram até a dose estimada de 500 kg ha⁻¹ sem grandes variações nas doses superiores, enquanto no presente estudo, tal incremento foi obtido até a dose estimada de 340 kg ha⁻¹ de P₂O₅. O aumento na produtividade de tubérculos de batata em função da adubação fosfatada também tem sido relatado por outros autores (HOPKINS; STARKS, 2010; FLEISHER et al., 2013; LUZ et al., 2013).

Figura 25 - Produtividade total de tubérculos (a), produtividade de tubérculos comercializáveis (b) e produtividade de tubérculos das classes especial (c), segunda (d) e miúda (e) de batata, cultivada em solo de textura argilosa, em resposta a adubação fosfatada e adição de substância húmica



Legenda: (●) média de três doses de substância húmica; * $p \leq 0,05$ e ** $p \leq 0,01$ pelo teste F.

4.2.4 Teores e exportações de nutrientes pelos tubérculos

Em ambos os solos, não houve efeito isolado da SH nem da interação SH x P sobre os teores de nutrientes no tubérculo da batata na colheita final, ou seja, após a dessecação das plantas e realocação dos nutrientes da parte aérea (Tabela 17). Apenas a adubação fosfatada afetou os teores de P, Cu e Zn nos tubérculos, em ambos os solos (Figuras 26 e 27). Resultados diferentes foram obtidos por Azam

Shah et al. (2016), no qual o tratamento que recebeu metade do fertilizante NPK e ácido húmico (0,03% via foliar) incrementou os teores de N e P no tubérculo da batata, e o teor de P e K com doses crescentes de ácido húmico na pesquisa de Suh, Yoo e Suh (2014).

A adubação fosfatada aumentou linearmente o teor de P no tubérculo da batata colhida, tanto no solo arenoso, quanto argiloso (Figura 26a e 26b). No solo arenoso este teor foi de 2 g kg⁻¹ de P na ausência da adubação fosfatada, alcançando 3 g kg⁻¹ de P na maior dose. Nos tubérculos colhidos no solo argiloso esse teor variou de 2,1 g kg⁻¹ de P, sem adubação fosfatada, até 2,4 g kg⁻¹ na dose mais elevada. De acordo com Fernandes, Soratto e Silva (2011), durante o estágio final de enchimento do tubérculo, a quantidade de P transportada para os tubérculos é semelhante ou maior do que a quantidade absorvida pela planta. Soratto e Fernandes (2016) também observaram incremento no teor de P no tubérculo da colheita final de duas cultivares de batata, em resposta a doses crescentes de P.

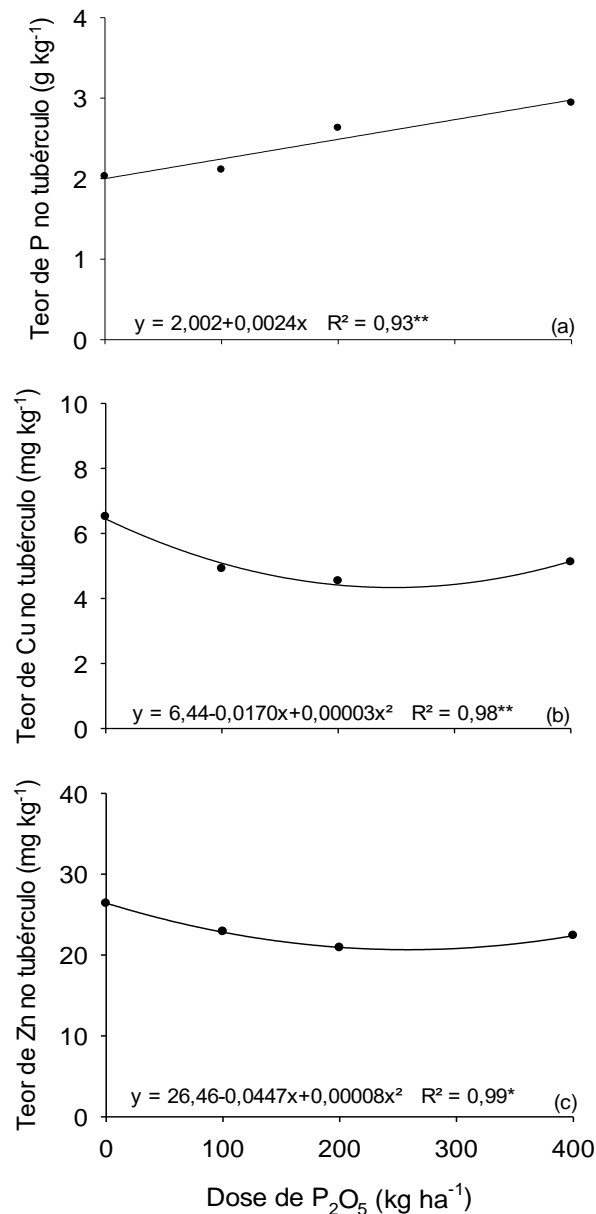
Tabela 17 - Teores de nutrientes (N, P, K, Ca, Mg, S, Cu, Fe, Mn e Zn) no tubérculo da cultura da batata na colheita final, cultivada em solos de textura arenosa e argilosa, em resposta à adição de substâncias húmicas e adubação fosfatada

Tratamento	N	P	K	Ca	Mg	S	Cu	Fe	Mn	Zn
	g kg ⁻¹					mg kg ⁻¹				
SH (L ha ⁻¹)	Arenoso									
0	14,2a	2,4a	23,4a	2,3a	1,2a	0,6a	5,7a	56,5a	4,2a	23,7a
50	13,5a	2,5a	23,0a	2,3a	1,2a	0,5a	5,1a	59,0a	4,1a	22,7a
300	14,7a	2,4a	22,4a	2,3a	1,2a	0,6a	5,1a	60,3a	4,2a	23,1a
FV	(P > F)									
Dose de SH	0,241	0,326	0,447	0,263	0,762	0,465	0,108	0,745	0,979	0,803
Dose de P	0,778	<0,001	0,107	0,138	0,115	0,414	<0,000	0,251	0,356	0,036
SH x P	0,065	0,581	0,883	0,296	0,695	0,111	0,969	0,658	0,139	0,483
CV (%)	14,4	13,3	9,6	4,5	10,8	44,2	17,4	24,2	33,4	19,6
SH (L ha ⁻¹)	Argiloso									
0	15,5a	2,2a	23,4a	3,2a	1,0a	1,1a	4,0a	62,3a	3,2a	21,6a
50	15,3a	2,2a	22,9a	3,3a	1,0a	1,1a	4,0a	74,0a	2,7a	21,7a
300	14,5a	2,2a	22,7a	3,2a	1,0a	1,1a	4,1a	58,1a	2,9a	22,3a
FV	(P > F)									
Dose de SH	0,492	0,686	0,417	0,568	0,261	0,599	0,977	0,272	0,451	0,819
Dose de P	0,222	0,027	0,249	0,199	0,210	0,615	0,021	0,722	0,502	0,001
SH x P	0,735	0,816	0,379	0,319	0,605	0,708	0,892	0,201	0,958	0,855
CV (%)	15,3	14,3	6,4	6,6	9,2	21,4	35,4	45,0	37,9	14,6

SH: substância húmica. P: fósforo. SH x P: interação. FV: fonte de variação. Médias seguidas de letras distintas na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

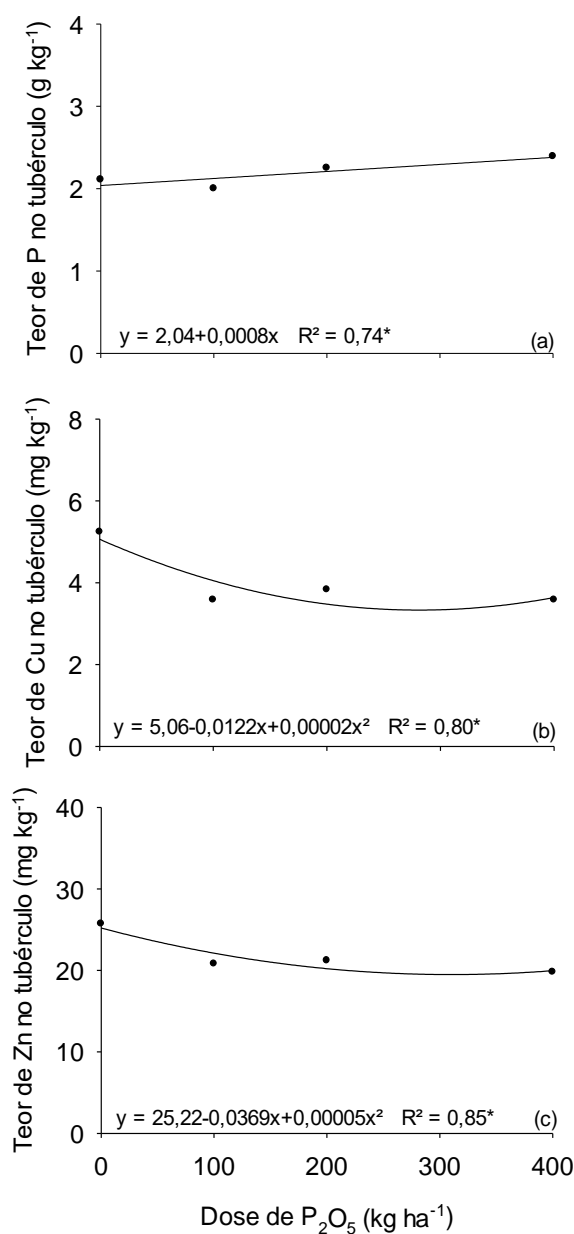
Em ambos os solos, os teores de Cu e Zn nos tubérculos foram reduzidos pela aplicação de P entre as doses estimadas de 280 e 370 kg ha⁻¹ de P₂O₅ (Figuras 26b, 26c, 27b, 27c). Moraghan e Mascagni (1991) relataram que a aplicação de P no solo pode reduzir os teores de Fe, Mn, Cu e Zn, devido à adubação fosfatada aumentar o crescimento das plantas e diminuir as concentrações de micronutrientes por diluição.

Figura 26 - Teores de P (a), Cu (b) e Zn (c) no tubérculo da cultura da batata, na colheita final, cultivada em solo de textura arenosa, em resposta à adição de substância húmica e adubação fosfatada



Legenda: (●) média de três doses de substância húmica; * $p \leq 0,05$ e ** $p \leq 0,01$ pelo teste F.

Figura 27 - Teores de P (a), Cu (b) e Zn (c) no tubérculo da cultura da batata, na colheita final, cultivada em solo de textura argilosa, em resposta à adição de substância húmica e adubação fosfatada



Legenda: (●) média de três doses de substância húmica; * $p \leq 0,05$ e ** $p \leq 0,01$ pelo teste F.

Quando a batateira foi cultivada em solo arenoso, houve efeito isolado dos fatores SH, dose de P e interação SH x P nas quantidades de macronutrientes exportados pelos tubérculos da colheita final, com exceção da exportação de S que foi afetada apenas pelas doses de P e pela interação SH x P (Tabela 18). Os micronutrientes foram influenciados apenas pela adubação fosfatada.

O fornecimento da SH elevou a exportação de N pelos tubérculos principalmente nas menores doses de P (0, 100 e 200 kg ha⁻¹ de P₂O₅) em relação a testemunha (Figura 28a). Na testemunha a exportação de N foi expressiva até a maior dose de P e, conseqüentemente, promoveu maior quantidade exportada de N pelos tubérculos, em relação aos tratamentos que receberam SH somente na maior dose de P.

Tabela 18 - Quantidades de nutrientes (N, P, K, Ca, Mg, S, Cu, Fe, Mn e Zn) exportados pelo tubérculo da cultura da batata, na colheita final, cultivada em solos de textura arenosa e argilosa, em resposta à adição de substância húmica e adubação fosfatada

Tratamento	kg ha ⁻¹					g ha ⁻¹				
	N	P	K	Ca	Mg	S	Cu	Fe	Mn	Zn
SH (L ha ⁻¹)										
Arenoso										
0	58,4b	10,2b	94,9a	9,4b	5,0b	2,5a	22,3a	228,5a	17,6a	94,1a
50	64,9a	12,1a	109,0a	11,1a	5,7a	2,4a	24,1a	282,3a	19,2a	107,3a
300	64,1ab	10,5b	97,1a	9,9b	5,4ab	2,6a	22,2a	259,6a	19,4a	99,9a
FV (P > F)										
Dose de SH	0,050	0,002	0,009	0,002	0,009	0,818	0,611	0,131	0,745	0,256
Dose de P	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,006	0,002	<0,001	<0,001
SH x P	<0,001	0,018	0,002	0,002	0,002	0,005	0,150	0,172	0,133	0,722
CV (%)	12,8	13,3	13,8	11,8	12,0	26,3	27,6	28,6	38,9	22,1
SH (L ha ⁻¹)										
Argiloso										
0	72,2a	10,1a	108,9a	15,2a	4,8a	5,1a	18,2a	295,0a	14,9a	98,8a
50	63,1b	9,7a	95,2b	14,0a	4,1a	4,5a	17,7a	310,7a	12,1a	88,6a
300	64,0b	9,6a	99,5b	14,1a	4,4a	4,9a	17,9a	245,3a	12,7a	96,0a
FV (P > F)										
Dose de SH	0,006	0,487	0,007	0,185	0,002	0,102	0,829	0,424	0,266	0,376
Dose de P	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,138	0,008	<0,001	<0,001
SH x P	<0,001	0,014	0,003	0,122	0,004	0,131	0,771	0,188	0,528	0,574
CV (%)	12,5	13,3	11,3	11,2	11,7	17,3	42,4	50,8	38,4	22,2

SH: substância húmica. P: fósforo. SH x P: interação. FV: fonte de variação. Médias seguidas de letras distintas na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

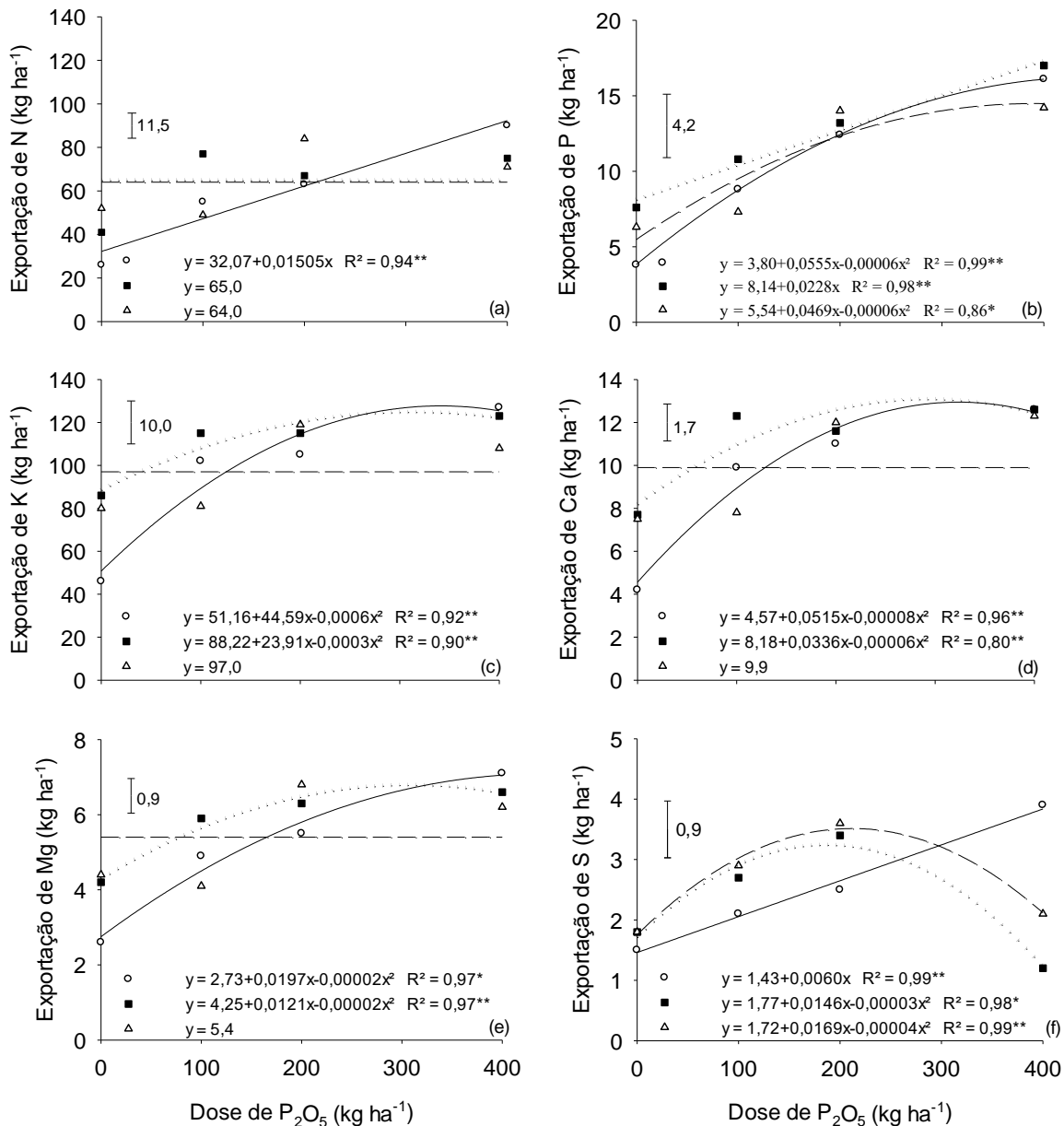
O P exportado pelos tubérculos foi aumentado com aplicação de 50 L ha⁻¹ de SH em quase todas as doses de P em relação à testemunha ou a dose de 300 L ha⁻¹ de SH (Figura 28b). A associação entre SH e P (50 mg kg⁻¹ de SH e 80 kg ha⁻¹ P₂O₅) elevou em aproximadamente 60% o teor de P no solo em relação a aplicação apenas do P, o que pode contribuir para maior absorção, acúmulo e exportação deste nutriente pelos tubérculos de acordo com Swarvar et al. (2012).

Na ausência da adubação fosfatada, o fornecimento de 50 e 300 L ha⁻¹ de SH elevaram as quantidades exportadas de K, Ca e Mg pelos tubérculos da batata em relação à testemunha (Figuras 28c, 28d e 28e). Com o fornecimento de P, 100 kg ha⁻¹ de P₂O₅, as exportações destes nutrientes foram favorecidas especialmente quando aplicado 50 L ha⁻¹ de SH em relação à maior dose ou a testemunha. Os efeitos das SH sobre o S exportado pelos tubérculos apresentaram comportamento distinto dos demais macronutrientes. Embora a aplicação da SH tenha elevado o acúmulo deste nutriente de forma expressiva até a dose de 200 kg ha⁻¹ de P₂O₅, a quantidade de S foi reduzida expressivamente na maior dose de P (Figura 28f).

Praticamente não houve efeito da SH no teor de nutrientes nos tubérculos (Tabela 17). No entanto, o incremento sobre a quantidade exportada foi evidente principalmente na ausência ou sob fornecimento reduzido de P. Isto se deve a ação das SH na fisiologia vegetal, por atuarem semelhante ao hormônio, em especial a auxina (MORA et al., 2010; TREVISAN et al., 2011) agindo sobre o desenvolvimento radicular (ZANDONADI; CANELLAS; FAÇANHA, 2007; DOBBSS et al., 2010; CANELLAS et al., 2011) e estimulando o bombeamento de H⁺ mediado pela H⁺-ATPase da membrana plasmática cuja ativação eleva a absorção de nutrientes e expansão celular (CANELLAS et al., 2002; DOBBSS et al., 2010; MORA et al., 2010).

Com relação a adubação fosfatada, observa-se que a exportação de P pelos tubérculos foi crescente até a maior dose de P, enquanto a exportação de K, Ca e Mg foi expressiva até aproximadamente a dose de 300 kg ha⁻¹ de P₂O₅, com aplicação da maior dose de SH e na testemunha. A adubação fosfatada não influenciou a exportação destes nutrientes pelos tubérculos com aplicação de 50 L ha⁻¹ de SH. Praticamente não houve variação nos teores destes nutrientes nos tubérculos; no entanto, a alocação e exportação pelos tubérculos foram crescentes em resposta a adubação fosfatada. Isto se deve ao incremento da MS acumulada nos tubérculos, além da concentração de nutrientes nos órgãos da planta (parte aérea e tubérculos) antes da dessecação. Soratto e Fernandes (2016) também observaram aumento na exportação de K e Mg até a dose de 250 kg ha⁻¹ de P₂O₅, enquanto a exportação de N, Ca, S, Bo e Zn aconteceu até 500 kg ha⁻¹ de P₂O₅. De acordo com estes autores a adubação fosfatada aumenta a alocação de nutrientes para os tubérculos resultando em aumento na produção de MS de tubérculo.

Figura 28 - Exportação de N (a), P (b), K (c), Ca (d), Mg (e) e S (f) pelo tubérculo da cultura da batata cultivada em solo de textura arenosa, em resposta à adição de substância húmica e adubação fosfatada



Legenda: Doses de substância húmica: (○) 0 L ha⁻¹; (■) 50 L ha⁻¹; (△) 300 L ha⁻¹. * $p \leq 0,05$ e ** $p \leq 0,01$ pelo teste F. Barras verticais indicam o valor de DMS pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

No solo de textura argilosa, houve efeito isolado da SH, dose de P e da interação SH x P sobre a quantidade exportada de N, K e Mg nos tubérculos; houve efeito isolado das doses de P e interação SH x P sobre a exportação de P e, efeito apenas da adubação fosfatada nas quantidades de Ca, S, Fe, Mn e Zn exportadas (Tabela 18). Na ausência da adubação fosfatada, o fornecimento de SH reduziu a

exportação de N, K e Mg (Figuras 29a, 29c e 29e) especialmente com aplicação de 300 L ha⁻¹ de SH. Embora esta mesma dose de SH associada a 200 kg ha⁻¹ de P₂O₅ tenha elevado a exportação destes nutrientes, não houve diferença da testemunha.

O fornecimento de altas doses de P associado a maior dose da SH, reduziram as quantidades de nutrientes (N, P, K e Mg) exportados pelos tubérculos em relação à testemunha, sem aplicação de SH (Figuras 29a, 29b, 29c e 29e). Além da textura do solo e das doses de P, como observado no presente estudo, o efeito das SH sobre o estado nutricional das plantas também é altamente variável dependendo da época e métodos de aplicação e sistema de cultivo (OSVALDE et al., 2012), doses e concentrações do produto (AMERI; TEHRANIFAR, 2012), tipo e peso molecular da substância húmica (LITTLE et al., 2014; SUH; YOO; SUH, 2014).

O fornecimento da adubação fosfatada elevou até a maior dose as quantidades exportadas de N, P, K e Mg pelos tubérculos somente na testemunha e na dose intermediária de SH (Figuras 29a, 29b, 29c e 29e). Na maior dose de SH o efeito foi até aproximadamente a dose de 360 kg ha⁻¹ de P₂O₅.

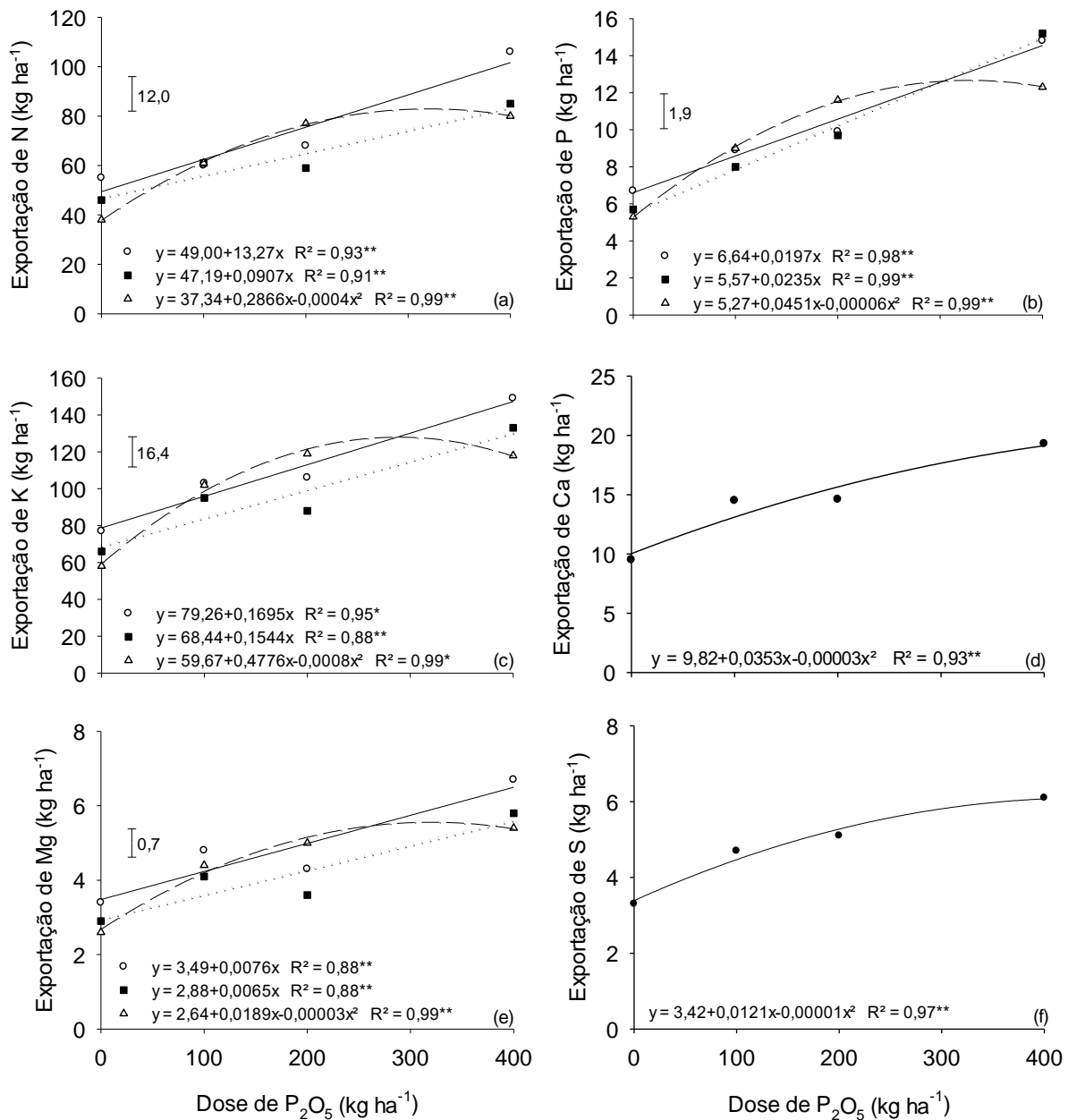
Houve aumento nas quantidades exportadas de Ca e S no tubérculo da batata em resposta apenas a adubação fosfatada e até a maior dose desta (Figuras 29d e 29f). Soratto e Fernandes (2016) observaram que as quantidades de Ca e S removidos pelos tubérculos aumentaram até a dose estimada de 500 kg ha⁻¹ de P₂O₅. No presente estudo a exportação destes nutrientes respondeu até a maior dose de P.

Observa-se na Tabela 18 que não houve efeito da aplicação da SH na exportação de micronutrientes em ambos os solos. Hatz e Bottoms (2010) observaram que em comparação com a adubação com P isoladamente, o ácido húmico apresentou efeitos inconsistentes na concentração de micronutrientes, aumentando o teor de Fe, mas diminuindo o Zn no tomateiro; os mesmos autores acrescentam que os benefícios potenciais das SH são práticos em poucos tipos de solos.

A adubação fosfatada influenciou a exportação de Cu, Fe, Mn e Zn nos tubérculos colhidos no solo arenoso (Tabela 18). A exportação destes micronutrientes foi crescente em resposta a adubação fosfatada até a maior dose, exceto para o Mn, cuja exportação aumentou até a dose estimada de 366 kg ha⁻¹ de P₂O₅ (Figuras 30a, 30b, 30c e 30d). Da mesma forma, a adubação fosfatada promoveu maior quantidade exportada de Fe, Mn e Zn pelos tubérculos colhidos no

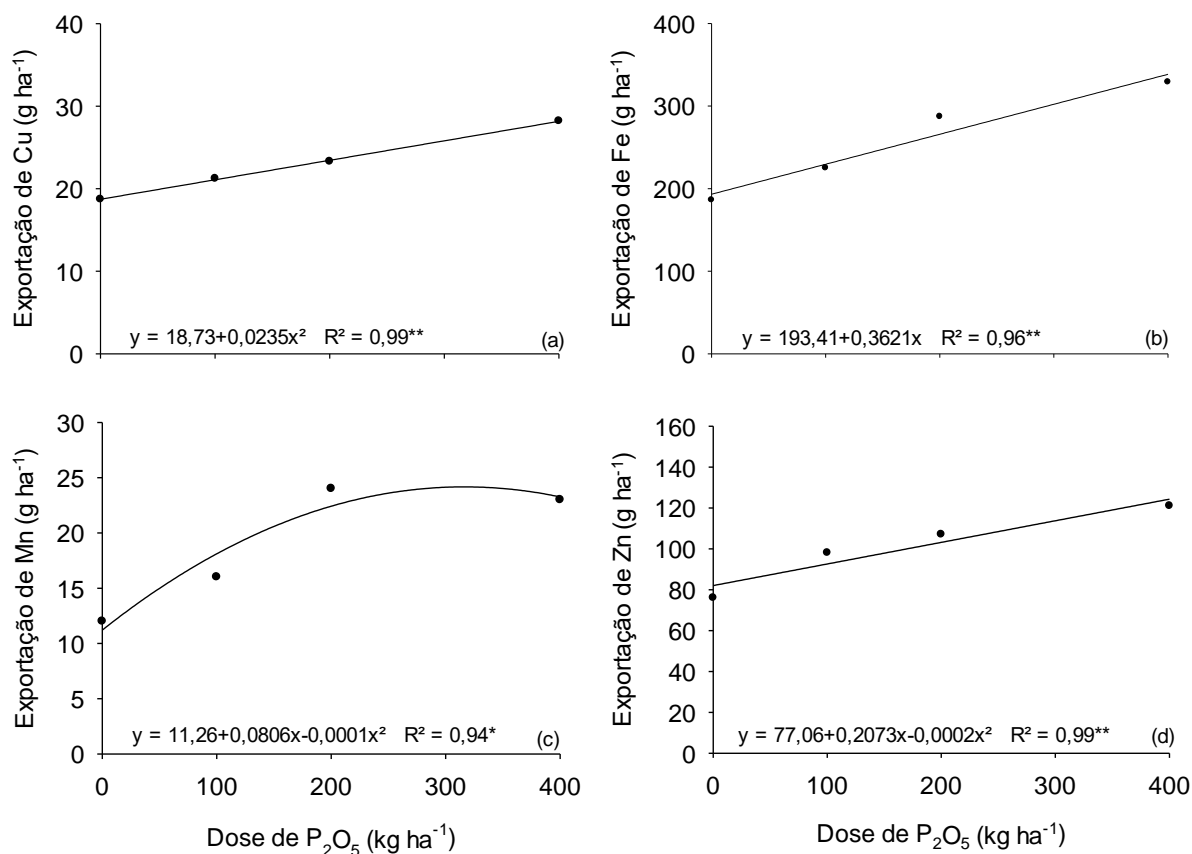
solo argiloso até a maior dose de P (Figuras 31a, 31b e 31c). Choi e Lee (2012) observaram que a elevação das concentrações de P até 4 ou 6 mM em solução nutritiva aumentaram as concentrações de Mn e Cu em relação aos tratamentos com 0,5, 1 ou 2,0 mM de P na cultura do morango.

Figura 29 - Exportação de N (a), P (b), K (c), Ca (d), Mg (e) e S (f) pelo tubérculo da cultura da batata cultivada em solo de textura argilosa, em resposta à adição de substância húmica e adubação fosfatada



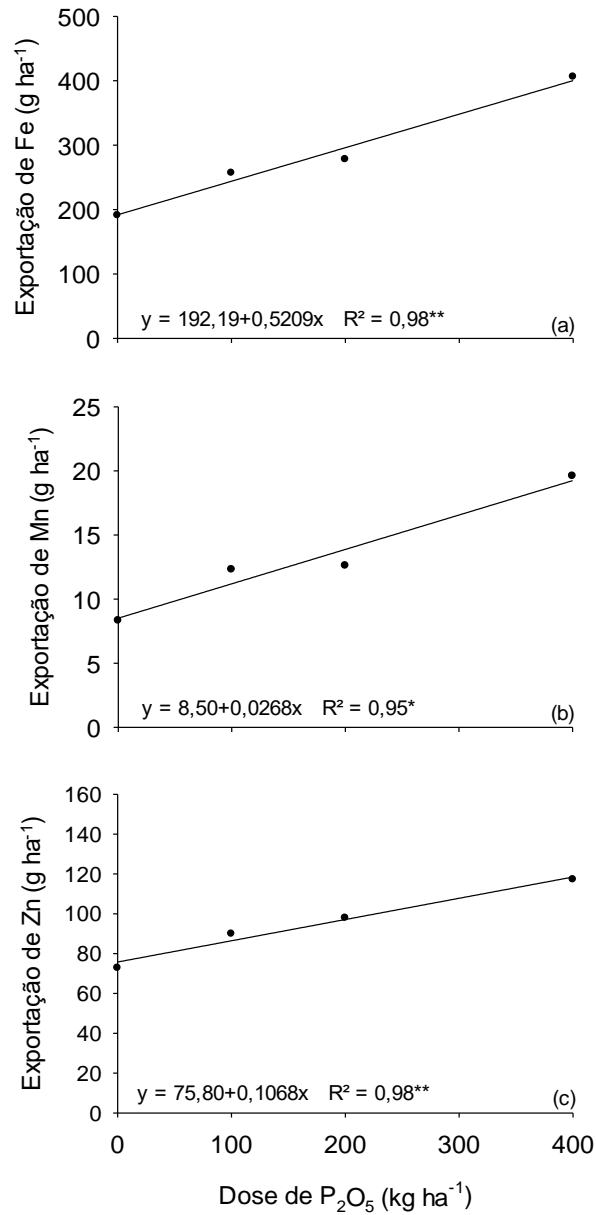
Legenda: Doses de substância húmica: (○) 0 L ha⁻¹; (■) 50 L ha⁻¹; (△) 300 L ha⁻¹; (●) média de três doses de substância húmica. * $p \leq 0,05$ e ** $p \leq 0,01$ pelo teste F. Barras verticais indicam o valor de DMS pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Figura 30 - Exportação de Cu (a), Fe (b), Mn (c) e Zn (d) pelo tubérculo da cultura da batata cultivada em solo de textura arenosa, em resposta à adição de substância húmica e adubação fosfatada



Legenda: (●) média de três doses de substância húmica; * $p \leq 0,05$ e ** $p \leq 0,01$ pelo teste F.

Figura 31 - Exportação de Fe (a), Mn (b) e Zn (c) pelo tubérculo da cultura da batata cultivada em solo de textura argilosa, em resposta à adição de substância húmica e adubação fosfatada



Legenda: (●) média de três doses de substância húmica; * $p \leq 0,05$ e ** $p \leq 0,01$ pelo teste F.

5 CONCLUSÕES

A aplicação de SH afetou ligeiramente o crescimento radicular da batateira somente quando a batata foi cultivada no solo arenoso.

No solo de textura arenosa, a aplicação da substância húmica no sulco de plantio, especialmente na dose de 50 L ha⁻¹ (equivalente a 1,25 mL vaso⁻¹), aumentou a produção de matéria seca na planta, a absorção e exportação de nutrientes e melhorou o desempenho produtivo da batateira, porém, somente na ausência ou com o fornecimento de dose reduzida do adubo fosfatado. Contudo, não aumentou a eficiência da adubação fosfatada.

No solo de textura argilosa, a aplicação de substância húmica aumentou a produtividade de tubérculos da classe especial, porém não interferiu na nutrição e produtividade total da cultura da batata, independentemente da dose de fertilizante fosfatado aplicado.

A associação da dose mais elevada de substância húmica e de adubação fosfatada não teve efeito ou reduziu a produção de MS, teor e acúmulo de nutrientes e a produtividade de tubérculos da batata.

Em ambos os solos, a adubação fosfatada aumentou de forma similar a absorção de nutrientes, a exportação de nutrientes pelos tubérculos, o número de tubérculos por planta, o peso médio de tubérculos e a produtividade de tubérculos da batateira.

REFERÊNCIAS

- ABBAS, S. M. The influence of biostimulants on the growth and on the biochemical composition of *Vicia faba* cv. Giza 3 beans. **Romanian Biotechnological Letters**, v. 18, n. 2, p. 8061-8068, 2013.
- ABU-ZINADA, I. A.; SEKH-ELEID, K. S. Humic acid to decrease fertilization rate on potato (*Solanum tuberosum* L.). **American Journal of Agriculture and Forestry**, v. 3, n. 5, p. 234-238, 2015.
- AHMAD, I. et al. Humic acid and cultivar effects on growth, yield, vase life, and corm characteristics of gladiolus. **Chilean Journal of Agricultural Research**, v. 73, n. 4, p. 339-344, 2013.
- ALBERS, C. N. et al. Effect of different humic substances on the fate of diuron and its main metabolite 3, 4-dichloroaniline in soil. **Environmental Science and Technology**, v. 42, n. 23, p. 8687-8691, 2008.
- ALENAZI, M. et al. Water regimes and humic acid application influences potato growth, yield, tuber quality and water use efficiency. **American Journal of Potato Research**, v. 93, n. 5, p. 1-11, 2016.
- ALVAREZ-SÁNCHEZ, E. et al. Phosphorus nutrition of potato and maize seedlings. **Terra Latinoamericana**, v.19, n.1, p.55-65, 2001.
- AMERI, A.; TEHRANIFAR, A. Effect of humic acid on nutrient uptake and physiological characteristic *Fragaria ananassa* var. Camarosa. **Journal of Biological and Environmental Sciences**, v. 6, n. 16, p. 77-79, 2012.
- ANDRADE, F.V. et al. Dry-matter production and phosphorus accumulation by maize plants in response to the addition of organic acids in Oxisols. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v.38, n. 19-20, p.2733–2745, 2007.
- ANTELO, J. et al. Adsorption of a soil humic acid at the surface of goethite and its competitive interaction with phosphate. **Geoderma**, v. 138, n. 1, p. 12-19, 2007.
- ARAÚJO, A. P.; MACHADO, C. T. T. Fósforo. In: FERNANDES, M. S. (Ed.). **Nutrição mineral de plantas**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006. p. 253-281.
- ARSLAN, G.; PEHLIVAN, E. Uptake of Cr³⁺ from aqueous solution by lignite-based humic acids. **Bioresource Technology**, v. 99, n. 16, p. 7597-7605, 2008.
- ABBA - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA BATATA. **Batata Brasileira: área, produção e produtividade**. Disponível em: <http://www.abbabatatabrasileira.com.br/Brasil_area.html>. Acesso em: 12 jan. 2017.
- ATIYEH, R. M. et al. The influence of humic acids derived from earthworm-processed organic wastes on plant growth. **Bioresource Technology**, v. 84, n. 1, p. 7-14, 2002.

AYUSO, M. et al. Stimulation of barley growth and nutrient absorption by humic substances originating from various organic materials. **Bioresource Technology**, v. 57, n. 3, p. 251-257, 1996.

AZAM SHAH, S. et al. The effect of foliar application of urea, humic acid and micronutrients on potato crop. **Iran Agricultural Research**, v. 35, n. 1, p. 89-94, 2016.

BALDOTTO, L. E. B. et al. Desempenho do abacaxizeiro 'Vitória' em resposta à aplicação de ácidos húmicos durante a aclimatação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, n. 4, p. 979-990, 2009.

BALDOTTO, L. E. B. et al. Growth promotion of pineapple 'Vitória' by humic acids and *Burkholderia* spp. during acclimatization. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, n. 5, p. 1593-1600, 2010.

BARBER, S. A. **Soil nutrient bioavailability: a mechanistic approach**. New York: John, Wiley & Sons, 1995.

BEUKEMA, H. P.; VAN DER ZAAG, D. E. **Potato improvement**. Some factors and facts. Wageningen, International Agricultural Centre, 1979.

BORCIONI, E.; MÓGOR, Á. F. Aplicação de ácido fúlvico em mudas influenciando o crescimento radicular e produtividade de alface americana. **Revista Ciência Agronômica**, v. 47, n. 3, p. 509-515, 2016.

CALVO, P.; NELSON, L.; KLOEPPER, J. W. Agricultural uses of plant biostimulants. **Plant and Soil**, v. 383, n. 1-2, p. 3-41, 2014.

CANELLAS, L. C.; SANTOS, G. A. **Humosfera: tratado preliminar sobre a química das substâncias húmicas**. CCTA / UENF, Campos dos Goytacazes, Brazil, 2005.

CANELLAS, L. P. et al. Humic acids isolated from earthworm compost enhance root elongation, lateral root emergence, and plasma membrane H⁺-ATPase activity in maize roots. **Plant Physiology**, v. 130, n. 4, p. 1951-1957, 2002.

CANELLAS, L. P. et al. Probing the hormonal activity of fractionated molecular humic components in tomato auxin mutants. **Annals of Applied Biology**, v. 159, n. 2, p. 202-211, 2011.

CANELLAS, L. P. et al. Relationships between chemical characteristics and root growth promotion of humic acids isolated from Brazilian oxisols. **Soil Science**, v. 174, n. 11, p. 611-620, 2009.

CHEN, Y.; CLAPP, C.; MAGEN, H. Mechanism of plant growth stimulation by humic substances: The role of organo-iron complexes. **Soil Science Plant Nutrition**, n.50, p.1089-95, 2004.

CHOI, J. M.; LEE, C. W. Influence of elevated phosphorus levels in nutrient solution on micronutrient uptake and deficiency symptom development in strawberry cultured with fertigation system. **Journal of Plant Nutrition**, v. 35, n. 9, p. 1349-1358, 2012.

CIVIERO, J. C. et al. Aplicação de substância húmica e do aminoácido L-glutâmico em diferentes comprimentos da reserva nutricional de tolete de uma gema de cana-de-açúcar. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 37, n. 3, p. 340-347, 2014.

CONDRON, L. M.; TIESSEN, H. Interactions of organic phosphorus in terrestrial ecosystems. In: TURNER, B.L.; FROSSARD, E.; BALDWIN, D. (Eds.), **Organic Phosphorus in the Environment**. Wallingford, UK: CAB International, 2005. p. 295-307.

DECHASSA, N. et al. Phosphorus efficiency of cabbage (*Brassica oleraceae* L. var. capitata), Carrot (*Daucus carota* L.), and Potato (*Solanum tuberosum* L.). **Plant and Soil**, v. 250, n. 2, p. 215-224, 2003.

DOBBSS, L. B. et al. Bioactivity of chemically transformed humic matter from vermicompost on plant root growth. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 58, n. 6, p. 3681-3688, 2010.

DORNELES, A. O. S. et al. Silicon reduces aluminum content in tissues and ameliorates its toxic effects on potato plant growth. **Ciência Rural**, v. 46, n. 3, p. 506-512, 2016.

DUBETZ, S.; BOLE, J. B. Effect of nitrogen, phosphorus, and potassium fertilizers on yield components and specific gravity of potatoes. **American Journal of Potato Research**, v. 52, n. 12, p. 399-405, 1975.

EL-SAYED, H. E. A. et al. Responses of productivity and quality of sweet potato to phosphorus fertilizer rates and application methods of the humic acid. **International Research Journal of Agricultural Science and Soil Science**, v. 1, n. 9, p. 383-393, 2011.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília: Embrapa-SPI; Rio de Janeiro: Embrapa-Solos, 2006. 306 p.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos. 2011.

EYHERAGUIBEL, B.; SILVESTRE, J.; MORARD, P. Effects of humic substances derived from organic waste enhancement on the growth and mineral nutrition of maize. **Bioresource Technology**, v. 99, n. 10, p. 4206-4212, 2008.

FALCÃO, N. P. D. S.; SILVA, J. R. A. Características de adsorção de fósforo em alguns solos da Amazônia Central. **Acta Amazonica**, v. 34, n. 3, p. 337-342, 2004.

FAN, H. et al. Effects of humic acid derived from sediments on growth, photosynthesis and chloroplast ultrastructure in chrysanthemum. **Scientia Horticulturae**, v. 177, p. 118-123, 2014.

FAO. FAOSTAT: Browse data: Rankings Production - Crops. Disponível em: <http://faostat3.fao.org/faostat-gateway/go/to/browse/Q/QC/E>. Acesso em 10 Jan. 2017.

FERNANDES, A. M. et al. Crescimento, acúmulo e distribuição de matéria seca em cultivares de batata na safra de inverno. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 45, n. 11, p. 826-835, 2010.

FERNANDES, A. M.; SORATTO, R. P. **Nutrição mineral, calagem e adubação da batateira**. Botucatu/Itapetininga: FEPAF/ ABBA. 2012a. 121p.

FERNANDES, A. M.; SORATTO, R. P. Nutrition, dry matter accumulation and partitioning, and phosphorus use efficiency of potato plants grown under phosphorus rates in nutrient solution. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.36, n.5, p.1528 - 1537, 2012b.

FERNANDES, A. M.; SORATTO, R. P.; PILON, C. Soil phosphorus increases dry matter and nutrient accumulation and allocation in potato cultivars. **American Journal of Potato Research**, v. 92, n. 1, p. 117-127, 2015.

FERNANDES, A. M.; SORATTO, R. P.; SILVA, B. L. Extração e exportação de nutrientes em cultivares de batata: I - Macronutrientes. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.35, n.6, p. 2039-2056, 2011.

FERNANDES, A. M.; SORATTO, R. P. Phosphorus fertilizer rate for fresh market potato cultivars grown in tropical soil with low phosphorus availability. **American Journal of Potato Research**, v. 93, n. 4, p. 404-414, 2016a.

FERNANDES, A. M.; SORATTO, R. P. Response of potato cultivars to phosphate fertilization in tropical soils with different phosphorus availabilities. **Potato Research**, v. 59, n. 3, p. 259-278, 2016b.

FERNANDES, A. M.; SORATTO, R. P.; GONSALES, J. R. Root morphology and phosphorus uptake by potato cultivars grown under deficient and sufficient phosphorus supply. **Scientia Horticulturae**, v. 180, p. 190-198, 2014.

FILGUEIRA, F. A. R. **Novo manual de olericultura: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças**. 2 ed. Viçosa, MG: UFV, 2003.

FLEISHER, D. H. et al. Effects of carbon dioxide and phosphorus supply on potato dry matter allocation and canopy morphology. **Journal of Plant Nutrition**, v. 36, n. 4, p. 566-586, 2013.

FORTES, G.R.L.; PEREIRA, J.E.S. Batata-semente pré-básica: Cultura de Tecidos. In: PEREIRA, A.S.; DANIELS, J. (Eds.). **O cultivo da batata na região Sul do Brasil**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2003. p. 421-433.

FU, Z. et al. Competitive interaction between soil-derived humic acid and phosphate on goethite. **Applied Geochemistry**, v. 36, n.4, p. 125-131, 2013.

HALING, R. E. et al. Root hairs improve root penetration, root-soil contact, and phosphorus acquisition in soils of different strength. **Journal of Experimental Botany**, v. 64, n. 12, p. 3711-3721, 2013.

HANSEN, J. C.; CADE-MENUN, B. J.; STRAWN, D. G. Phosphorus speciation in manure-amended alkaline soils. **Journal of Environmental Quality**, v. 33, n. 4, p. 1521-1527, 2004.

HARTZ, T. K.; BOTTOMS, T. G. Humic substances generally ineffective in improving vegetable crop nutrient uptake or productivity. **HortScience**, v. 45, n. 6, p. 906-910, 2010.

HOPKINS, B. G. et al. Phosphorus fertilizer timing for Russet Burbank potato grown in calcareous soil. **Journal of Plant Nutrition**, v. 33, n. 4, p. 529-540, 2010.

HOPKINS, B. G.; HORNECK, D. A.; MACGUIDWIN, A. E. Improving phosphorus use efficiency through potato rhizosphere modification and extension. **American Journal of Potato Research**, v. 91, n. 2, p. 161-174, 2014.

HOPKINS, B.; STARK, J. Humic acid effects on potato response to phosphorus. In: **Presented at the Idaho Potato Conference January**. 2003. p. 23.

HOUGHLAND, G.V.C. The influence of phosphorus on the growth and physiology of the potato plant. **American Potato Journal**, v. 37, n. 4, p. 127-138, 1960.

HUE, N. V.; IKAWA, H.; SILVA, J. A. Increasing plant-available phosphorus in an Ultisol with a yard-waste compost. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 25, n. 19-20, p. 3291-3303, 1994.

HUE, N. V. Effects of organic acids/anions on P sorption and phytoavailability in soils with different mineralogies. **Soil Science**, v. 152, n. 6. p. 463-471, 1991.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Levantamento sistemático da produção agrícola**: pesquisa mensal de previsão e acompanhamento de safras agrícolas no ano civil. Disponível em: <[ftp://ftp.ibge.gov.br/Producao_Agricola/Levantamento_Sistematico_da_Producao_Agricola_\[mensal\]/Fasciculo/2016/lspa_201612_20170222_133000.pdf](ftp://ftp.ibge.gov.br/Producao_Agricola/Levantamento_Sistematico_da_Producao_Agricola_[mensal]/Fasciculo/2016/lspa_201612_20170222_133000.pdf)>. Acesso em 23 de jan. 2017.

JENKINS, P. D.; ALI, H. Phosphate supply and progeny tuber numbers in potato crops. **Annals of Applied Biology**, v. 136, n. 1, p. 41-46, 2000.

JENKINS, P. D.; ALI, H. Growth of potato cultivars in response to application of phosphate fertilizer. **Annals of Applied Biology**, v. 135, n. 1, p. 431-438, 1999.

- LAMBERS, H. et al. Root structure and functioning for efficient acquisition of phosphorus: matching morphological and physiological traits. **Annals of Botany**, v. 98, n. 4, p. 693-713, 2006.
- LESCZYNSKI, D. B.; TANNER, C. B. Seasonal variation of root distribution of irrigated, field-grown Russet Burbank potato. **American Potato Journal**, v. 53, n. 2, p. 69-78, 1976.
- LEVENTOGLU, H.; ERDAL, İ. Effect of high humic substance levels on growth and nutrient concentration of corn under calcareous conditions. **Journal of Plant Nutrition**, v. 37, n. 12, p. 2074-2084, 2014.
- LISINSKA, G.; LESZCZYNSKI, W. **Potato Science and Technology**. Springer Science & Business Media, 1989.
- LITTLE, K. R. et al. Do lignite-derived organic amendments improve early-stage pasture growth and key soil biological and physicochemical properties?. **Crop and Pasture Science**, v. 65, n. 9, p. 899-910, 2014.
- LORENZI, J. O. et al. Raízes e tubérculos. In: RAIJ, B. van.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C., (Eds.). **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. Campinas: Instituto Agrônomo de Campinas, 1997. p.221-229. (Boletim Técnico, 100).
- LUZ, J. M. Q. et al. Influence of phosphate fertilization on phosphorus levels in foliage and tuber yield of the potato cv. Ágata. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 34, n. 2, p. 649-656, 2013.
- MACHADO, V. J. et al. Curvas de disponibilidade de fósforo em solos com diferentes texturas após aplicação de doses crescentes de fosfato monoamônico. **Bioscience Journal**, v. 27, n. 1, p. 70-76, 2011.
- MACHADO, V. J.; SOUZA, C. H. E. Disponibilidade de fósforo em solos com diferentes texturas após aplicação de doses crescentes de fosfato monoamônico de liberação lenta. **Bioscience Journal**, v. 28, n. 1, p. 1-7, 2012.
- MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo, Agrônômica Ceres, 2006.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2. ed. Piracicaba: Potafós, 1997.
- MARQUELLI, W. A.; SILVA, H. R.; SILVA, W. L. C.; CARRIJO, O. A. **Tensiômetros para manejo da irrigação em hortaliças**. Brasília. DF: Embrapa Hortaliças, 1998. 4p.
- MARSCHNER, H.; RIMMINGTON, G. Mineral nutrition of higher plants. **Plant Cell Environmental**, v. 11, p. 147-148, 1988.

McCOLLUM, R. E. Analysis of potato growth under differing P regimes. I. Tuber yields and allocation of dry matter and P. **Agronomy Journal**, v. 70, n. 1, p. 51-57, 1978.

MORA, V. et al. Action of humic acid on promotion of cucumber shoot growth involves nitrate-related changes associated with the root-to-shoot distribution of cytokinins, polyamines and mineral nutrients. **Journal of Plant Physiology**, v. 167, n. 8, p. 633-642, 2010.

MORAGHAN, J. T.; MASCAGNI, H. J. Environmental and soil factors affecting micronutrient deficiencies and toxicities. In: MORTVEDT, J. J.; COX, F. R.; SHUMAN, L. M.; WELCH, R. M. IN: **Micronutrients in Agriculture**. (Ed.) Madison, WI: SSSA.1991, p. 371-425.

MOREIRA, R. A. et al. Nutrient accumulation at the initial growth of pitaya plants according to phosphorus fertilization. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 46, n. 3, p. 230-237, 2016.

MOUILLÉ, B.; CHARRONDIÈRE R. U.; BURLINGAME, L. N. **Nutrient composition of the potato**. Interesting varieties from human nutrition perspective. Disponível em: <http://www.fao.org/fileadmin/templates/food_composition/documents/upload/Poster_potato_nutrient_comp.pdf> Acesso em: 12 jan. 2016.

MUNOZ, F.; MYLAVARAPU, R. S.; HUTCHINSON, C. M. Environmentally responsible potato production systems: a review. **Journal of plant nutrition**, v. 28, n. 8, p. 1287-1309, 2005.

NARANG, R. A.; BRUENE, A.; ALTMANN, T. Analysis of phosphate acquisition efficiency in different Arabidopsis accessions. **Plant Physiology**, v. 124, n. 4, p. 1786-1799, 2000.

NARDI, S. et al. Physiological effects of humic substances on higher plants. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 34, n. 11, p. 1527-1536, 2002.

NARDI, S. et al. Relationship between molecular characteristics of soil humic fractions and glycolytic pathway and Krebs cycle in maize seedlings. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 39, n. 12, p. 3138-3146, 2007.

NIKBAKHT, A. et al. Effect of humic acid on plant growth, nutrient uptake, and postharvest life of gerbera. **Journal of Plant Nutrition**, v. 31, n. 12, p. 2155-2167, 2008.

NOVAIS, R. F.; SMYTH, T. J. **Fósforo no solo e planta em condições tropicais**. Viçosa: UFV/DPS, 1999.

OSVALDE, A. et al. Effect of humic substances on nutrient status and yield of onion (*Allium cepa* L.) in field conditions. **Proceedings of the Latvian Academy of Sciences**, v. 66, n. 4/5, p. 192-199, 2012.

PIERZYNSKI, G. M.; McDOWELL, R. W.; SIMS, J. T. Chemistry, cycling, and potential movement of inorganic phosphorus in soils. In: SIMS, J. T. et al. **Phosphorus: agriculture and the environment**. Madison: American Society of Agronomy, 2005. p. 53-86.

RAIJ, B. van.; QUAGGIO, J. A.; CANTARELLA, H.; ABREU, C.A. Representação dos resultados de análise de solos, folhas, fertilizantes e corretivos. In: RAIJ, B. van.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C., (Eds.). **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. Campinas: Instituto Agrônomo de Campinas, 1997. p. 6-13. (Boletim Técnico, 100).

RAIJ, B. van. et al. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agrônomo, 2001.

RAIJ, B. **Fertilidade do solo e adubação**. São Paulo: Ceres, 1991.

ROCHA, J. C.; ROSA, A.H. **Substâncias húmicas aquáticas: interações com espécies metálicas**. São Paulo; UNESP, 2003.

RODDA, M. R. C. et al. Estímulo no crescimento e na hidrólise de ATP em raízes de alface tratadas com humatos de vermicomposto. I - Efeito da concentração. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**. v. 30, n. 4, p. 649-656, 2006.

ROSEN, C. J.; BIERMAN, P. M. Potato yield and tuber set as affected by phosphorus fertilization. **American Journal of Potato Research**, v. 85, n. 2, p. 110-120, 2008.

ŞAHİN, S.; KARAMAN, M. R.; GEBOLOGLU, N. The effects of humic acid application upon the phosphorus uptake of the tomato plant (*Lycopersicon esculentum* L.). **Scientific Research and Essays**, v. 9, n. 12, p. 586-590, 2014.

SALINAS, R. et al. Phosphorus levels influence plasma membrane H⁺-ATPase activity and K⁺, Ca²⁺, and Mg²⁺ assimilation in green bean. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 44, n. 1-4, p. 456-464, 2013.

SANCHEZ, P. A.; LOGAN, T. J. Myths and science about the chemistry and fertility of soils in the tropics. **SSSA Special Publication**, v. 29, p. 35-35, 1992.

SANLI, A.; KARADOGAN, T.; TONGUC, M. Effects of leonardite applications on yield and some quality parameters of potatoes (*Solanum tuberosum* L.). **Turkish Journal of Field Crops**, v. 18, n. 1, p. 20-26, 2013.

SARWAR, M.; AKHTAR, E.; HYDER, S. I. Effect of humic acid and phosphorus on yield, nutrient availability in soil and uptake by peas. **Persian Gulf Crop Protection**, v. 1, n. 5, p. 53-57, 2012.

SAUNDERS, W. M. H. Phosphate retention by New Zealand soils and its relationship to free sesquioxides, organic matter, and other soil properties. **New Zealand Journal of Agricultural Research**, v. 8, n. 1, p. 30-57, 1965.

SCHACHTMAN, D. P.; REID, R. J.; AYLING, S. M. Phosphorus uptake by plants: from soil to cell. **Plant physiology**, v. 116, n. 2, p. 447-453, 1998.

SCHEIBLE, W. R. et al. Genome-wide reprogramming of primary and secondary metabolism, protein synthesis, cellular growth processes, and the regulatory infrastructure of *Arabidopsis* in response to nitrogen. **Plant Physiology**, v. 136, n. 1, p. 2483-2499, 2004.

SCHULTE, E. E.; K. A. KELLING. **Soil and applied phosphorus**. Bulletin A2520. University of Wisconsin-Extension. Madison, WI, 1996.

SELIM, E. M.; EL-NEKLAWY, A. S.; EL-ASHRY, S. M. Beneficial effects of humic substances fertigation on soil fertility to potato grown on sandy soil. **Australian Journal of Basic and Applied Sciences**, v. 3, n. 4, p. 4351-4358, 2009.

SHEN, J. et al. Phosphorus dynamics: from soil to plant. **Plant Physiology**, v. 156, n. 3, p. 997-1005, 2011.

SHRESTHA, R. K.; COOPERBAND, L. R.; MACGUIDWIN, A. E. Strategies to reduce nitrate leaching into groundwater in potato grown in sandy soils: case study from North Central USA. **American Journal of Potato Research**, v. 87, n. 3, p. 229-244, 2010.

SIBANDA, H. M.; YOUNG, S. D. Competitive adsorption of humus acids and phosphate on goethite, gibbsite and two tropical soils. **Journal of Soil Science**, v. 37, n. 2, p. 197-204, 1986.

SINGH, H. P. Policies and strategies conducive to potato development in Asia and the Pacific region. In: **Workshop to Commemorate the International Year of the Potato-2008** (Proceedings of a Regional Workshop, Bangkok), Papademetriou MK (Ed): p.18-29, 2008.

SMECK, N. E. Phosphorus dynamics in soils and landscapes. **Geoderma**, v. 36, n. 3-4, p. 185-199, 1985.

FERREIRA, D. F. Sisvar: A computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, v.35, n.6, p.1039-1042, 2011.

SORATTO, R. P. et al. Phosphorus uptake, use efficiency, and response of potato cultivars to phosphorus levels. **Potato Research**, v. 58, n. 2, p. 121-134, 2015.

SORATTO, R. P.; FERNANDES, A. M. Phosphorus effects on biomass accumulation and nutrient uptake and removal in two potato cultivars. **Agronomy Journal**, v. 108, n. 3, p. 1225-1236, 2016.

SORATTO, R. P.; FERNANDES, A. M.; SOUZA-SCHLICK, G. D. Extração e exportação de nutrientes em cultivares de batata: II-Micronutrientes. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, n. 6, p. 2057-2071, 2011.

SPOSITO, G. et al. **The surface chemistry of soils**. Oxford University Press, 1984.

STEVENSON, F. J. **Humus chemistry: genesis, composition, reactions**. 2. ed. New York: John Willey, 1994, 496p.

STEWART, W. M.; HAMMOND, L. L.; VAN KAUWENBERGH, S. J. Phosphorus as a natural resource. In: SIMS, J. T.; SHARPLEY, A. N. (Ed.). **Phosphorus: agriculture and environment**. Madison: American Society of Agronomy, 2005. p. 3-22.

SUH, H. Y.; YOO, K. S.; SUH, S. G. Tuber growth and quality of potato (*Solanum tuberosum* L.) as affected by foliar or soil application of fulvic and humic acids. **Horticulture, Environment, and Biotechnology**, v. 55, n. 3, p. 183-189, 2014.

SUMMERHAYS, J. S. et al. Enhanced phosphorus fertilizer (Carbond P[®]) supplied to maize in moderate and high organic matter soils. **Journal of Plant Nutrition**, v. 38, n. 9, p. 1359-1371, 2014.

SUN, Y.; CUI, X.; LIU, F. Effect of irrigation regimes and phosphorus rates on water and phosphorus use efficiencies in potato. **Scientia Horticulturae**, v. 190, n. 4, p. 64-69, 2015.

TEJADA, M.; GONZALEZ, J. Effects of foliar application of a byproduct of the two-step olive oil mill process on maize yield. **Agronomie**, v. 23, n. 7, p. 617-623, 2003.

THEODOROU, M. E.; PLAXTON, W. C. Metabolic adaptations of plant respiration to nutritional phosphate deprivation. **Plant Physiology**, v. 101, n. 2, p. 339-344, 1993.

TRAINA, S. J. et al. Effects of pH and organic acids on orthophosphate solubility in an acidic, montmorillonitic soil. **Soil Science Society American Journal**, v.50, n. 1, p.45-52, 1986.

TREVISAN, S. et al. Humic substances affect *Arabidopsis* physiology by altering the expression of genes involved in primary metabolism, growth and development. **Environmental and Experimental Botany**, v. 74, n. 1, p. 45-55, 2011.

TURNER, B. L. et al. Soil organic phosphorus transformations during edogenesis. **Ecosystems**, v. 10, n. 7, p. 1166-1181, 2007.

VACCARO, S. et al. Humic substances stimulate maize nitrogen assimilation and amino acid metabolism at physiological and molecular level. **Chemical and Biological Technologies in Agriculture**, v. 2, n. 1, p. 2-5, 2015.

VANCE, C. P.; UHDE-STONE, C.; ALLAN, D. L. Phosphorus acquisition and use: critical adaptations by plants for securing a nonrenewable resource. **New Phytologist**, v. 157, n. 3, p. 423-447, 2003.

VARANINI, Z. et al. Low molecular weight humic substances stimulate H⁺-ATPase activity of plasma membrane vesicles isolated from oat (*Avena sativa* L.) roots. **Plant and Soil**, v. 153, n. 1, p. 61-69, 1993.

WALKER, T. W.; SYERS, J. K. The fate of phosphorus during pedogenesis. **Geoderma**, v. 15, n. 1, p. 1-19, 1976.

YUAN, H. M. et al. Morphological responses of wheat (*Triticum aestivum* L.) roots to phosphorus supply in two contrasting soils. **The Journal of Agricultural Science**, v. 154, n. 1, p. 98-108, 2016.

ZANDONADI, D. B.; CANELLAS, L. P.; FAÇANHA, A. R. Indolacetic and humic acids induce lateral root development through a concerted plasmalemma and tonoplast H⁺ pumps activation. **Planta**, v. 225, n. 6, p. 1583-1595, 2007.

ZELALEM, A.; TEKALIGN, T.; NIGUSSIE, D. Response of potato (*Solanum tuberosum* L.) to different rates of nitrogen and phosphorus fertilization on vertisols at Debre Berhan, in the central highlands of Ethiopia. **African Journal of Plant Science**, v. 3, n. 2, p. 16-24, 2009.