

# Qualidade de tubérculos frescos de cultivares de batata em função da nutrição fosfatada

Adalton Mazetti Fernandes (1\*); Rogério Peres Soratto (2); Letícia de Aguilá Moreno (2); Regina Marta Evangelista (3)

(1) Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (UNESP), Faculdade de Ciências Agrônômicas (FCA) Centro de Raízes e Amidos Tropicais, Rua José Barbosa de Barros, 1.780, 18610-307 Botucatu (SP), Brasil.

(2) UNESP/FCA, Departamento de Produção e Melhoramento Vegetal, 18610-307 Botucatu (SP), Brasil.

(3) UNESP/FCA, Departamento de Horticultura, 18610-307 Botucatu (SP), Brasil.

(\* Autor correspondente: adalton@cerat.unesp.br

Recebido: 22/set./2014; Aceito: 23/out./2014

## Resumo

O fósforo (P) é essencial para aumentar a produtividade e a qualidade nutricional dos tubérculos de batata. Porém não se sabe se a influência da adubação fosfatada na qualidade dos tubérculos produzidos pode variar em função da cultivar e da disponibilidade de P no solo. O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito da adubação fosfatada sobre a qualidade e composição nutricional dos tubérculos comercializáveis de cultivares de batata. Foram conduzidos experimentos em solos com baixa, média e alta disponibilidade de P, utilizando delineamento de blocos ao acaso, no esquema fatorial  $2 \times 5$ , com quatro repetições. Os tratamentos foram constituídos por duas cultivares de batata (Agata e Mondial) e cinco doses de  $P_2O_5$  (0, 125, 250, 500 e 1.000 kg ha<sup>-1</sup>). A adubação fosfatada aumentou o teor de P e de amido, o tamanho e a produtividade de tubérculos comercializáveis, com resposta mais expressiva às maiores doses nos solos com baixa e média disponibilidade de P. A cultivar Mondial foi mais produtiva, por apresentar maior massa média de tubérculos e maiores aumentos nessa característica em resposta a adubação fosfatada. A cultivar Mondial produziu tubérculos com polpa mais firme, com maior percentagem de matéria seca e com maiores teores de Ca, Cu e Zn do que a Agata. Em solo com baixo P disponível, a adubação fosfatada reduziu o teor de Zn mas, de maneira geral, teve pouca influência na composição nutricional dos tubérculos de batata.

Palavras-chave: *Solanum tuberosum*, fósforo, tamanho dos tubérculos, amido, proteína, teor de minerais.

## Effect of phosphorus nutrition on quality of fresh tuber of potato cultivars

### Abstract

Phosphorus (P) is essential to increase tuber yield and nutritional quality of potato tubers. However, it is unclear whether the influence of P fertilization on quality of tubers produced can vary depending on the cultivar and P availability in soil. This study evaluated the effect of P fertilization on the quality and nutritional composition of marketable tubers of potato cultivars. Experiments in soils with low, medium and high P availability were conducted in a randomized block design, with four replications. Treatments consisted of a  $2 \times 5$  factorial arrangement of two potato cultivars (Agata and Mondial) and five  $P_2O_5$  rates (0, 125, 250, 500, and 1,000 kg ha<sup>-1</sup>). Phosphorus fertilization increased the contents of P and starch, the size and yield of marketable tubers, with more expressive response to higher P rates in the soils with low and medium P availability. The Mondial cultivar had the highest yield, due to a greater tuber weight and greater increases in this characteristic in response to P fertilization. The Mondial cultivar produced tubers with firmer pulp, with higher dry matter percentage and higher contents of Ca, Cu, and Zn than Agata. In the soil with low P availability, P fertilization reduced Zn content, but, in general, had little influence on the nutritional composition of potato tubers.

Key words: *Solanum tuberosum*, phosphorus, tuber size, starch, protein, mineral concentration.

## 1. INTRODUÇÃO

Os tubérculos de batata (*Solanum tuberosum* L.) são uma excelente fonte de alimento por proporcionar energia oriunda dos carboidratos, mas também são ricos em sais minerais e vitaminas e apresentam proteína de alta qualidade (Pereira et al., 2005).

No Brasil, a qualidade dos tubérculos de batata para a comercialização in natura ainda está associada às suas características visuais (Feltran et al., 2004; Silva et al., 2007). Nesse contexto, as cultivares Agata e Mondial destacam-se, estando entre as principais cultivares plantadas no país, produzindo tubérculos com características adequadas à comercialização nesse segmento de mercado (Evangelista et al., 2011; Fernandes et al., 2010). Contudo, o conhecimento da composição dos alimentos consumidos é fundamental para a segurança alimentar e nutricional (UNICAMP, 2011) e recentemente os consumidores têm valorizado também tubérculos de maior qualidade nutricional e culinária (Evangelista et al., 2011; Feltran et al., 2004; Silva et al., 2007).

Por ser uma cultura de ciclo curto e apresentar alta capacidade produtiva, a batateira é altamente responsiva à aplicação de nutrientes ao solo (Fernandes & Soratto, 2012; Freeman et al., 1998; Luz et al., 2013). Além disso, devido à baixa disponibilidade e alta capacidade de fixação do fósforo (P) na maioria dos solos brasileiros e pelo fato de a cultura da batata ser considerada pouco eficiente em absorver P do solo (Dechassa et al., 2003), normalmente são empregadas altas doses de fertilizantes fosfatados no seu cultivo, visando a obtenção de elevados níveis de produtividade (Fernandes & Soratto, 2012; Luz et al., 2013) e de tubérculos de maior tamanho.

O P nutriente desempenha diversos efeitos sobre a qualidade dos tubérculos, uma vez que ele atua na divisão celular, na síntese de amido e no seu armazenamento nos tubérculos (Houghland, 1960). Assim, o P pode aumentar o tamanho e a percentagem de matéria seca (MS) (indicada pelo peso específico) dos tubérculos (Freeman et al., 1998; Rosen et al., 2014). Contudo, quando a disponibilidade de P no solo é alta, seu fornecimento pode diminuir a produção de tubérculos maiores sem alterar o seu peso específico (Rosen & Bierman, 2008). Em alguns casos, nos quais a adubação fosfatada proporcionou grande incremento no tamanho e produtividade de tubérculos, também foi observada redução do peso específico deles em função de doses de P (Freeman et al., 1998). O manejo e a disponibilidade de nutrientes no solo também podem influenciar a composição química do produto colhido (Quadros et al., 2009).

As características físico-químicas e a composição nutricional dos tubérculos de batata podem variar em função de diversos fatores, como: cultivar, disponibilidade de nutrientes no solo, processo de fertilização, maturação, clima, etc. (Evangelista et al., 2011; Feltran et al., 2004; Fernandes et al., 2010; Klein et al., 1980; Lachman et al., 2005;

Quadros et al., 2009; Rosen et al., 2014). Segundo Klein et al. (1980), adubação fosfatada aumentou os teores de ácido ascórbico, nitrogênio (N) e proteína nos tubérculos. Além de aumentar o peso específico dos tubérculos, a adubação com P também pode alterar a textura, a cor e o sabor dos tubérculos cozidos (Sheard & Johnston, 1958). Contudo, escassas pesquisas avaliaram o efeito do P sobre a composição nutricional dos tubérculos de batata (Rosen et al., 2014). Além disso, não se sabe se a influência da adubação fosfatada na qualidade dos tubérculos produzidos pode variar de uma cultivar para outra e em função da disponibilidade de P no solo.

O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito da adubação fosfatada sobre a qualidade físico-química e a composição nutricional dos tubérculos comercializáveis de cultivares de batata em solos com diferentes disponibilidades de P.

## 2. MATERIAL E MÉTODO

Foram conduzidos três experimentos no ano de 2011, em áreas de produção de batata, com solos apresentando teores de P disponível considerados baixo (Avaré, SP), médio (Itaí, SP) e alto (Cerqueira César, SP) (Tabela 1). Os solos dos três locais foram classificados como Latossolo Vermelho distrófico, textura argilosa (Santos et al., 2006). Em cada área, antes da instalação dos experimentos, coletaram-se amostras de solo na camada de 0-20 cm para determinação das características químicas, cujos resultados estão apresentados na tabela 1.

Em todos os experimentos, o preparo do solo foi realizado de forma convencional, com aração e gradagem. Cada experimento foi conduzido no delineamento experimental de blocos ao acaso, no esquema fatorial  $2 \times 5$ , com quatro repetições. Os tratamentos foram constituídos por duas cultivares de batata (Agata e Mondial) e cinco doses de  $P_2O_5$  (0, 125, 250, 500 e 1.000 kg ha<sup>-1</sup>), utilizando-se como fonte o superfosfato triplo. Cada parcela experimental foi constituída por cinco fileiras de plantas de 5 m de comprimento. No sulco de plantio foram aplicados 62 kg ha<sup>-1</sup> de N (sulfato de amônio) e 124 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O (cloreto de potássio) em todos os experimentos.

O plantio dos tubérculos semente foi efetuado entre o final de abril e início de maio de 2011 (safra de inverno), no espaçamento de 0,80 m entre fileiras e 0,30 m entre tubérculos semente. A adubação nitrogenada de cobertura foi realizada aos 22, 24 e 28 dias após o plantio (DAP), nas áreas com baixa, média e alta disponibilidade de P, respectivamente. As quantidades de N aplicadas nas áreas com baixo, médio e alto teor de P no solo foram de 43, 64 e 41 kg ha<sup>-1</sup> de N, respectivamente. Após a adubação nitrogenada de cobertura foi efetuada a amontoa. Todos os experimentos foram irrigados por aspersão.

Nas áreas com baixa, média e alta disponibilidade de P no solo a dessecação da parte aérea da cultura foi realizada

aos 112, 94 e 97 DAP, respectivamente. A colheita dos tubérculos foi realizada aproximadamente aos 21 dias após a dessecação das plantas. Os tubérculos colhidos foram lavados e classificados pelo diâmetro transversal, sendo considerados comercializáveis aqueles com diâmetro acima de 23 mm. Em seguida, os tubérculos foram contados e pesados para a determinação da produtividade comercial e da massa média de tubérculos comercializáveis.

A firmeza foi determinada em três tubérculos (com casca) de cada parcela colhida no campo, utilizando-se texturômetro, com profundidade de penetração de 20 mm e velocidade de 2,0 mm s<sup>-1</sup> e ponteira TA 9/1000. Para a quantificação dos sólidos solúveis (SS), algumas fatias da polpa foram maceradas e duas gotas do suco foram colocadas no prisma do refratômetro eletrônico; após um minuto fez-se a sua leitura direta em °Brix. Para a determinação da acidez titulável, 10 g de polpa triturada foram diluídas em 100 ml de água destilada e a mistura foi filtrada e titulada com solução hidróxido de sódio a 0,1 N, tendo como indicador fenolftaleína (ANVISA, 2005). A percentagem de matéria seca foi determinada por meio da secagem da polpa dos tubérculos em estufa com circulação forçada de ar numa temperatura de 105 °C até peso constante (ANVISA, 2005). O teor de amido foi determinado na MS, segundo metodologia de Somogyi, adaptada por Nelson (1944), e as leituras foram realizadas em espectrofotômetro a 535 nm. Os dados foram convertidos para teor na matéria fresca. O teor de proteína nos tubérculos foi determinado na MS, com o método de Kjeldahl (método 920.87 da Association of Analytical Chemists – Aoac) (Horwitz & Latimer, 2005) e com o fator de 6,25 para conversão em proteína bruta. Em seguida, os dados foram convertidos para teor de proteína na matéria fresca. Os teores de minerais (P, K, Ca, Mg, Cu, Fe, Mn e Zn) foram determinados nas amostras secas

(Malavolta et al., 1997) e os valores obtidos convertidos para mg por 100 g de matéria fresca.

Os resultados de cada experimento foram submetidos à análise de variância separadamente, considerando o esquema fatorial 2 × 5 (2 cultivares × 5 doses de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>). As médias das cultivares foram comparadas pelo teste t (DMS) (p<0,05), enquanto os efeitos das doses de P foram avaliados por análise de regressão.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nos três experimentos, a cultivar Mondial apresentou maior produtividade de tubérculos comercializáveis que a Agata (Tabela 2). A adubação fosfatada aumentou a produtividade de tubérculos comercializáveis nos três solos. Porém, o aumento na produtividade de tubérculos foi mais expressiva e ocorreu até maiores doses de P em condições de menor disponibilidade deste nutriente no solo. Isso demonstra que, em solos com média e alta disponibilidade de P, a aplicação de elevadas doses de P não promove aumento da produtividade da cultura da batata, como também observado por Rosen & Bierman (2008). No entanto, destaca-se que mesmo em solos com médio e alto teor de P disponível a batata respondeu a aplicação de até 250 e 150 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>.

A massa média de tubérculos foi afetada pela interação cultivar x dose no solo com baixo teor de P, pelos fatores isolados no solo com médio teor de P e apenas pelo fator cultivar no solo com alto teor de P (Tabela 2). Tais resultados indicam que sob alta disponibilidade de P a adubação fosfatada não aumenta o tamanho dos tubérculos da batateira, podendo inclusive reduzir o número de tubérculos de maior tamanho (Rosen & Bierman, 2008). Na ausência da adubação fosfatada, a massa média de tubérculos foi semelhante entre as cultivares no solo com baixa disponibilidade de P. Porém, com a aplicação de doses crescentes de P, a massa média de tubérculos de ambas as cultivares aumentou até a dose de 500 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, mas sempre com aumentos mais expressivos na cultivar Mondial (Tabela 3). Zewide et al. (2012) também verificaram que a adubação fosfatada proporcionou aumento na massa média de tubérculos de até 24,5% em solo de baixa fertilidade, o que concorda com os resultados obtidos, e indica que em condição de baixa disponibilidade de P no solo, o fornecimento de P é fundamental para a produção de tubérculos maiores. No solo com média disponibilidade de P, a adubação fosfatada também aumentou a massa média dos tubérculos, entretanto com aumentos significativos somente até a dose de 125 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, ou seja, o P que estava disponível no solo foi suficiente para promover o bom desenvolvimento dos tubérculos (Tabela 2).

Nos solos com baixa e alta disponibilidade de P, a firmeza da polpa dos tubérculos foi afetada apenas pelas cultivares,

**Tabela 1.** Características químicas dos solos das áreas experimentais, na profundidade de 0 a 0,20 m, média de quatro repetições

Característica	Avaré	Itaí	Cerqueira César
pH (CaCl <sub>2</sub> )	5,7	4,8	4,8
M.O. (g dm <sup>-3</sup> )	48	27	28
P (resina) (mg dm <sup>-3</sup> )	14	36	70
K (mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	2,3	2,3	3,3
Ca (mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	60	31	31
Mg (mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	19	11	9
H+Al (mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	27	46	51
CTC (mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	108	90	94
V (%)	75	49	46
B (mg dm <sup>-3</sup> )	0,33	0,64	0,77
Cu (mg dm <sup>-3</sup> )	8,3	1,2	6,2
Fe (mg dm <sup>-3</sup> )	60,7	44,0	32,7
Mn (mg dm <sup>-3</sup> )	24,6	8,2	9,3
Zn (mg dm <sup>-3</sup> )	1,0	1,6	2,9

**Tabela 2.** Produtividade, massa média e composição físico-química de tubérculos comercializáveis de cultivares de batata em resposta à adubação fosfatada, em solos com baixa (14 mg dm<sup>-3</sup>), média (36 mg dm<sup>-3</sup>) e alta (70 mg dm<sup>-3</sup>) disponibilidade de fósforo<sup>(1)</sup>

Disponibilidade de P no solo	Cultivar (C)		Dose de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (kg ha <sup>-1</sup> ) (D)					CV (%)	Interação C x D	Equação de regressão	R <sup>2</sup>
	Agata	Mondial	0	125	250	500	1.000				
Produtividade de tubérculos comercializáveis (kg ha <sup>-1</sup> )											
Baixa	18.474b	24.255a	7.376	20.724	24.156	27.270	27.296	13,4	ns	$y = (1 + 0,051x)/(0,0001 + 0,000002x)$	0,99**
Média	27.841b	46.679a	28.979	37.775	40.649	38.881	40.015	11,9	ns	$y = 39845,5/[1 + \exp\{-(x + 58,8)/60,2\}]$	0,98**
Alta	37.452b	41.599a	32.826	40.913	41.415	40.190	42.284	10,4	ns	$y = 41297,7/[1 + \exp\{-(x + 50,7)/37,5\}]$	0,96**
Massa média dos tubérculos comercializáveis (g)											
Baixa	67a	99a	51	79	88	100	98	6,9	**	$y = 55,4460 + 0,1503x - 0,000108x^2$	0,95**
Média	109b	161a	113	140	134	139	148	12,6	ns	$y = (1 + 0,024x)/(0,0089 + 0,0002x)$	0,88**
Alta	100b	126a	106	108	112	117	121	11,0	ns	ns	-
Firmeza (N)											
Baixa	5,9b	9,2a	7,5	7,7	7,6	7,5	7,5	3,4	ns	ns	-
Média	7,3a	8,9a	7,8	8,2	8,3	8,1	8,0	4,9	**	ns	-
Alta	6,3b	9,0a	7,9	7,5	7,6	7,9	7,3	4,1	ns	ns	-
Sólidos solúveis (°Brix)											
Baixa	4,5a	4,5a	4,6	4,6	4,5	4,4	4,4	4,6	ns	ns	-
Média	4,6a	4,5b	4,5	4,8	4,5	4,6	4,5	3,4	ns	ns	-
Alta	4,5a	4,0b	4,3	4,3	4,3	4,2	4,3	3,7	ns	ns	-
Acidez titulável (% de ácido cítrico por 100 g de matéria fresca)											
Baixa	0,17a	0,15b	0,17	0,16	0,16	0,16	0,16	9,6	ns	ns	-
Média	0,19a	0,18b	0,19	0,18	0,18	0,18	0,18	10,0	ns	$y = 0,188 - 0,000031x + 0,00000003x^2$	0,66*
Alta	0,16a	0,16a	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	7,7	ns	ns	-
Matéria seca (% da matéria fresca)											
Baixa	14,5b	16,7a	16,4	15,0	16,2	15,3	14,9	4,5	ns	$y = 15,99 - 0,012x$	0,40*
Média	14,6b	16,6a	15,8	15,5	15,7	15,8	15,3	4,7	ns	ns	-
Alta	14,1b	15,5a	14,9	14,8	14,8	15,0	14,6	5,3	ns	ns	-
Amido (% da matéria fresca)											
Baixa	9,3a	9,3a	6,3	9,1	10,4	10,9	9,9	9,4	ns	$y = 6,79 + 0,0156x - 0,000013x^2$	0,92**
Média	10,6b	12,0a	10,5	12,1	12,0	11,6	10,2	11,6	ns	$y = 10,93 + 0,0052x - 0,000006x^2$	0,76**
Alta	10,6a	11,1a	10,7	10,7	11,4	10,9	10,7	9,2	ns	ns	-
Proteína (% da matéria fresca)											
Baixa	1,8a	1,8a	1,9	1,8	1,8	1,8	1,8	10,0	ns	ns	-
Média	1,7b	1,8a	1,7	1,7	1,8	1,8	1,7	9,0	ns	ns	-
Alta	1,6a	1,6a	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	9,0	ns	ns	-

<sup>(1)</sup> Médias seguidas de letras iguais, nas linhas, para o fator cultivar, não diferem entre si pelo teste t (DMS) (p<0,05); ns = Não significativo; \* p<0,05; \*\* p<0,01.

com os tubérculos da cultivar Mondial apresentando maior valor (Tabela 2). Feltran et al. (2004) e Fernandes et al. (2010) também verificaram que os tubérculos da cultivar Mondial apresentam polpa mais firme que os da cultivar Agata. Na condição de médio teor de P disponível no solo houve efeito de interação, sendo que apenas nos tubérculos da cultivar Agata a firmeza da polpa aumentou com a adubação até a dose de 250 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (Tabela 3). Na cultivar Mondial, apesar da adubação não ter afetado a firmeza da polpa dos tubérculos, observa-se que em todas as doses de

P estudadas essa cultivar apresentou tubérculos com polpa mais firme que a cultivar Agata. Anzaldúa-Morales et al. (1992) observaram que a firmeza da polpa de tubérculos de batata se relacionou com a sua (MS). A maior firmeza dos tubérculos da cultivar Mondial provavelmente é resultado da combinação das elevadas percentagens de (MS) e teores de amido (Tabelas 2 e 3). Evangelista et al. (2011) também observaram que cultivares com tubérculos de polpa mais firme também apresentaram maiores percentagens de (MS) e teores de amido.

**Tabela 3.** Desdobramento da interação significativa entre cultivar e adubação fosfatada, para massa média de tubérculos, em solo com baixa disponibilidade de P, e firmeza dos tubérculos, em solo com média disponibilidade de P, cultura da batata<sup>(1)</sup>

Cultivar	Dose de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (kg ha <sup>-1</sup> )					Equação de regressão	R <sup>2</sup>
	0	125	250	500	1.000		
Massa média dos tubérculos (g) – solo com baixa disponibilidade de P							
Agata	46a	64b	72b	77b	77b	$y = 77,3/[1 + \exp[-(x+44,9)/112,1]]$	0,99**
Mondial	55a	94a	104a	123a	119a	$y = 120,3/[1 + \exp[-(x+11,4)/105,9]]$	0,98**
Firmeza (N) – solo com média disponibilidade de P							
Agata	6,6b	7,1b	7,7b	7,4b	7,5b	$y = 7,52/[1 + \exp[-(x+191,61)/98,11]]$	0,85*
Mondial	8,9a	9,3a	8,8a	8,8a	8,6a	ns	-

<sup>(1)</sup> Médias seguidas de letras iguais, nas colunas, não diferem entre si pelo teste t (DMS) (p<0,05); ns = não significativo; \* p<0,05; \*\* p<0,01.

Apenas nos solos com média e alta disponibilidade de P os sólidos solúveis foram afetados pelas cultivares, cujos maiores valores ocorreram nos tubérculos da cultivar Agata (Tabela 2). Como os sólidos solúveis são constituídos principalmente por açúcares (sacarose) (Fernandes et al., 2010), esses resultados indicam que a cultivar Agata possui tubérculos com maior proporção dessas substâncias. Feltran et al. (2004) e Fernandes et al. (2010) também verificaram sólidos solúveis relativamente mais elevados nos tubérculos da cultivar Agata.

A acidez titulável da polpa dos tubérculos foi afetada apenas pela cultivar em condição de baixa disponibilidade de P no solo, e pelos fatores cultivar e dose de P no solo com média disponibilidade de P (Tabela 2). Em ambas as condições, foram observados maiores valores de acidez titulável nos tubérculos da cultivar Agata. Porém, as variações foram pequenas, provavelmente porque é pequena a variação entre as cultivares em relação à quantidade de ácidos orgânicos presente na polpa dos tubérculos (Evangelista et al., 2011; Feltran et al., 2004; Fernandes et al., 2010). Na condição de médio teor de P, a adubação fosfatada proporcionou ligeira redução na acidez titulável dos tubérculos. Além disso, os valores dessa variável foram menores no solo com alta disponibilidade de P, o que indica que a maior disponibilidade desse nutriente pode diminuir a quantidade de ácidos orgânicos nos tubérculos.

Apenas no solo com média disponibilidade de P houve diferença entre as cultivares quanto ao teor de amido nos tubérculos, com os maiores valores sendo observados na cultivar Mondial (Tabela 2). As doses de P incrementaram o teor de amido nos solos com baixa e média disponibilidade desse nutriente. Os maiores teores foram proporcionados com as doses estimadas de 600 e 433 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, nos solos com baixo e médio teor de P disponível, respectivamente. Além de ser fundamental para o estabelecimento de um maior número de tubérculos por planta (Rosen & Bierman, 2008), o P participa de várias enzimas chave envolvidas na regulação da síntese de amido (sacarose-fosfato sintase, frutose-1,6-bifosfatase e ADP-glicose pirofosforilase) (Taiz & Zeiger, 2013) e também faz parte da sua composição, estando ligado à fração amilopectina do amido, na forma de éster de fosfato (Nielsen et al., 1994). Assim, o P tem

desempenho de grande importância no metabolismo do amido e é necessário em quantidades relativamente grandes na planta de batata para que haja a fosforilação do amido durante de fase de enchimento dos tubérculos (Houghland, 1960). Como evidenciado no presente trabalho, a disponibilidade de P tem grande influência no teor de amido dos tubérculos de batata.

O conteúdo de MS dos tubérculos foi afetado pelos fatores isolados no solo com baixo teor de P disponível e apenas pelo fator cultivar nos demais solos (Tabela 2). Em todas as condições de disponibilidade de P no solo, a percentagem de MS foi maior nos tubérculos da cultivar Mondial. No solo com baixa disponibilidade de P, a adubação fosfatada proporcionou ligeira redução na MS dos tubérculos, possivelmente causada pelo efeito de diluição, já que nessa condição se obtiveram os aumentos mais expressivos na produtividade e no tamanho dos tubérculos (Tabela 2). Freeman et al. (1998) também observaram redução na MS dos tubérculos de batata (indicada pelo peso específico) em função da adubação fosfatada, nas condições onde ela proporcionou grande incremento da produtividade de tubérculos.

O teor de proteína nos tubérculos foi influenciado apenas pela cultivar no experimento realizado em solo com médio teor de P disponível (Tabela 2). Nessa condição, a cultivar Mondial produziu tubérculos com maior teor de proteína que a cultivar Agata. Apesar de Lachman et al. (2005) afirmarem que os teores de proteína nos tubérculos da batateira são afetados por fatores como cultivares, sistemas de adubação e sistemas de manejo da cultura, similarmente ao observado no presente trabalho, Fernandes et al. (2011) não observaram diferenças nos teores de proteína dos tubérculos das cultivares Agata e Mondial cultivadas em solo com elevado teor de P. A adubação fosfatada não alterou o teor de proteína dos tubérculos mas incrementou a produtividade de tubérculos comercializáveis, o que, conseqüentemente, resulta numa maior produtividade de proteína por área. Isso é uma característica interessante comercialmente, pois embora os tubérculos de batata apresentem baixos teores de proteína (Lachman et al., 2005; UNICAMP, 2011), essa proteína é de alto valor nutritivo, o que faz com que os tubérculos

sejam considerados como uma importante fonte de alimento (Pereira et al., 2005).

Não houve diferenças entre as cultivares quanto ao teor de P nos tubérculos (Tabela 4). Por outro lado, a adubação com P aumentou o teor desse nutriente nos tubérculos nos três experimentos. No solo com teor médio de P disponível, os teores desse nutriente nos tubérculos aumentaram linearmente com o incremento da adubação fosfatada. Nos solos com baixa e alta disponibilidade de P, os teores desse nutriente nos tubérculos aumentaram até as doses estimadas de 870 e 778 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, respectivamente. Destaca-se que além de aumentar a produtividade de tubérculos, a adubação fosfatada também é importante para a produção de tubérculos ricos

nesse nutriente (Tabelas 2 e 4), fundamental na nutrição humana (Pereira et al., 2005; UNICAMP, 2011).

As doses de P não influenciaram o teor de K nos tubérculos, independentemente da disponibilidade de P no solo (Tabela 4). No solo com alto teor de P disponível, a cultivar Mondial apresentou teor mais elevado de K nos tubérculos, independentemente da adubação fosfatada. No entanto, em todas as áreas os teores de K nos tubérculos de ambas as cultivares ficaram próximos dos valores observados por Evangelista et al. (2011) em 11 cultivares de batata, dentro do intervalo de teores verificado por Quadros et al. (2009), que foi de 353 a 550 mg 100 g<sup>-1</sup> de matéria fresca de tubérculos, e acima do teor médio de 302 mg 100 g<sup>-1</sup> de

**Tabela 4.** Composição nutricional dos tubérculos comercializáveis de cultivares de batata em resposta à adubação fosfatada, em solos com baixa (14 mg dm<sup>-3</sup>), média (36 mg dm<sup>-3</sup>) e alta (70 mg dm<sup>-3</sup>) disponibilidade de fósforo<sup>(1)</sup>

Disponibilidade de P no solo	Cultivar (C)		Dose de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (kg ha <sup>-1</sup> ) (D)				CV (%)	Interação C × D	Equação de regressão	R <sup>2</sup>	
	Agata	Mondial	0	125	250	500					1.000
P (mg 100 g <sup>-1</sup> de matéria fresca)											
Baixa	32a	30a	21	26	34	34	40	14,2	ns	$y = 22,30 + 0,040x - 0,000023x^2$	0,92**
Média	28a	30a	24	26	29	31	34	13,5	ns	$y = 25,21 + 0,0099x$	0,93**
Alta	25a	25a	22	24	24	27	27	9,7	ns	$y = 21,96 + 0,014x - 0,000009x^2$	0,96*
K (mg 100 g <sup>-1</sup> de matéria fresca)											
Baixa	398a	419a	407	409	434	410	382	9,2	ns	ns	-
Média	435a	450a	458	443	440	440	432	6,4	ns	ns	-
Alta	404b	440a	424	421	421	431	413	5,9	ns	ns	-
Ca (mg 100 g <sup>-1</sup> de matéria fresca)											
Baixa	11a	10a	8	11	11	11	11	22,6	ns	ns	-
Média	6b	8a	6	8	7	8	6	18,1	ns	$y = 6,45 + 0,0064x - 0,000007x^2$	0,66*
Alta	5b	7a	5	6	6	6	6	19,5	ns	ns	-
Mg (mg 100 g <sup>-1</sup> de matéria fresca)											
Baixa	19a	19a	19	19	21	19	18	13,2	ns	ns	-
Média	24a	24a	24	24	23	24	24	8,3	ns	ns	-
Alta	20a	21a	21	20	21	21	20	8,4	ns	ns	-
Cu (mg 100 g <sup>-1</sup> de matéria fresca)											
Baixa	0,09b	0,12a	0,12	0,09	0,11	0,10	0,10	20,8	ns	ns	-
Média	0,10b	0,11a	0,12	0,11	0,10	0,10	0,10	16,3	ns	ns	-
Alta	0,11a	0,10a	0,10	0,10	0,11	0,11	0,10	20,8	ns	ns	-
Fe (mg 100 g <sup>-1</sup> de matéria fresca)											
Baixa	2,52a	2,41a	2,59	2,26	2,55	2,46	2,47	14,9	ns	ns	-
Média	1,41b	1,90a	1,67	1,68	1,61	1,67	1,63	19,6	ns	ns	-
Alta	1,33a	1,24a	1,16	1,25	1,38	1,34	1,30	18,0	ns	ns	-
Mn (mg 100 g <sup>-1</sup> de matéria fresca)											
Baixa	0,11a	0,11a	0,13	0,11	0,12	0,10	0,09	24,8	ns	ns	-
Média	0,13b	0,19a	0,16	0,16	0,16	0,18	0,15	16,0	ns	ns	-
Alta	0,16a	0,12b	0,15	0,14	0,14	0,15	0,13	19,0	ns	ns	-
Zn (mg 100 g <sup>-1</sup> de matéria fresca)											
Baixa	0,28a	0,29a	0,36	0,28	0,27	0,26	0,25	15,1	ns	$y = 0,28 + 0,081 \exp(-0,024x) - 0,00003x$	0,99**
Média	0,29b	0,37a	0,39	0,30	0,31	0,32	0,32	19,0	ns	ns	-
Alta	0,20b	0,26a	0,25	0,23	0,23	0,23	0,21	14,4	ns	ns	-

<sup>(1)</sup> Médias seguidas de letras iguais, nas linhas, para o fator cultivar, não diferem entre si pelo teste t (DMS) (p<0,05); ns = não significativo; \* p<0,05; \*\* p<0,01.

matéria fresca, descrito na Tabela Brasileira de Composição de Alimentos (UNICAMP, 2011).

Os teores de Ca nos tubérculos da batateira não foram afetados pelos tratamentos no solo com baixa disponibilidade de P mas, nos solos com média e alta disponibilidade, a cultivar Mondial apresentou teores de Ca mais elevados, sem influência da adubação fosfatada (Tabela 4). Independentemente do tratamento, os teores de Ca observados nos tubérculos das cultivares estudadas foram maiores que o teor médio de 4 mg 100 g<sup>-1</sup> de matéria fresca, descrito por UNICAMP (2011), porém menores que aqueles relatados por Evangelista et al. (2011). Destaca-se também que os maiores teores de Ca nos tubérculos produzidos no solo com baixo teor de P disponível se devem à maior disponibilidade de Ca no solo (Tabela 1) e menores produtividades obtidas nesse experimento (Tabela 2), o que provavelmente concentrou o Ca nos tubérculos (Tabela 4).

O teor de Mg nos tubérculos não foi afetado pelos tratamentos estudados e em todos os tratamentos os valores ficaram acima do teor descrito por UNICAMP (2011) como médio, que é de 15 mg 100 g<sup>-1</sup> de matéria fresca de tubérculo in natura.

As doses de adubação fosfatada não interferiram nos teores de Cu, Fe e Mn nos tubérculos das cultivares de batata (Tabela 4). Nos solos com baixo e médio teores de P disponível, a cultivar Mondial apresentou maiores teores de Cu nos tubérculos, porém em todos os tratamentos os teores desse nutriente ficaram muito próximos aos relatados por Evangelista et al. (2011) e UNICAMP (2011). A cultivar Mondial também produziu tubérculos com maiores teores de Fe e Mn que a Agata no solo com média disponibilidade de P. No solo com alta disponibilidade de P, a cultivar Agata apresentou maior teor de Mn que a Mondial. Os teores de Zn dos tubérculos foram afetados pela cultivar, sendo observados maiores valores na Mondial nos solos com médio e alto teor de P disponível. Esses resultados demonstram que pode haver diferenças entre as cultivares em relação aos teores desses nutrientes nos tubérculos.

No solo com baixa disponibilidade de P, os teores de Zn nos tubérculos foram reduzidos pela adubação fosfatada até a maior dose estudada (Tabela 4). Isso indica que, dependendo da condição, a aplicação de maiores doses de P pode diminuir o valor nutricional dos tubérculos, especialmente em relação ao Zn, pois os íons Zn<sup>2+</sup> e H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub><sup>-</sup> podem formar ligações químicas nos tecidos das plantas e no solo, podendo, em condição de excesso de P no solo ou na planta, haver uma deficiência de Zn induzida pelo P (Barben et al., 2010), especialmente quando a disponibilidade de Zn no solo não é alta (Tabela 1). No entanto, de maneira geral, os teores de Fe, Mn e Zn foram elevados, o que está relacionado com a média-alta disponibilidade desses nutrientes nos solos. Houve pouca influência da disponibilidade de P sobre a composição nutricional dos tubérculos de ambas as cultivares de batata.

## 4. CONCLUSÃO

A adubação fosfatada aumentou o teor de P e de amido, o tamanho e a produtividade de tubérculos comercializáveis, porém de forma mais expressiva e com o uso de doses mais elevadas nos solos com baixa e média disponibilidade de P.

A cultivar Mondial foi mais produtiva que a cultivar Agata por apresentar maior massa média de tubérculos e maiores aumentos nessa característica em resposta à adubação fosfatada.

A cultivar Mondial produziu tubérculos com polpa mais firme, com maior percentagem de (MS) e com maiores teores de Ca, Cu e Zn do que a Agata.

Em solo com baixa disponibilidade de P, a adubação fosfatada reduziu o teor de Zn, porém, de maneira geral, teve pouca influência na composição nutricional dos tubérculos de batata.

## AGRADECIMENTOS

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), pela concessão de bolsa ao primeiro e terceiro autores (Proc. 2010/04987-6 e Proc. 2012/12128-9); ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico (CNPq) pelo suporte à pesquisa e concessão de bolsa de Produtividade em Pesquisa ao segundo autor; e ao Grupo Ioshida, pela concessão das áreas.

## REFERÊNCIAS

- Agência Nacional de Vigilância Sanitária – ANVISA. (2005). Métodos físico-químicos para análise de alimentos (4th ed.). Brasília: Ministério da Saúde.
- Anzaldúa-Morales, A., Bourne, M. C., & Shomer, I. (1992). Cultivar, specific gravity and location in tuber affect puncture force of raw potatoes. *Journal of Food Science*, 57, 1353-1356. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2621.1992.tb06855.x>.
- Barben, S. A., Hopkins, B. G., Jolley, V. D., Webb, B. L., & Nichols, B. A. (2010). Phosphorus and zinc interactions in chelator-buffered solution grown Russet Burbank potato. *Journal of Plant Nutrition*, 33, 587-601. <http://dx.doi.org/10.1080/01904160903506308>.
- Dechassa, N., Schenk, M. K., Claassen, N., & Steingrobe, B. (2003). Phosphorus efficiency of cabbage (*Brassica oleraceae* L. var. *capitata*), carrot (*Daucus carota* L.), and potato (*Solanum tuberosum* L.). *Plant and Soil*, 250, 215-224. <http://dx.doi.org/10.1023/A:1022804112388>.
- Evangelista, R. M., Nardin, I., Fernandes, A. M., & Soratto, R. P. (2011). Qualidade nutricional e esverdeamento pós-colheita de tubérculos de cultivares de batata. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 46, 953-960. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2011000800023>.

- Feltran, J. C., Lemos, L. B., & Vieites, R. L. (2004). Technological quality and utilization of potato tubers. *Scientia Agricola*, 61, 593-603. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-90162004000600006>.
- Fernandes, A. M., & Soratto, R. P. (2012). Nutrição mineral, calagem e adubação da batateira. Botucatu: FEPAP.
- Fernandes, A. M., Soratto, R. P., Evangelista, R. M., & Nardin, I. (2010). Qualidade físico-química e de fritura de tubérculos de cultivares de batata na safra de inverno. *Horticultura Brasileira*, 28, 299-304. <http://dx.doi.org/10.1590/S0102-05362010000300010>.
- Fernandes, A. M., Soratto, R. P., Evangelista, R. M., Silva, B. L., & Souza-Schlick, G. D. (2011). Produtividade e esverdeamento pós-colheita de tubérculos de cultivares de batata produzidos na safra de inverno. *Revista Ciência Agronômica*, 42, 502-508. <http://dx.doi.org/10.1590/S1806-66902011000200033>.
- Freeman, K. L., Franz, P. R., & Jong, R. W. (1998). Effect of phosphorus on the yield, quality and petiolar phosphorus concentrations of potatoes (cv. Russet Burbank and Kennebec) grown in the krasnozems and duplex soils of Victoria. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 38, 83-93. <http://dx.doi.org/10.1071/EA96045>.
- Horwitz, W., & Latimer, G. W., Jr. (2005). Official methods of analysis of the Association of Analytical Chemists International (18th ed.). Gaythersburg: AOAC International.
- Houghland, G. V. C. (1960). The influence of phosphorus on the growth and physiology of the potato plant. *American Potato Journal*, 37, 127-138. <http://dx.doi.org/10.1007/BF02855950>.
- Klein, L. B., Chandra, S., & Mondy, N. I. (1980). The effect of phosphorus fertilization on the chemical quality of Katahdin potatoes. *American Potato Journal*, 57, 259-266. <http://dx.doi.org/10.1007/BF02855303>.
- Lachman, J., Hamouz, K., Dvorač, P., & Orsák, M. (2005). The effect of selected factors on the content of protein and nitrates in potato tubers. *Plant, Soil and Environment*, 51, 431-438.
- Luz, J. M. Q., Queiroz, A. A., Borges, M., Oliveira, R. C., Leite, S. S., & Cardoso, R. R. (2013). Influence of phosphate fertilization on phosphorus levels in foliage and tuber yield of the potato cv. Ágata. *Semina: Ciências Agrárias*, 34, 649-656.
- Malavolta, E., Vitti, G. C., & Oliveira, S. A. (1997). Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações (2nd ed.). Piracicaba: Potafós.
- Nelson, N. (1944). A photometric adaptation of the Somogyi method for the determination of glucose. *The Journal of Biological Chemistry*, 153, 375-390.
- Nielsen, T. H., Wischmann, B., Enevoldsen, K., & Moller, B. L. (1994). Starch phosphorylation in potato tubers proceeds concurrently with de novo biosynthesis of starch. *Plant Physiology*, 105, 111-117. PMID:12232190.
- Pereira, E. M. S., Luz, J. M. Q., & Moura, C. C. (2005). A batata e seus benefícios nutricionais. Uberlândia: EDUFU.
- Quadros, D. A., Jung, M. C., Ferreira, S. M. R., & Freitas, R. J. S. (2009). Composição química de tubérculos de batata para processamento, cultivados sob diferentes doses e fontes de potássio. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, 29, 316-323. <http://dx.doi.org/10.1590/S0101-20612009000200013>.
- Rosen, C. J., & Bierman, P. M. (2008). Potato yield and tuber set as affected by phosphorus fertilization. *American Journal of Potato Research*, 85, 110-120. <http://dx.doi.org/10.1007/s12230-008-9001-y>.
- Rosen, C. J., Kelling, K. A., Stark, J. C., & Porter, G. A. (2014). Optimizing Phosphorus Fertilizer Management in Potato Production. *American Journal of Potato Research*, 91, 145-160. <http://dx.doi.org/10.1007/s12230-014-9371-2>.
- Santos, H. G., Jacomine, P. K. T., Anjos, L. H. C., Oliveira, V. A., Oliveira, J. B., Coelho, M. R., Lumbrreras, J. F., & Cunha, T. J. F. (2006). Sistema brasileiro de classificação de solos (2nd ed.). Rio de Janeiro: Embrapa Solos.
- Sheard, R. W., & Johnston, G. R. (1958). Influence of nitrogen, phosphorus and potassium on the cooking quality of potatoes. *Canadian Journal of Plant Science*, 38, 394-400. <http://dx.doi.org/10.4141/cjps58-063>.
- Silva, G. O., Pereira, A. S., Souza, V. Q., Carvalho, F. I. F., & Fritsche, R., No. (2007). Correlações entre caracteres de aparência e rendimento e análise de trilha para aparência de batata. *Bragantia*, 66, 381-388. <http://dx.doi.org/10.1590/S0006-87052007000300003>.
- Taiz, L., & Zeiger, E. (2013). Fisiologia vegetal. Porto Alegre: Artmed.
- Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP. (2011). Tabela brasileira de composição de alimentos. Recuperado em 8 de agosto de 2014, de <http://www.unicamp.br/nepa/taco/tabela.php?ativo=tabela>.
- Zewide, I., Mohammed, A., & Tulu, S. (2012). Effect of different rates of nitrogen and phosphorus on yield and yield components of potato (*Solanum tuberosum* L.) at Masha District, Southwestern Ethiopia. *International Journal of Soil Science*, 7, 146-156. <http://dx.doi.org/10.3923/ijss.2012.146.156>.