

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CÂMPUS DE BOTUCATU

ADUBAÇÃO FOSFATADA EM CULTIVARES DE BATATA (*Solanum tuberosum* L.)

ADALTON MAZETTI FERNANDES

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

BOTUCATU-SP
Janeiro - 2013

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CÂMPUS DE BOTUCATU

ADUBAÇÃO FOSFATADA EM CULTIVARES DE BATATA (*Solanum tuberosum* L.)

ADALTON MAZETTI FERNANDES

Orientador: Prof. Dr. Rogério Peres Soratto

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

BOTUCATU-SP
Janeiro - 2013

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

Fernandes, Adalton Mazetti, 1982-
F363a Adubação fosfatada em cultivares de batata (*Solanum tuberosum* L.) / Adalton Mazetti Fernandes. - Botucatu : [s.n.], 2013
 xvi, 145 f. : gráfs., tabs., fots. color.

 Tese (Doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 2013
 Orientador: Rogério Peres Soratto
 Inclui bibliografia

 1. Batata. 2. Batata - Nutrição mineral.
 3. Fertilizantes fosfatados. 4. Plantas - Efeito do fósforo. I. Soratto, Rogério Peres. II. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (Campus de Botucatu). Faculdade de Ciências Agrônômicas. III. Título.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU
CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: "ADUBAÇÃO FOSFATADA EM CULTIVARES DE BATATA (*Solanum tuberosum* L.) "

ALUNO: ADALTON MAZETTI FERNANDES

ORIENTADOR: PROF. DR. ROGÉRIO PERES SORATTO

Aprovado pela Comissão Examinadora



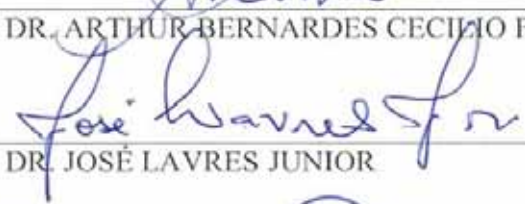
PROF. DR. ROGÉRIO PERES SORATTO



PROF. DR. LEONARDO THEODORO BÜLL



PROF. DR. ARTHUR BERNARDES CECÍLIO FILHO



PROF. DR. JOSÉ LAVRES JUNIOR



PROF. DR. CIRO ANTONIO RO SOLEM

Data da Realização: 21 de janeiro de 2013.

Ofereço aos meus pais Anísio Fernandes e Marlene Mazetti Fernandes, pela educação e por tudo que fizeram e continuam fazendo por mim.

Dedico à minha esposa Selma Rodrigues da Mota pela convivência agradável, generosidade e companheirismo nos momentos de dificuldade.

AGRADECIMENTOS

A Deus pela preciosidade da vida.

À Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), pela concessão da bolsa de doutorado e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPQ), pelo suporte financeiro.

Ao prof. Dr. Rogério Peres Soratto pela atenção, pelos ensinamentos, pela paciência e orientação, que me deram suporte para a realização deste trabalho.

Ao Grupo Ioshida pela concessão da área e por todo o suporte logístico para condução do experimento.

Ao produtor Tadashi Takaku pelo fornecimento dos tubérculos-semente das cultivares Atlantic e Markies.

À Associação Brasileira da Batata (ABBA) pelo auxílio na aquisição de tubérculos-sementes para o ensaio de casa de vegetação.

Os colegas de pós-graduação Emerson, Genivaldo, Aline Matoso, Cristiane Pilon, Mauricio Mancuso, Ezequiel, Suelen, André Job, entre outros, agradeço muito pelo auxílio na realização do plantio, coleta de dados e colheita dos experimentos de campo.

As estagiárias Letícia Andriani, Jaqueline Gonsales e Letícia Moreno, e a todos os demais estagiários e pessoas que auxiliaram nas coletas do experimento de cinética de absorção de P.

A todo o corpo docente da pós-graduação pelos conhecimentos divididos.

Aos funcionários da biblioteca pela atenção.

Aos funcionários de campo do Departamento de Produção e Melhoramento Vegetal, pelo auxílio no plantio e colheita dos experimentos de campo.

A todos aqueles que colaboraram direta ou indiretamente na realização deste trabalho.

SUMÁRIO

	Página
LISTA DE TABELAS	VIII
LISTA DE FIGURAS	XIII
1 RESUMO	01
2 SUMMARY	03
3 INTRODUÇÃO.....	05
4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	08
5 MATERIAL E MÉTODOS.....	15
5.1 Características das cultivares utilizadas	15
5.2 Experimento em casa de vegetação.....	16
5.2.1 Delineamento experimental e tratamentos	16
5.2.2 Soluções nutritivas	16
5.2.3 Obtenção das plantas e condução do experimento.....	17
5.2.4 Avaliações	18
a) Parâmetros cinéticos de absorção ($V_{\max}$, K_m e $C_{\min}$)	18
b) Área foliar	20
c) Comprimento, superfície e diâmetro médio radicular.....	20
d) Quantidade de MS acumulada na parte aérea, raízes e na planta inteira	20
e) Análises químicas no tecido vegetal	20
f) Índices de eficiência de absorção e utilização de fósforo	21
- Eficiência de absorção de P.....	21
- Eficiência de utilização de P.....	21
- Eficiência no uso e resposta ao fornecimento de P	21
5.2.5 Análise estatística.....	22
5.3 Experimentos de campo	22
5.3.1 Delineamento experimental e tratamentos	22
5.3.2 Caracterização das áreas experimentais e condução dos experimentos.....	23
5.3.3 Avaliações	34
a) Diagnose foliar	34
b) Quantidade de matéria seca acumulada e extração de P.....	34

c) Número, produtividade e classificação dos tubérculos produzidos	34
d) Produtividade relativa de tubérculos.....	35
e) Porcentagem de MS, teor de P e exportação de P pelos tubérculos.....	35
f) Teores de P residual no solo após a colheita e teor crítico de P no solo	35
g) Porcentagem de recuperação do P aplicado.....	36
h) Eficiência de uso do P aplicado	36
5.3.4 Análise estatística.....	36
6 RESULTADOS E DISCUSSÃO	37
6.1 Experimento em casa de vegetação.....	37
6.2 Experimentos em áreas com baixo teor de P no solo (14 e 12 mg dm^{-3}).....	50
6.2.1 Diagnose foliar	50
6.2.2 Quantidade de matéria seca acumulada e extração de P	61
6.2.3 Número, produtividade total, produtividade classificada e produtividade relativa de tubérculos	69
6.2.4 Porcentagem de MS, teor de P e exportação de P pelos tubérculos.....	80
6.2.5 Teores de P residual no solo, teor crítico de P no solo, porcentagem de recuperação e eficiência de uso do P aplicado	84
6.3 Experimento em área com médio teor de P no solo (36 mg dm^{-3}).....	88
6.3.1 Diagnose foliar	88
6.3.2 Quantidade de matéria seca acumulada e extração de P	93
6.3.3 Número, produtividade total, produtividade classificada e produtividade relativa de tubérculos	97
6.3.4 Porcentagem de MS, teor de P e exportação de P pelos tubérculos.....	104
6.3.5 Teores de P residual no solo, teor crítico de P no solo, porcentagem de recuperação e eficiência de uso do P aplicado	106
6.4 Experimento em área com alto teor de P no solo (70 mg dm^{-3}).....	109
6.4.1 Diagnose foliar	109
6.4.2 Quantidade de matéria seca acumulada e extração de P	114
6.4.3 Número, produtividade total, produtividade classificada e produtividade relativa de tubérculos.....	119
6.4.4 Porcentagem de MS, teor de P e exportação de P pelos tubérculos.....	126

6.4.5 Teores de P residual no solo, teor crítico de P no solo, porcentagem de recuperação e eficiência de uso do P aplicado	129
6.5 Relações entre cinética de absorção, estado nutricional e produtividade da batata cultivada em solo com baixo, médio e alto teor de P.....	131
7 CONCLUSÕES	135
8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	137

LISTA DE TABELAS

Tabela	Página
1 Atributos químicos do solo na profundidade de 0-0,20 m das áreas experimentais	24
2 Tratamento fitossanitário empregado no experimento da área com baixo teor de P de 2011, localizado no município de Avaré-SP.....	28
3 Produtos contendo nutrientes empregados no manejo da cultura no experimento da área com baixo teor de P de 2011, localizado no município de Avaré-SP.	29
4 Tratamento fitossanitário empregado no experimento da área com médio teor de P, localizado no município de Itai-SP	30
5 Produtos contendo nutrientes empregados no manejo da cultura no experimento da área com médio teor de P, localizado no município de Itai-SP	31
6 Tratamento fitossanitário empregado no experimento da área com alto teor de P, localizado no município de Cerqueira César-SP	32
7 Tratamento fitossanitário empregado no experimento da área com baixo teor de P de 2012, localizado no município de Taquarituba-SP.	33
8 Área foliar, matéria seca de raízes, parte aérea, da planta inteira, e relação matéria seca da raiz/parte aérea de cultivares de batata, aos 30 dias de cultivo, em função da dose de fósforo na solução nutritiva.....	38
9 Comprimento, superfície e diâmetro radicular de cultivares de batata, aos 30 dias de cultivo, em função da dose de fósforo na solução nutritiva.....	41
10 Quantidade de fósforo acumulada nas raízes, parte aérea e na planta inteira de cultivares de batata, aos 30 dias de cultivo, em função da dose de fósforo na solução nutritiva.....	43
11 Eficiência de absorção e eficiência de utilização de P por cultivares de batata, aos 30 dias de cultivo, em função da dose de fósforo na solução nutritiva	44
12 Parâmetros cinéticos V_{max} , K_m e C_{min} , da absorção de fósforo por cultivares de batata, aos 30 dias de cultivo, em função da dose de fósforo na solução nutritiva.....	47
13 Teores de N, P, K, Ca, Mg e S na folha diagnose de cultivares de batata, cultivadas em solo com “baixo teor de P”, em resposta a aplicação de P, no ano de 2011	51

Tabela	Página
14 Teores de N, P, K, Ca, Mg e S na folha diagnose de cultivares de batata, cultivadas em solo com “baixo teor de P”, em resposta a aplicação de P, no ano de 2012	51
15 Teores de Cu, Fe, Mn e Zn na folha diagnose de cultivares de batata, cultivadas em solo com “baixo teor de P”, em resposta a aplicação de P, no ano de 2011	56
16 Teores de Cu, Fe, Mn e Zn na folha diagnose de cultivares de batata, cultivadas em solo com “baixo teor de P”, em resposta a aplicação de P, no ano de 2012	57
17 Quantidade de MS acumulada nas raízes, parte aérea, tubérculos e na planta inteira de cultivares de batata, cultivadas em solo com “baixo teor de P”, em resposta a aplicação de P, no ano de 2011	62
18 Quantidade de MS acumulada nas raízes, parte aérea, tubérculos e na planta inteira de cultivares de batata, cultivadas em solo com “baixo teor de P”, em resposta a aplicação de P, no ano de 2012	62
19 Quantidade de P acumulada nas raízes, parte aérea, tubérculos e na planta inteira de cultivares de batata, cultivadas em solo com “baixo teor de P”, em resposta a aplicação de P, no ano de 2011	66
20 Quantidade de P acumulada nas raízes, parte aérea, tubérculos e na planta inteira de cultivares de batata, cultivadas em solo com “baixo teor de P”, em resposta a aplicação de P, no ano de 2012	66
21 Número total de tubérculos, número de tubérculos comercializáveis e número de tubérculos das classes especial, primeira, segunda e miúda de cultivares de batata, cultivadas em solo com “baixo teor de P”, em resposta a aplicação de P, no ano de 2011	70
22 Número total de tubérculos, número de tubérculos comercializáveis e número de tubérculos das classes especial, primeira, segunda e miúda de cultivares de batata, cultivadas em solo com “baixo teor de P”, em resposta a aplicação de P, no ano de 2012	70

Tabela	Página
23 Produtividade total de tubérculos, produtividade comercial de tubérculos, produtividade classificada de tubérculos e produtividade relativa de tubérculos de cultivares de batata, cultivadas em solo com “baixo teor de P”, em resposta a aplicação de P, no ano de 2011.....	75
24 Produtividade total de tubérculos, produtividade comercial de tubérculos, produtividade classificada de tubérculos e produtividade relativa de tubérculos de duas cultivares de batata, cultivadas em solo com “baixo teor de P”, em resposta a aplicação de P, no ano de 2012.....	75
25 Porcentagem de MS, teor de P e exportação de P pelos tubérculos de cultivares de batata, cultivadas em solo com “baixo teor de P”, em resposta a aplicação de P, no ano de 2011.....	81
26 Porcentagem de MS, teor de P e exportação de P pelos tubérculos de cultivares de batata, cultivadas em solo com “baixo teor de P”, em resposta a aplicação de P, no ano de 2012.....	81
27 Teores de P residual no solo após a colheita da batata, porcentagem de recuperação do P aplicado e eficiência de uso do P aplicado, por cultivares de batata, cultivadas em solo com “baixo teor de P”, em resposta a aplicação de P, nos anos de 2011 e 2012.....	84
28 Teores de N, P, K, Ca, Mg e S na folha diagnose de cultivares de batata, cultivadas em solo com “médio teor de P”, em resposta a aplicação de P.....	88
29 Teores de B, Cu, Fe, Mn e Zn na folha diagnose de cultivares de batata, cultivadas em solo com “médio teor de P”, em resposta a aplicação de P.....	91
30 Quantidade de MS acumulada nas raízes, parte aérea, tubérculos e na planta inteira de cultivares de batata, cultivadas em solo com “médio teor de P”, em resposta a aplicação de P.....	93
31 Quantidade de MS acumulada nas raízes, parte aérea, tubérculos e na planta inteira de cultivares de batata, cultivadas em solo com “médio teor de P”, em resposta a aplicação de P.....	96

Tabela	Página
32 Número total de tubérculos, número de tubérculos comercializáveis e número de tubérculos das classes especial, primeira, segunda e miúda de cultivares de batata, cultivadas em solo com “médio teor de P”, em resposta a aplicação de P	98
33 Produtividade total de tubérculos, produtividade comercial de tubérculos, produtividade classificada de tubérculos e produtividade relativa de tubérculos de cultivares de batata, cultivadas em solo com “médio teor de P”, em resposta a aplicação de P	100
34 Porcentagem de MS, teor de P e exportação de P pelos tubérculos de cultivares de batata, cultivadas em solo com “médio teor de P”, em resposta a aplicação de P	104
35 Teores de P residual no solo após a colheita, porcentagem de recuperação do P aplicado e eficiência de uso do P aplicado por cultivares de batata, cultivadas em solo com “médio teor de P”, em resposta a aplicação de P	107
36 Teores de N, P, K, Ca, Mg e S na folha diagnose de cultivares de batata, cultivadas em solo com “alto teor de P”, em resposta a aplicação de P	109
37 Teores de B, Cu, Fe, Mn e Zn na folha diagnose de cultivares de batata, cultivadas em solo com “alto teor de P”, em resposta a aplicação de P	112
38 Quantidade de MS acumulada nas raízes, parte aérea, tubérculos e na planta inteira de cultivares de batata, cultivadas em solo com “alto teor de P”, em resposta a aplicação de P	114
39 Quantidade de P acumulada nas raízes, parte aérea, tubérculos e na planta inteira de cultivares de batata, cultivadas em solo com “alto teor de P”, em resposta a aplicação de P	117
40 Número total de tubérculos, número de tubérculos comercializáveis e número de tubérculos das classes especial, primeira, segunda e miúda de cultivares de batata, cultivadas em solo com “alto teor de P”, em resposta a aplicação de P	119
41 Produtividade total de tubérculos, produtividade comercial de tubérculos, produtividade classificada de tubérculos e produtividade relativa de tubérculos de cultivares de batata, cultivadas em solo com “alto teor de P”, em resposta a aplicação de P	122

Tabela	Página
42 Porcentagem de MS, teor de P e exportação de P pelos tubérculos de cultivares de batata, cultivadas em solo com “alto teor de P”, em resposta a aplicação de P	126
43 Teores de P residual no solo após a colheita, porcentagem de recuperação do P aplicado e eficiência de uso do P aplicado, por cultivares de batata, cultivadas em solo com “alto teor de P”, em resposta a aplicação de P.....	129

LISTA DE FIGURAS

Figura	Página
1 Detalhe do plantio dos tubérculos-semente e crescimento inicial das hastes das plantas nas caixas plásticas com areia lavada.....	17
2 Plantas de batata antes e após a transferência para as caixas plásticas, contendo solução nutritiva.	18
3 Plantio dos tubérculos-semente no espaçamento de 0,80 m entre fileiras e 0,30 m entre tubérculos-semente....	25
4 Precipitação, irrigação, temperaturas máximas e mínimas registradas nas áreas experimentais durante o período de condução dos experimentos.	27
5 Eficiência no uso e resposta ao fornecimento de P de cultivares de batata pela metodologia proposta por Fageria e Kluthcouski (1980).....	45
6 Taxas de influxo líquido de P, estimadas de acordo com a concentração de P na solução nutritiva, para cultivares de batata submetidas ao pré-tratamento com 2 mg L ⁻¹ de P e 31 mg L ⁻¹ de P na solução nutritiva por 30 dias	47
7 Teores de N, P, K, Ca, Mg e S na folha diagnose de cultivares de batata, cultivadas em solo com “baixo teor de P”, em resposta a aplicação de P, no ano de 2011.....	52
8 Teores de N, P, K, Ca, Mg e S na folha diagnose de cultivares de batata, cultivadas em solo com “baixo teor de P”, em resposta a aplicação de P, no ano de 2012.....	53
9 Teores de B, Cu, Fe, Mn e Zn na folha diagnose de cultivares de batata, cultivadas em solo com “baixo teor de P”, em resposta a aplicação de P, no ano de 2011.....	58
10 Teores de B, Cu, Fe, Mn e Zn na folha diagnose de cultivares de batata, cultivadas em solo com “baixo teor de P”, em resposta a aplicação de P, no ano de 2012.....	59
11 Quantidade de MS acumulada nas raízes, parte aérea, tubérculos e na planta inteira de cultivares de batata, cultivadas em solo com “baixo teor de P”, em resposta a aplicação de P, no ano de 2011.....	63
12 Quantidade de MS acumulada nas raízes, parte aérea, tubérculos e na planta inteira de cultivares de batata, cultivadas em solo com “baixo teor de P”, em resposta a aplicação de P, no ano de 2012.....	64

Figura	Página
13 Quantidade de P acumulada nas raízes, parte aérea, tubérculos e na planta inteira de cultivares de batata, cultivadas em solo com “baixo teor de P”, em resposta a aplicação de P, no ao de 2011	67
14 Quantidade de P acumulada nas raízes, parte aérea, tubérculos e na planta inteira de cultivares de batata, cultivadas em solo com “baixo teor de P”, em resposta a aplicação de P, no ano de 2012	68
15 Número total de tubérculos, número de tubérculos comercializáveis e número de tubérculos das classes especial, primeira, segunda e miúda de cultivares de batata, cultivadas em solo com “baixo teor de P”, em resposta a aplicação de P, no ano de 2011.....	71
16 Número total de tubérculos, número de tubérculos comercializáveis e número de tubérculos das classes especial, primeira, segunda e miúda de cultivares de batata, cultivadas em solo com “baixo teor de P”, em resposta a aplicação de P, no ano de 2012.....	72
17 Produtividade total de tubérculos, produtividade de tubérculos comercializáveis e produtividade de tubérculos das classes especial, primeira, segunda e miúda de cultivares de batata, cultivadas em solo com “baixo teor de P”, em resposta a aplicação de P, no ano de 2011	76
18 Produtividade total de tubérculos, produtividade de tubérculos comercializáveis e produtividade de tubérculos das classes especial, primeira, segunda e miúda de cultivares de batata, cultivadas em solo com “baixo teor de P”, em resposta a aplicação de P, no ano de 2012.....	77
19 Produtividade relativa de tubérculos de cultivares de batata, cultivadas em solo com “baixo teor de P”, em resposta a aplicação de P, nos anos de 2011 e 2012	78
20 Porcentagem de MS, teor de P e exportação de P pelos tubérculos de cultivares de batata, cultivadas em solo com “baixo teor de P”, em resposta a aplicação de P, nos anos de 2011 e 2012	82

Figura	Página
21 Teores de P residual no solo após a colheita, teor crítico de P no solo e porcentagem de recuperação do P aplicado por cultivares de batata, cultivadas em solo com “baixo teor de P”, em resposta a aplicação de P, nos anos de 2011 e 2012	85
22 Eficiência de uso do P aplicado por cultivares de batata, cultivadas em solo com “baixo teor de P”, em resposta a aplicação de P, nos anos de 2011 e 2012.....	87
23 Teores de N, P, K, Ca, Mg e S na folha diagnose de cultivares de batata, cultivadas em solo com “médio teor de P”, em resposta a aplicação de P.....	89
24 Teores de B, Cu, Fe, Mn e Zn na folha diagnose de cultivares de batata, cultivadas em solo com “médio teor de P”, em resposta a aplicação de P.....	92
25 Quantidade de MS acumulada nas raízes, parte aérea, tubérculos e na planta inteira de cultivares de batata, cultivadas em solo com “médio teor de P”, em resposta a aplicação de P	94
26 Quantidade de P acumulada nas raízes, parte aérea, tubérculos e na planta inteira de cultivares de batata, cultivadas em solo com “médio teor de P”, em resposta a aplicação de P.....	97
27 Número total de tubérculos, número de tubérculos comercializáveis e número de tubérculos das classes especial, primeira, segunda e miúda de cultivares de batata, cultivadas em solo com “médio teor de P”, em resposta a aplicação de P	99
28 Produtividade total de tubérculos, produtividade de tubérculos comercializáveis e produtividade de tubérculos das classes especial, primeira, segunda e miúda de cultivares de batata, cultivadas em solo com “médio teor de P”, em resposta a aplicação de P	102
29 Produtividade relativa de tubérculos de cultivares de batata, cultivadas em solo com “médio teor de P”, em resposta a aplicação de P.....	103
30 Porcentagem de MS, teor de P e exportação de P pelos tubérculos de cultivares de batata, cultivadas em solo com “médio teor de P”, em resposta a aplicação de P.....	105

Figura	Página
31 Teores de P residual no solo após a colheita, teor crítico de P no solo, porcentagem de recuperação do P aplicado e eficiência de uso do P aplicado, por cultivares de batata, cultivadas em solo com “médio teor de P”, em resposta a aplicação de P	108
32 Teores de N, P, K, Ca, Mg e S na folha diagnose de cultivares de batata, cultivadas em solo com “alto teor de P”, em resposta a aplicação de P	110
33 Teores de B, Cu, Fe, Mn e Zn na folha diagnose de cultivares de batata, cultivadas em solo com “alto teor de P”, em resposta a aplicação de P	113
34 Quantidade de MS acumulada nas raízes, parte aérea, tubérculos e na planta inteira de cultivares de batata, cultivadas em solo com “alto teor de P”, em resposta a aplicação de P	115
35 Quantidade de P acumulada nas raízes, parte aérea, tubérculos e na planta inteira de cultivares de batata, cultivadas em solo com “alto teor de P”, em resposta a aplicação de P	118
36 Número total de tubérculos, número de tubérculos comercializáveis e número de tubérculos das classes especial, primeira, segunda e miúda de cultivares de batata, cultivadas em solo com “alto teor de P”, em resposta a aplicação de P	120
37 Produtividade total de tubérculos, produtividade de tubérculos comercializáveis e produtividade de tubérculos das classes especial, primeira, segunda e miúda de cultivares de batata, cultivadas em solo com “alto teor de P”, em resposta a aplicação de P	123
38 Produtividade relativa de tubérculos de cultivares de batata, cultivadas em solo com “alto teor de P”, em resposta a aplicação de P	124
39 Porcentagem de MS, teor de P e exportação de P pelos tubérculos de cultivares de batata, cultivadas em solo com “alto teor de P”, em resposta a aplicação de P	127
40 Teores de P residual no solo após a colheita, teor crítico de P no solo, porcentagem de recuperação do P aplicado e eficiência de uso do P aplicado por cultivares de batata, cultivadas em solo com “alto teor de P”, em resposta a aplicação de P	130

1 RESUMO

A batateira (*Solanum tuberosum* L.) é uma importante fonte de alimento e normalmente altas doses de fertilizantes fosfatados são utilizadas no seu cultivo. Uma opção para reduzir a quantidade de fertilizantes fosfatados aplicados na cultura é a utilização de cultivares com maior eficiência na absorção e utilização de fósforo (P). O objetivo deste trabalho foi comparar em casa de vegetação cultivares atuais de batata quanto à capacidade de absorção e utilização de P, quando submetidas a condições distintas de disponibilidade, procurando relacioná-las a parâmetros fisiológicos de absorção, parâmetros morfológicos de raízes e a eficiência de utilização deste nutriente. Além disso, buscou-se estabelecer curvas de resposta à adubação fosfatada na cultura da batata em solos com diferentes disponibilidades de P e, com isso, propor a possível redução das doses de P tradicionalmente utilizadas, especialmente, em solos com altos teores de P disponível. Foram realizados experimentos independentes, um em solução nutritiva em casa de vegetação e quatro experimentos em campo em área produtora de batata, sendo três em 2011 e um em 2012. Em casa de vegetação, o delineamento experimental foi o de blocos ao acaso, no esquema fatorial 5x2, composto por cinco cultivares de batata (Ágata, Asterix, Atlantic, Markies e Mondial) e duas concentrações de P nas soluções nutritivas de crescimento (insuficiente = 2 mg L⁻¹ de P; suficiente = 31 mg L⁻¹ de P), em cinco repetições. Em 2011, os experimentos de campo foram conduzidos no delineamento experimental de blocos ao acaso, no esquema fatorial 5x5, composto por cinco cultivares de batata e cinco doses de P (0, 125,

250, 500 e 1.000 kg ha⁻¹ de P₂O₅). Em 2012, o delineamento experimental foi o mesmo do ano anterior, mas no esquema fatorial 2x5, ou seja, com apenas duas cultivares de batata (Ágata e Mondial). Concluiu-se que as cultivares de batata diferem entre si com relação à absorção de P, devido a diferenças nas características morfológicas e fisiológicas dos sistemas radiculares que determinam a absorção de P. A cultivar Mondial apresenta sistema radicular com características morfológicas e fisiológicas favoráveis a absorção de P, as quais lhe confere maior desempenho produtivo quando é submetida a adubação fosfatada, independentemente da disponibilidade de P no solo. Cultivares de batata como Ágata e Asterix que apresentam sistema radicular com apenas características morfológicas ou fisiológicas favoráveis à absorção de P, não apresentam vantagem adicional em relação a cultivares como Mondial, que apresenta ambas as características favoráveis, ou um equilíbrio entre elas. Sob condições de disponibilidade adequada de P, as cultivares não diferem entre si com relação à eficiência de uso do P absorvido, mas quando ocorre restrição no fornecimento de P a cultivar Ágata produz maior quantidade de MS por unidade de P absorvido. Nos experimentos de campo, a cultivar Mondial apresenta maior produtividade de tubérculos e maior eficiência de uso do P aplicado, especialmente nas menores doses de P utilizadas. Todas as cultivares alcançam as máximas produtividades de tubérculos com a aplicação das mesmas doses de P, em cada uma das situações de disponibilidade inicial de P no solo. Independentemente da cultivar, a produtividade de tubérculos aumenta com a adubação fosfatada até as doses de 500, 250 e 125 kg ha⁻¹ de P₂O₅, respectivamente, nos solos com baixo, médio e alto teor de P disponível. Em solo com teor de P disponível próximo ou acima de 60 mg dm⁻³ é possível obter elevada produtividade de tubérculos com o uso de dose de P₂O₅ entre 125 e 250 kg ha⁻¹, ou seja, bem menores que as doses tradicionalmente utilizadas na cultura da batata.

PHOSPHORUS FERTILIZATION IN POTATO CULTIVARS (*Solanum tuberosum* L.).

Botucatu, 2013. 145p. Tese (Doutorado em Agronomia/Agricultura) - Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista.

Author: ADALTON MAZETTI FERNANDES

Adviser: ROGÉRIO PERES SORATTO

2 SUMMARY

Potato crop (*Solanum tuberosum* L.) is an important source of food and there are usually used high rates of phosphate fertilizers in their growing season. One option to reduce the amount of phosphate fertilizers applied in this crop is by using cultivars with higher efficiency in phosphorus (P) uptake and use. The aim of this study was to compare in a greenhouse experiment, potato cultivars when considering the capacity of P uptake and use, when submitted to different conditions of P availability, and try to relate these characteristics to physiological parameters of uptake, morphological parameters of roots and P use efficiency. Furthermore, we sought to establish in field, response curves of phosphorus fertilization in potato crop in soils with different P availability and then, establish the possible reduction of P rates, typically used, especially in soils with higher P availability. Separated experiments were conducted: one by using nutritive solution in greenhouse and four experiments in field in potato production area, i.e. three in 2011 and one in 2012. The experimental design in the greenhouse experiment was randomized blocks in a 5x2 factorial arrangement with five potato cultivars (Ágata, Asterix, Atlantic, Markies and Mondial) and two rates of P supply on nutrient solutions (insufficient = 2 mg L⁻¹ P; enough = 31 mg L⁻¹ P), with five replications. In 2011, field experiments were conducted in a randomized block design in a 5x5 factorial arrangement, with five potato cultivars and five P rates (0, 125, 250, 500 and 1,000 kg ha⁻¹ P₂O₅). In 2012, the experimental design was the same of previous year, but in a 2x5 factorial arrangement, i.e. with only two potato cultivars (Ágata and Mondial).

Was concluded which the potato cultivars differ with respect to P uptake due to differences in morphological and physiological characteristics of root systems that determine P uptake. Mondial cultivar show root system with morphological and physiological characteristics favorable to P uptake, which gives high yield performance when submitted to fertilization, regardless of the P availability in soil. Potato cultivars as Asterix and Ágata, which show root system with only morphological or physiological characteristics favorable to P uptake, show no additional benefit compared to cultivars such as Mondial that show both favorable characteristics, or a balance between them. Under conditions of P adequate availability, cultivars do not differ with respect to P use efficiency, but when there is restriction in P supply, the Ágata cultivar produces higher amount of dry matter per unit of P absorbed. In field experiments, Mondial cultivar show higher tuber yield and higher use efficiency of P applied, especially in smaller P_2O_5 rates used. All cultivars reach the maximum tubers yield with application of the same P_2O_5 rates, in each situation of P initial availability in soil. Independent of cultivar, tuber yield increase with phosphorus fertilization until 500, 250 and 125 kg ha⁻¹ P_2O_5 , respectively, in soils with low, medium and high P availability. In soil with P availability near or above to 60 mg dm⁻³, is possible to reach higher tubers yield using P_2O_5 rates between 125 and 250 kg ha⁻¹, i.e. much lower than P rates typically used in potato crop.

Keywords: Phosphorus, uptake kinetic, root morphology, tubers yield, mineral nutrition, phosphorus extraction, phosphorus exportation.

3 INTRODUÇÃO

A cultura da batata (*Solanum tuberosum* L.) destaca-se por apresentar elevada eficiência produtiva, pois tem ciclo curto e alta produção por área sendo, deste modo, exigente em nutrientes. Outra característica dessa cultura é o seu elevado custo de produção, que em algumas regiões do Estado de São Paulo superou 18.000 reais por hectare, nos últimos 4 anos, e com tendência de aumento. Por ser exigente em nutrientes, normalmente, os produtores utilizam altas doses de fertilizantes inorgânicos nessa cultura, podendo atingir até 6.000 kg ha⁻¹ aplicados em um único cultivo, elevando o custo de produção (RIBEIRO, 1999). Assim, é comum verificar após a colheita da batata, a presença visível de fertilizantes no solo.

Entre os fertilizantes utilizados na cultura da batata, destacam-se os fosfatados, que são utilizados em doses elevadas no momento do plantio, devido ao fato da batateira ser considerada pouco eficiente em absorver fósforo (P) de solos com baixos teores de P disponível (DECHASSA et al., 2003). Isso contribui para que grandes quantidades de P solúvel sejam aplicadas no sulco de plantio a fim de garantir altas concentrações de fosfato na solução do solo. Porém, é possível melhorar o aproveitamento do P aplicado através da utilização de cultivares mais eficientes na absorção e/ou utilização do P. Diferenças entre genótipos de batata quanto a taxa de crescimento relativo da parte aérea e a produção de matéria seca (MS) tem sido atribuídas a diferenças na eficiência de absorção e de utilização de P (JENKINS; ALI, 1999; BALEMI; SCHENK, 2009), as quais estão relacionadas com parâmetros cinéticos de absorção e características morfológicas do sistema radicular.

Normalmente, em solos contendo baixos teores de P disponível, a cultura da batata apresenta respostas econômicas à aplicação de fertilizantes fosfatados (JENKINS; ALI, 1999), obtendo acréscimos na produtividade de tubérculos com doses que chegam a 920 kg ha⁻¹ de P₂O₅ (NAVA et al., 2007). No entanto, têm se tornado cada vez mais comum cultivar batata em solos, muitas vezes, já cultivados intensivamente e que apresentam teores elevados de P disponível.

Assim, supõe-se que seja possível aplicar menores doses de P, levando-se em consideração as reservas acumuladas no solo, pois, mesmo em áreas com alta disponibilidade de P e que recebem altas doses de fertilizantes fosfatados, as quantidades de P extraídas pelas plantas de batata ficam em torno de 15,2 e 18 kg ha⁻¹ de P e representam menos de 6,5% de todo o P aplicado via fertilizante (YORINORI, 2003; FERNANDES et al. 2011). Entretanto, mesmo em solos com elevado teor de P disponível, as doses normalmente utilizadas são elevadas, quase sempre acima das recomendadas.

O uso de quantidades de fertilizantes superiores àquelas exigidas pelas plantas resulta no aumento do custo de produção, sendo que os nutrientes não absorvidos pelas plantas podem representar risco de poluição ambiental. Além disso, as estimativas de duração das reservas de rochas fosfáticas economicamente exploráveis atualmente, considerando a produção média de fertilizantes fosfatados de 2007 a 2008, são de aproximadamente 93 anos (FIXEN, 2009), fato esse, que torna necessário estudo para otimizar a eficiência no uso de fertilizantes fosfatados.

Esta otimização pode ser obtida mediante o conhecimento dos parâmetros morfológicos e fisiológicos de absorção de P pelas principais cultivares de batata utilizadas no Brasil, bem como, pelo estabelecimento de curvas de resposta destas cultivares a adubação fosfatada em solos com diferentes teores desse nutriente, o que permitirá caracterizar as relações entre a quantidade de P disponível no solo e a produção dessa cultura. Com isto, as perdas de nutrientes, o custo de produção e a contaminação ambiental poderão ser minimizados.

Em função do exposto o presente trabalho partiu das seguintes hipóteses: a) pode existir diferença entre as cultivares de batata quanto à capacidade de absorção do P; b) essa diferença pode estar relacionada a parâmetros morfológicos das raízes e fisiológicos de absorção do elemento; c) pode existir diferença entre as cultivares quanto à

eficiência de utilização do P absorvido; d) é possível reduzir as doses de P tradicionalmente utilizadas no cultivo da batata, notadamente, em solos com altos teores de P disponível.

O objetivo deste trabalho foi comparar cultivares atuais de batata quanto à capacidade de absorção e utilização do P, quando submetidas a condições distintas de disponibilidade, procurando relacioná-las a parâmetros fisiológicos de absorção, parâmetros morfológicos de raízes e a eficiência de utilização deste nutriente. Além disso, buscou-se estabelecer curvas de resposta à adubação fosfatada na cultura da batata em solos com diferentes disponibilidades de P e, com isso, propor a possível redução das doses de P tradicionalmente utilizadas, especialmente, em solos com altos teores de P disponível.

4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A eficiência produtiva da cultura da batata garante elevado aproveitamento de áreas destinadas à produção de alimentos, característica importante num cenário mundial de constante crescimento populacional. A batata é a quarta cultura em importância mundial e a segunda mais largamente distribuída no mundo, ficando atrás somente do milho (BEUKEMA; ZAAG, 1990). É cultivada em mais de 125 países, em uma área de 18,7 milhões de hectares, com uma produção de 324 milhões de toneladas em 2010 (FAO, 2012).

No Brasil, a batata é a principal cultura olerícola em área e em preferência alimentar (STRECK et al., 2006). Em 2012, a área cultivada foi de 133,3 mil hectares, com produção de tubérculos de 3,6 milhões de toneladas, resultando numa produtividade média de 27,2 t ha⁻¹ (IBGE, 2012). O estado de São Paulo ocupa uma posição de destaque na produção nacional, sendo o terceiro maior produtor no ano de 2012, com produção de 661,8 mil toneladas (AGRIANUAL, 2013).

O ciclo cultural da batata, nas condições tropicais e subtropicais, varia de 90 a 110 dias, dependendo da cultivar (PEREIRA; DANIELS, 2003). Nesse período, em regiões tropicais baixas, o potencial produtivo da batateira é de aproximadamente 30 t ha⁻¹, enquanto em regiões tropicais altas a produção potencial dessa cultura pode chegar próximo ao potencial da Europa, que é de 90 a 100 t ha⁻¹ de tubérculos (BEUKEMA; ZAAG, 1990; SOUZA, 2003). Essa alta produtividade e o ciclo relativamente curto, fazem da batateira uma

cultura exigente quanto à presença de nutrientes na forma prontamente disponível na solução do solo (FELTRAN, 2005).

Dessa forma, no cultivo da batata, em sistemas intensivos, normalmente são utilizadas altas doses de fertilizantes inorgânicos com N, P e K (COGO et al., 2006; SILVA et al., 2007). Outra característica dessa cultura é o seu elevado custo de produção, o qual tem aumentado nos últimos anos. Em algumas regiões do estado de São Paulo, o custo de produção da batata aumentou de 18.590 reais por hectare na safra de 2009 para mais de 23.000 reais na safra 2012 (DELEO, 2010; DELEO; RAMOS, 2012).

Embora seja uma cultura exigente em nutrientes e com custo elevado, muitos produtores não acatam as recomendações técnicas de adubação para a cultura e adubam, muitas vezes, sem sequer realizar a análise química do solo (NAVA et al., 2007), utilizando quantidades superiores às necessárias de fertilizantes no momento do plantio (FELTRAN, 2005). Segundo Fontes (1997), entre muitos produtores, a regra geral é adubar a cultura, não procurando adequar a dose ótima de fertilizante com a produção ponderada e nem mesmo com a produção classificada de tubérculos. Assim, é comum verificar após a colheita da batata, a presença visível de fertilizantes no solo (FELTRAN, 2005).

De acordo com a ANDA (2000), a batata é a cultura que apresenta a maior demanda relativa de fertilizantes por unidade de área (1.940 kg ha^{-1}), cerca de 5,7 vezes maior que a soja (338 kg ha^{-1}), porém, podendo chegar a atingir até 6.000 kg ha^{-1} de fertilizantes aplicados em um único cultivo (RIBEIRO, 1999), o que impacta substancialmente no custo de produção da cultura (SILVA et al., 2000). Sangoi e Kruse (1994) relataram que, principalmente nas áreas de produção de batata-semente, as quantidades de fertilizantes aplicadas atingem 4.000 kg ha^{-1} de fertilizantes inorgânicos, principalmente da formulação 5-20-10, que equivale a utilização de 200 kg de N, 800 kg de P_2O_5 e 400 kg de K_2O por hectare. Assim, dependendo da época de cultivo e do preço dos fertilizantes, o custo com fertilizantes pode representar até 17% do custo de produção na cultura (DELEO; RAMOS, 2012).

De acordo com Fontes et al. (1997), a maioria dos experimentos indica que o P é o elemento mais limitante à produção da batateira. Essa limitação está principalmente relacionada à deficiente absorção deste elemento pela cultura, que ocorre em função do seu restrito sistema radicular, ciclo relativamente curto e baixa disponibilidade de P no solo. O fato de grande parte do P adicionado ao solo tornar-se imóvel ou não disponível,

em virtude de reações de adsorção em colóides minerais, precipitação ou conversão em formas orgânicas (HOLFORD, 1997), contribuem para a baixa eficiência de recuperação do P dos adubos fosfatados pela cultura da batata (SHARMA et al., 1984). Dessa forma, para tentar minimizar esse problema no cultivo da batata, normalmente aplicam-se grandes quantidades de P solúvel, no sulco de plantio para garantir altas concentrações de fosfato na solução do solo (ALI et al., 2004). Em algumas regiões brasileiras, as quantidades de P aplicadas pelos produtores no cultivo da batata atingem 500 kg ha^{-1} de P_2O_5 acima do que é recomendado para a cultura (SANGOI; KRUSE, 1994), sendo observado o uso de doses próximas de 640 kg ha^{-1} de P_2O_5 , mesmo em áreas com elevada disponibilidade de P no solo (YORINORI, 2003; FERNANDES et al., 2011).

O P participa de vários processos metabólicos nas plantas, como a transferência de energia, síntese de ácidos nucléicos, amido, respiração, síntese e estabilidade de membranas, ativação e desativação de enzimas, reações redox e metabolismo de carboidratos (VANCE et al., 2003). No solo, o mecanismo de difusão é o principal responsável pelo contato entre o fosfato e as raízes (BARBER, 1984), sendo que seu coeficiente de difusão é extremamente baixo (ERNANI; BARBER, 1990). A absorção de P pelas raízes das plantas é resultado de interações das características morfológicas e fisiológicas das raízes, da rizosfera imediatamente adjacente ao sistema radicular e de características do solo que determinam o fluxo de nutrientes para a interface solo-raiz (GERLOFF; GABELMAN, 1983). A morfologia do sistema radicular é determinada pelo comprimento, volume, superfície e diâmetro médio das raízes, bem como pela presença de pelos radiculares (SCHENK; BARBER, 1979). A eficiência de absorção de P varia na razão direta do comprimento e do diâmetro das raízes, uma vez que esses atributos influenciam a superfície de absorção (VILELA; ANGHINONI, 1984). O volume de raízes, ou seja, a superfície de absorção é particularmente importante para aqueles nutrientes que são relativamente imóveis no solo, tal como o P (HORST et al., 2001).

Além dos atributos morfológicos, a eficiência de absorção de nutrientes é influenciada pelos parâmetros cinéticos que compreendem a velocidade máxima de absorção (V_{max}), a afinidade dos transportadores pelo íon a ser transportado (constante de Michaelis-Menten, K_m) e a concentração na solução abaixo da qual não há absorção (C_{min}) (BARBER, 1984). A V_{max} corresponde ao máximo de transporte possível de um dado

nutriente presente na solução do solo, ou seja, quando todos os sítios dos transportadores presentes nas raízes estão carregados (FERNANDES; SOUZA, 2006). O K_m é uma medida da afinidade do sistema transportador na raiz pelo íon a ser transportado, de forma que quanto menor o valor de K_m , maior a afinidade do sistema de transporte (transportadores) pelo íon (FERNANDES; SOUZA, 2006). O C_{min} é a concentração na solução abaixo da qual não há absorção, portanto para que se inicie o processo de “esgotamento” de P em torno das raízes, é essencial que a planta cultivada apresente um C_{min} inferior à concentração de P na solução do solo (NOVAIS; SMYTH, 1999).

Esses parâmetros cinéticos, embora definidos geneticamente, podem ser afetados pelas condições de crescimento da planta ajustando-se ao ambiente, sendo que essa capacidade de ajuste depende da espécie e mesmo da cultivar utilizada (ROSOLEM, 1995). Em estudo realizado por Martinez et al. (1993), observou-se diferença entre variedades de soja quanto à capacidade de absorção de P, sendo que as variedades mais eficientes na absorção de P foram àquelas com maior capacidade alteração nos valores de V_{max} e com maior produção de MS radicular. Na cultura do milho, foi observado que variedades com menores valores de K_m e C_{min} obtiveram maior capacidade de absorção de P, maior produção de MS e maior eficiência de utilização do P absorvido (MACHADO; FURLANI, 2004). Na cultura da batata, diferenças entre genótipos quanto à taxa de crescimento relativo da parte aérea e a produção de MS têm sido atribuídas a diferenças na eficiência de absorção e de utilização de P (BALEMI; SCHENK, 2009), as quais estão relacionadas com parâmetros cinéticos de absorção e características morfológicas do sistema radicular. Além disso, Jenkins e Ali (1999) observaram diferenças entre cultivares de batata na resposta a adubação fosfatada, sendo que aquelas com sistema radicular limitado possuíam baixa capacidade de explorar os nutrientes do perfil do solo. No entanto, a maioria dos estudos feitos com a cultura da batata, avaliaram apenas as características morfológicas do sistema radicular e sua relação com a absorção de P (DECHASSA et al., 2003; BALEMI; SCHENK, 2009), ou somente o padrão de desenvolvimento radicular dessa cultura (IWAMA, 2008), não havendo estudos sobre a cinética de absorção de P, especialmente nas principais cultivares utilizadas nos dias atuais.

A batata tem sido considerada como planta com baixa eficiência de utilização de P e com pouca habilidade de absorver P em solos com baixa disponibilidade (DECHASSA et al., 2003), o que muitas vezes tem sido atribuído a sua baixa densidade de

raízes (RODRÍGUEZ, 1993), as quais se desenvolvem concentradas, principalmente, nos primeiros 30 cm de profundidade, abaixo dos tubérculos-semente (IWAMA, 2008). Assim, em solos contendo baixos teores de P disponível, normalmente, a cultura da batata apresenta respostas econômicas à aplicação de fertilizantes fosfatados (JENKINS; ALI, 1999; ALI et al., 2004).

Fontes et al. (1997), relatam que em solo com teor de $2,87 \text{ mg dm}^{-3}$ de $P_{(\text{Mehlich } 1)}$, considerado baixo (CFSEMG, 1999), foi necessária a aplicação de alta dose desse elemento (991 kg ha^{-1} de P_2O_5) para ser obtida quantidade apropriada de P disponível no solo que proporcionasse a máxima produtividade comercial de tubérculos. Já Nava et al. (2007) demonstraram que em dois solos com teores iniciais entre 2,8 e $3,8 \text{ mg dm}^{-3}$ de $P_{(\text{Mehlich})}$, considerados baixos (CFS RS/SC, 1995), a cultura da batata-semente apresentou acréscimos na produtividade de tubérculos até a dose de 920 kg ha^{-1} de P_2O_5 .

No entanto, tem sido cada vez mais comum cultivar batata em solos, muitas vezes já cultivados com a cultura anteriormente e que, normalmente, já apresentam teores elevados de P. Mesmo nesses solos com maior disponibilidade de P, ainda são aplicadas doses elevadas de fertilizante fosfatado no cultivo da batata, o que contribui para aumentar o acúmulo desse nutriente no solo ao longo dos anos (COGO et al., 2006). Dessa forma, com cultivos intensivos ao longo dos anos, é possível passar a aplicar menores doses de P, levando-se em consideração as reservas acumuladas no solo (FILGUEIRA, 1993), pois, em solos com elevada disponibilidade de P, sua aplicação em doses elevadas não aumenta a produtividade de tubérculos (RYKBOST et al., 1993; HOCHMUTH et al., 2002; ROSEN; BIERMAN, 2008).

Feltran (2005) observou que doses superiores a 1.000 kg ha^{-1} de 8-28-16 (280 kg ha^{-1} de P_2O_5), em solo com teor de 46 mg dm^{-3} de $P_{(\text{resina})}$, proporcionaram pequenos acréscimos de produtividade total e comercial de tubérculos. Já em solos com maiores teores de P disponível (60 mg dm^{-3} de $P_{(\text{resina})}$), esse autor observou que a produtividade total e comercial de tubérculos nas doses de 2.000, 3.000 e 4.000 kg ha^{-1} de 8-28-16 chegaram a ser inferiores à observada com a aplicação de apenas 1.000 kg ha^{-1} da mesma formulação, ou seja, a aplicação de doses acima de 80 kg de N, 280 kg de P_2O_5 e 160 kg de K_2O por hectare não refletiu em aumentos de produtividade. Outros autores verificaram que mesmo sob elevada disponibilidade de P no solo, a ausência do P na adubação de plantio reduziu a produtividade total de tubérculos, mas a inclusão de pequenas doses desse nutriente

no plantio gerou produtividades similares às aquelas obtidas com doses elevadas (HOCHMUTH et al., 2002; ALI et al., 2004; ROSEN; BIERMAN, 2008). Isso demonstra que sob maior disponibilidade de P no solo, a aplicação de menores doses desse nutriente, pode refletir em redução de custos e de risco ambiental, já que a produtividade não é reduzida com a diminuição da adubação fosfatada.

A recomendação de adubação fosfatada para a cultura da batata no Estado de São Paulo reforça a hipótese de que, em solos com altos teores de P disponível, é possível aplicar menores quantidades de fertilizantes fosfatados na cultura, a fim de se atingir níveis adequados produtividade, uma vez que em solos com teores acima de 60 mg dm^{-3} de $P_{\text{(resina)}}$, a recomendação é aplicar apenas 100 kg ha^{-1} de P_2O_5 (LORENZI et al., 1997). No entanto, talvez as recomendações oficiais de adubação fosfatada para a cultura da batata, estejam desatualizadas, pois os níveis de produtividade das cultivares atuais é muito maior do que àqueles obtidos em cultivares antigas (FERNANDES; SORATTO, 2012a).

Mesmo em condições de alta disponibilidade de P, a extração de P pela cultura da batata é pequena (FERNANDES; SORATTO, 2012a). Estudos realizados por Pursglove e Sanders (1981) demonstraram que apenas 4% do P do fertilizante aplicado foi absorvido pela cultura da batata. Já estudos mais recentes realizados por Yorinori (2003) e Fernandes et al. (2011) demonstraram que mesmo em solos com teores de P considerados altos (entre 103 e 70 mg dm^{-3} de $P_{\text{(resina)}}$) e com a aplicação de altas doses de P (cerca de 640 kg ha^{-1} de P_2O_5) a absorção do nutriente pela batateira ficou entre $15,2$ e 18 kg ha^{-1} de P e representou por volta de 5,4% e 6,4% do P aplicado via adubação.

Mesmo o P sendo um elemento importante para o desenvolvimento da batateira, seu uso excessivo na agricultura, com doses acima da necessária para o satisfatório crescimento e desenvolvimento das plantas pode causar problemas, como interações indesejáveis com outros nutrientes. Em solos com baixa disponibilidade de Zn, a aplicação de altas doses de P pode intensificar a deficiência desse micronutriente na planta (FAGERIA, 2001), o que pode afetar o desenvolvimento das plantas e a produção de tubérculos. Filgueira (1993) relatou que é possível que casos de “fome oculta” de Zn podem ocorrer em áreas cultivadas com batata, devido, principalmente às altas doses de P praticadas pelos produtores.

Além disso, os nutrientes não absorvidos pelas plantas podem representar risco de poluição ambiental (ANDRIOLO et al., 2006). O transporte do P de solos

para ambientes aquáticos pode ocorrer pelo escoamento superficial (NOVAIS; SMYTH, 1999) e criar condições favoráveis ao crescimento exagerado de algas, microrganismos e plantas aquáticas, que geram aumento da demanda biológica de oxigênio, alteração do pH e liberação de toxinas que podem causar morte de peixes e animais, dentre outros fatores (SHARPLEY; HALVORSON, 1994).

Considerando que mais de 99% dos fertilizantes fosfatados são produzidos a partir de reservas de rochas fosfáticas (LOPES et al., 2004) e, que as estimativas de duração das reservas de rochas fosfáticas economicamente exploráveis atualmente, considerando a produção média de fertilizantes fosfatados de 2007 a 2008, seriam de aproximadamente apenas 93 anos (FIXEN, 2009), torna-se necessário estudos para otimizar a eficiência no uso de fertilizantes fosfatados (RESENDE et al., 2006).

Dessa forma, por serem utilizadas grandes quantidades de P no cultivo da batata e os fertilizantes representarem um significativo percentual dos custos de produção desta cultura, há a necessidade do desenvolvimento de estratégias para otimizar a eficiência de uso de fertilizantes (JOERN; VITOSHI, 1995) e com isso, evitar a aplicação de fertilizantes em doses acima da necessária, principalmente de P. Esta otimização pode ser obtida mediante o conhecimento dos fatores que afetam a eficiência de absorção de P pela cultura, bem como, pela resposta da cultura à adubação fosfatada em solos com diferentes teores de P, o que permite caracterizar as relações entre a disponibilidade de P no solo e a produtividade dessa cultura.

5 MATERIAL E MÉTODOS

Foram realizados cinco experimentos, um em solução nutritiva e quatro em condições de campo, em áreas de produção de batata. Em todos os experimentos foram utilizadas as cultivares de batata Ágata, Asterix, Atlantic, Markies e Mondial, exceto no experimento de campo conduzido no ano de 2012 em que se utilizaram as cultivares Ágata e Mondial.

5.1 Características das cultivares utilizadas

A cultivar Ágata possui porcentagem muito baixa de MS nos tubérculos, sendo recomendada para o consumo na forma cozida ou assada. Atualmente é a cultivar mais plantada no Brasil, ocupando cerca de 55% da área plantada. A cultivar Asterix é a mais utilizada industrialmente na fabricação de pré-fritas congeladas em função da alta porcentagem de MS e do formato oval-alongado dos tubérculos, que propiciam um ótimo aproveitamento no corte na forma de palitos (ABBA, 2012). A cultivar Atlantic é a principal cultivar indicada para produção de “chips”, a qual, responde por cerca de 80% do mercado nacional de batata tipo “chips” (YORINORI, 2003), devido as suas características de alta porcentagem de MS, formato oval-arredondado dos tubérculos, além da alta porcentagem de produção de tubérculos graúdos. A cultivar Markies apresenta adequada porcentagem de MS e bom equilíbrio entre os teores de açúcares redutores e amido, sendo assim indicada para preparo tanto na forma de cozimento, como na forma de fritura, o que lhe confere dupla

aptidão de uso (ABBA, 2012). A cultivar Mondial apresenta alta produtividade com baixa porcentagem de MS nos tubérculos, características que atendem ao mercado de consumo fresco.

5.2 Experimento em casa de vegetação

5.2.1 Delineamento experimental e tratamentos

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso, no esquema fatorial 5x2, com cinco repetições. Os tratamentos foram compostos por cinco cultivares de batata (Ágata, Asterix, Atlantic, Markies e Mondial) e duas concentrações de P nas soluções nutritivas de crescimento, consideradas insuficiente (2 mg L^{-1} de P) e suficiente ao pleno crescimento (31 mg L^{-1} de P). As concentrações de P nas soluções de crescimento consideradas insuficiente e suficiente para o crescimento da batateira foram definidas baseando-se em estudo preliminar com diversas concentrações de P na solução nutritiva (FERNANDES; SORATTO, 2012b).

5.2.2 Soluções nutritivas

Para o crescimento e desenvolvimento das plantas sob concentrações de P, foi utilizada a solução de Hoagland e Arnon (1950), com concentrações de 210, 234, 200, 48, 64, 0,5, 0,02, 5,0, 0,5, 0,01 e 0,05 mg L^{-1} de N, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn, Mo e Zn, respectivamente. A concentração de P na solução nutritiva considerada como suficiente para o pleno crescimento foi de 31 mg L^{-1} de P ($1.000 \text{ } \mu\text{mol L}^{-1}$ de P), ou seja, a concentração padrão da solução de Hoagland e Arnon (1950), enquanto a concentração considerada como insuficiente ao pleno crescimento foi de 2 mg L^{-1} de P ($64,52 \text{ } \mu\text{mol L}^{-1}$ de P). Já a concentração de P na solução de exaustão foi de $1,24 \text{ mg L}^{-1}$ de P ($40 \text{ } \mu\text{mol L}^{-1}$ de P), definida em testes preliminares.

As soluções nutritivas foram formuladas a partir da combinação das seguintes fontes: KH_2PO_4 , KNO_3 , NH_4NO_3 , KCl, $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, H_3BO_3 , $\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, $\text{ZnCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ e FeCl_3 .

5.2.3 Obtenção das plantas e condução do experimento

Tubérculos-semente certificados tipo III, com brotação de aproximadamente 5 a 10 mm, das cultivares Ágata, Asterix, Atlantic, Markies e Mondial foram imersos por 5 minutos em solução contendo o inseticida pencicuirom ($2,5 \text{ g L}^{-1}$), o fungicida mancozebe ($3,7 \text{ g L}^{-1}$) e o fungicida/bactericida casugamicina ($0,02 \text{ g L}^{-1}$). Em seguida, os tubérculos-semente foram acomodados em caixas plásticas com 16 L de areia lavada, para que ocorresse o desenvolvimento das brotações (Figura 1).

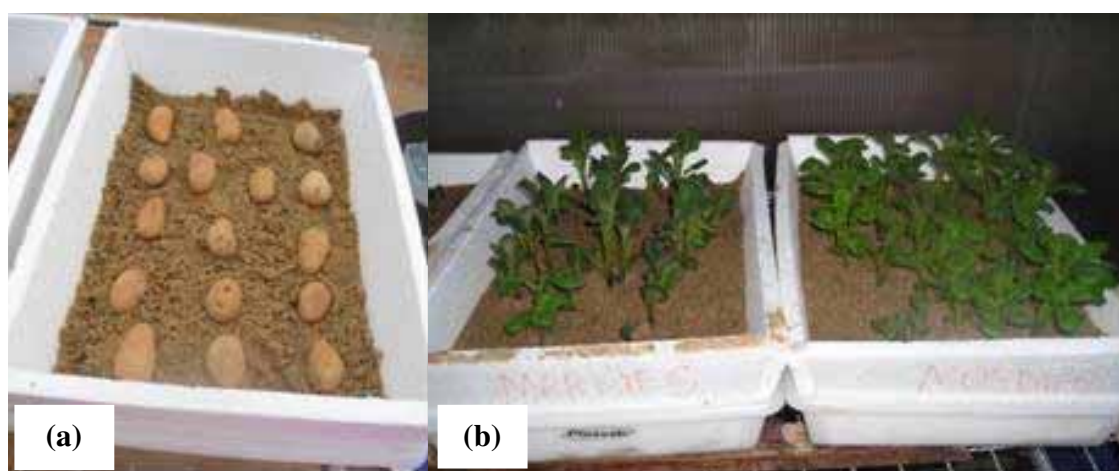


Figura 1. Detalhe do plantio dos tubérculos-semente (a) e crescimento inicial das hastes das plantas (b) nas caixas plásticas com areia lavada.

Aos 6 e 12 dias após o plantio (DAP) dos tubérculos-semente na areia, aplicou-se a solução nutritiva de Hoagland e Arnon (1950) com metade das concentrações dos nutrientes, considerando o volume de 16 L de areia. Esse procedimento foi realizado visando homogeneizar o desenvolvimento das plântulas (hastes).

Aos 16 DAP, as hastes (plântulas) foram selecionadas quanto à sanidade e uniformidade. Depois de selecionadas, as hastes foram destacadas dos tubérculos-semente e transferidas para vasos plásticos de 4 L de capacidade contendo as soluções nutritivas de crescimento. As hastes foram fixadas em placas de isopor para manter as plantas eretas, sendo que cada unidade experimental foi composta por um vaso contendo duas hastes (Figura 2). Nos primeiros cinco dias após o transplante, utilizou-se metade das concentrações dos nutrientes das soluções de crescimento descritas anteriormente, inclusive de P. Aos cinco dias de cultivo das plantas, as soluções foram trocadas por novas soluções contendo as

concentrações totais de nutrientes das soluções de crescimento, as quais foram trocadas a cada sete dias.

Durante o cultivo das plantas nas soluções de crescimento apenas água deionizada foi frequentemente adicionada aos vasos, reajustando o volume inicial que foi mantido com variação máxima de 5%. A aeração das soluções foi mantida constante e as soluções tiveram seus valores de pH monitorados e mantidos em torno de $5,5 \pm 0,5$, através de correções diárias, usando-se HCl ou NaOH. As plantas foram cultivadas nas soluções de crescimento (suficiente e insuficiente em P) pelo período de 30 dias.

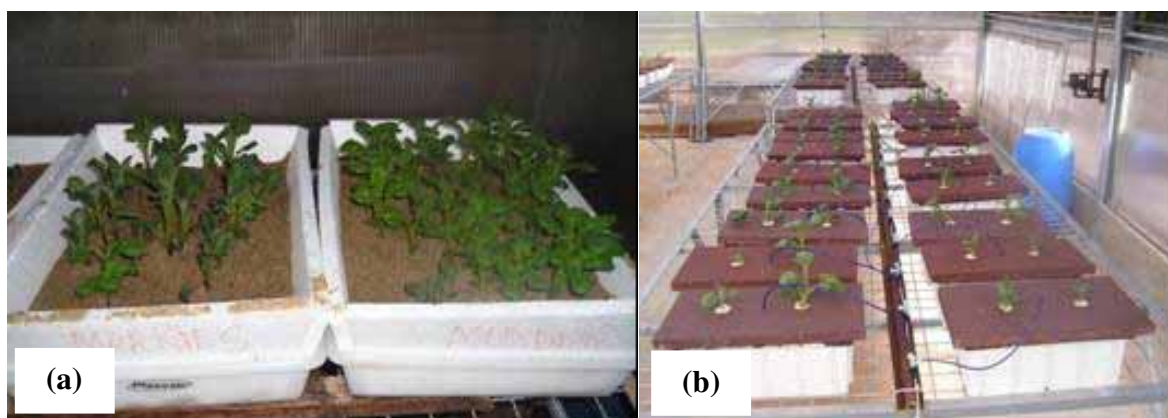


Figura 2. Plantas de batata antes (a) e após a transferência para as caixas plásticas, contendo solução nutritiva (b).

5.2.4 Avaliações

a) Parâmetros cinéticos de absorção ($V_{\max}$, K_m e $C_{\min}$)

Após o período de cultivo de 30 dias nas soluções de crescimento (2 e 31 mg L⁻¹ de P) as plantas foram submetidas ao estudo da cinética de absorção, a partir da absorção de P da solução de exaustão em função do tempo, utilizando a técnica de “esgotamento” da solução de acordo com Claassen e Barber (1974). Nessa data, as plantas foram transferidas para outros recipientes com soluções nutritivas contendo a mesma composição das soluções de crescimento, mas sem P, onde permaneceram por 48 horas, visando aumentar a capacidade das plantas em absorver P (JUNGK, 1975). Após esse período, as plantas foram colocadas, durante 1,5 horas em solução idêntica a anterior, mas contendo 15

$\mu\text{mol L}^{-1}$ de P e $50 \mu\text{mol L}^{-1}$ de Ca, para que o sistema atingisse as condições de estado estacionário da absorção, necessárias para a aplicação do modelo cinético (EPSTEIN; HAGEN, 1952).

Em seguida, as plantas foram transferidas para a solução de exaustão contendo $40 \mu\text{mol L}^{-1}$ de P, mantendo-se o arejamento necessário. Antes de colocar a solução de exaustão nos vasos, foi coletada amostra da solução e acondicionada em frascos com capacidade de 10 ml. Após colocar a solução de exaustão nos vasos contendo as plantas, alíquotas de 10 ml foram retiradas a cada 30 minutos, nas primeiras 6 horas; a cada 60 minutos nas 11 horas subsequentes e ao final de 24 horas. Após 24 horas, mais três amostras da solução de exaustão foram coletadas no intervalo de quatro horas, para se ter certeza da obtenção do $C_{\min}$.

Em cada vaso o volume da solução nutritiva de exaustão foi mantido constante, adicionando-se água deionizada referente à amostra de solução retirada e a água perdida por evaporação e transpiração. O pH da solução foi monitorado a cada intervalo de 60 minutos. A temperatura da solução de exaustão foi em média de $22,3 \pm 1,3$ °C. Nas alíquotas coletadas da solução de exaustão foram determinados os teores de P segundo metodologia descrita por Murphy e Riley (1962).

De posse dos resultados das concentrações de P nas amostras da solução de exaustão e dos valores de superfície radicular foram estimados os valores de K_m e $V_{\max}$, usando o software "Cinética", proposto por Ruiz (1985), que indica a quantidade de P na solução (Q) em função do tempo (t) e representa graficamente duas equações: a primeira, uma regressão linear e a segunda, uma regressão exponencial, escolhendo aquela que melhor se ajusta aos dados. A $V_{\max}$ foi calculada a partir da equação linear e o K_m de ambas as equações (RUIZ, 1985). Os valores de $C_{\min}$ foram considerados como sendo a concentração de P presente nas soluções de exaustão 24 horas após o início do período das amostragens, quando os valores tenderam a permanecer constantes.

Com os valores de $V_{\max}$, K_m e $C_{\min}$ foram calculados o influxo radicular líquido de P para a concentração externa de P (0 a $40 \mu\text{mol L}^{-1}$), utilizando a equação proposta por Nielsen e Barber (1978):

$$\text{Influxo líquido} = V_{\max} (C - C_{\min}) / K_m + (C - C_{\min})$$

Em que $V_{\max}$ é a velocidade máxima de absorção; K_m é a constante de Michaelis Menten, onde o influxo é $\frac{1}{2}$ da $V_{\max}$; C é a concentração de P na solução nutritiva e $C_{\min}$ é a concentração em que o influxo líquido é zero.

b) Área foliar

Para a determinação desta variável todas as folhas de cada planta dos vasos foram coletadas e a área foliar foi obtida com auxílio de um integrador de área foliar de bancada LICOR, modelo 3100C.

c) Comprimento, superfície e diâmetro médio radicular

Uma amostra de raiz de cada unidade experimental, constituída de aproximadamente 30% do peso fresco, foi extraída no sentido do comprimento, ou seja, do ponto de surgimento das raízes adventícias na haste da planta até a extremidade do sistema radicular. As amostras foram armazenadas em coletor universal com capacidade de 100 mL, em solução alcoólica (70%) e acondicionadas em ambiente refrigerado, para posterior análise. As variáveis comprimento, superfície e diâmetro médio radicular foram avaliadas, utilizando o *Software* WinRhizo, que utiliza como princípio o método proposto por Tennant (1975). Após a determinação dessas variáveis as amostras utilizadas foram secas em estufa com circulação forçada de ar, a 65 °C, por 72 h, e pesadas para a determinação da MS. Com os dados de MS da amostra utilizada para essas determinações e a MS do restante do sistema radicular, foram estimados o comprimento e a superfície radicular de todo o sistema radicular das plantas.

d) Quantidade de MS acumulada na parte aérea, nas raízes e na planta inteira

Após as avaliações, o sistema radicular e a parte aérea das plantas, foram secos em estufa com circulação forçada de ar, a 65 °C, por 72 h, e pesados para a determinação da MS. A MS total foi calculada pelo somatório dos valores obtidos na parte aérea e no sistema radicular. De posse dos dados de MS foi feita a relação raiz / parte aérea.

e) Análises químicas no tecido vegetal

Após secas, as raízes e a parte aérea foram moídas em moinho tipo Wiley com peneira de 1 mm e amostras desse material foram submetidas à análise dos teores

de P, segundo metodologia proposta por Malavolta et al. (1997). As quantidades de P acumuladas na parte aérea e nas raízes foram obtidas multiplicando-se a quantidade de MS em cada parte da planta pelo respectivo teor de P. As quantidades de P acumuladas na planta inteira foram determinadas pela soma das quantidades do nutriente obtidas em ambas as partes da planta.

f) Índices de eficiência de absorção e utilização de fósforo

- Eficiência de absorção de P (EA)

Corresponde à razão entre a quantidade de P na planta e a matéria seca, volume, área ou comprimento radicular. A EA foi obtida pela equação descrita por Swiader et al. (1994):

$$EA = QTP/S_R \dots\dots\dots (\text{mg cm}^2 \text{ de raiz})$$

Em que QTP é a quantidade total de P na planta (mg) e S_R é a superfície radicular (cm^2).

- Eficiência de utilização de P (EU)

A eficiência de utilização de P foi obtida de acordo com Fageria et al. (1997):

$$EU = MST/QTP \dots\dots\dots (\text{g mg}^{-1} \text{ de P})$$

Em que MST é a quantidade de matéria seca total da planta e QTP é a quantidade total de P absorvido pela planta.

- Eficiência no uso e resposta ao fornecimento de P

Utilizou-se a metodologia proposta por Fageria e Kluthcouski (1980) e Fageria e Baligar (1993), com adaptações para a cultura da batata. Esta metodologia sugere a classificação das cultivares quanto à eficiência no uso e resposta à aplicação do fósforo (eficiência e resposta - ER), utilizando como variável dependente a produtividade de grãos. No presente estudo, a produtividade de grãos foi substituída pela produtividade de MS da planta inteira. Nesse método a eficiência de utilização do nutriente foi definida pela média de produtividade de MS da planta inteira em baixa concentração de P na solução nutritiva. Um parâmetro denominado α_p , que estima a eficiência no uso do P foi calculado utilizando a seguinte fórmula:

$$\alpha_p = (PCIP - PBCP)/DEDP,$$

em que:

PCIP = produção de MS da planta inteira com concentração ideal de P;

PBCP = produção de MS da planta inteira com baixa concentração de P;

DEDP = diferença entre as doses de P (mg L^{-1}).

Foi utilizada a representação gráfica no plano cartesiano para classificar as cultivares. A produção das diferentes cultivares em baixa concentração de P e seu correspondente α_p foram representados nos eixos x e y do sistema de coordenadas cartesianas, respectivamente. Foram calculadas, também, a média da produção de MS em baixa concentração de P e a média de α_p , as quais corresponderam ao ponto de origem dos eixos. O diagrama foi dividido em quatro quadrantes permitindo separar quatro grupos de cultivares. O primeiro quadrante foi representado pelas cultivares eficientes e responsivas (ER); o segundo pelas não-eficientes e responsivas (NER); o terceiro pelas não-eficientes e não-responsivas (NENR), e o quarto pelas eficientes e não-responsivas (ENR).

5.2.5 Análise estatística

Os dados foram submetidos à análise de variância e aplicação do teste Tukey a 5% de significância para as médias obtidas.

5.3 Experimentos de campo

A parte de campo foi composta por quatro experimentos, sendo três implantados e conduzidos no ano de 2011 e um no ano de 2012, todos em áreas comerciais de produção de batata do Grupo Ioshida, com sede em Taquarituba-SP. O experimento de 2012 foi conduzido em área com baixo teor de P com o objetivo de validar os resultados do experimento de 2011 conduzido em solo com baixo teor de P, mas que sofreu certo nível de dano causado por geada.

5.3.1 Delineamento experimental e tratamentos

Nos três experimentos conduzidos em 2011, utilizou-se o delineamento experimental de blocos casualizados, no esquema fatorial 5x5, com quatro repetições. Os tratamentos foram constituídos por cinco cultivares de batata (Ágata, Asterix,

Atlantic, Markies e Mondial) e cinco doses de P (0, 125, 250, 500 e 1.000 kg ha⁻¹ de P₂O₅). No experimento conduzido em 2012 foi utilizado o delineamento em blocos ao acaso, com quatro repetições, no esquema fatorial 2x5 composto pelas cultivares Ágata e Mondial e as doses de 0, 125, 250, 500 e 1.000 kg ha⁻¹ de P₂O₅. Em todos os experimentos a unidade experimental foi constituída por 5 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 unidade experimental.

5.3.2 Caracterização das áreas experimentais e condução dos experimentos

Cada um dos experimentos foi implantado em solo com diferentes teores de P, ou seja, considerados baixo (<25 mg dm⁻³), médio (25 a 60 mg dm⁻³) e alto (> 60 mg dm⁻³) (LORENZI et al., 1997). Para a escolha das áreas foram coletadas amostras de solo na camada de 0,0-0,20 m de profundidade, e analisadas para a determinação dos teores de P (RAIJ et al., 2001).

O preparo de solo das áreas foi realizado de forma convencional com a seguinte sequencia de operações: duas gradagens pesadas, escarificação e uma gradagem leve às vésperas do plantio. No experimento de 2011, em área com baixo teor de P, realizou-se calagem aplicando-se 2.500 kg ha⁻¹ de calcário dolomítico. Em 2012, a área do experimento com baixo teor de P, recebeu a aplicação 4.000 kg ha⁻¹ de calcário dolomítico e 1.350 kg ha⁻¹ de gesso agrícola. No dia do plantio, antes da instalação dos experimentos foram coletadas amostras de solo novamente, sendo estas coletas no local “exato” de implantação dos experimentos, cujos resultados da análise química e física encontram-se na Tabela 1.

No dia 20/04/2011 foi instalado o experimento na área com teor médio de P, situada a 23° 28' 48" S; 49° 01' 28" W e altitude de 649 m, localizada no município de Itaí-SP. Em 28/04/2011 instalou-se o experimento na área com teor baixo de P, situada a 23° 02' 27" S; 48° 47' 57" W e altitude de 744 m, localizada no município de Avaré-SP. A instalação do experimento na área com teor alto de P, localizada no município de Cerqueira César-SP (23° 07' 69" S; 49° 12' 30" W e altitude de 737 m) foi realizada no dia 20/05/2011. O experimento de 2012, em área com baixo teor de P, foi instalado no dia 17/06/2012, no município de Taquarituba-SP (23° 38' 42"; 49° 09' 04" e altitude de 676 m). Os solos das áreas com baixo (2011 e 2012) e médio teor de P são classificados como Latossolo Vermelho

distrófico, textura argilosa, enquanto o solo da área com alto teor de P é classificado como Latossolo Vermelho distroférico, textura argilosa (EMBRAPA, 2006). Antes da instalação dos experimentos as áreas estavam sendo cultivadas com pastagem (P baixo 2011), soja (P médio 2011), arroz (P alto 2011) e soja (P baixo 2012).

Tabela 1. Atributos químicos do solo na profundidade de 0-0,20 m das áreas experimentais. Média de quatro repetições.

Áreas*	pH(CaCl ₂)	M.O.	P _(resina)	K	Ca	Mg	H+Al	CTC	SB	V
		g dm ⁻³	mg dm ⁻³							%
P baixo (2011)	5,7	47,6	14	2,3	59,7	19,3	26,9	108,3	81,3	75,1
P baixo (2012)	5,6	32,4	12	0,7	44,5	23,6	40,7	109,5	68,8	62,8
P médio (2011)	4,8	26,7	36	2,3	31,5	10,7	45,7	90,2	44,5	49,3
P alto (2011)	4,8	27,8	70	3,3	30,9	9,0	50,8	94,0	43,3	46,0
	B	Cu	Fe	Mn	Zn	Areia	Silte	Argila		
			mg dm ⁻³				g kg ⁻¹			
P baixo (2011)	0,33	8,3	60,7	24,6	1,04	311	289	400		
P baixo (2012)	0,28	1,4	19,7	9,1	4,88	273	204	523		
P médio (2011)	0,64	1,2	44,0	8,2	1,55	292	184	524		
P alto (2011)	0,77	6,2	32,7	9,3	2,88	153	245	602		

*P baixo 2011 = Avaré-SP; P médio 2011 = Itai-SP; P alto 2011 = Cerqueira César-SP; P baixo 2012 = Taquarituba-SP.

Para o plantio, os sulcos foram abertos mecanicamente, com sulcadora-plantadora no espaçamento de 0,80 m entre linha, e em seguida realizou-se a distribuição do fertilizante manualmente, de acordo com os tratamentos. 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. Em todos os experimentos aplicaram-se no sulco os inseticidas tiametoxam (155 g do i.a. ha⁻¹) e clorpirifós (557 g do i.a. ha⁻¹), os fungicidas pencicuron (280 g do i.a. ha⁻¹), metiram (77 g do i.a. ha⁻¹) e fluazinam (1.155 g do i.a. ha⁻¹), e o fungicida/bactericida estreptomicina (17 g do i.a. ha⁻¹).

A adubação de base nos experimentos de 2011 (baixo, médio e alto teor de P), constou da aplicação, no sulco, de 62 kg ha⁻¹ de N e 124 kg ha⁻¹ de K₂O para todos os tratamentos, na forma de sulfato de amônio e cloreto de potássio, respectivamente. No

experimento de 2012 (baixo teor de P), a dose de N foi a mesma e a de potássio foi de 150 kg ha⁻¹ de K₂O, utilizando cloreto de potássio. O P também foi aplicado no sulco de plantio de acordo com a dose estabelecida para cada tratamento, na forma de superfosfato triplo. Após a distribuição e incorporação dos fertilizantes no sulco foi realizada a colocação dos tubérculos-semente, a aplicação dos produtos fitossanitários e o fechamento dos sulcos com auxílio de enxadas (Figura 3).



Figura 3. Plantio dos tubérculos-semente no espaçamento de 0,80 m entre fileiras e 0,30 m entre tubérculos-semente.

Em 2011, a emergência das plantas nos experimentos das áreas com baixo e alto teor de P ocorreu aos 16 dias após o plantio (DAP), e na área com teor médio de P a emergência ocorreu aos 15 DAP. Em 2012, a emergência das plantas no experimento da área com baixo teor de P se deu aos 19 DAP. Em 2011, a adubação de cobertura nas áreas com baixo, médio e alto teor de P, foi feita aos 22, 24 e 28 DAP, respectivamente. Aplicaram-se por hectare 43 kg de N (ureia) na área com baixo teor de P, 64 kg de N (ureia) na área com médio teor de P e 41 kg de N (nitromag) na área com alto teor de P. Em 2012, a adubação de cobertura foi realizada aos 29 DAP aplicando-se 32 kg ha⁻¹ de N (ureia) e 100 kg ha⁻¹ de K₂O (cloreto de potássio). Em 2011, os experimentos nas áreas com baixo e alto teor de P receberam a aplicação do inseticida tiametoxam (198 g do i.a. ha⁻¹) e do fungicida fluazinam (1.035 g do i.a. ha⁻¹), simultaneamente com a operação de amontoa. O experimento da área com médio teor de P recebeu a aplicação do inseticida fipronil (216 g do i.a. ha⁻¹) e o

fungicida metiram+piraclostrobina ($1.364 + 124 \text{ g do i.a. ha}^{-1}$) em associação com a operação de amontoa. Em 2012, o experimento recebeu junto com a amontoa a aplicação dos produtos tiametoxam ($150 \text{ g do i.a. ha}^{-1}$), cloridrato de propamocarbe + fluopicolide ($388 + 39 \text{ g do i.a. ha}^{-1}$) e fluazinam ($990 \text{ g do i.a. ha}^{-1}$).

A irrigação das áreas experimentais foi realizada por sistema de aspersão do tipo pivô central, de acordo com as recomendações técnicas para a cultura na região e critérios adotados pelo produtor, visando atender as necessidades hídricas do sistema solo-planta, durante todo o ciclo da cultura. As quantidades de água aplicadas ao longo do ciclo da cultura encontram-se na Figura 4. Em 2011, no experimento da área com baixo teor de P, ocorreu geada no dia 28/06/11, ou seja, aos 61 DAP, que causou certos danos na parte aérea das plantas de todos os tratamentos. Em todos os experimentos o controle fitossanitário foi realizado segundo recomendações técnicas para a cultura e critérios adotados pelo produtor, utilizando-se produtos recomendados para a cultura da batata (Tabelas 2, 3, 4, 5, 6 e 7).

Em 2011, as plantas do experimento na área com baixo teor de P foram dessecadas aos 112 DAP com o herbicida diquat ($331 \text{ g do i.a. ha}^{-1}$) e realizou-se a colheita dos tubérculos aos 129 DAP. No experimento da área com médio teor de P, a dessecação foi feita aos 94 DAP, com o herbicida diquat ($396 \text{ g do i.a. ha}^{-1}$), e a colheita aos 114 DAP. Na área com alto teor de P, a dessecação ocorreu aos 97 DAP, com o herbicida diquat ($348 \text{ g do i.a. ha}^{-1}$) e a colheita foi realizada aos 118 DAP. Em 2012, na área com baixo teor de P, a dessecação foi realizada aos 99 DAP, com o herbicida diquat ($372 \text{ g do i.a. ha}^{-1}$) e a colheita aos 115 DAP.

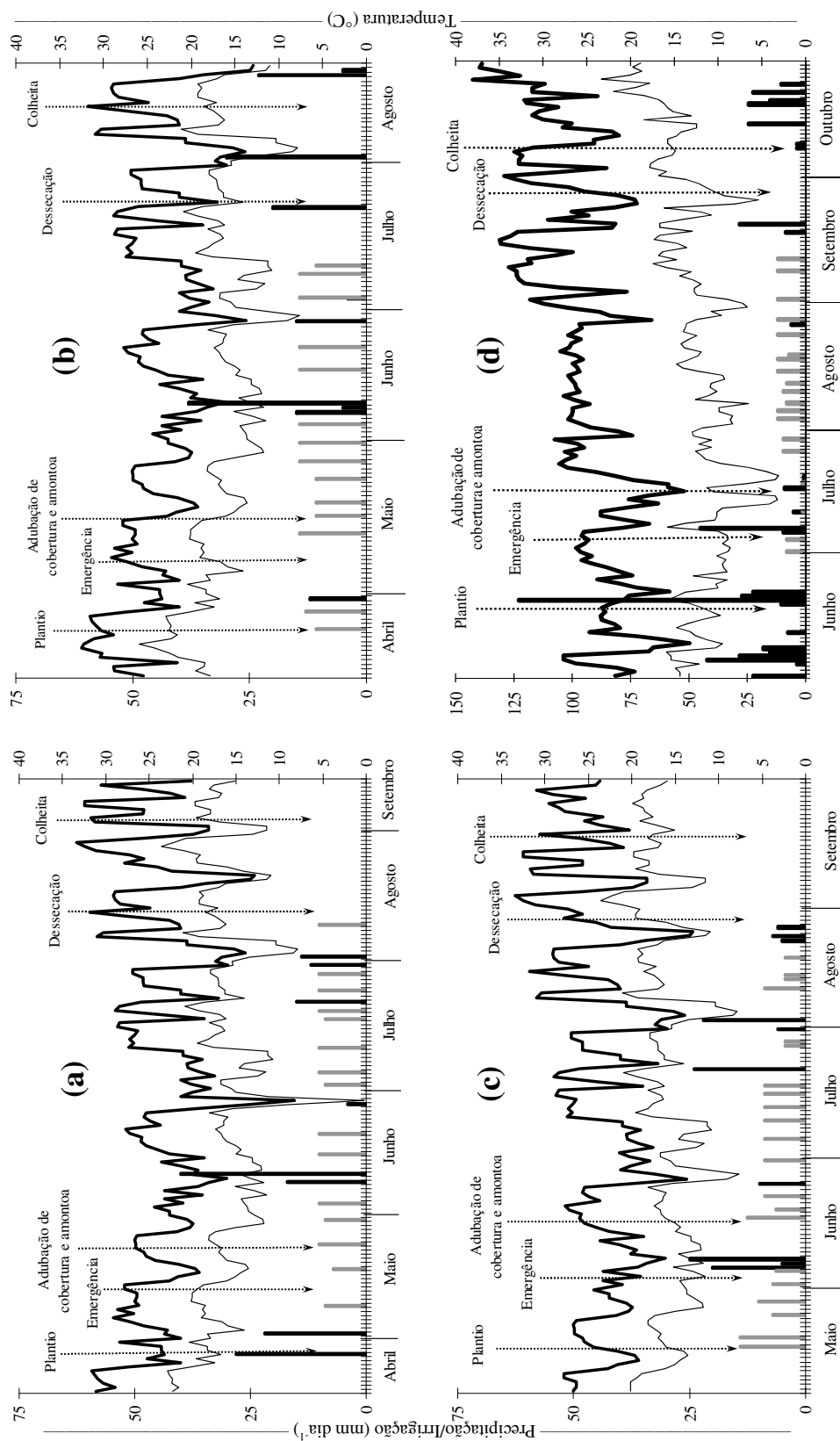


Figura 4. Precipitação (▮), irrigação (▮), temperaturas máximas (—) e mínimas (—) registradas nas áreas experimentais durante o período de condução dos experimentos. (a) área com baixo teor de P de 2011, (b) área com médio teor de P, (c) área com alto teor de P, (d) área com baixo teor de P de 2012.

Tabela 2. Tratamento fitossanitário empregado no experimento da área com baixo teor de P de 2011, localizado no município de Avaré-SP.

Época de aplicação DAP ⁽¹⁾	Ingrediente ativo	Dose g do i.a. ha ⁻¹
28	fenamidona	145
	metamidofós	498
	clorotalonil	994
32	metiram ⁽²⁾ +piraclostrobina	1.133+103
39	óleo mineral	0,69
	abamectina	11
	cloridrato de propamocarbe+fluopicolide	775+77,5
	teflubenzurom	32
	metiram ⁽²⁾	1.736
43	cloridrato de propamocarbe	1.191
	tiametoxam	53
	oxicloreto de cobre ⁽³⁾	1.079
	metamidofós	498
	clorotalonil	994
49	teflubenzurom	42
	azoxistrobina+difenoconazol	82+51,25
57	clorotalonil	972
	oxicloreto de cobre ⁽³⁾	1.340
	teflubenzurom	59
67	parationa-metílica	126
	espalhante	0,06
	alfa-cipermetrina	17
75	tiametoxam	85
	clorotalonil	893
	azoxistrobina+difenoconazol	82+51,25
95	clorotalonil	972
	teflubenzurom	42
	tiametoxam	85

⁽¹⁾Dias após o plantio, ⁽²⁾Fungicida contendo Zn, ⁽³⁾Produto a base de Cu.

Tabela 3. Produtos contendo nutrientes empregados no manejo da cultura no experimento da área com baixo teor de P de 2011, localizado no município de Avaré-SP.

Época de aplicação	Produto Comercial	Dose	Concentração
DAP ⁽¹⁾		kg ha ⁻¹	
32	Basfoliar CAB Plus	1,7	9,5% de Ca 0,5% de B
49	Nitrato de Potássio	3,4	13% de N 44% de K ₂ O
	Basfoliar CAB Plus	2,1	9,5% de Ca 0,5% de B
57	Agropex plus	1,4	0,12% de B 0,36% de Fe; 0,12% de Mn 0,12% de Mo 0,018% de Co 1,92% de S 2,4% de Zn
	Nitrato de Magnésio	1,0	11% de N 9,7% de Mg
68	Entec Solub	3,4	20% de N 5% de P ₂ O ₅ 10% de K ₂ O 0,12% de B 0,36% de Fe 0,12% de Mn
	Agropex plus	1,0	0,12% de Mo 0,018% de Co 1,92% de S 2,4% de Zn
76	Nitrato de Magnésio	3,4	11% de N 9,7% de Mg
	Basfoliar CAB Plus	2,1	9,5% de Ca 0,5% de B
	Entec Solub	3,4	20% de N 5% de P ₂ O ₅ 10% de K ₂ O

⁽¹⁾Dias após o plantio

Tabela 4. Tratamento fitossanitário empregado no experimento da área com médio teor de P, localizado no município de Itai-SP.

Época de aplicação DAP ⁽¹⁾	Ingrediente ativo	Dose g do i.a. ha ⁻¹
20	metiram ⁽²⁾	1.442
	parationa-metílica	84
	alfa-cipermetrina	7
28	parationa-metílica	95
	clorotalonil	742
	metamidofós	498
33	parationa-metílica	126
	metamidofós	498
36	parationa-metílica	84
	metamidofós	498
	clorotalonil	994
42	óleo mineral	0,69
	cloridrato de propamocarbe+fluopicolide	775+78
	metiram ⁽²⁾	1.736
	abamectina	11
52	azoxistrobina+difenoconazol	20+13
	oxicloreto de cobre ⁽³⁾	835
	fenamidona	165
	clorotalonil	972
	tiametoxam	48
58	alfa-cipermetrina	22
	casugamicina	44
	teflubenzurom	33
65	alfa-cipermetrina	19
	teflubenzurom	44
	oxicloreto de cobre ⁽³⁾	1.340
	metiram ⁽²⁾ +piraclostrobina	1.271+116
85	clorpirifós	528

⁽¹⁾Dias após o plantio, ⁽²⁾Fungicida contendo Zn, ⁽³⁾Produto a base de Cu.

Tabela 5. Produtos contendo nutrientes empregados no manejo da cultura no experimento da área com médio teor de P, localizado no município de Itaipava-SP.

Época de aplicação DAP ⁽¹⁾	Produto Comercial	Dose kg ha ⁻¹	Concentração
20	Basfoliar CAB Plus	1,2	9,5% de Ca 0,5% de B
28	Agropex plus	1,0	0,12% de B 0,36% de Fe; 0,12% de Mn 0,12% de Mo 0,018% de Co 1,92% de S 2,4% de Zn
33	Basfoliar CAB Plus	2,5	9,5% de Ca 0,5% de B
36	Agropex plus	1,03	0,12% de B 0,36% de Fe; 0,12% de Mn 0,12% de Mo 0,018% de Co 1,92% de S 2,4% de Zn
52	Agropex plus	0,96	0,12% de B 0,36% de Fe; 0,12% de Mn 0,12% de Mo 0,018% de Co 1,92% de S 2,4% de Zn
58	Basfoliar CAB Plus	2,2	9,5% de Ca 0,5% de B
58	Fosfito	2,2	28% de P ₂ O ₅ 26% de K ₂ O
65	Agropex plus	1,4	0,12% de B 0,36% de Fe 0,12% de Mn 0,12% de Mo 0,018% de Co 1,92% de S 2,4% de Zn

⁽¹⁾Dias após o plantio

Tabela 6. Tratamento fitossanitário empregado no experimento da área com alto teor de P, localizado no município de Cerqueira César-SP.

Época de aplicação DAP ⁽¹⁾	Ingrediente ativo	Dose g do i.a. ha ⁻¹
35	fenamidona	145
	clorotalonil	1.044
	metamidofós	348
46	clorotalonil	1.044
	cloridrato de propamocarbe+fluopicolide	362,5+36,25
	metamidofós	348
52	oxicloreto de cobre ⁽²⁾	361
	clorotalonil	1.044
	metalaxil-M+mancozebe ⁽³⁾	63,6+1.017,6
59	metamidofós	954
	clorotalonil	1.044
	metamidofós	870
68	fenamidona	145
	casugamicina	35
	clorotalonil	1.044
74	metamidofós	870
	azoxistrobina+difenoconazol	18+11,25
	metamidofós	348
81	clorotalonil	1.044
	mandipropamid	83
	metamidofós	348
88	espalhante	0,04
	metamidofós	348
	espalhante	0,04

⁽¹⁾Dias após o plantio, ⁽²⁾Produto a base de Cu, ⁽³⁾Fungicida contendo Mn e Zn.

Tabela 7. Tratamento fitossanitário empregado no experimento da área com baixo teor de P de 2012, localizado no município de Taquarituba-SP.

Época de aplicação	ingrediente ativo	Dose
DAP ⁽¹⁾		g do i.a. ha ⁻¹
9	fenamidona	290
	metamidofós	606
26	metamidofós	594
	oxicloreto de cobre ⁽²⁾	620
	clorotalonil	930
	azoxistrobina+difenoconazol	74+46
	isopropyl +fluazinam	37+93
31	clorpirifós	970
	clorotalonil	1.562
36	teflubenzurom	26
	dimetomorfe+clorotalonil	58+290
	mandipropamida	163
	azoxistrobina+difenoconazol	72+45
	casugamicina	35
41	parationa-metílica	126
	cloridrato de propamocarbe+fluopicolide	775+78
	clorotalonil	1.562
51	metalaxil-M+mancozebe ⁽³⁾	79+1.267
	oxicloreto de cobre ⁽²⁾	1.252
	acefato	375
	mandipropamida	155
	parationa-metílica	333
65	oxicloreto de cobre ⁽²⁾	1.252
	clorotalonil	1.055
	azoxistrobina+difenoconazol	74+46
73	parationa-metílica	333
	cloridrato de propamocarbe+ fluopicolide	698+140
	azoxistrobina+difenoconazol	74+46
82	tiametoxam+ lambda-cialotrina	31+23
	azoxistrobina+difenoconazol	86+54
	teflubenzurom	39
89	parationa-metílica	333

⁽¹⁾Dias após o plantio, ⁽²⁾Produto a base de Cu, ⁽³⁾Fungicida contendo Mn e Zn.

5.3.3 Avaliações

a) Diagnose foliar

Em 2011, as coletas de folhas nas áreas com baixo e alto teor de P foram realizadas aos 29 dias após a emergência (DAE) (45 DAP), enquanto na área com teor médio de P, a amostragem foliar foi feita aos 32 DAE (47 DAP). Em 2012, na área com baixo teor de P a amostragem foi realizada aos 33 DAE (52 DAP). As coletas de folhas foram realizadas em cada unidade experimental de acordo com Lorenzi et al. (1997), ou seja, retirando-se a terceira folha a partir do tufo apical. O material amostrado, foi lavado, secado em estufa, moído e utilizado para a determinação dos teores de nutrientes, segundo metodologia proposta por Malavolta et al. (1997).

b) Quantidade de matéria seca acumulada e extração de P

Para determinar o acúmulo de MS e a extração de P pela cultura, foram coletadas quatro plantas ao acaso na área útil de cada parcela experimental no final do ciclo, antes da dessecação, pois no final do ciclo, é a fase em que a cultura atinge o acúmulo máximo de MS e de P (FERNANDES et al., 2010a; FERNANDES et al., 2011). Após colhidas, as plantas foram lavadas, separadas em parte aérea, raízes 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 P, segundo metodologia proposta por Malavolta et al. (1997).

c) Número, produtividade e classificação dos tubérculos produzidos

Na data da colheita foram coletados os tubérculos de 10 plantas da área útil de cada unidade experimental. Os tubérculos colhidos foram escovados, contados e classificados segundo o diâmetro em quatro classes: especial ou “graúda” (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 classes. 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 três primeiras classes (especial, primeira e segunda).

d) Produtividade relativa de tubérculos

As produtividades relativas de tubérculos das cultivares de batata foram obtidas pela equação:

$$PR = \frac{\text{Produtividade em cada tratamento}}{\text{Produtividade máxima obtida}} \times 100$$

em que PR = produtividade relativa em %.

Para cada experimento, a definição das produtividades máximas obtidas em resposta à adubação fosfatada levou em consideração a análise do erro padrão das médias. Assim, a partir da dose de P_2O_5 em que os valores de erro padrão indicaram não haver incremento significativo na produtividade total de tubérculos, considerou-se como sendo a dose de P_2O_5 que proporcionou a máxima produtividade de tubérculos.

e) Porcentagem de MS, teor de P e exportação de P pelos tubérculos

Dos tubérculos obtidos na colheita final retirou-se uma amostra de cada tratamento para a determinação dessas variáveis. Os tubérculos foram lavados, pesados, fatiados e secados em estufa com circulação forçada de ar a 65 °C, por 96 h, para a obtenção da MS. A porcentagem de MS dos tubérculos foi obtida pela relação entre a massa fresca e a massa seca das amostras. Em seguida, o material seco foi moído e submetido à análise do teor de P (MALAVOLTA et al., 1997). A exportação de P foi estimada mediante a multiplicação do teor de P pela quantidade de MS acumulada nos tubérculos colhidos, sendo os dados expressos em quantidade de nutriente exportada por área.

f) Teores de P residual no solo após a colheita e teor crítico de P no solo

Ao final da colheita, foi realizada a amostragem de solo na camada de 0-20 cm, com três pontos de coleta nas linhas e três nas entrelinhas, totalizando seis amostras simples por parcela. O P foi determinado com o uso da resina de troca iônica segundo metodologia descrita por RAIJ et al. (2001), de forma a quantificar o P disponível residual referente a cada tratamento.

A curva de calibração para cálculo do teor crítico de P no solo foi obtida pela relação entre os teores de P no solo após a colheita da batata e os valores de produtividade relativa. O teor crítico foi estimado relacionando-se um percentual da produtividade relativa, sendo definido como a concentração de P no solo necessária para alcançar 90% da produtividade máxima da cultura (MIELNICZUK et al., 1969; RAIJ et al., 1997; SCHLINDWEIN, 2003; COMISSÃO, 2004).

g) Porcentagem de recuperação do P aplicado

A porcentagem de recuperação do P aplicado (PRPA) foi obtida segundo Procópio et al. (2005).

$$PRPA = \frac{[\text{conteúdo de P na planta fertilizada} - \text{conteúdo P na testemunha}]}{\text{quantidade de P aplicada via fertilizante}} \times 100$$

h) Eficiência de uso do P aplicado

A eficiência de uso do P aplicado (EUPA) foi determinada de acordo com Maia et al. (2012).

$EUPA (kg \text{ kg}^{-1}) = [\text{produtividade de tubérculos por tratamento} (kg \text{ ha}^{-1}) - \text{produtividade de tubérculos na testemunha} (kg \text{ ha}^{-1})] / \text{quantidade de } P_2O_5 \text{ aplicada em cada tratamento.}$

5.3.4 Análise estatística

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância. Em todos os experimentos as médias do fator cultivar foram comparadas pelo teste de Tukey ($p < 0,05$), exceto no experimento de 2012 em que as comparações foram feitas pelo teste t (DMS) ($p < 0,05$). Os efeitos das doses de P_2O_5 foram avaliados por meio de análise de regressão, adotando-se como critério para escolha do modelo, a magnitude dos coeficientes de regressão significativos ao nível de 5% de probabilidade pelo teste F. Para as variáveis produtividade total e comercial de tubérculos, foi calculado o erro padrão das médias dividindo-se o desvio padrão das médias pela raiz quadrada do tamanho da amostra ($n=4$), visando estabelecer até em que dose de P_2O_5 houve aumento significativo nos valores dessas variáveis.

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 Experimento em casa de vegetação

A área foliar, a matéria seca de raízes, parte aérea, da planta inteira e a relação raiz/parte aérea foram influenciadas pelos fatores estudados e pela interação entre eles (Tabela 8).

Em todas as cultivares a área foliar na dose de 31 mg L⁻¹ de P foi maior que a obtida com a dose de 2 mg L⁻¹, ou seja, o estresse causado pela menor disponibilidade de P na solução nutritiva reduziu a área foliar em 3,7 vezes, quando em comparação ao tratamento com disponibilidade adequada de P (Tabela 8). Balemi e Schenk (2009), avaliando genótipos de batata quanto à eficiência de absorção de P, verificaram que as plantas submetidas a baixas concentrações de P no solo cresceram pouco e apresentaram folhas de menor tamanho, principalmente, nos materiais menos eficientes na absorção e utilização de P. Esses resultados estão de acordo com os obtidos no presente trabalho, já que nos tratamentos com P deficiente (2 mg L⁻¹) a área foliar foi menor em relação ao tratamento com P suficiente (31 mg L⁻¹ de P).

Quando cultivadas sob disponibilidade adequada de P (31 mg L⁻¹), as plantas da cultivar Markies apresentaram valores de área foliar superiores aos das demais cultivares, sendo os menores valores de área foliar observados na cultivar Atlantic (Tabela 8). As cultivares Mondial, Ágata e Asterix apresentaram valores intermediários de área foliar. Na

dose de P limitante ao crescimento (2 mg L^{-1}) não houve diferença entre as cultivares quanto aos valores de área foliar.

Tabela 8. Área foliar (AF), matéria seca de raízes (MSR), parte aérea (MSPA), da planta inteira (MSPL), e relação matéria seca da raiz/parte aérea (MSR/MSPA) de cultivares de batata, aos 30 dias de cultivo, em função da dose de fósforo na solução nutritiva.

Dose de P (mg L^{-1})	Cultivar				
	Ágata	Asterix	Atlantic	Markies	Mondial
Área foliar ($\text{cm}^2 \text{ planta}^{-1}$)					
2	1.046bA	1.477bA	1.359bA	1.534bA	1.568bA
31	5.238aBC	4.804aC	3.855aD	6.375aA	5.648aB
Matéria seca de raízes (g planta^{-1})					
2	0,54bB	1,08bA	0,85bAB	1,00bAB	1,05bA
31	1,67aB	2,94aA	1,50aB	2,65aA	1,95aB
Matéria seca da parte aérea (g planta^{-1})					
2	13,3bA	13,0bA	12,2bA	13,9bA	15,4bA
31	37,7aB	32,5aC	28,4aD	41,9aA	39,7aAB
Matéria seca da planta inteira (g planta^{-1})					
2	13,8bAB	14,0bAB	13,1bB	14,9bAB	16,4bA
31	39,4aB	35,4aC	29,9aD	44,5aA	41,7aAB
Relação matéria seca raiz / parte aérea					
2	0,04aB	0,09aA	0,07aA	0,07aA	0,07aA
31	0,04aB	0,09aA	0,05bB	0,06aB	0,05bB
Probabilidade	$(P > F)$				
	AF	MSR	MSPA	MSPL	MSR/MSPA
Cultivar (C)	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Dose (D)	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,019
Interação C x D	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,024
CV(%)	11,7	17,1	7,2	6,8	16,3

Médias seguidas de letras distintas minúscula na coluna (dose) e maiúscula na linha (cultivares) diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Verificou-se que independente da cultivar utilizada, o acúmulo de MS nas raízes com a dose de 31 mg L^{-1} de P foi, em média, 2,4 superior àquele obtido com a menor dose de P, o que demonstra a importância do fornecimento adequado de P para promover o crescimento do sistema radicular da batateira (Tabela 8). Fernandes e Soratto (2012b), em estudo com a cultivar Ágata em solução nutritiva, observaram comportamento diferente do obtido no presente trabalho, ou seja, eles verificaram que sob baixa disponibilidade de P na solução nutritiva houve acréscimos na MS radicular, quando em comparação aos tratamentos com elevada disponibilidade de P. Em estudo realizado por

Martinez et al. (1993) com soja, também foi obtido maior acúmulo de MS radicular quando houve menor disponibilidade de P na solução nutritiva. Contudo, esses autores trabalharam com as doses de 0,71, 2,14 e 3,57 mg L⁻¹ de P, ou seja, com variação menor entre as doses de P, além do que o período de cultivo das plantas nas soluções de crescimento foi menor, isto é, de apenas 12 dias. Assim, é provável que o grau de estresse proporcionado pelo P, influencie na resposta do crescimento radicular.

Na dose de 31 mg L⁻¹ P os acúmulos de MS nas raízes das cultivares Asterix e Markies foram superiores aos das demais cultivares, as quais apresentaram acúmulos semelhantes (Tabela 8). Porém, na dose de 2 mg L⁻¹ foi constatada diferença no acúmulo de MS radicular apenas entre a cultivar Ágata e as cultivares Asterix e Mondial, com os menores acúmulos ocorrendo na cultivar Ágata. Nas demais cultivares os acúmulos radiculares de MS foram semelhantes (Tabela 8).

O estresse causado pela baixa disponibilidade de P na solução nutritiva, proporcionou menor acúmulo de MS na parte aérea e na planta inteira de todas as cultivares, quando em comparação a dose de 31 mg L⁻¹ de P (Tabela 8). Resultados semelhantes da limitação de P sobre a produção de MS da parte aérea também foram obtidos por outros autores nas culturas da soja (MARTINEZ et al., 1993), colza (*Brassica napus*) (HU et al., 2010) e batata (BALEMI; SCHENK, 2009; FERNANDES; SORATTO, 2012b).

Sob disponibilidade adequada de P, as cultivares Markies, Mondial e Ágata apresentaram acúmulos de MS na parte aérea e na planta inteira, superiores aos das demais cultivares (Tabela 8). Entretanto, na dose de 2 mg L⁻¹ de P, todas as cultivares apresentaram acúmulo semelhante de MS na parte aérea. Nessa concentração, constatou-se que a MS da planta inteira diferiu somente entre as cultivares Mondial e Atlantic, com os menores valores sendo observados na cultivar Atlantic (Tabela 8).

A relação raiz/parte aérea das cultivares Ágata, Asterix e Markies não foi afetada pelas doses de P, enquanto as cultivares Atlantic e Mondial apresentaram maior relação raiz/parte aérea sob menor disponibilidade de P na solução (Tabela 8). Esses resultados demonstram que as cultivares Atlantic e Mondial cultivadas sob adequada disponibilidade de P na solução, apresentaram menor incremento na produção de MS da parte aérea em relação à condição de limitação de P na solução, quando em comparação com as demais cultivares. Balemi e Schenk (2009) também obtiveram aumento na relação raiz/parte

aérea da batateira sob baixa disponibilidade de P (100 mg kg^{-1} de P solo) em comparação ao tratamento com alta disponibilidade desse elemento (700 mg kg^{-1} de P solo). Esses autores relataram que no tratamento com baixa disponibilidade de P, a relação raiz/parte aérea foi aproximadamente duas vezes maior que no tratamento com suprimento adequado do nutriente. O aumento na relação raiz/parte aérea sob baixa disponibilidade de P, comparada à alta disponibilidade do nutriente, está de acordo com resultados obtidos na literatura (BHADORIA et al., 2004; BALEMI; SCHENK, 2009; HU et al. 2010; FERNANDES; SORATTO, 2012b).

Sob adequada disponibilidade de P na solução, a cultivar Asterix apresentou relação raiz/parte aérea superior à das demais cultivares, as quais não diferiram entre si (Tabela 8). Já quando cultivadas sob limitação de P, apenas a cultivar Ágata apresentou relação raiz/parte aérea inferior as demais cultivares, as quais apresentaram valores semelhantes. Isto demonstra que sob disponibilidade de P restrita na solução, a cultivar Ágata acumula menor proporção de MS nas raízes que as demais cultivares.

Com relação à morfologia radicular, constatou-se que o comprimento e a superfície radicular foram influenciados pelos fatores estudados e pela interação (Tabela 9). Para o diâmetro radicular, mesmo na ausência de interação significativa, foi feito o desdobramento (Tabela 9). Com 2 mg L^{-1} de P, o comprimento e a superfície radicular das plantas das cinco cultivares sempre apresentaram valores inferiores aos obtidos com 31 mg L^{-1} de P. Fernandes e Soratto (2012b) observaram que sob menor disponibilidade de P na solução nutritiva a cultivar de batata Ágata apresentou maior MS radicular que sob disponibilidade elevada. Esses autores atribuíram esse resultado ao provável aumento de raízes longas e finas. De acordo com Barber (1984), as maiores variações nos parâmetros morfológicos radiculares ocorrem sob baixa disponibilidade de P, pois sob tais condições ocorre maior emissão de raízes finas e longas com o objetivo de aumentar a eficiência na absorção. No entanto, na concentração baixa de P, o comprimento radicular não superou os valores observados sob maior disponibilidade do nutriente, fato também observado por outros autores (BHADORIA et al., 2004; HU et al., 2010). Bhadoria et al. (2004) verificaram em plantas de milho e amendoim submetidas a três concentrações de P na solução de crescimento ($0,2$, $1,0$ e $100 \text{ } \mu\text{mol L}^{-1}$ de P) que, nas primeiras avaliações, o comprimento radicular de ambas as espécies não diferiu com os tratamentos. Porém, nas últimas avaliações foi observado que o milho apresentou maior comprimento radicular com a dose intermediária de P, enquanto no

amandoim o comprimento radicular no tratamento com maior dose de P foi três vezes superior ao dos demais tratamentos. Hu et al. (2010) também observaram menor comprimento e superfície radicular da cultura da colza cultivada sob baixa disponibilidade de P na solução nutritiva (0,16 mg L⁻¹ de P), quando em comparação ao tratamento com elevada disponibilidade (31 mg L⁻¹ de P).

Tabela 9. Comprimento, superfície e diâmetro radicular de cultivares de batata, aos 30 dias de cultivo, em função da dose de fósforo na solução nutritiva.

Dose de P (mg L ⁻¹)	Cultivar				
	Ágata	Asterix	Atlantic	Markies	Mondial
Comprimento radicular (m planta ⁻¹)					
2	177bC	336bAB	219bBC	387bA	332bAB
31	476aBC	1007aA	391aC	899aA	594aB
Superfície radicular (cm ² planta ⁻¹)					
2	1.934bC	3.432bAB	2.388bBC	3.750bA	3.380bAB
31	4.906aD	11.039aA	4.283aD	9.007aB	6.372aC
Diâmetro médio radicular (mm)					
2	0,342aAB	0,325bAB	0,344aA	0,311aB	0,325aAB
31	0,331aAB	0,349aAB	0,352aA	0,319aB	0,346aAB
Probabilidade	(P > F)				
	Comprimento	Superfície	Diâmetro		
Cultivar (C)	<0,001	<0,001	0,005		
Dose (D)	<0,001	<0,001	0,059		
Interação C x D	<0,001	<0,001	0,231		
CV(%)	14,1	13,2	5,4		

Médias seguidas de letras distintas minúscula na coluna (dose) e maiúscula na linha (cultivares) diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Nos tratamentos com disponibilidade adequada de P as cultivares Asterix e Markies apresentaram os maiores valores de comprimento e superfície radicular, enquanto os menores valores foram observados nas cultivares Atlantic e Ágata (Tabela 9). Porém, sob baixa disponibilidade de P, o comprimento e a superfície radicular diferiram apenas entre a cultivar Markies e as cultivares Atlantic e Ágata, sendo os maiores valores obtidos na cultivar Markies. Esses resultados demonstram que a cultivar Markies, provavelmente, consegue se adaptar melhor a solos com baixa disponibilidade de P que as cultivares Atlantic e Ágata, já que sob suprimento limitado desse nutriente ela apresentou maior superfície radicular para a absorção.

Apenas a cultivar Asterix apresentou mudanças no diâmetro radicular quando submetida a condições distintas de disponibilidade de P, ocorrendo diminuição no diâmetro das raízes sob condição de baixo fornecimento de P (2 mg L^{-1} de P) (Tabela 9). Sob condições de baixo suprimento de P, é comum observar diminuição no diâmetro radicular, sendo que um sistema radicular com raízes finas poderia ser considerado mais eficiente para a absorção de P (ARAÚJO; MACHADO, 2006). Entretanto, o custo metabólico de manutenção de raízes finas pode ser maior, pois elas são substituídas mais frequentemente (GAHOONIA; NIELSEN, 2004). Tanto na dose de 31 mg L^{-1} quanto na dose de 2 mg L^{-1} o diâmetro médio radicular diferiu apenas entre as cultivares Atlantic e Markies, sendo observada a presença de raízes mais finas na cultivar Markies em relação a cultivar Atlantic (Tabela 9). De maneira geral, o diâmetro radicular variou de 0,311 mm (cultivar Markies) a 0,352 mm (cultivar Atlantic) (Tabela 9), ou seja, com valores semelhantes aos 0,33 mm, relatado para a cultura da batata por Yamaguchi e Tanaka (1990).

As quantidades de P acumuladas nas raízes, parte aérea e na planta inteira foram influenciadas pelas doses de P, pelas cultivares e pela interação dose x cultivar (Tabela 10). Nas raízes, parte aérea e na planta inteira de todas as cultivares os acúmulos de P aumentaram com o incremento da disponibilidade de P na solução. Sob baixa disponibilidade de P as quantidades desse nutriente acumuladas nas raízes, parte aérea e na planta inteira não diferiram entre as cultivares estudadas. Na dose de 31 mg L^{-1} de P, a cultivar Asterix apresentou o maior acúmulo radicular de P, seguida das cultivares Markies e Mondial que obtiveram acúmulos semelhantes. Os menores acúmulos radiculares de P foram observados nas cultivares Atlantic e Ágata. Na parte aérea e na planta inteira, os acúmulos de P na dose de 31 mg L^{-1} de P não diferiram entre as cultivares Markies e Mondial, mas ambas obtiveram acúmulos superiores aos das demais cultivares. Os menores acúmulos de P, tanto na parte aérea quanto na planta inteira, ocorreram nas cultivares Asterix e Atlantic, sendo obtidos acúmulos intermediários na cultivar Ágata (Tabela 10).

Tabela 10. Quantidade de fósforo acumulada nas raízes (QPR), parte aérea (QPPA) e na planta inteira (QPPL) de cultivares de batata, aos 30 dias de cultivo, em função da dose de fósforo na solução nutritiva.

Dose de P (mg L ⁻¹)	Cultivar				
	Ágata	Asterix	Atlantic	Markies	Mondial
Acúmulo de P na raiz (mg planta ⁻¹)					
2	0,71bA	0,79bA	0,90bA	0,20bA	0,40bA
31	9,55aD	22,30aA	11,84aC	16,01aB	15,63aB
Acúmulo de P na parte aérea (mg planta ⁻¹)					
2	11,26bA	20,61bA	21,24bA	22,61bA	25,05bA
31	244,95aB	199,36aC	186,64aC	280,24aA	289,22aA
Acúmulo de P na planta inteira (mg planta ⁻¹)					
2	11,96bA	21,41bA	22,14bA	22,81bA	25,45bA
31	254,51aB	221,66aC	198,47aC	296,25aA	304,85aA
Probabilidade	(P > F)				
	QPR	QPPA	QPPL		
Cultivar (C)	<0,001	<0,001	<0,001		
Dose (D)	<0,001	<0,001	<0,001		
Interação C x D	<0,001	<0,001	<0,001		
CV(%)	15,4	8,6	10,2		

Médias seguidas de letras distintas minúscula na coluna (dose) e maiúscula na linha (cultivares) diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

A eficiência de absorção e de utilização de P sofreu influência da interação (Tabela 11). A eficiência de absorção de P foi maior sob alta disponibilidade de P, independente da cultivar utilizada. Aumentos na eficiência de absorção de P também foram observados por Fernandes e Soratto (2012b) em batata cultivada sob doses crescentes de P em solução nutritiva.

Com baixa disponibilidade de P na solução (2 mg L⁻¹ de P), não houve diferença entre as cultivares quanto à eficiência de absorção de P, no entanto, sob elevada disponibilidade de P na solução as cultivares Ágata, Atlantic e Mondial apresentaram os maiores valores de eficiência de absorção de P e a cultivar Asterix os menores valores (Tabela 11). Apesar da alta eficiência de absorção de P da cultivar Ágata, sob elevada disponibilidade de P (Tabela 11), nota-se que as quantidades de P absorvidas por essa cultivar durante o período de cultivo foram menores que às observadas nas cultivares Markies e Mondial (Tabela 10), o que deve-se aos menores valores de MS, comprimento e superfície radicular da cultivar Ágata (Tabelas 8 e 9).

Tabela 11. Eficiência de absorção (EA) e eficiência de utilização de P (EU) por cultivares de batata, aos 30 dias de cultivo, em função da dose de fósforo na solução nutritiva.

Dose de P (mg L ⁻¹)	Cultivar				
	Ágata	Asterix	Atlantic	Markies	Mondial
Eficiência de absorção radicular (mg cm ² x 10 ⁻³)					
2	6,2bA	6,3bA	9,5bA	6,1bA	7,7bA
31	0,15bA	0,16bA	0,15bA	0,15bA	0,14bA
Eficiência de utilização de P (g mg ⁻¹ de P)					
2	1,16aA	2	1,16aA	2	1,16aA
31	0,15bA	31	0,15bA	31	0,15bA
Probabilidade	(P > F)				
	EA		EU		
Cultivar (C)	<0,001		<0,001		
Dose (D)	<0,001		<0,001		
Interação C x D	<0,001		<0,001		
CV(%)	16,0		8,3		

Médias seguidas de letras distintas minúscula na coluna (dose) e maiúscula na linha (cultivares) diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Independente da cultivar utilizada, a eficiência de utilização de P aumentou quando a disponibilidade de P na solução foi limitante (2 mg L⁻¹ de P) (Tabela 11), ou seja, apesar do maior acúmulo de P na dose de 31 mg L⁻¹ de P (Tabela 10), houve menor produção de MS por unidade de P absorvido, diferente do que se observou sob disponibilidade limitada de P. Balemi e Schenk (2009) e Fernandes e Soratto (2012b) também verificaram maior eficiência de utilização de P pela batateira em condições de menor disponibilidade do nutriente.

Sob baixa disponibilidade de P na solução, a cultivar Ágata, apresentou a maior eficiência de utilização de P, enquanto a menor eficiência de utilização foi obtida na cultivar Atlantic (Tabela 11). A maior eficiência de utilização de P pela cultivar Ágata, sob baixa disponibilidade de P proporcionou acúmulo de MS na parte aérea e na planta inteira semelhante ao das demais cultivares. Esses resultados demonstram que a cultivar Ágata quando submetida à baixa disponibilidade de P, consegue produzir e acumular maior quantidade de MS por unidade de P absorvido, pois apesar de não ter diferido, nota-se que a cultivar Ágata, na dose de 2 mg L⁻¹ de P, acumulou aproximadamente metade da quantidade de P acumulada na parte aérea e na planta inteira das demais cultivares e produziu praticamente a mesma quantidade de MS (Tabelas 8, 10 e 11).

Na dose de 31 mg L⁻¹ de P, a eficiência de utilização de P não diferiu entre as cultivares estudadas, demonstrando que o maior crescimento, ou seja, o maior acúmulo de MS nas plantas das cultivares Markies e Mondial deve-se à maior absorção desse nutriente e não à eficiência de utilização do mesmo (Tabelas 8, 10 e 11).

A média da produtividade de MS das plantas, na concentração de 2 mg L⁻¹ de P foi de 14,4 g por planta (Figura 5). Com relação ao parâmetro α_p , que estima a eficiência de uso do P, obteve-se em média 0,82 g mg⁻¹ de P. As cultivares Markies e Mondial enquadraram-se como materiais eficientes no uso do P e responsivos a aplicação desse nutriente (Figura 5), pois, quando cultivadas sob baixa disponibilidade de P na solução, apresentaram acúmulos de MS de 14,9 e 16,4 g por planta, respectivamente, ou seja, maiores que a média de 14,4 g por planta (Tabela 8). Além disso, essas cultivares obtiveram incrementos na produção de MS em resposta ao aumento do P na solução de 1,0 e 0,9 g mg⁻¹ de P, também maiores que a resposta média de produção de MS que foi de 0,82 g mg⁻¹ de P (Figura 5).

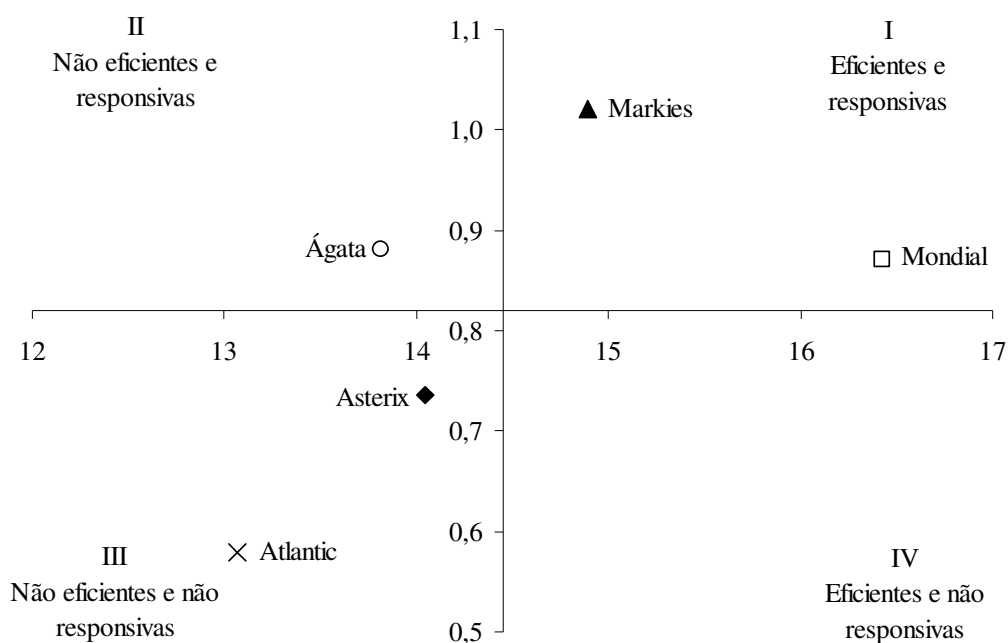


Figura 5. Eficiência no uso e resposta ao fornecimento de P de cultivares de batata pela metodologia proposta por Fageria e Kluthcouski (1980).

A cultivar Ágata foi classificada como não eficiente (13,8 g por planta) e responsiva ($0,9 \text{ g mg}^{-1}$ de P) (Figura 5), ou seja, apesar de responder com incremento na produção de MS quando ocorre aumento no fornecimento de P, sua produção de MS sob disponibilidade limitada de P na solução foi pequena (Tabela 8). As cultivares Asterix e Atlantic foram enquadradas como não eficientes no uso do P e não responsivas a aplicação do mesmo (Figura 5), ou seja, assim como a cultivar Ágata, as plantas das cultivares Asterix e Atlantic produziram menor quantidade de MS sob baixa disponibilidade de P, do que a média das cultivares. Entretanto, diferentemente da cultivar Ágata, apresentaram incremento na produção de MS em resposta ao aumento na disponibilidade de P na solução, menor do que a média de incremento observado para todas as cultivares (Figura 5).

Os parâmetros cinéticos de absorção foram influenciados pela interação cultivar x dose (Tabela 12). Independente da cultivar utilizada, verificou-se que, quando cultivadas sob limitação de P, as plantas de batata apresentaram maiores velocidades máximas de absorção ($V_{\max}$). De acordo com Junk et al. (1990), as plantas adaptam a cinética de absorção ao seu “status” de P, essencialmente por aumentos no $V_{\max}$, quando as concentrações na planta diminuem. Outros autores também observaram aumentos no $V_{\max}$ de plantas de soja, milho e amendoim cultivadas sob baixa disponibilidade de P em solução nutritiva (MARTINEZ et al., 1993; ALVES et al., 1998; BHADORIA et al., 2004).

Sob baixa disponibilidade de P na solução, as cultivares Ágata, Atlantic e Mondial apresentaram os maiores valores de $V_{\max}$ e influxo de P, a cultivar Asterix apresentou os menores valores e a cultivar Markies valores intermediários (Tabela 12 e Figura 6). Esses resultados demonstram que as cultivares Ágata, Atlantic e Mondial, com maior $V_{\max}$ e influxo de P, teoricamente apresentam maior potencial de resposta a adubação fosfatada em condições de baixa disponibilidade desse nutriente.

Com o fornecimento da dose adequada de P (31 mg L^{-1} de P), os maiores valores de $V_{\max}$ e influxo de P foram obtidos na cultivar Mondial, os menores na cultivar Ágata e valores intermediários e semelhantes nas demais cultivares (Tabela 12 e Figura 6). Isso demonstra que sob maior disponibilidade de P a cultivar Mondial apresenta, maior potencial de resposta a adubação com P, enquanto a cultivar Ágata teria baixa resposta a aplicação do fertilizante fosfatado.

Tabela 12. Parâmetros cinéticos $V_{\max}$, K_m e $C_{\min}$, da absorção de fósforo por de cultivares de batata, aos 30 dias de cultivo, em função da dose de fósforo na solução nutritiva.

Dose de P (mg L ⁻¹)	Cultivar				
	Ágata	Asterix	Atlantic	Markies	Mondial
$V_{\max}$ ($\mu\text{mol cm}^{-2} \text{ h}^{-1} \times 10^{-3}$)					
2	7,9aA	4,1aC	7,7aA	6,1aB	7,9aA
31	1,9bC	2,9bBC	4,1bB	3,7bB	5,5bA
K_m ($\mu\text{mol L}^{-1}$)					
2	6,1aD	9,9aA	8,8bAB	7,8aABC	7,6aCD
31	4,8aC	7,8bB	12,9aA	7,2aB	7,8aB
$C_{\min}$ ($\mu\text{mol L}^{-1}$)					
2	1,07aB	2,56aA	2,76aA	2,51aA	2,02aA
31	1,37aB	2,82aA	2,86aA	2,85aA	2,29aB
Probabilidade	$(P > F)$				
	$V_{\max}$		K_m		$C_{\min}$
Cultivar (C)	<0,001		<0,001		<0,001
Dose (D)	<0,001		0,827		0,037
Interação C x D	<0,001		<0,001		0,974
CV(%)	15,1		14,3		17,9

Médias seguidas de letras distintas minúscula na coluna (dose) e maiúscula na linha (cultivares) diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

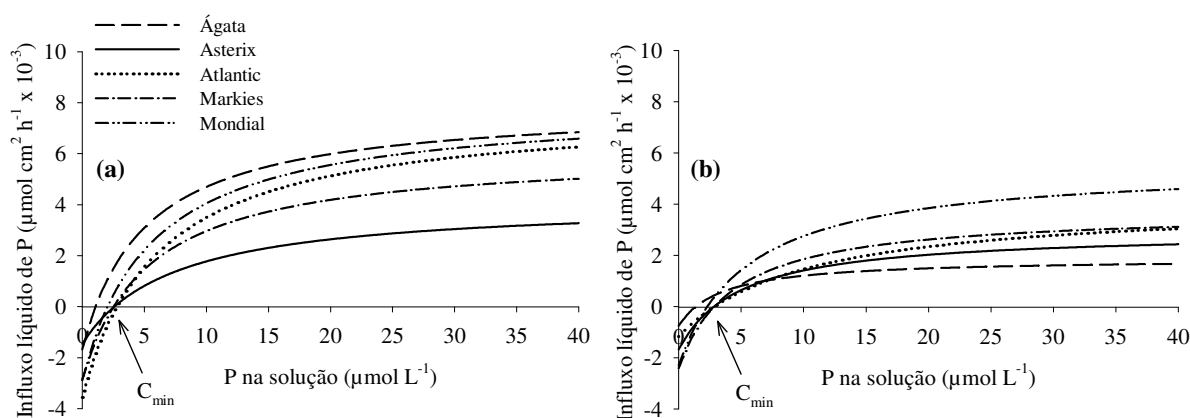


Figura 6. Taxas de influxo líquido de P, estimadas de acordo com a concentração de P na solução nutritiva, para cultivares de batata submetidas ao pré-tratamento com 2 mg L⁻¹ de P (a) e 31 mg L⁻¹ de P (b) na solução nutritiva por 30 dias.

Os valores de K_m , que referem-se à afinidade dos transportadores pelo íon a ser transportado e, portanto, a eficiência de absorção, não diminuiram com a redução da concentração de P na solução, como seria de esperar (Tabela 12). Os valores de K_m

representam a concentração do nutriente na solução nutritiva que proporciona metade da $V_{\max}$, ou seja, quanto mais baixo o valor de K_m , maior é a afinidade entre os transportadores e o íon a ser transportado (MACHADO; FURLANI, 2004), demonstrando maior eficiência na absorção.

Apenas no tratamento com a cultivar Atlantic, verificou-se menor K_m sob baixa disponibilidade de P na solução, enquanto nos tratamentos com as cultivares Ágata, Markies e Mondial os valores de K_m não foram alterados pelas doses de P na solução (Tabela 12). Porém, nos tratamentos com a cultivar Asterix os valores de K_m aumentaram quando a disponibilidade de P foi elevada (Tabela 12). Resultados semelhantes foram observados com outras culturas. Junk et al. (1990) e Bhadoria et al. (2004) trabalhando com a cultura do milho, também observaram aumento no $V_{\max}$ com a redução da dose de P na solução de $3,10 \text{ mg L}^{-1}$ ($100 \text{ } \mu\text{mol L}^{-1}$) de P para $0,031 \text{ mg L}^{-1}$ ($1,0 \text{ } \mu\text{mol L}^{-1}$) de P, entretanto, esses autores também não obtiveram redução no K_m com a diminuição da dose de P na solução, mas sim aumento do K_m , como também foi observado para a cultivar Asterix. Lima et al. (2005) trabalhando com a cultura do eucalipto observaram que clones que apresentaram os menores valores de K_m , tiveram valores de $V_{\max}$ menores que os clones com maiores valores de $V_{\max}$, evidenciando que não há, necessariamente, uma relação direta ou inversa entre $V_{\max}$ e K_m .

Sob baixa disponibilidade de P na solução, as cultivares Ágata e Mondial apresentaram os menores valores de K_m , mas sob elevada disponibilidade de P os menores valores de K_m ocorreram na cultivar Ágata (Tabela 12). Os maiores valores de K_m , na menor concentração de P, foram obtidos com a cultivar Asterix, e na maior concentração de P com a cultivar Atlantic (Tabela 12), demonstrando que as cultivares Ágata e Mondial, teoricamente são mais eficientes na absorção de P do que as cultivares Asterix e Atlantic.

Analisando-se os valores de K_m , em condições de alta disponibilidade de P, a cultivar Ágata seria mais eficiente na absorção de P do que todas as demais, contudo, o pequeno sistema radicular limitou as quantidades absorvidas e, consequentemente, o crescimento da planta como um todo (Tabelas 8, 9, 10 e 12).

Em todas as cultivares os valores de $C_{\min}$ não foram alterados pela disponibilidade de P na solução (Tabela 12). Na dose de 2 mg L^{-1} de P a cultivar Ágata apresentou valores de $C_{\min}$ inferiores aos de todas as demais cultivares, as quais não diferiram entre si. Porém, sob alta disponibilidade de P as cultivares Ágata e Mondial apresentaram

valores de C_{min} semelhantes e inferiores aos das demais cultivares. Esses resultados demonstram que a cultivar Ágata, teoricamente, apresenta melhor capacidade de se adaptar a solos com menor disponibilidade de P, enquanto a cultivar Mondial teria maior capacidade de adaptação a solos de média a alta fertilidade.

Analisando os parâmetros cinéticos de absorção é possível inferir que os maiores valores de V_{max} e influxo de P, obtidos na cultivar Mondial, independente da disponibilidade de P na solução (Tabela 12 e Figura 6), podem ser devido a maior atividade e/ou número de transportadores já presentes nas células das raízes. Além disso, essa cultivar apresentou valores de comprimento e superfície radicular, relativamente, elevados, ou seja, tanto características morfológicas como fisiológicas favoráveis a absorção de P (Tabelas 9 e 12). Na cultivar Ágata, provavelmente, a atividade e/ou o número de transportadores localizados nas células das raízes, sejam aumentados somente quando ocorre limitação de P, pois foi quando ocorreram elevados influxos de P (Tabela 12 e Figura 6). Porém, essa cultivar possui sistema radicular restrito, ou seja, com menor massa, comprimento e área superficial (Tabelas 8 e 9), demonstrando que apesar das características fisiológicas favoráveis a absorção de P, a morfologia radicular da cultivar Ágata não favoreceu a absorção de P. No caso da cultivar Asterix, o número de transportadores nas células das raízes deve ser menor, mas diferente do que ocorre na cultivar Ágata, parece não haver aumento na síntese e/ou formação de novos transportadores, uma vez que a V_{max} e o influxo de P sofreram apenas pequenos aumentos sob condições de limitação de P (Tabela 12 e Figura 6). Ou seja, apesar da elevada massa, comprimento e superfície radicular, essa cultivar possui baixa capacidade de influxo de P (Tabelas 8, 9, 12 e Figura 6).

O aumento na absorção de P após um período de limitação do nutriente está associado com a maior capacidade das raízes transportarem o P, possivelmente, pela formação adicional de transportadores de P (DREW; SAKER, 1984; SHIMOGAWARA; USUDA, 1995; MUCHHAL; RAGHOTHAMA, 1999). Este aumento na absorção de P ocorre com pouca ou nenhuma mudança nos valores de K_m , mas com aumentos significativos da V_{max} por causa do aumento na síntese de transportadores de P (FURIHATA et al., 1992; MUCHHAL; RAGHOTHAMA 1999).

6.2 Experimentos em áreas com baixo teor de P no solo (14 e 12 mg dm⁻³)

6.2.1 Diagnose foliar

Os teores de N sofreram influência dos fatores isolados nos dois anos (Tabelas 13 e 14). No primeiro ano, a cultivar Ágata apresentou teores foliares de N superiores ao das cultivares Asterix e Atlantic, mas semelhantes aos das cultivares Markies e Mondial. A cultivar Asterix apresentou os menores teores foliares de N e a cultivar Atlantic teores intermediários. No segundo ano, os teores foliares de N obtidos na cultivar Ágata foram superiores aos da cultivar Mondial. Apenas as cultivares Asterix (em 2011) e Mondial (em 2012) apresentaram teores foliares de N dentro do intervalo de 40 a 50 g kg⁻¹, considerado adequado para a batateira (LORENZI et al., 1997), enquanto nas demais cultivares os teores ficaram acima desse intervalo. No entanto, Jones Junior (1991) propôs como adequado, para o nutriente N, o intervalo de 45 a 60 g kg⁻¹, no qual todas as cultivares estudadas se enquadraram, em ambos os anos estudados. Teores foliares de N superiores aos citados por Lorenzi et al. (1997), mas semelhantes aos relatados por Jones Junior (1991), também foram obtidos para essas cultivares por Fernandes et al. (2011).

A aplicação de fósforo aumentou os teores de N nas folhas da batateira até as doses estimadas de 777 e 658 kg ha⁻¹ de P₂O₅, em 2011 e 2012, respectivamente (Figuras 7a e 8a). Os menores teores de N, nas menores doses de P, devem-se ao fato que sob condições de fornecimento limitado de P, ocorre diminuição na absorção de nitrato (ARAÚJO; MACHADO, 2006) e de amônio (ALVES et al., 1996). Fernandes e Soratto (2012b) também observaram elevação nos teores de N na planta de batata, cultivar Ágata em resposta a adição de P na solução nutritiva, mas apenas até a dose de 29 mg L⁻¹ de P. Em híbridos de milho foi observado que a deficiência de P reduziu os teores de N total nas folhas e de N total e de nitrato nos colmos e raízes, indicando que a falta de P diminuiu a absorção de N (ALVES et al., 1996).

Tabela 13. Teores de N, P, K, Ca, Mg e S na folha diagnose de cultivares de batata, cultivadas em solo com “baixo teor de P”, em resposta a aplicação de P, no ano de 2011.

Cultivar	N	P	K	Ca	Mg	S
	g kg ⁻¹					
Ágata	54,2a	4,1a	57,8a	14,4b	5,8c	2,5a
Asterix	47,5c	3,3b	49,8b	17,5b	6,0ab	2,2b
Atlantic	50,8b	3,4b	59,6a	14,4b	6,3ab	2,4a
Markies	53,7ab	3,6ab	52,5b	21,1a	7,5a	2,3ab
Mondial	51,8ab	3,7ab	60,4a	13,3b	6,5b	2,3ab
Probabilidade	(P > F)					
Cultivar (C)	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,004
Dose (D)	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,096
Interação C x D	0,423	0,229	0,066	0,572	0,999	0,769
CV(%)	6,5	14,8	9,6	11,0	10,9	11,7

Médias seguidas de letras distintas na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Tabela 14. Teores de N, P, K, Ca, Mg e S na folha diagnose de cultivares de batata, cultivadas em solo com “baixo teor de P”, em resposta a aplicação de P, no ano de 2012.

Cultivar	N	P	K	Ca	Mg	S
	g kg ⁻¹					
Ágata	51,0a	2,9a	42,7a	12,9a	7,7a	2,8a
Mondial	47,7b	2,5b	42,8a	10,3b	6,8b	2,7a
Probabilidade	(P > F)					
Cultivar (C)	<0,001	<0,001	0,958	<0,001	0,020	0,233
Dose (D)	<0,001	<0,001	0,965	0,001	<0,001	0,586
Interação C x D	0,159	0,743	0,439	0,488	0,388	0,948
CV(%)	5,1	11,2	12,6	10,0	15,6	12,7

Médias seguidas de letras distintas na coluna diferem entre si pelo teste t (DMS) ($p < 0,05$).

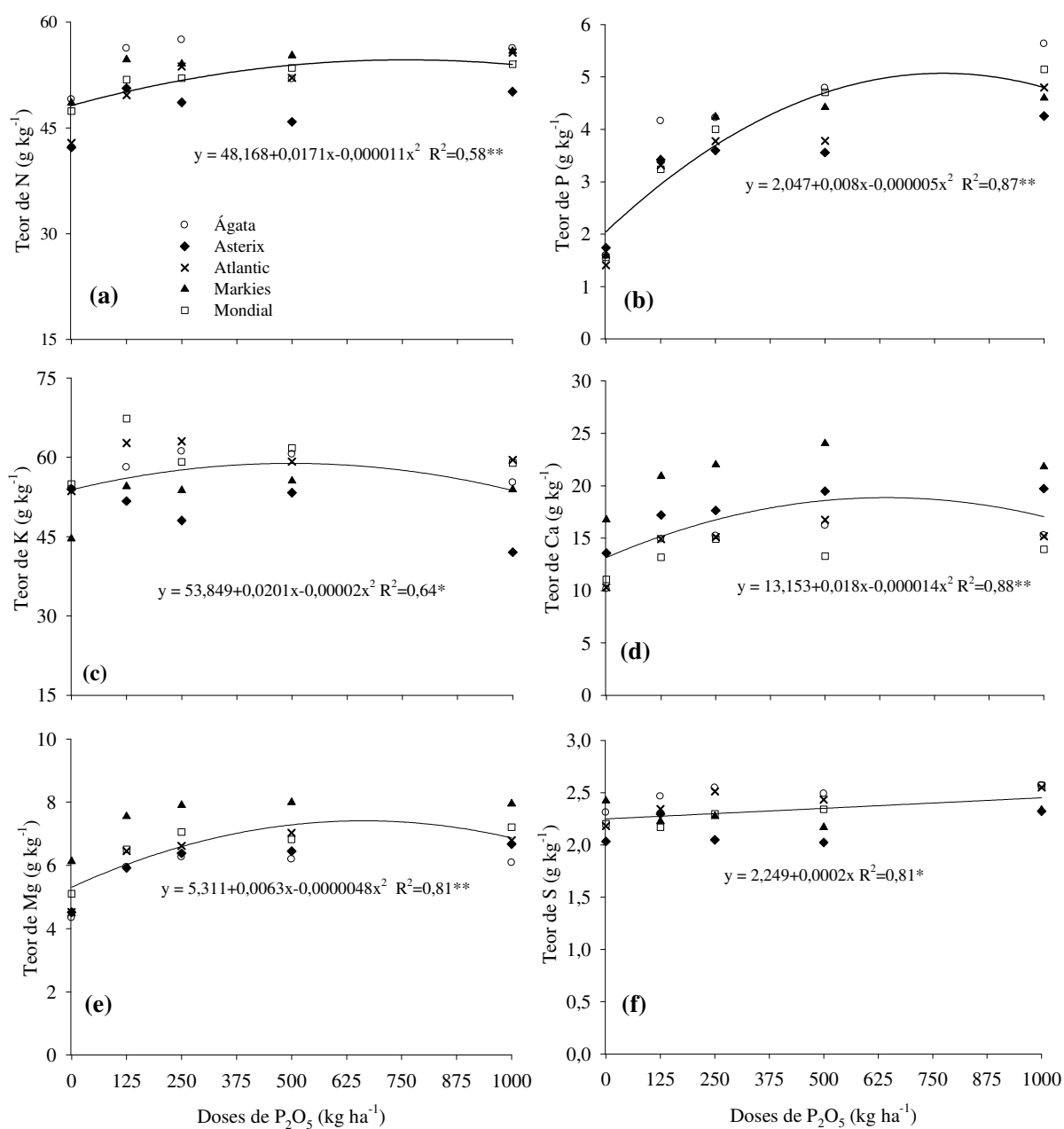


Figura 7. Teores de N (a), P (b), K (c), Ca (d), Mg (e) e S (f) na folha diagnose de cultivares de batata, cultivadas em solo com “baixo teor de P”, em resposta a aplicação de P, no ano de 2011. * $p < 0,05$ e ** $p < 0,01$ pelo teste F.

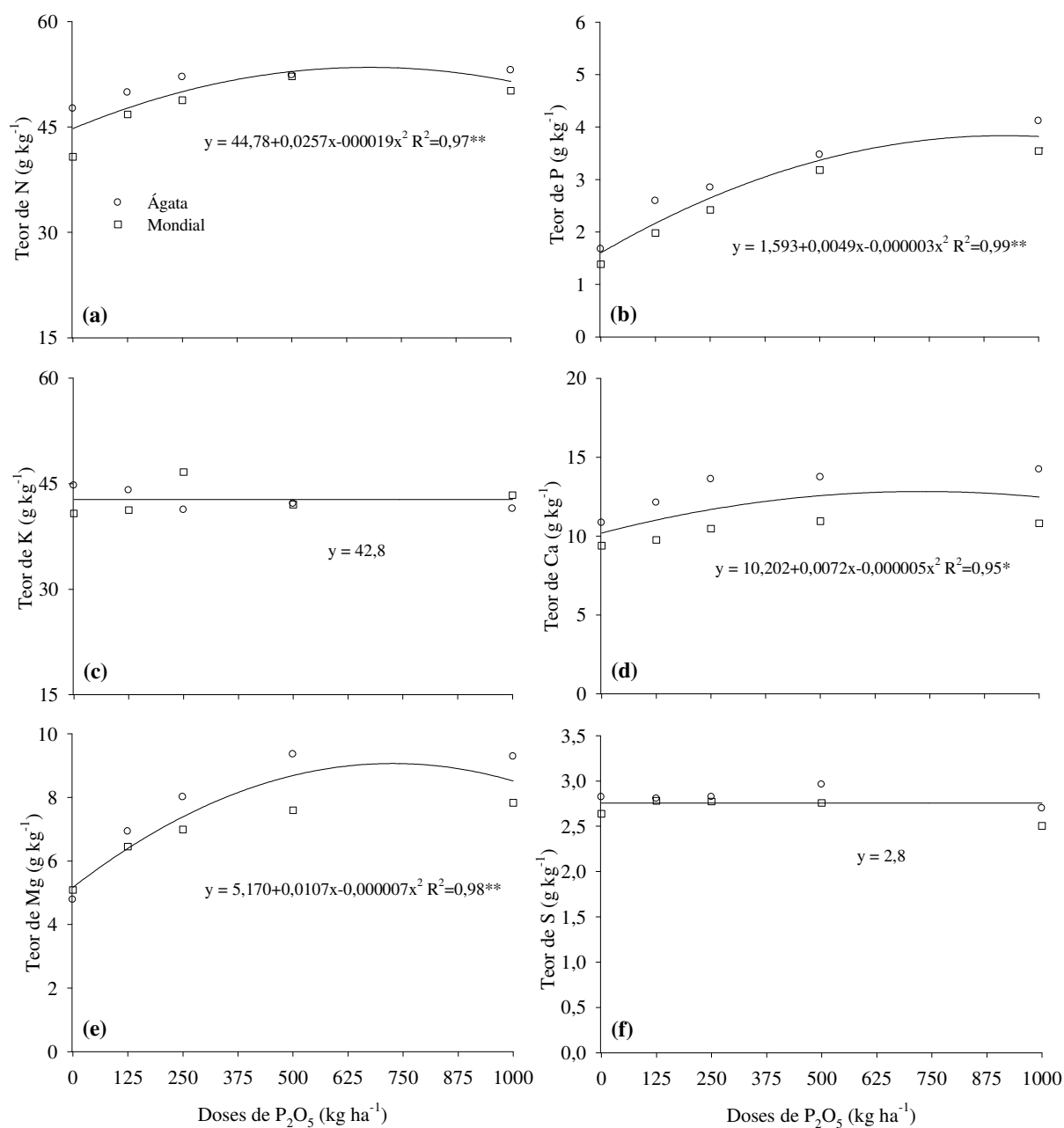


Figura 8. Teores de N (a), P (b), K (c), Ca (d), Mg (e) e S (f) na folha diagnose de cultivares de batata, cultivadas em solo com “baixo teor de P”, em resposta a aplicação de P, no ano de 2012. * $p < 0,05$ e ** $p < 0,01$ pelo teste F.

Nos dois anos, os teores foliares de P foram afetados tanto pelas cultivares quanto pelas doses de P (Tabelas 13 e 14). Em 2011, houve diferença nos teores

foliares de P apenas entre a cultivar Ágata e as cultivares Asterix e Atlantic, sendo os maiores teores obtidos na cultivar Ágata ($4,1 \text{ g kg}^{-1}$). Em 2012, os maiores teores foliares de P também foram observados na cultivar Ágata. As doses de P influenciaram de forma quadrática os teores foliares de P, em ambos os anos, proporcionando incrementos nos teores foliares desse nutriente até a dose de 800 kg ha^{-1} de P_2O_5 (Figuras 7b e 8b). Em 2011, a aplicação de apenas 125 kg ha^{-1} de P_2O_5 foi suficiente para elevar os teores foliares de P de todas as cultivares para a faixa considerada adequada para a cultura, que é de $2,5$ a $5,0 \text{ g kg}^{-1}$, segundo Lorenzi et al. (1997) e de $2,9$ a $5,0 \text{ g kg}^{-1}$ de acordo com Jones Junior (1991). Porém, em 2012 o mesmo efeito só foi obtido com a aplicação de 250 kg ha^{-1} de P_2O_5 , ou seja, foi necessária a aplicação do dobro da dose do primeiro ano para proporcionar a nutrição adequada da cultura.

Houve efeito isolado dos fatores estudados, em relação ao teor de K na folha diagnose, apenas no primeiro ano, já no segundo ano esta variável não sofreu influência dos fatores estudados e foi em média de $42,8 \text{ g kg}^{-1}$ (Tabelas 13 e 14 e Figuras 7c e 8c). No primeiro ano, verificou-se que as cultivares Ágata, Atlantic e Mondial apresentaram os maiores teores foliares de K na folha diagnose, enquanto os menores teores ocorreram nas folhas das cultivares Asterix e Markies. Porém, independente da cultivar, nota-se que a adubação fosfatada proporcionou pequenos incrementos nos teores foliares de K até a dose estimada de 500 kg ha^{-1} de P_2O_5 (Figura 7c). Nos dois anos, todas as cultivares apresentaram teores foliares de K dentro da faixa considerada adequada por Lorenzi et al. (1997), que é de 40 a 65 g kg^{-1} , mas abaixo da faixa de teores de 93 a 115 g kg^{-1} considerada adequada por Jones Junior (1991) (Tabelas 13 e 14 e Figuras 7c e 8c).

Quanto aos teores de Ca, houve efeito isolado do fator cultivar e do fator dose em ambos os anos de cultivo (Tabelas 13 e 14). Em 2011, a cultivar Markies apresentou teores foliares de Ca superiores aos obtidos nas demais cultivares, as quais não diferiram entre si, mas em 2012, os teores foliares de Ca na cultivar Ágata foram superiores aos da cultivar Mondial. Fernandes et al. (2011) em estudo com as mesmas cultivares, também observaram maiores teores foliares de Ca nas folhas da cultivar Markies. A adubação fosfatada aumentou os teores de Ca na folha diagnose da batateira até as doses estimadas de 637 e 720 kg ha^{-1} de P_2O_5 , no primeiro e segundo ano, respectivamente (Figuras 7d e 8d). No primeiro ano, verificou-se que a cultivar Markies apresentou teor foliar de Ca superior ao intervalo descrito como adequado por Lorenzi et al. (1997) que é de 10 a 20 g kg^{-1} , enquanto as demais

cultivares, independente do ano de cultivo apresentaram teores foliares de Ca dentro do intervalo citado por estes autores. Porém, nos dois anos os teores foliares de Ca ficaram acima da faixa considerada adequada por Jones Junior (1991) que é de 7,6 a 10 g kg⁻¹.

Os teores de Mg na folha diagnose sofreram influência dos fatores isolados em ambos os anos (Tabelas 13 e 14). No primeiro ano a cultivar Markies apresentou os maiores teores foliares de Mg e a cultivar Ágata os menores, enquanto nas demais cultivares os teores foram intermediários e semelhantes. No segundo ano, a cultivar Ágata apresentou comportamento diferente do primeiro, com teores foliares de Mg superiores aos da cultivar Mondial. Nos dois anos estudados, a adubação fosfatada proporcionou incrementos nos teores foliares de Mg até as doses estimadas de 656 e 764 kg ha⁻¹ de P₂O₅, respectivamente, para o cultivo de 2011 e 2012 (Figuras 7e e 8e). Esses resultados, provavelmente devem-se ao fato de que o Mg participa das reações de transferência de energia nas células (MARSCHNER, 1995), atuando como ativador de enzimas quinases e ativando a maioria das reações, envolvendo transferência de fosfato (FAGERIA, 2001), assim com o aumento na absorção de P, aumentou a demanda por Mg. Independente do ano de cultivo, em todas as cultivares estudadas os teores foliares de Mg ficaram acima do intervalo considerado como adequado por Lorenzi et al. (1997) (3 a 5 g kg⁻¹), mas abaixo do intervalo descrito como adequado por Jones Junior (1991), que é de 10 a 12 g kg⁻¹.

Os teores foliares de S foram influenciados pelos fatores estudados apenas no primeiro ano de cultivo, sendo que no segundo ano estes foram em média 2,8 g kg⁻¹ (Tabelas 13 e 14 e Figura 8f). No primeiro ano, os teores foliares de S diferiram apenas entre a cultivar Asterix (2,2 g kg⁻¹) e as cultivares Ágata (2,5 g kg⁻¹) e Atlantic (2,4 g kg⁻¹), cujos menores teores ocorreram na cultivar Asterix. Observou-se que apesar da adubação fosfatada ter aumentado linearmente os teores foliares de S no primeiro ano (Figura 7f), apenas na cultivar Ágata os teores foliares desse nutriente ficaram dentro do intervalo considerado adequado por Lorenzi et al. (1997) (2,5 a 5,0 g kg⁻¹), sendo que nas demais cultivares os teores ficaram abaixo do intervalo descrito como adequado por esses autores. No segundo ano, apesar dos teores foliares de S não terem sofrido influência dos fatores estudados, em ambas as cultivares utilizadas os teores foliares de S permaneceram dentro da faixa considerada adequada por Lorenzi et al. (1997), que é de 2,5 a 5,0 g kg⁻¹.

No primeiro ano, os teores foliares de B foram afetados pelos fatores isolados, sendo observada diferença significativa apenas entre a cultivar Mondial (24 mg kg⁻¹) e a cultivar Ágata (19 mg kg⁻¹) (Tabela 15). Em 2011, a adubação fosfatada causou redução nos teores foliares de B até a dose estimada de 625 kg ha⁻¹ de P₂O₅ (Figura 9a), possivelmente, devido ao aumento da matéria seca produzida que causou a diluição nos teores foliares desse micronutriente. No segundo ano, os fatores estudados não afetaram os teores foliares de B, os quais foram em média 31,2 mg kg⁻¹ (Tabela 16 e Figura 10a). Independente da adubação fosfatada, no primeiro ano todas as cultivares estudadas apresentaram teores foliares de B abaixo da faixa considerada adequada para a cultura que é de 25 a 50 mg kg⁻¹ (LORENZI et al., 1997), fato que não foi observado no segundo ano, em que os teores foliares desse nutriente ficaram dentro da faixa descrita como adequada por esses autores (Tabelas 15 e 16 e Figuras 9a e 10a). No entanto, nos dois anos os teores de B nos solo eram considerados médios (Tabela 1).

Tabela 15. Teores de Cu, Fe, Mn e Zn na folha diagnose de cultivares de batata, cultivadas em solo com “baixo teor de P”, em resposta a aplicação de P, no ano de 2011.

Cultivar	B	Cu	Fe	Mn	Zn
			mg kg ⁻¹		
Ágata	19b	236a	289c	65b	71
Asterix	20ab	245a	279c	68ab	105
Atlantic	22ab	243a	368b	63b	93
Markies	20ab	252a	439a	77a	99
Mondial	24a	240a	455a	66ab	93
Probabilidade			(<i>P</i> > <i>F</i>)		
Cultivar (C)	0,004	0,754	<0,001	0,012	<0,001
Dose (D)	0,049	0,701	0,204	<0,001	<0,001
Interação C x D	1,000	0,824	0,138	0,315	0,003
CV(%)	20,2	15,9	19,5	19,1	14,0

Médias seguidas de letras distintas na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey (*p*<0,05).

Tabela 16. Teores de Cu, Fe, Mn e Zn na folha diagnose de cultivares de batata, cultivadas em solo com “baixo teor de P”, em resposta a aplicação de P, no ano de 2012.

Cultivar	B	Cu	Fe	Mn	Zn
			mg kg ⁻¹		
Ágata	30a	774a	424a	472a	85a
Mondial	32a	796a	420a	463a	87a
Probabilidade			(<i>P</i> > <i>F</i>)		
Cultivar (C)	0,115	0,338	0,840	0,490	0,453
Dose (D)	0,588	0,019	<0,001	0,611	0,290
Interação C x D	0,824	0,315	0,322	0,835	0,340
CV(%)	9,4	9,0	14,0	9,3	6,8

Médias seguidas de letras distintas na coluna diferem entre si pelo teste t (DMS) (*p*<0,05).

Os teores foliares de Cu não foram afetados pelos fatores estudados no primeiro ano, sendo obtido o valor médio de 243 mg kg⁻¹ (Tabela 15 e Figura 9b). No segundo ano, apenas as doses de P afetaram os teores foliares de B, ocorrendo pequenos acréscimos nos teores foliares até a dose estimada de 600 kg ha⁻¹ de P₂O₅ (Tabela 16 e Figura 10b). Os teores foliares desse nutriente ficaram muito acima do intervalo considerado como adequado por Lorenzi et al. (1997) e Jones Junior (1991), que é de 7 a 20 mg kg⁻¹, nos dois anos estudados. Esses elevados teores foliares de Cu se devem aos elevados teores de Cu no solo e a aplicação de oxicloreto de Cu realizada na cultura dois dias (43 DAP) antes da coleta em 2011 (45 DAP), e com 26 (26 DAP) e 1 (51 DAP) dia antes da coleta para diagnose foliar em 2012 (52 DAP) (Tabelas 1, 2 e 7).

Em 2011 houve efeito apenas do fator cultivar sobre o teor de Fe na folha diagnose, mas em 2012 o teor desse nutriente foi afetado apenas pelo fator dose (Tabelas 15 e 16 e Figuras 9c e 10c). No primeiro ano, os maiores teores foliares de Fe ocorreram nas folhas das cultivares Markies e Mondial e os menores nas folhas das cultivares Ágata e Asterix. Em 2012, os teores foliares de Fe diminuíram com a adubação fosfatada até a dose estimada de 638 kg ha⁻¹ de P₂O₅. De maneira geral, os teores foliares de Fe obtidos em todas as cultivares estudadas, nos dois anos de cultivo, ficaram acima do intervalo considerado adequado para a cultura por Lorenzi et al. (1997) e Jones Junior (1991), que é de 50 a 100 mg kg⁻¹. Esses elevados teores de Fe na folha diagnose da batateira são reflexos da alta disponibilidade inicial desse micronutriente no solo (Tabela 1).

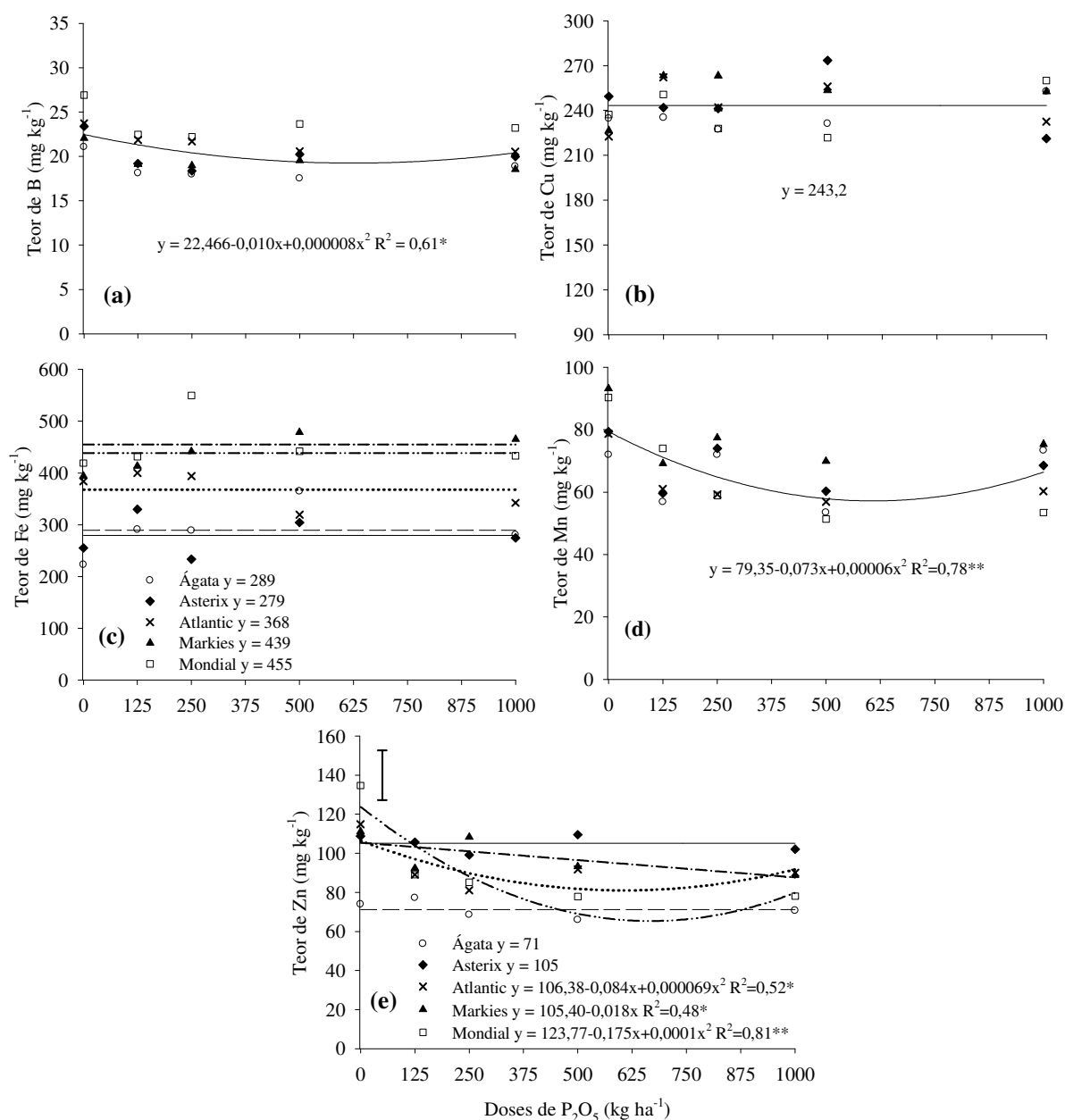


Figura 9. Teores de B (a), Cu (b), Fe (c), Mn (d) e Zn (e) na folha diagnose de cultivares de batata, cultivadas em solo com “baixo teor de P”, em resposta a aplicação de P, no ano de 2011. * $p < 0,05$ e ** $p < 0,01$ pelo teste F. Barra vertical na área da figura (e) indica o valor de DMS pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

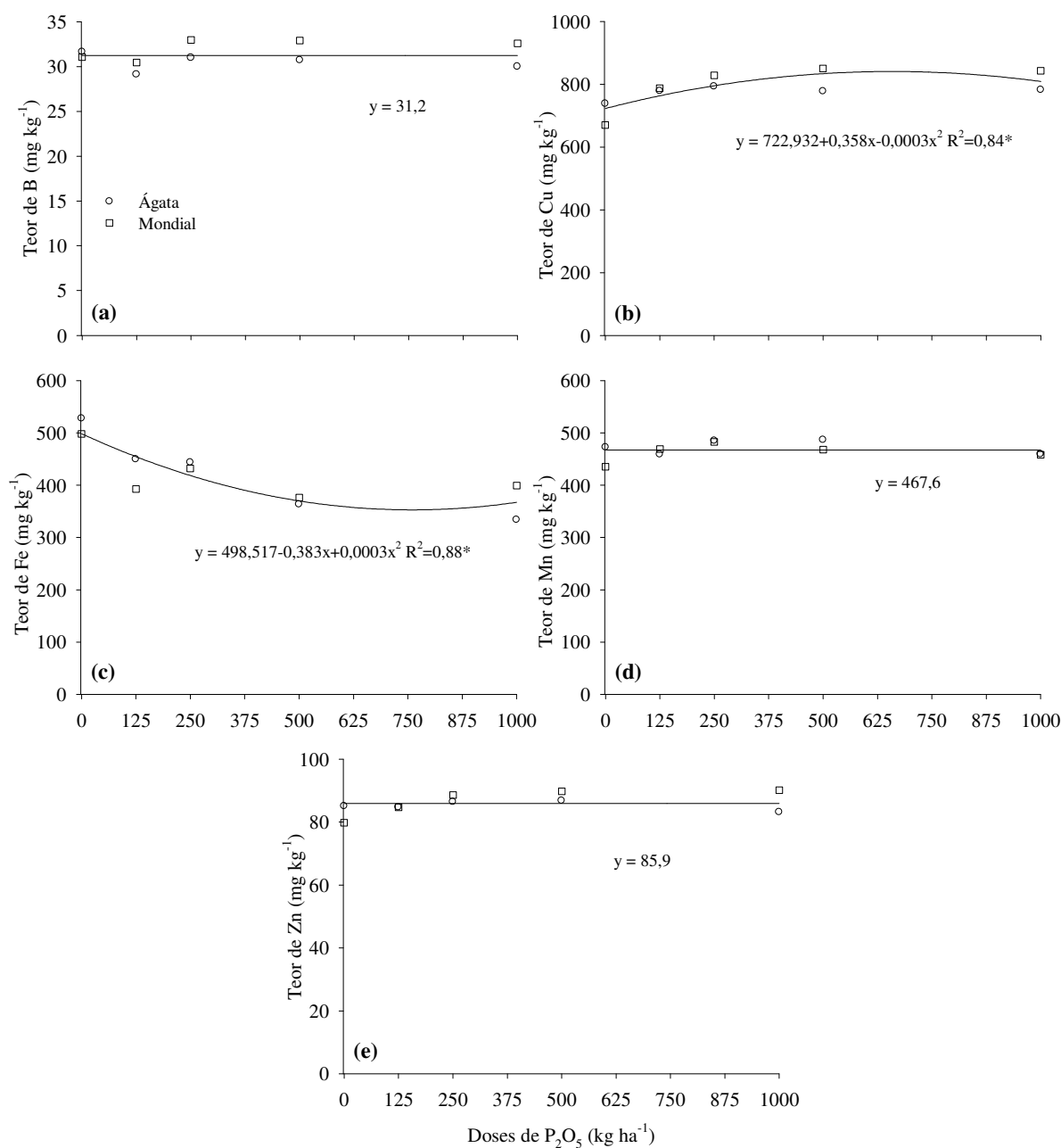


Figura 10. Teores de B (a), Cu (b), Fe (c), Mn (d) e Zn (e) na folha diagnose de cultivares de batata, cultivadas em solo com “baixo teor de P”, em resposta a aplicação de P, no ano de 2012. * $p < 0,05$ e ** $p < 0,01$ pelo teste F.

Os teores de Mn foram influenciados pelas cultivares e pelas doses de P em 2011, mas em 2012 os mesmos não foram afetados pelos fatores estudados e permaneceram ao redor de 467,6 mg kg⁻¹ (Tabelas 15 e 16 e Figuras 9d e 10d). Em 2011,

houve diferença nos teores foliares de Mn apenas entre a cultivar Markies, que apresentou os maiores teores e as cultivares Ágata e Atlantic, que obtiveram os menores teores. Neste ano, ou seja, em 2011 os teores de Mn na folha diagnose diminuíram com a adubação fosfatada até a dose estimada de 608 kg ha^{-1} de P_2O_5 , porém com tendência de pequeno aumento em doses superiores. Apesar da adubação ter reduzido os teores foliares de Mn no primeiro ano, os valores obtidos ainda permaneceram dentro da faixa considerada adequada para a batateira que é de 30 a 250 mg kg^{-1} (LORENZI et al., 1997; JONES JUNIOR, 1991), fato que não ocorreu no segundo ano, cujos teores ficaram acima desse intervalo. Os elevados teores de Mn no segundo ano devem-se à aplicação de fungicida contendo Mn (metalaxil-M+mancozebe) no dia anterior à coleta de folhas para realização da diagnose foliar, o que não ocorreu no primeiro ano, e refletiu em teores mais baixos, mas nos dois anos os teores de Mn no solo eram elevados (Tabelas 1, 2 e 7).

Os teores foliares de Zn foram afetados pelos fatores estudados e pela interação entre eles no primeiro ano, mas no segundo ano não sofreram influência dos tratamentos e ficaram em torno de $85,9 \text{ mg kg}^{-1}$ (Tabelas 15 e 16 e Figuras 9e e 10e). Em 2011, os teores de Zn na folha diagnose das cultivares Ágata e Asterix, não foram afetados pelas doses de P, porém os teores desse nutriente nas folhas da cultivar Asterix sempre foram maiores que os da cultivar Ágata, independente da adubação fosfatada. Na ausência da adubação, os teores de Zn nas folhas das cultivares Atlantic, Markies e Mondial foram superiores aos da cultivar Ágata, entretanto com o aumento das doses de P, os teores foliares desse nutriente, nessas cultivares diminuíram igualando-se aos da cultivar Ágata.

Apesar da adubação fosfatada ter diminuído os teores foliares de Zn, nas cultivares Atlantic, Markies e Mondial, no primeiro ano (Figura 9e), observa-se que em todas as cultivares, independente do ano de cultivo, os teores foliares de Zn ficaram acima da faixa considerada como adequada por Lorenzi et al. (1997) (20 a 60 mg kg^{-1}), porém dentro do intervalo de 45 a 250 mg kg^{-1} , proposto como adequado por Jones Junior (1991). Segundo Malavolta et al. (1997), quando o P é fornecido em altas doses, muitas vezes pode haver inibição não competitiva da absorção de Zn pelo P. O antagonismo entre o P e Zn também pode ocorrer, particularmente quando o teor de um dos elementos excede o nível crítico (ARAÚJO; MACHADO, 2006). Vale destacar que em 2011, com 13 e 6 dias antes (32 e 39 DAP) da coleta de folha diagnose, e em 2012 com 1 dia antes (51 DAP) da coleta, foram

realizadas aplicações de fungicidas contendo Zn (metiram em 2011 e metalaxil-M+mancozebe em 2012), além do fato que os teores de Zn no solo antes do plantio estavam entre médio e alto (Tabelas 1, 2 e 7). Assim, embora sejam utilizadas altas doses de fertilizantes fosfatados no cultivo da batateira, solos com maior disponibilidade de Zn, associados ao uso de fungicidas contendo Zn, podem minimizar o aparecimento de sintomas de deficiência desse micronutriente, já que foi observado que a utilização desses fungicidas proporciona aumento nos teores foliares de Zn e na produtividade de tubérculos da batateira (FONTES et al., 1999).

6.2.2 Quantidade de matéria seca acumulada e extração de P

Os fatores cultivar e dose de P afetaram a MS de raízes e da parte aérea da batateira em ambos os anos (Tabelas 17 e 18). Nos dois anos estudados os maiores acúmulos radiculares de MS ocorreram na cultivar Ágata, sendo que no primeiro ano acúmulos radiculares de MS nas cultivares Asterix, Atlantic, Markies e Mondial não diferiram. Em estudo realizado por Fernandes et al. (2010a) com essas mesmas cultivares, foi observado que a cultivar Ágata apresentou os menores acúmulos de MS radicular ao longo do ciclo, entretanto, na fase final do ciclo, ou seja, na mesma fase em que determinou-se a MS radicular neste estudo, os acúmulos radiculares de MS foram muito semelhantes entre as cultivares, concordando em parte com os resultados obtidos. O estudo realizado em casa de vegetação (Tabelas 8 e 9), assim como os resultados obtidos por Fernandes et al. (2010a), também demonstrou que a cultivar Ágata apresenta menor MS radicular que a maioria das demais cultivares. Assim, provavelmente, a cultivar Ágata apresente menor sistema radicular que as demais, mas que se mantém ativo por maior período de tempo, já que nos experimentos em área com baixo P, os acúmulos radiculares de MS avaliados próximo ao final do ciclo, demonstraram presença de maior sistema radicular nesta cultivar (Tabelas 17 e 18).

Tabela 17. Quantidade de matéria seca acumulada nas raízes, parte aérea, tubérculos e na planta inteira de cultivares de batata, cultivadas em solo com “baixo teor de P”, em resposta a aplicação de P, no ano de 2011.

Cultivar	Raízes	Parte aérea	Tubérculos	Planta inteira
	kg ha ⁻¹			
Ágata	14,3a	450b	2.724bc	3.188b
Asterix	6,3b	382b	2.944b	3.333b
Atlantic	7,0b	412b	2.495c	2.914b
Markies	6,8b	429b	2.721bc	3.157b
Mondial	7,7b	530a	4.048a	4.586a
Probabilidade	(P > F)			
Cultivar (C)	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Dose (D)	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Interação C x D	0,639	0,360	0,091	0,093
CV(%)	26,2	19,7	15,2	14,1

Médias seguidas de letras distintas na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Tabela 18. Quantidade de matéria seca acumulada nas raízes, parte aérea, tubérculos e na planta inteira de cultivares de batata, cultivadas em solo com “baixo teor de P”, em resposta a aplicação de P, no ano de 2012.

Cultivar	Raízes	Parte aérea	Tubérculos	Planta inteira
	kg ha ⁻¹			
Ágata	12,1a	482b	5443	5937
Mondial	10,4b	578a	6439	7027
Probabilidade	(P > F)			
Cultivar (C)	0,005	<0,001	<0,001	<0,001
Dose (D)	0,069	<0,001	<0,001	<0,001
Interação C x D	0,987	0,757	0,046	0,010
CV(%)	15,9	13,7	8,6	6,7

Médias seguidas de letras distintas na coluna diferem entre si pelo teste t (DMS) ($p < 0,05$).

A adubação fosfatada promoveu maior desenvolvimento do sistema radicular da batateira, já que a MS acumulada nas raízes aumentou até as doses estimadas de 591 e 581 kg ha⁻¹ de P₂O₅ em 2011 e 2012, respectivamente (Figuras 11a e 12a). Esses resultados estão relacionados à baixa disponibilidade inicial de P no solo (Tabela 1), que limitou o crescimento radicular da cultura nos tratamentos sem adição de fósforo. Em solos com baixa disponibilidade de P outros autores também observaram aumentos na MS radicular da batateira em resposta a adubação fosfatada (ALVAREZ-SÁNCHEZ et al., 1999;

ALVAREZ-SÁNCHEZ et al., 2001), com incrementos na quantidade de MS produzida de até 3,7 vezes superior a do tratamento sem aplicação de P (ALVAREZ-SÁNCHEZ et al., 2001).

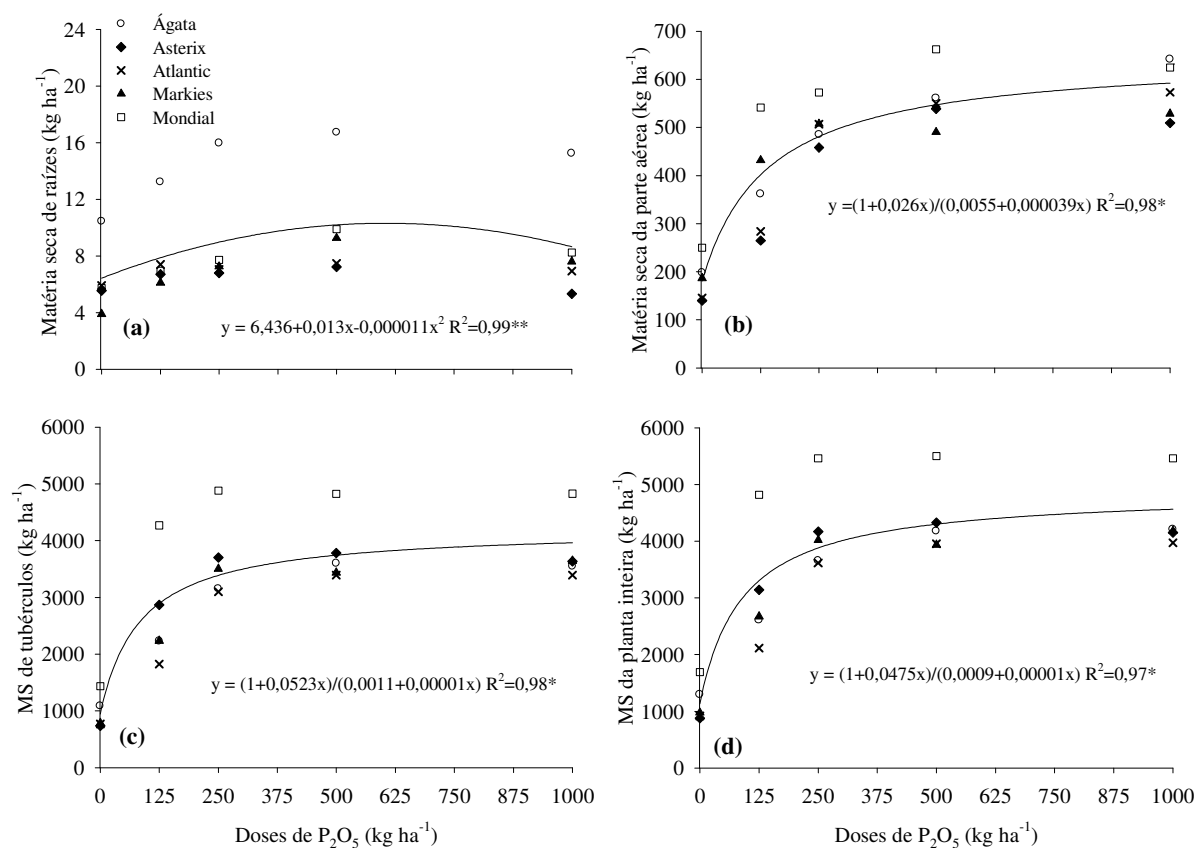


Figura 11. Quantidade de matéria seca acumulada nas raízes (a), parte aérea (b), tubérculos (c) e na planta inteira (d) de cultivares de batata, cultivadas em solo com “baixo teor de P”, em resposta a aplicação de P, no ano de 2011. * $p < 0,05$ e ** $p < 0,01$ pelo teste F.

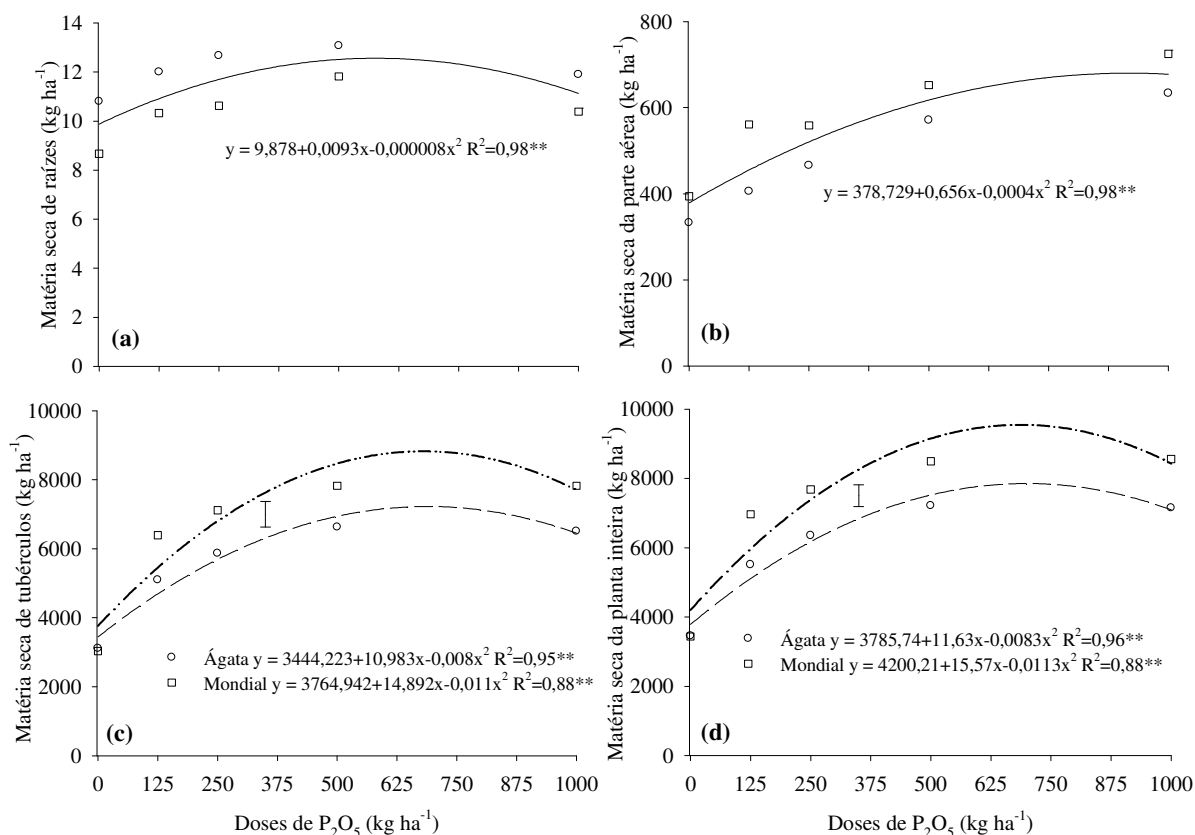


Figura 12. Quantidade de matéria seca acumulada nas raízes (a), parte aérea (b), tubérculos (c) e na planta inteira (d) de cultivares de batata, cultivadas em solo com “baixo teor de P”, em resposta a aplicação de P, no ano de 2012. * $p < 0,05$ e ** $p < 0,01$ pelo teste F. Barras verticais na área das figuras (c) e (d) indicam o valor de DMS pelo teste t (DMS) a 5% de probabilidade.

Os maiores acúmulos de MS na parte aérea ocorreram na cultivar Mondial em ambos os anos de cultivo, sendo que no primeiro ano, as demais cultivares apresentaram acúmulos semelhantes (Tabelas 17 e 18 e Figuras 11b e 12b). Nos dois anos houve efeito positivo da adubação fosfatada sobre o acúmulo de MS na parte aérea da batateira, com as quantidades acumuladas aumentando até próximo a maior dose estudada. No entanto, os incrementos nos acúmulos de MS na parte aérea da batateira foram pequenos com doses superiores a 500 kg ha⁻¹ de P_2O_5 . Alvarez-Sánchez et al. (1999), estudando em solo com baixa disponibilidade de P, obtiveram incrementos na MS da parte aérea da batateira até a dose de 229 kg ha⁻¹ de P_2O_5 .

Os acúmulos de MS nos tubérculos e na planta inteira foram afetados pelos fatores isolados em 2011, e pela interação cultivar x dose de P em 2012 (Tabelas 17 e 18). Em 2011, a cultivar Mondial apresentou os maiores acúmulos de MS nos tubérculos e na planta inteira, sendo que na planta inteira os acúmulos de MS não diferiram entre as demais cultivares, o que não ocorreu para os tubérculos (Tabela 17). Nos tubérculos, os acúmulos de MS diferiram apenas entre as cultivares Asterix (2.944 kg ha⁻¹) e Atlantic (2.495 kg ha⁻¹). Quanto à adubação, observa-se que no primeiro ano os acúmulos de MS nos tubérculos e na planta inteira aumentaram até a maior dose estudada, mas com menores incrementos nas doses superiores a 500 kg ha⁻¹ de P₂O₅ (Figuras 11c e 11d). Aumentos no acúmulo de MS de plantas de batata submetidas a doses crescentes de fertilizante fosfatado, também foram obtidos por outros autores em condições de campo (ALI; ANJUM, 2004; ALVAREZ-SÁNCHEZ et al., 1999) e casa de vegetação (BALEMI; SCHENK, 2009).

Em 2012, verificou-se que na ausência da adubação fosfatada, os acúmulos de MS nos tubérculos e na planta inteira foram menores e não diferiram entre as cultivares, mas em ambas as cultivares, os acúmulos de MS aumentaram em resposta a aplicação do fertilizante fosfatado, sendo que os maiores acúmulos ocorreram na cultivar Mondial (Figuras 12c e 12d). No segundo ano, os acúmulos de MS nos tubérculos e na planta inteira foram maiores que no primeiro ano e aumentaram, em média, até os 680 kg ha⁻¹ de P₂O₅, demonstrando que a geada que ocorreu em 2011 (61 DAP) comprometeu o acúmulo de MS pela batateira (Figuras 12c e 12d). Alvarez-Sánchez et al. (1999) obtiveram acúmulos máximos de MS nos tubérculos e na planta inteira da batateira cultivada em solo com baixa disponibilidade de P mediante a aplicação de 480 kg ha⁻¹ de P₂O₅, ou seja, com doses inferiores as observadas neste estudo.

Com relação à absorção de P, observa-se que os acúmulos radiculares sofreram efeito dos fatores isolados em 2011 e apenas do fator dose em 2012 (Tabelas 19 e 20). Em 2011, a cultivar Ágata apresentou os maiores acúmulos radiculares de P, as cultivares Asterix, Atlantic e Mondial os menores acúmulos radiculares, enquanto a cultivar Markies apresentou acúmulos intermediários (Tabela 19). Os maiores valores de acúmulo de P nas raízes da cultivar Ágata é reflexo do maior acúmulo de MS radicular (Figura 11a). De maneira geral, nos dois anos estudados, observa-se que a adubação fosfatada aumentou as quantidades de P acumuladas nas raízes da batateira até a dose estimada de 780 kg ha⁻¹ de P₂O₅.

Tabela 19. Quantidade de P acumulada nas raízes, parte aérea, tubérculos e na planta inteira de cultivares de batata, cultivadas em solo com “baixo teor de P”, em resposta a aplicação de P, no ano de 2011.

Cultivar	Raízes	Parte aérea	Tubérculos	Planta inteira
	kg ha ⁻¹			
Ágata	0,03a	1,0a	7,3bc	8,3bc
Asterix	0,01c	0,8a	7,3bc	8,1bc
Atlantic	0,01c	0,9a	6,1c	7,1c
Markies	0,02b	1,0a	7,6b	8,7ab
Mondial	0,01c	0,9a	8,8a	9,7a
Probabilidade	(P > F)			
Cultivar (C)	<0,001	0,189	<0,001	<0,001
Dose (D)	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Interação C x D	0,059	0,796	0,569	0,781
CV(%)	27,2	24,7	18,9	18,1

Médias seguidas de letras distintas na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Tabela 20. Quantidade de P acumulada nas raízes, parte aérea, tubérculos e na planta inteira de cultivares de batata, cultivadas em solo com “baixo teor de P”, em resposta a aplicação de P, no ano de 2012.

Cultivar	Raízes	Parte aérea	Tubérculos	Planta inteira
	kg ha ⁻¹			
Ágata	0,02a	0,7b	10,6a	11,4a
Mondial	0,01a	0,8a	10,7a	11,6a
Probabilidade	(P > F)			
Cultivar (C)	0,613	0,009	0,860	0,688
Dose (D)	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Interação C x D	0,091	0,956	0,661	0,645
CV(%)	20,3	17,7	12,5	11,5

Médias seguidas de letras distintas na coluna diferem entre si pelo teste t (DMS) ($p < 0,05$).

As quantidades de P acumuladas na parte aérea foram afetadas somente pelo fator dose em 2011 e por ambos os fatores em 2012 (Tabelas 19 e 20). Em 2012, a cultivar Mondial acumulou maiores quantidades de P na parte aérea que a cultivar Ágata, o que não ocorreu no ano anterior. Porém, nos dois anos de cultivo as quantidades de P acumuladas na parte aérea da batateira aumentaram até a maior dose avaliada, mas com incrementos menos expressivos nas doses superiores a 500 kg ha⁻¹ (Figuras 13b e 14b).

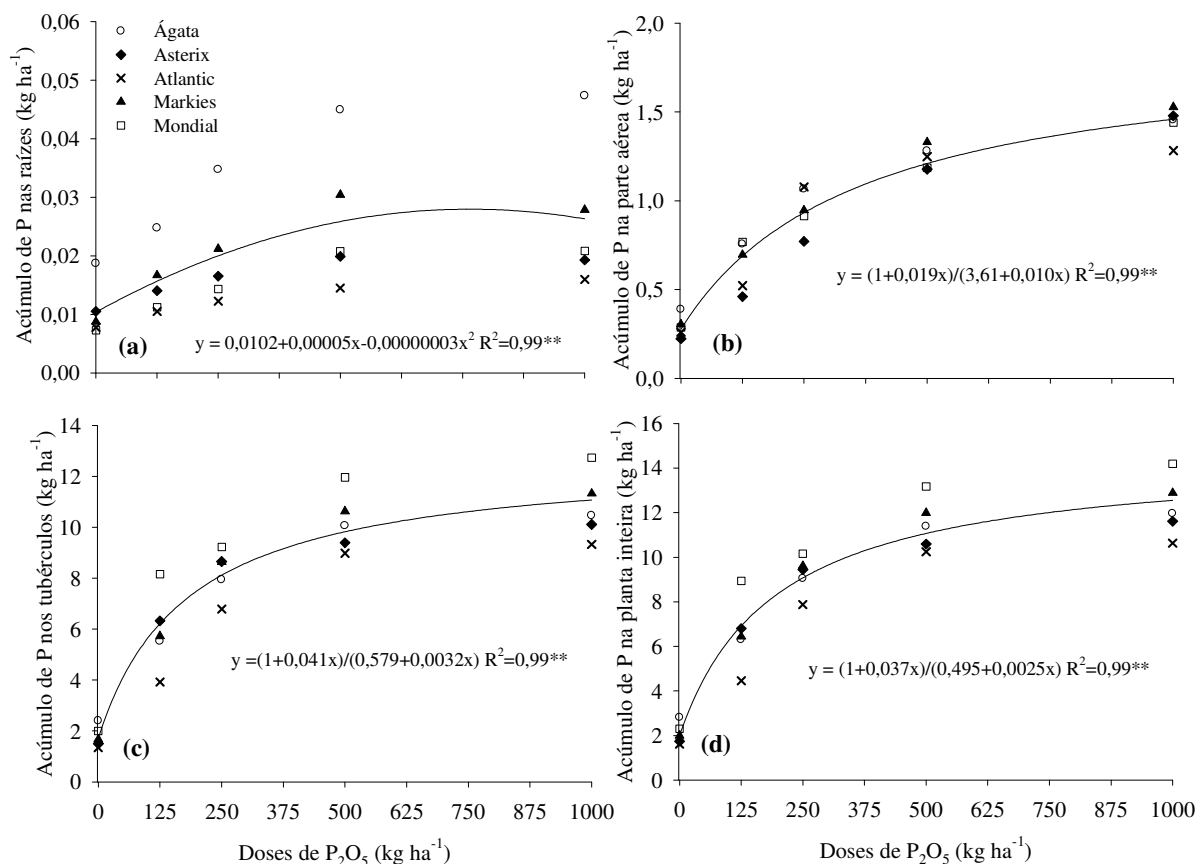


Figura 13. Quantidade de P acumulada nas raízes (a), parte aérea (b), tubérculos (c) e na planta inteira (d) de cultivares de batata, cultivadas em solo com “baixo teor de P”, em resposta a aplicação de P, no ao de 2011. * $p < 0,05$ e ** $p < 0,01$ pelo teste F.

Para o acúmulo de P nos tubérculos e na planta inteira houve efeito isolado dos fatores estudados no primeiro ano e apenas do fator dose no segundo ano (Tabelas 19 e 20 e Figuras 13c, 13d, 14c e 14d). No primeiro ano, a cultivar Mondial apresentou os maiores acúmulos de P nos tubérculos e na planta inteira, o que é resultado dos elevados acúmulos de MS (Figuras 11c e 11d). Os menores acúmulos de P tanto nos tubérculos como na planta inteira ocorreram na cultivar Atlantic e as demais cultivares apresentaram acúmulos intermediários.

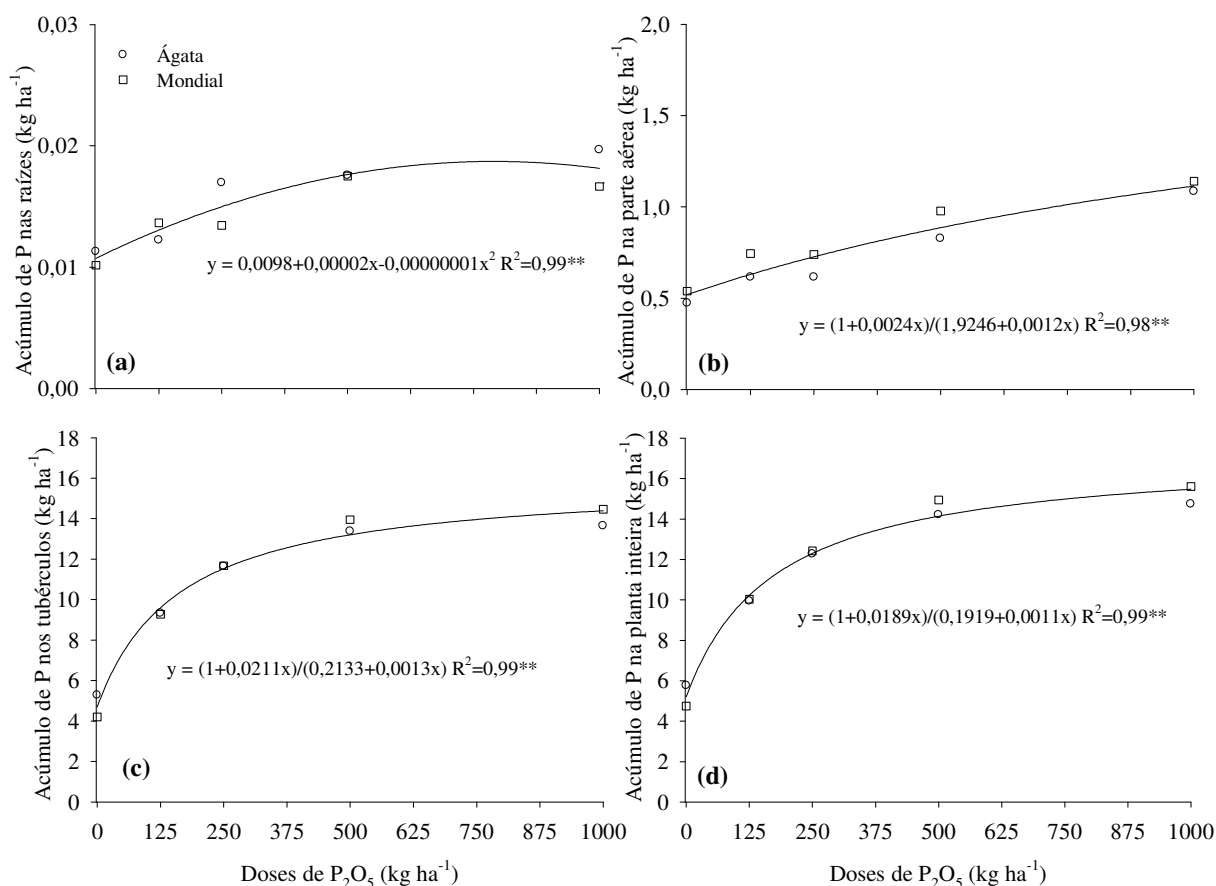


Figura 14. Quantidade de P acumulada nas raízes (a), parte aérea (b), tubérculos (c) e na planta inteira (d) de cultivares de batata, cultivadas em solo com “baixo teor de P”, em resposta a aplicação de P, no ano de 2012. * $p < 0,05$ e ** $p < 0,01$ pelo teste F.

Nos dois anos de cultivo, as quantidades de P acumuladas nos tubérculos e na planta inteira aumentaram com o incremento da adubação fosfatada atingindo os maiores acúmulos com a maior dose estudada (Figuras 13c, 13d, 14c e 14d). Ou seja, mesmo com a estabilização ou redução nas quantidades de MS acumulada nos tubérculos e planta inteira nas maiores doses de P, o acúmulo de P manteve-se crescente, ainda que em pequenas quantidades (Figuras 11c, 11d, 12c, 12d, 13c, 13d, 14c e 14d). Esses resultados indicam que, provavelmente, houve absorção desnecessária de P nas maiores doses estudadas, como também foi observado por Alvarez-Sánchez et al. (1999), em solo com menor disponibilidade de P. Esses autores observaram que o máximo acúmulo de MS nos tubérculos da batateira ocorreu com a aplicação de 206 a 229 kg ha⁻¹ de P₂O₅, enquanto a acumulação de P continuou aumentando em pequenas taxas com o aumento da adubação fosfatada. Foi

sugerido que naquelas condições, as exigências de P da batateira para a obtenção da máxima produtividade econômica foi satisfeita com a aplicação de 206 a 229 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e que a absorção ocorrida em doses maiores foi considerada desnecessária (ALVAREZ-SÁNCHEZ et al., 1999).

6.2.3 Número, produtividade total, produtividade classificada e produtividade relativa de tubérculos

O número total e comercial de tubérculos por planta sofreu influência dos fatores cultivares e doses de P, em ambos os anos de cultivo (Tabelas 21 e 22). Em 2011, as cultivares Ágata, Asterix e Mondial apresentaram os maiores números total e comercial de tubérculos por planta enquanto a cultivar Atlantic apresentou os menores números de tubérculos. No segundo ano, a cultivar Ágata superou a cultivar Mondial apresentando maior número total e comercial de tubérculos por planta. Resultados semelhantes foram observados por Fernandes et al. (2010a).

Nos dois anos de cultivo, a adubação fosfatada aumentou o número total e comercial de tubérculos por planta até a dose aproximada de 250 kg ha⁻¹ de P₂O₅, cujas doses superiores a esta não alteraram o número de tubérculos por planta (Figuras 15a, 15b, 16a, 16b). Ali et al. (2004), estudando a influência da adubação fosfatada no número e na produtividade de tubérculos da batateira, observaram que acima de 200 kg ha⁻¹ de P₂O₅ o número total de tubérculos (tubérculos m⁻²) não foi alterado significativamente pela adubação. Observa-se que, no primeiro ano, o incremento no número de tubérculos por planta foi mais expressivo, uma vez que este praticamente dobrou entre os tratamentos sem adubação fosfatada e os que receberam 250 kg ha⁻¹ de P₂O₅ (Figuras 15a, 15b). Esses resultados estão de acordo com os relatos de Jenkins e Ali (2000), de que a adubação fosfatada contribui para o desenvolvimento inicial da batateira, além de aumentar o número de tubérculos por planta.

Tabela 21. Número total de tubérculos, número de tubérculos comercializáveis e número de tubérculos das classes especial, primeira, segunda e miúda de cultivares de batata, cultivadas em solo com “baixo teor de P”, em resposta a aplicação de P, no ano de 2011.

Cultivar	Total	Comercial	Especial	Primeira	Segunda	Miúda
tubérculos por planta						
Ágata	6,8a	6,4a	2,1a	3,0a	1,3b	0,4ab
Asterix	6,7a	6,1ab	1,3b	2,9ab	1,8a	0,6a
Atlantic	4,5c	4,4c	2,1a	1,8c	0,4c	0,1c
Markies	5,8b	5,5b	1,1b	3,2a	1,1b	0,2bc
Mondial	6,1ab	5,8ab	2,4a	2,4bc	1,1b	0,3b
Probabilidade	$(P > F)$					
Cultivar (C)	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Dose (D)	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,072	<0,001
Interação C x D	0,805	0,871	0,278	0,059	0,576	0,262
CV(%)	17,5	17,3	27,0	27,2	45,7	80,6

Médias seguidas de letras distintas na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Tabela 22. Número total de tubérculos, número de tubérculos comercializáveis e número de tubérculos das classes especial, primeira, segunda e miúda de cultivares de batata, cultivadas em solo com “baixo teor de P”, em resposta a aplicação de P, no ano de 2012.

Cultivar	Total	Comercial	Especial	Primeira	Segunda	Miúda
tubérculos por planta						
Ágata	12,0a	12,0a	2,7a	6,4a	1,9a	1,1b
Mondial	9,6b	9,6b	2,9a	3,8b	1,4b	1,5a
Probabilidade	$(P > F)$					
Cultivar (C)	<0,001	<0,001	0,176	<0,001	<0,001	<0,001
Dose (D)	<0,001	<0,001	<0,001	0,024	0,064	<0,001
Interação C x D	0,911	0,911	0,683	0,910	0,215	0,186
CV(%)	9,6	9,6	21,1	18,4	20,8	21,9

Médias seguidas de letras distintas na coluna diferem entre si pelo teste t (DMS) ($p < 0,05$).

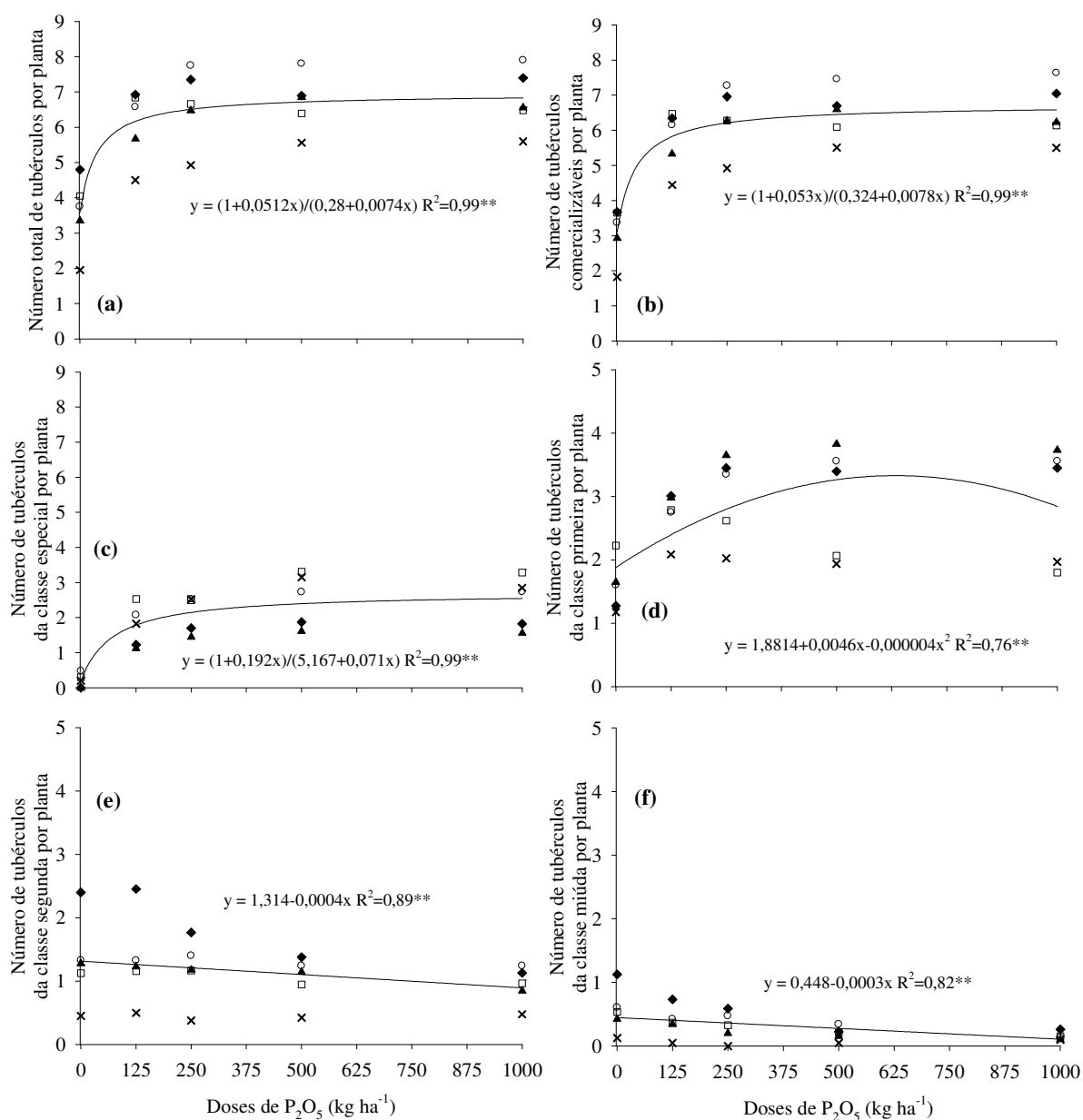


Figura 15. Número total de tubérculos (a), número de tubérculos comercializáveis (b) e número de tubérculos das classes especial (c), primeira (d), segunda (e) e miúda (f) de cultivares de batata, cultivadas em solo com “baixo teor de P”, em resposta a aplicação de P, no ano de 2011. * $p<0,05$ e ** $p<0,01$ pelo teste F.

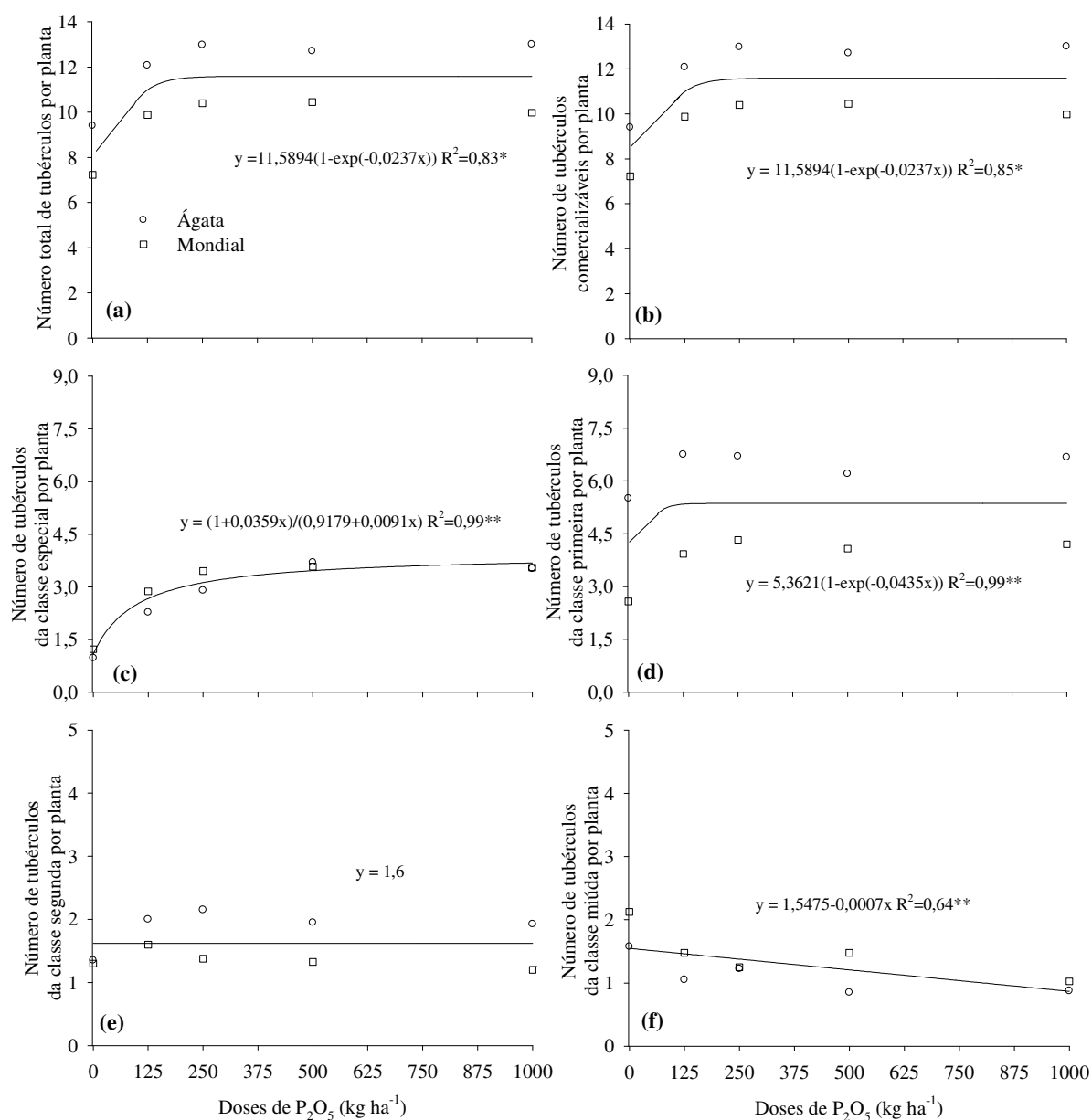


Figura 16. Número total de tubérculos (a), número de tubérculos comercializáveis (b) e número de tubérculos das classes especial (c), primeira (d), segunda (e) e miúda (f) de cultivares de batata, cultivadas em solo com “baixo teor de P”, em resposta a aplicação de P, no ano de 2012. * $p < 0,05$ e ** $p < 0,01$ pelo teste F.

O número de tubérculos da classe especial por planta foi afetado por ambos os fatores estudados em 2011, mas apenas pelo fator dose em 2012 (Tabelas 21 e 22 e Figuras 15c e 16c). Em 2011, os maiores números de tubérculos da classe especial foram

obtidos nas cultivares Ágata, Atlantic e Mondial, enquanto os menores números foram observados nas cultivares Asterix e Markies. Nos dois anos de cultivo a adubação fosfatada promoveu aumentos no número de tubérculos da classe especial, com valores mais expressivos até a dose de 500 kg ha⁻¹ de P₂O₅. A aplicação de doses maiores que esta praticamente não afetou o número de tubérculos da classe especial por planta. Aumentos no número de tubérculos da classe especial também foram obtidos por Feltran (2005) com o uso de doses crescentes da formulação NPK 8-28-16 em solo com teor médio de P. Porém, o número de tubérculos especiais por planta praticamente não se alterou com a aplicação de doses superiores a 1.000 kg ha⁻¹ dessa formulação, ou seja, 80 kg de N, 280 kg de P₂O₅ e 160 kg de K₂O.

Nos dois anos, o número de tubérculos da classe primeira sofreu influência apenas dos fatores isolados (Tabelas 21 e 22 e Figuras 15d e 16d). Em ambos os anos a cultivar Ágata apresentou os maiores números de tubérculos da classe primeira por planta, apesar de não ter diferido da cultivar Markies, em 2011 (Tabelas 21 e 22). No primeiro ano, Atlantic foi a cultivar que apresentou os menores números de tubérculos da classe primeira por planta, enquanto as cultivares Asterix e Mondial apresentaram números intermediários de tubérculos por planta (Tabela 21). Em 2011, a adubação fosfatada aumentou o número de tubérculos da classe primeira até a dose estimada de 580 kg ha⁻¹ de P₂O₅, mas em 2012 a aplicação de doses acima de 125 kg ha⁻¹ de P₂O₅, praticamente não afetou o número de tubérculos por planta dessa classe (Figuras 15d e 16d).

O número de tubérculos das classes segunda e miúda sofreu efeito isolado dos fatores estudados em 2011, mas em 2012 foi afetado apenas pelo fator cultivares (Tabelas 21 e 22). No primeiro ano, a cultivar Asterix apresentou os maiores números de tubérculos da classe segunda, e junto com a cultivar Ágata obtiveram os maiores números de tubérculos da classe miúda, enquanto os menores números de tubérculos de ambas as classes ocorreram na cultivar Atlantic. No segundo ano, a cultivar Ágata apresentou maior número de tubérculos da classe segunda e menor da classe miúda. Em 2011, a adubação fosfatada reduziu linearmente o número de tubérculos das classes segunda e miúda, mas em 2012 a adubação reduziu apenas o número de tubérculos miúdos sem alterar o número de tubérculos da classe segunda (Figuras 15e, 15f, 16e e 16f). A redução no número de tubérculos menores em resposta a adubação fosfatada se deu devido ao aumento no número de tubérculos de maior

tamanho (Figuras 15c e 16c), o que é uma característica comercialmente interessante, já que os tubérculos de maior tamanho possuem maior valor comercial.

As produtividades total e comercial sofreram efeito dos fatores isolados no primeiro ano e somente do fator dose no segundo ano (Tabelas 23 e 24). Em 2011, a cultivar Mondial apresentou as maiores produtividades total e comercial, as cultivares Ágata e Asterix apresentaram produtividades intermediárias e as cultivares Atlantic e Markies apresentaram as menores produtividades (Tabela 23). Essa maior produtividade da cultivar Mondial, no primeiro ano, deve-se a precocidade dessa cultivar de modo que na época em que ocorreu a geada (61 DAP) ela já havia atingido maiores níveis de produtividade, fato que não ocorreu no ano seguinte em que a mesma apresentou produtividade semelhante a da cultivar Ágata (Tabelas 23 e 24). Em ambos os anos, as produtividades total e comercial de tubérculos aumentaram com a adubação fosfatada até a dose de 500 kg ha⁻¹ de P₂O₅, sendo que doses superiores não afetaram significativamente a produtividade de tubérculos, como pode ser observado pelos valores de erro padrão das médias (Figuras 17a, 17b, 18a e 18b).

Nos dois anos de cultivo houve efeito apenas do fator dose sobre a produtividade relativa de tubérculos (Tabelas 23 e 24). Os aumentos na produtividade de tubérculos de todas as cultivares foram significativos até a dose de 500 kg ha⁻¹ de P₂O₅, quando as plantas atingiram a produtividade relativa máxima de 100% (Figuras 17a, 18a e 19).

Tabela 23. Produtividade total de tubérculos, produtividade comercial de tubérculos, produtividade classificada de tubérculos e produtividade relativa de tubérculos de cultivares de batata, cultivadas em solo com “baixo teor de P”, em resposta a aplicação de P, no ano de 2011.

Cultivar	Total	Comercial	Especial	Primeira	Segunda	Miúda	Relativa
	kg ha ⁻¹						%
Ágata	18.569b	18.474b	10.885	6.611	978	96	78a
Asterix	16.897b	16.714b	7.622	7.512	1.581	183	78a
Atlantic	12.776c	12.754c	8.774	3.676	304	22	74a
Markies	14.590c	14.530c	6.022	7.544	963	61	78a
Mondial	24.342a	24.255a	16.897	6.424	934	87	81a
Probabilidade	(P > F)						
Cultivar (C)	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,292
Dose (D)	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Interação C x D	0,099	0,099	<0,001	<0,001	0,005	<0,001	0,912
CV(%)	13,8	13,8	21,2	21,8	22,2	36,0	11,9

Médias seguidas de letras distintas na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Tabela 24. Produtividade total de tubérculos, produtividade comercial de tubérculos, produtividade classificada de tubérculos e produtividade relativa de tubérculos de cultivares de batata, cultivadas em solo com “baixo teor de P”, em resposta a aplicação de P, no ano de 2012.

Cultivar	Total	Comercial	Especial	Primeira	Segunda	Miúda	Relativa
	kg ha ⁻¹						%
Ágata	31.411a	31.160a	14.224b	15.216a	1.721a	251	84a
Mondial	32.605a	32.292a	18.281a	12.625b	1.386b	313	85a
Probabilidade	(P > F)						
Cultivar (C)	0,147	0,167	<0,001	<0,001	<0,001	0,001	0,563
Dose (D)	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,095	<0,001	<0,001
Interação C x D	0,167	0,153	0,333	0,710	0,495	0,012	0,242
CV(%)	7,9	7,9	13,2	13,8	17,4	18,9	8,1

Médias seguidas de letras distintas na coluna diferem entre si pelo teste t (DMS) ($p < 0,05$).

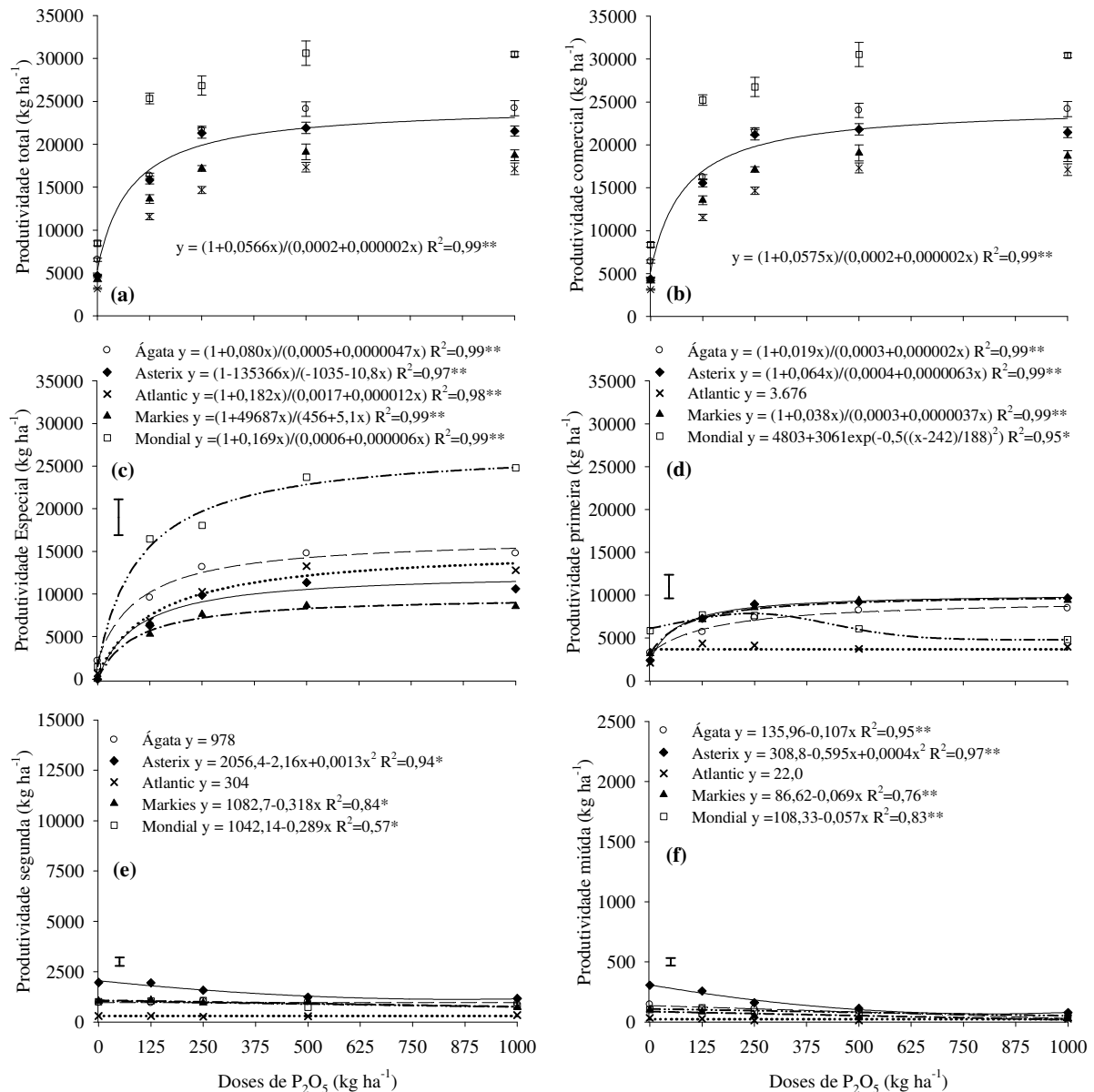


Figura 17. Produtividade total de tubérculos (a), produtividade de tubérculos comercializáveis (b) e produtividade de tubérculos das classes especial (c), primeira (d), segunda (e) e miúda (f) de cultivares de batata, cultivadas em solo com “baixo teor de P”, em resposta a aplicação de P, no ano de 2011. * $p < 0,05$ e ** $p < 0,01$ pelo teste F. Barras verticais nos pontos das figuras (a) e (b) representam o erro padrão das médias ($n=4$). Barras verticais na área das figuras (c), (d), (e) e (f) indicam o valor de DMS pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

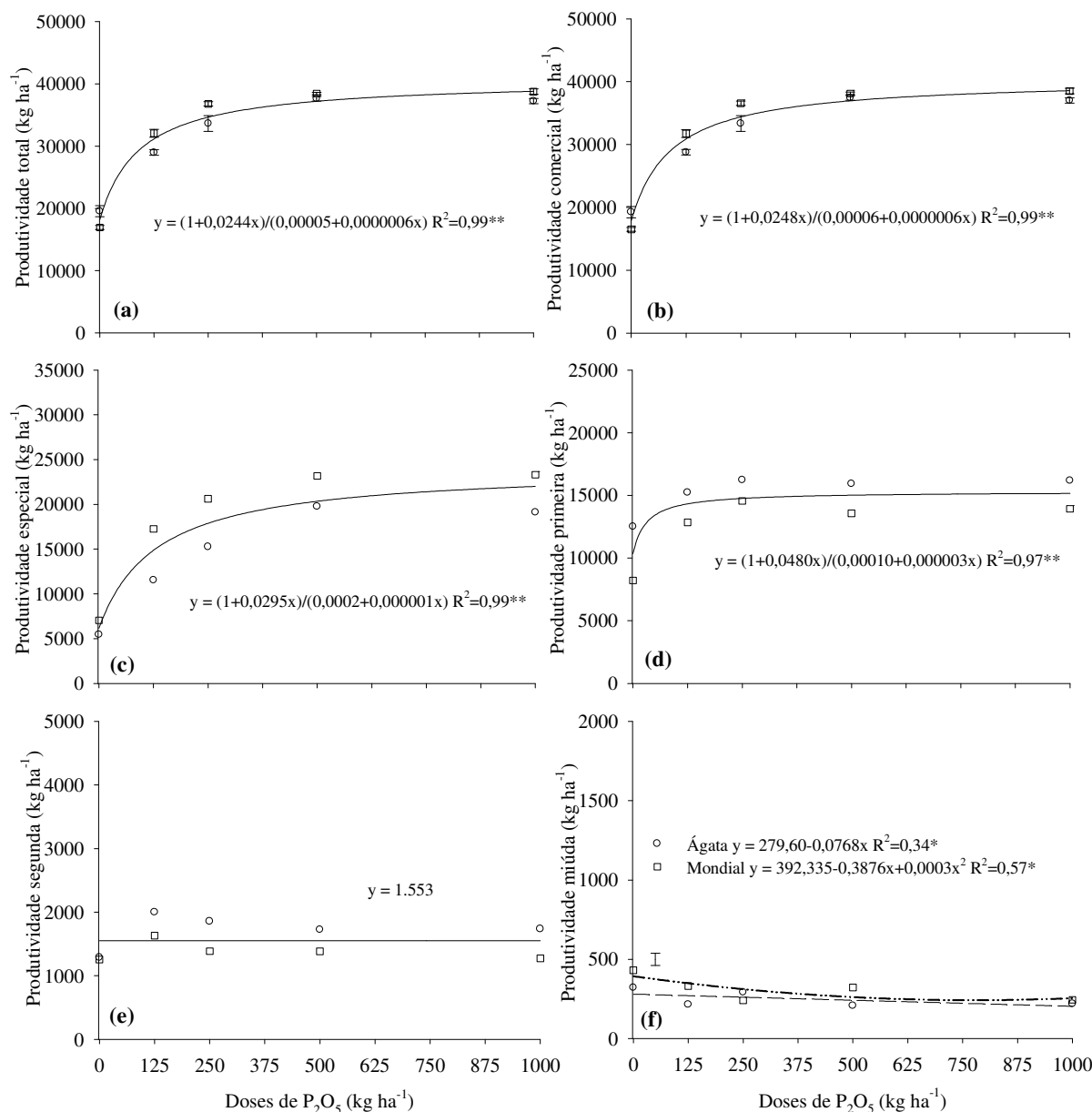


Figura 18. Produtividade total de tubérculos (a), produtividade de tubérculos comercializáveis (b), e produtividade de tubérculos das classes especial (c), primeira (d), segunda (e) e miúda (f) de cultivares de batata, cultivadas em solo com “baixo teor de P”, em resposta a aplicação de P, no ano de 2012. * $p < 0,05$ e ** $p < 0,01$ pelo teste F. Barras verticais nos pontos das figuras (a) e (b) representam o erro padrão das médias ($n=4$). Barra vertical na área da figura (f) indica o valor de DMS pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

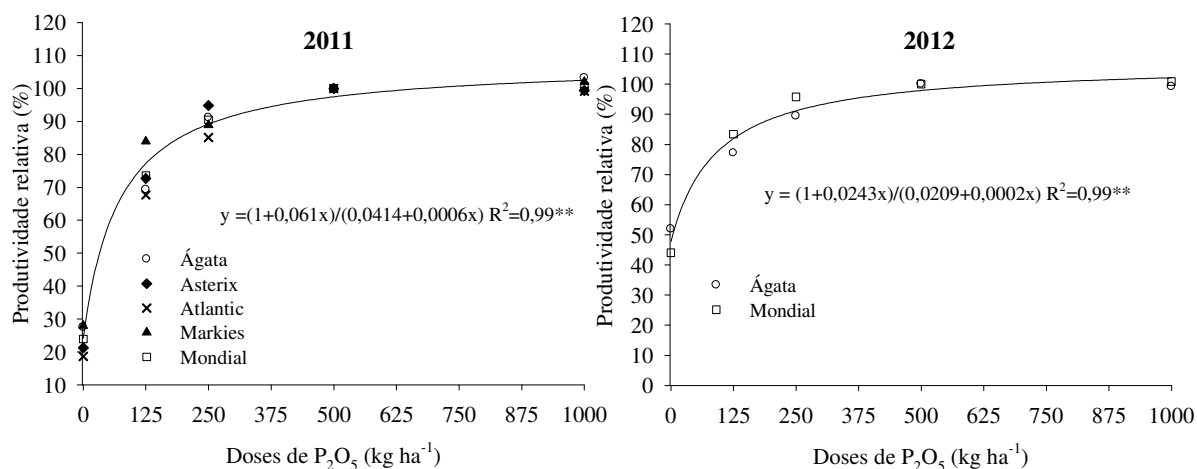


Figura 19. Produtividade relativa de tubérculos de cultivares de batata, cultivadas em solo com “baixo teor de P”, em resposta a aplicação de P, nos anos de 2011 e 2012. $**\ p<0,01$ pelo teste F.

A ausência da adubação fosfatada reduziu a produtividade total de tubérculos em 77% no primeiro ano e em 52% no segundo ano, quando em comparação com a produtividade máxima obtida com a dose de $500\ kg\ ha^{-1}$ de P_2O_5 (Figuras 17a, 18a e 19). Esses resultados demonstram que mesmo com a ocorrência de geada no primeiro ano (61 DAP) a batateira respondeu a adubação fosfatada, mas os incrementos de produtividade foram menores. Nava et al. (2007) também observaram em solo com baixos teores de P disponível que a ausência da adubação fosfatada reduziu drasticamente a produtividade de tubérculos, o que demonstra que em solos com baixos teores de P a adubação fosfatada é essencial para a obtenção de produtividades satisfatórias.

Aumentos na produtividade de tubérculos na cultura da batata com a aplicação de doses superiores as observadas no presente estudo já foram relatadas por outros autores. Peixoto et al. (1996), estudando o efeito da adubação NPK e com B na cultura da batata, observaram que com o aumento da dose de P, houve aumento linear na produtividade e no peso médio de tubérculos, sendo que a produtividade mais elevada foi obtida com a aplicação de $600\ kg\ ha^{-1}$ de P_2O_5 . Já Fontes et al. (1997) relatam que em solo com teor de $P_{(Mehlich\ 1)}$ de $2,87\ mg\ dm^{-3}$, considerado baixo (CFSEMG, 1999), foi necessária a aplicação de $991\ kg\ ha^{-1}$ de P_2O_5 para serem obtidas quantidades apropriadas de P disponível no solo que proporcionassem a máxima produtividade comercial de tubérculos. Pérez et al. (2001)

observaram, em solo com baixo teor de P (18 mg dm^{-3} de $P_{(\text{resina})}$), que houve estabilização na produtividade de tubérculos da batateira com a aplicação de doses próximas a 600 e 740 kg ha^{-1} de P_2O_5 . Nava et al. (2007) demonstraram que em solos com teores iniciais entre $2,8$ e $3,8 \text{ mg dm}^{-3}$ de $P_{(\text{Mehlich})}$, considerados baixos (CFS RS/SC, 1995), a cultura da batata para produção de tubérculos-semente obteve acréscimos na produtividade até a dose estimada de 920 kg ha^{-1} de P_2O_5 . Dessa forma, apesar de nos presentes experimentos os teores iniciais de P estarem baixos (Tabela 1), praticamente, não houve aumento de produtividade com doses acima de 500 kg ha^{-1} de P_2O_5 (Figuras 17a, 17b, 18a, 18b e 19).

A produtividade de tubérculos das classes especial e primeira foi afetada pela interação cultivar x dose em 2011, e pelos fatores isolados em 2012 (Tabelas 23 e 24). Na ausência da adubação fosfatada, a produtividade de tubérculos da classe especial no primeiro ano foi praticamente nula em todas as cultivares (Figuras 17c e 17d). A aplicação de doses crescentes de P aumentou intensamente a produtividade de tubérculos da classe especial de todas as cultivares até a maior dose estudada, cujas maiores produtividades ocorreram na cultivar Mondial e as menores na cultivar Markies. Em 2012, a cultivar Mondial também apresentou as maiores produtividades de tubérculos da classe especial, mas da mesma forma que a cultivar Ágata teve sua produtividade de tubérculos de tamanho especial aumentada até a dose de 1.000 kg ha^{-1} de P_2O_5 (Figuras 18c e 18d).

Em 2011, a cultivar Atlantic apresentou as menores produtividades de tubérculos da classe primeira, as quais não foram afetadas pelas doses de P (Tabela 23 e Figura 17d). A cultivar Mondial teve sua produtividade de tubérculos da classe primeira aumentada até a dose de 250 kg ha^{-1} , mas com diminuições nas quantidades produzidas em doses mais elevadas, proporcionando produtividade semelhante à da cultivar Atlantic. As cultivares Ágata, Asterix e Markies apresentaram incrementos na produtividade de tubérculos da classe primeira até a dose de 500 kg ha^{-1} , e estabilização em doses maiores, o que refletiu em produtividade superior àquela observada nas cultivares Atlantic e Mondial. No segundo ano, a cultivar Ágata foi mais produtiva que a cultivar Mondial no que se refere à classe primeira de tubérculos, sendo que ambas as cultivares apresentaram aumentos na produtividade apenas até a dose de 250 kg ha^{-1} de P_2O_5 , e estabilização em doses maiores (Tabela 24 e Figura 18d).

A produtividade de tubérculos da classe segunda foi afetada pela interação cultivar x dose em 2011 e apenas pelo fator cultivar em 2012 (Tabelas 23 e 24 e

Figuras 17e e 18e). Em 2012, a cultivar Ágata apresentou maior produtividade de tubérculos da classe segunda que a cultivar Mondial, sem haver influência da adubação fosfatada. Porém, no ano anterior (2011), verificou-se que nas menores doses de P a cultivar Asterix foi a mais produtiva; a cultivar Atlantic a menos produtiva, e as demais cultivares apresentaram produtividades intermediárias. Apesar da adubação fosfatada não ter afetado a produtividade de tubérculos da classe segunda das cultivares Ágata e Atlantic em 2011, ela reduziu a produtividade dessa classe de tubérculos, anulando as diferenças observadas entre cultivares nas menores doses de P.

Nos dois anos, a produtividade de tubérculos da classe miúda sofreu influência dos fatores estudados e da interação entre eles (Tabelas 23 e 24). Sob menores doses de fertilizante fosfatado, as maiores produtividades de tubérculos miúdos ocorreram na cultivar Asterix em 2011 e na cultivar Mondial em 2012 (Figuras 17f e 18f). Porém, o incremento na adubação fosfatada diminuiu mais acentuadamente a produtividade de tubérculos miúdos nessas cultivares, proporcionando produtividades similares àquelas das demais cultivares.

6.2.4 Porcentagem de MS, teor de P e exportação de P pelos tubérculos

A porcentagem de MS nos tubérculos sofreu influência da interação cultivar x dose no primeiro ano e dos fatores isolados no segundo ano (Tabelas 25 e 26 e Figuras 20a e 20b). Em 2011, a adubação fosfatada não alterou a porcentagem de MS nos tubérculos das cultivares Ágata e Markies, mas reduziu a porcentagem de MS de tubérculos das cultivares Atlantic e Mondial. A redução na porcentagem de MS dos tubérculos da cultivar Mondial com o aumento da adubação fosfatada proporcionou nas maiores doses, porcentagens de MS semelhantes às da cultivar Ágata. Na cultivar Asterix houve aumento linear na porcentagem de MS de tubérculos com a aplicação de doses crescentes de P. De maneira geral, principalmente, nas doses inferiores a 500 kg ha^{-1} de P_2O_5 , as maiores porcentagens de MS ocorreram nos tubérculos da cultivar Atlantic e as menores nos tubérculos da cultivar Ágata, com as demais cultivares apresentando porcentagens intermediárias de MS nos tubérculos. Outros autores também observaram maiores porcentagens de MS nos tubérculos da cultivar Atlantic (FERNANDES et al., 2010b; EVANGELISTA et al., 2011), o que é devido as

características genéticas desse material, ou seja, trata-se de uma cultivar adaptada para a indústria e que apresenta elevadas porcentagens de MS nos tubérculos.

Em 2012, a cultivar Mondial também apresentou maior porcentagem de MS nos tubérculos que a cultivar Ágata, sendo que nas duas cultivares as porcentagens de MS de tubérculos foram aumentadas até a dose estimada de 625 kg ha⁻¹ de P₂O₅ (Tabela 26 e Figura 20b).

Tabela 25. Porcentagem de MS, teor de P e exportação de P pelos tubérculos de cultivares de batata, cultivadas em solo com “baixo teor de P”, em resposta a aplicação de P, no ano de 2011.

Cultivar	Porcentagem de MS	Teor de P	Exportação de P
	%	g kg ⁻¹	kg ha ⁻¹
Ágata	14,5	2,2a	6,2b
Asterix	17,2	1,9b	6,2b
Atlantic	19,0	2,0ab	5,4b
Markies	17,5	2,3a	6,2b
Mondial	16,7	1,8b	8,0a
Probabilidade	(P > F)		
Cultivar (C)	<0,001	<0,001	<0,001
Dose (D)	0,004	<0,001	<0,001
Interação C x D	<0,001	0,917	0,469
CV(%)	4,6	14,6	18,6

Médias seguidas de letras distintas na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Tabela 26. Porcentagem de MS, teor de P e exportação de P pelos tubérculos de cultivares de batata, cultivadas em solo com “baixo teor de P”, em resposta a aplicação de P, no ano de 2012.

Cultivar	Porcentagem de MS	Teor de P	Exportação de P
	%	g kg ⁻¹	kg ha ⁻¹
Ágata	17,1b	1,9a	10,0a
Mondial	19,6a	1,5b	9,7a
Probabilidade	(P > F)		
Cultivar (C)	<0,001	<0,001	0,544
Dose (D)	<0,001	0,033	<0,001
Interação C x D	0,477	0,121	0,475
CV(%)	3,7	11,2	17,2

Médias seguidas de letras distintas na coluna diferem entre si pelo teste t (DMS) ($p < 0,05$).

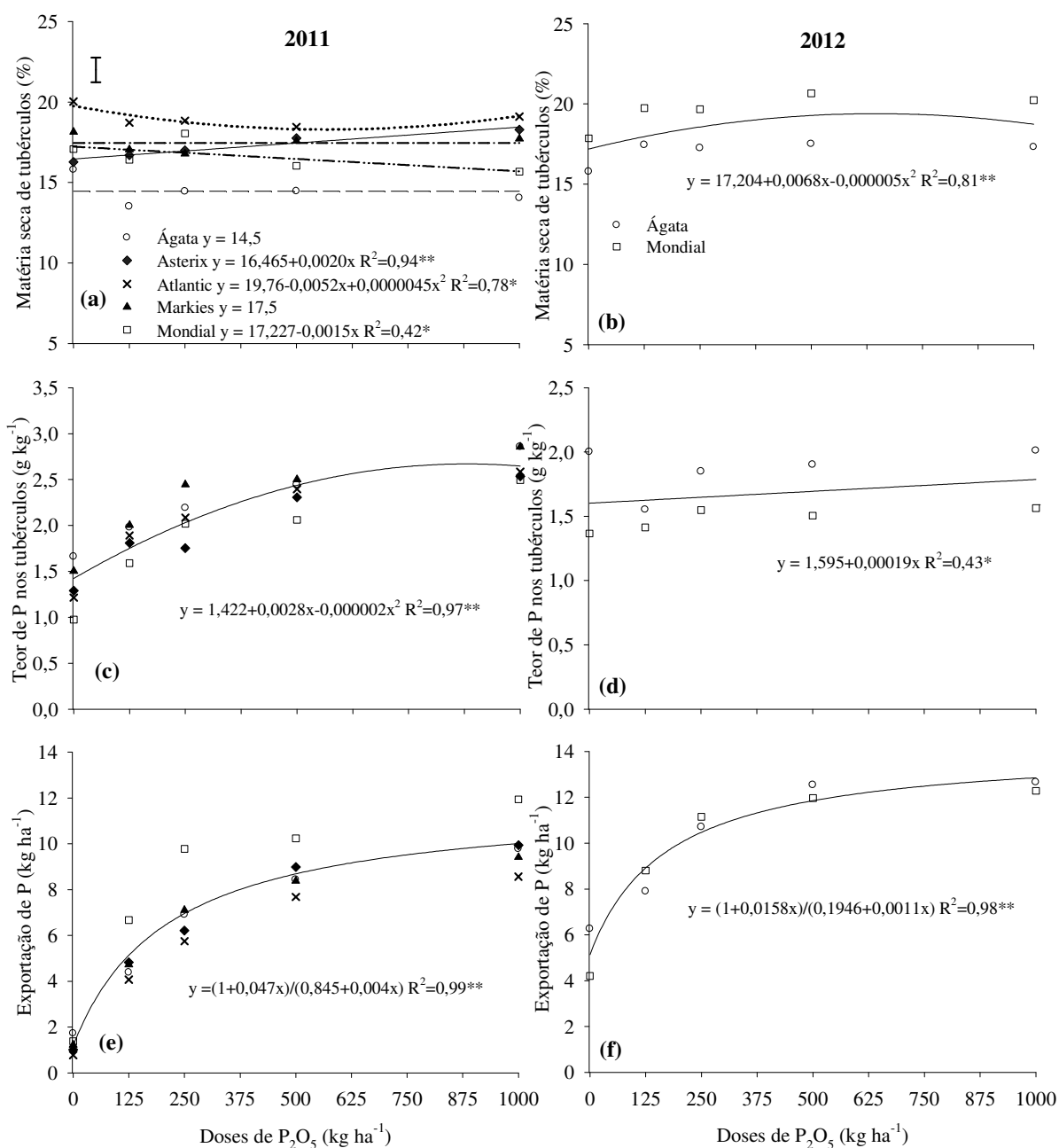


Figura 20. Porcentagem de MS, teor de P e exportação de P pelos tubérculos de cultivares de batata, cultivadas em solo com “baixo teor de P”, em resposta a aplicação de P, nos anos de 2011 e 2012. * $p < 0,05$ e ** $p < 0,01$ pelo teste F. Barra vertical na área da figura (a) indica o valor de DMS pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

Houve efeito isolado dos fatores estudados sobre os teores de P nos tubérculos da batateira nos dois anos estudados (Tabelas 25 e 26 e Figuras 20c e 20d). A

cultivar Markies no primeiro ano e a cultivar Ágata, em ambos os anos, apresentaram os maiores teores de P nos tubérculos. Em 2011, os menores teores de P ocorreram nos tubérculos das cultivares Asterix e Mondial, enquanto na cultivar Atlantic os teores foram intermediários. Nos dois anos, a adubação fosfatada aumentou os teores de P nos tubérculos da batateira, sendo que em 2011 os teores aumentaram até a dose estimada de 700 kg ha^{-1} de P_2O_5 e em 2012 até a maior dose estudada. Os teores máximos de P nos tubérculos obtidos com a adubação fosfatada foram em média de $2,7 \text{ g kg}^{-1}$ no primeiro ano e $1,8 \text{ g kg}^{-1}$ no segundo ano, ou seja, a maior produtividade em 2012, provavelmente, causou efeito de diluição nos teores de P. Fernandes et al. (2011) obtiveram para as mesmas cultivares em solo com alta disponibilidade de P, teores de P nos tubérculos variando de 2,3 a $2,7 \text{ g kg}^{-1}$, ou seja, semelhantes aqueles obtidos no primeiro deste experimento.

A exportação de P foi afetada por ambos os fatores estudados em 2011, mas apenas pelo fator dose em 2012 (Tabelas 25 e 26). Em 2011, a cultivar Mondial exportou quantidades de P superiores as observadas em todas as demais cultivares, as quais não diferiram entre si. A maior exportação de P na cultivar Mondial em 2011, é reflexo de sua elevada produtividade de tubérculos, a qual compensou as porcentagens médias de MS e os baixos teores de P nos tubérculos, fato que não ocorreu em 2012 em que a produtividade não diferiu da cultivar Ágata (Figuras 17, 18 e 20). Nos dois anos de cultivo a exportação de P aumentou até a maior dose de P estudada, atingindo valores médios de exportação de P entre 10 a 13 kg ha^{-1} , ou seja, semelhante aos observados por outros autores (Figuras 20e e 20f). Fernandes et al. (2011) verificaram para as mesmas cultivares usadas neste estudo que a exportação de P pela cultura variou de 10 a 15 kg ha^{-1} , dependendo da cultivar. Contudo, Fernandes e Soratto (2012a), após analisar vários trabalhos sobre absorção de nutrientes pela batateira constataram que, na média geral, as quantidades de P exportadas pela cultura ficaram ao redor de 12 kg ha^{-1} .

Apesar da exportação de P ter aumento até a maior dose estudada, nota-se que com doses acima de 500 kg ha^{-1} de P_2O_5 houve apenas pequenos incrementos nas quantidades exportadas, as quais não ultrapassaram $1,0 \text{ kg ha}^{-1}$ de P, ou seja, a dose aplicada dobrou, mas a exportação praticamente não foi alterada (Figuras 20e e 20f). Esses pequenos incrementos nas quantidades exportadas com doses superiores a 500 kg ha^{-1} de P_2O_5 é reflexo

do aumento nos teores de P dos tubérculos, já que a produtividade de tubérculos praticamente se estabilizou a partir dessa dose (Figuras 17, 18 e 20).

6.2.5 Teores de P residual no solo, teor crítico de P no solo, porcentagem de recuperação e eficiência de uso do P aplicado

Os teores de P disponível no solo após a colheita da batata sofreram influência apenas do fator dose, em ambos os anos de cultivo (Tabela 27). Nos dois anos, a disponibilidade de P no solo aumentou linearmente com o incremento das doses de P, atingindo teores próximos a 150 mg dm^{-3} na maior dose utilizada (Figuras 21a e 21b).

Tabela 27. Teores de P residual no solo após a colheita da batata (P_{resina}), porcentagem de recuperação do P aplicado (RPA) e eficiência de uso do P aplicado (EU), por cultivares de batata, cultivadas em solo com “baixo teor de P”, em resposta a aplicação de P, nos anos de 2011 e 2012.

Cultivar	P_{resina}		RPA ⁽¹⁾		EU ⁽²⁾	
	2011	2012	2011	2012	2011	2012
	mg dm^{-3}		%		kg kg^{-1}	
Ágata	70a	72a	4,5	4,9b	48	46
Asterix	79a	-	5,7	-	51	-
Atlantic	72a	-	4,2	-	39	-
Markies	73a	-	5,6	-	42	-
Mondial	70a	71a	6,8	6,0a	69	66
Probabilidade	$(P > F)$					
Cultivar (C)	0,391	0,948	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Dose (D)	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Interação C x D	0,999	0,977	<0,001	0,102	<0,001	<0,001
CV(%)	21,7	23,3	19,9	13,5	12,1	12,2

Médias seguidas de letras distintas na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$) em 2011 e pelo teste t (DMS) ($p < 0,05$) em 2012. ⁽¹⁾ [(Conteúdo de P na planta fertilizada – conteúdo de P na testemunha)/quantidade de P aplicada via fertilizante] x 100; ⁽²⁾ (Produtividade de tubérculos por tratamento – produtividade de tubérculos na testemunha)/quantidade de P_2O_5 aplicada em cada tratamento.

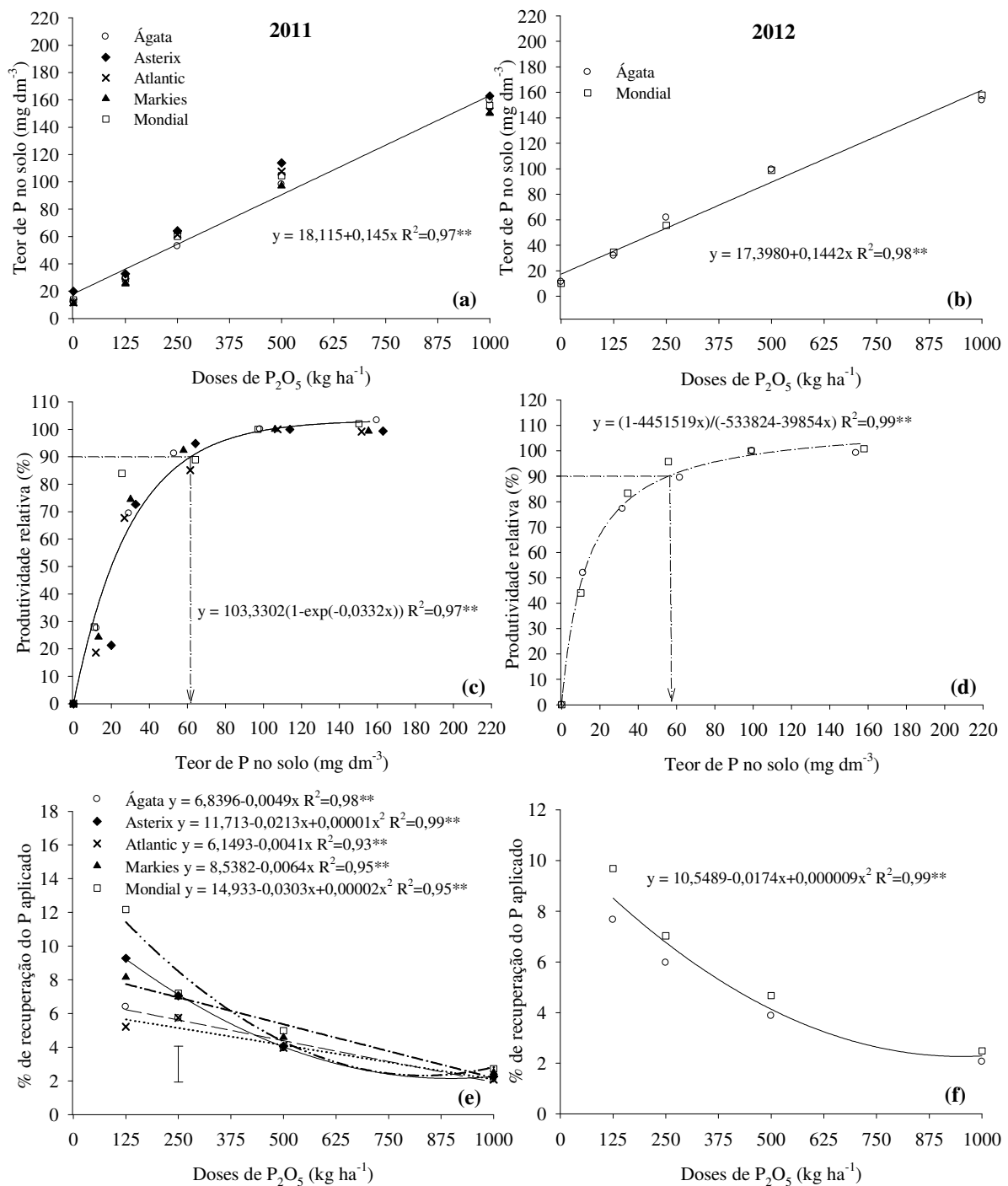


Figura 21. Teores de P residual no solo após a colheita (a = 2011, b = 2012), teor crítico de P no solo (c = 2011, d = 2012) e porcentagem de recuperação do P aplicado (e = 2011, f = 2012) por cultivares de batata, cultivadas em solo com “baixo teor de P”, em resposta a aplicação de P, nos anos de 2011 e 2012. * $p < 0,05$ e ** $p < 0,01$ pelo teste F. Barra vertical na área da figura (e) indica o valor de DMS pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

Feltran (2005), avaliando a resposta da batateira a adubação com o fertilizante NPK 8-28-16 em solo com teor inicial médio de $P_{(resina)}$ (46 mg dm^{-3}), observou que os teores de P do solo atingiram, aos 30 dias após a colheita da batata, valores da ordem de 203 mg dm^{-3} com a aplicação da dose estimada de 3.400 kg ha^{-1} , ou seja, com o fornecimento de 952 kg ha^{-1} de P_2O_5 . Porém, em solo com teor inicial de 60 mg dm^{-3} de $P_{(resina)}$, esse autor observou aumento linear nos teores de P com o incremento da adubação, atingindo valores próximos a 150 mg dm^{-3} com a maior dose do fertilizante NPK 8-28-16, ou seja, com a aplicação de 1.120 kg ha^{-1} de P_2O_5 . Apesar do aumento na disponibilidade de P em resposta a adubação variar com as características de cada solo, observa-se que os resultados obtidos no presente estudo se assemelham em parte aos obtidos por Feltran (2005).

O teor crítico de P nas áreas com baixa disponibilidade de P no solo foi de 62 mg dm^{-3} de P em 2011 e 58 mg dm^{-3} de P em 2012 (Figura 21c e 21d). O teor crítico de P no solo representa o limite superior entre a classe de teores médios e a classe de teores altos (RAIJ et al., 1997), ou seja, acima do teor crítico considera-se que a disponibilidade de P no solo seja alta. No Brasil, costuma-se utilizar o valor de 90% da produtividade relativa máxima como referência para a dose de máxima eficiência econômica, estabelecendo-se nesse ponto o teor crítico do nutriente (MIELNICZUK et al., 1969; RAIJ et al., 1997, SCHLINDWEIN, 2003, COMISSÃO, 2004). Assim, os resultados obtidos ficaram próximos do que é proposto para a cultura da batata pelo método de extração de P utilizando a resina de troca iônica, ou seja, para as condições do estado de São Paulo, em que o nível crítico de P no solo é de 60 mg dm^{-3} .

A porcentagem de recuperação do P aplicado foi afetada pela interação cultivar x dose no primeiro ano e pelos fatores isolados no segundo ano (Tabela 27 e Figuras 21e e 21f). Em 2011, com a aplicação de 125 kg ha^{-1} de P_2O_5 a cultivar Mondial foi mais eficiente em recuperar o P aplicado via adubação, enquanto as cultivares Ágata e Atlantic foram menos eficientes, sendo que as cultivares Asterix e Markies apresentaram eficiência intermediária. Como nas maiores doses de P a disponibilidade de P no solo aumentou linearmente, a porcentagem de recuperação do P aplicado diminuiu, anulando as diferenças entre as cultivares (Figura 21). Em 2012, a porcentagem de recuperação do P aplicado pela cultivar Mondial foi maior que na cultivar Ágata, mas semelhante ao observado no ano anterior, ambas as cultivares reduziram a porcentagem de recuperação do P aplicado com o

aumento da adubação fosfatada (Figura 21). A redução na porcentagem de recuperação do P aplicado com o incremento da adubação era de se esperar já que a absorção de P pela cultura não aumenta na mesma proporção que a adubação foi incrementada.

Houve interação dos fatores estudados sobre a eficiência de uso do P aplicado via adubação, nos dois anos estudados (Tabela 27). Nas menores doses de P a eficiência de uso do P pela a cultivar Mondial foi muito superior à obtida nas demais cultivares, nos dois anos de cultivo (Figuras 22a e 22b). Em ambos os anos, observou-se que com a aplicação de 125 kg ha⁻¹ de P₂O₅ a cultivar Mondial produziu entre 120 e 140 kg de tubérculos por kg de P₂O₅ aplicado, enquanto nas demais cultivares esses valores ficaram em torno de 80 kg de tubérculos por kg de P₂O₅ aplicado. Em 2011, todas as demais cultivares apresentaram eficiência de uso de P muito semelhantes, exceto para a cultivar Asterix que foi um pouco mais eficiente no uso do P que a cultivar Atlantic, quando submetidas a doses inferiores a 500 kg ha⁻¹ de P₂O₅. Porém, com o incremento da adubação fosfatada a eficiência de uso do P aplicado diminuiu em todas as cultivares estudadas, por causa do aumento linear na disponibilidade de P no solo e da estabilização da produtividade e da absorção de P nas doses superiores de 500 kg ha⁻¹ de P₂O₅ (Figuras 13d, 14d, 17a, 18a, 21a, 21b, 22a e 22b).

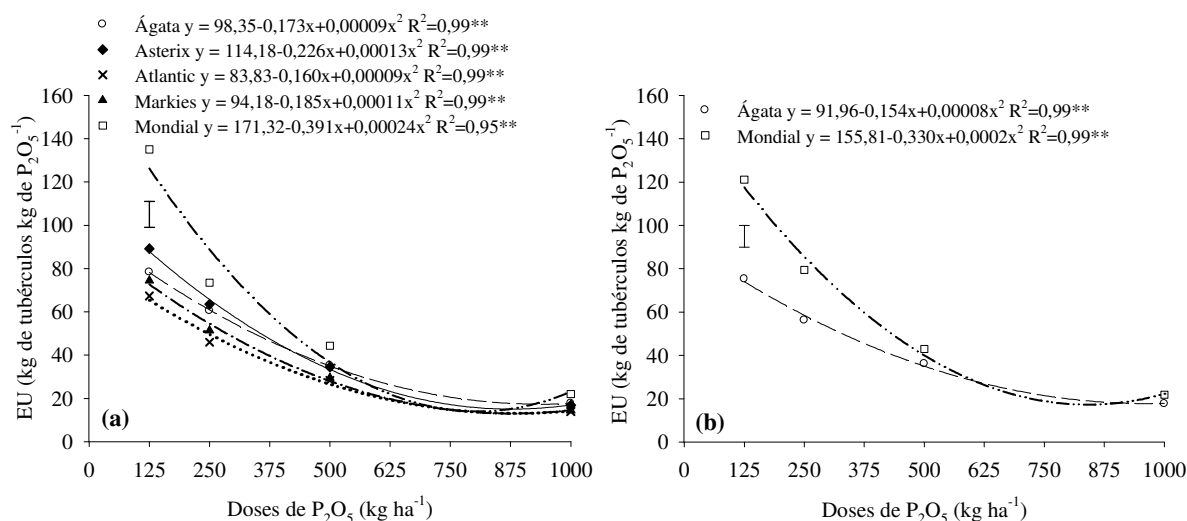


Figura 22. Eficiência de uso do P aplicado por cultivares de batata, cultivadas em solo com “baixo teor de P”, em resposta a aplicação de P, nos anos de 2011 (a) e 2012 (b). * $p < 0,05$ e ** $p < 0,01$ pelo teste F. Barras verticais indicam o valor de DMS pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

6.3 Experimento em área com médio teor de P no solo (36 mg dm^{-3})

6.3.1 Diagnose foliar

Os teores de N e P sofreram efeito isolado dos fatores cultivar e adubação (Tabela 28). Os menores teores de N e P foram observados nas folhas da cultivar Asterix, os maiores teores de N ocorreram nas folhas das cultivares Ágata e Markies e os maiores teores de P nas folhas da cultivar Ágata. As cultivares Atlantic e Mondial apresentaram teores intermediários de N, enquanto as cultivares Atlantic, Markies e Mondial obtiveram teores intermediários de P.

Tabela 28. Teores de N, P, K, Ca, Mg e S na folha diagnose de cultivares de batata, cultivadas em solo com “médio teor de P”, em resposta a aplicação de P.

Cultivar	N	P	K	Ca	Mg	S
	g kg ⁻¹					
Ágata	56,7a	4,7a	65,8ab	14,2c	5,7c	3,0a
Asterix	52,8b	3,6c	61,1b	17,2b	6,4b	3,3a
Atlantic	55,2ab	3,9bc	63,4ab	17,5b	7,3a	3,3a
Markies	55,6a	3,8bc	62,8ab	22,3a	7,5a	3,2a
Mondial	55,0ab	4,1b	66,9a	13,2c	6,9ab	3,3a
Probabilidade	(P > F)					
Cultivar (C)	0,003	<0,001	0,020	<0,001	<0,001	0,190
Dose (D)	<0,001	<0,001	0,166	0,027	0,862	0,484
Interação C x D	0,672	0,745	0,677	0,338	0,890	0,901
CV(%)	5,5	11,6	9,3	9,8	12,5	13,8

Médias seguidas de letras distintas na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

A adubação fosfatada promoveu pequenos incrementos nos teores foliares de N até a dose estimada de 667 kg ha^{-1} de P_2O_5 , mas os teores foliares de P aumentaram intensamente até a dose estimada de 833 kg ha^{-1} de P_2O_5 (Figuras 23a e 23b). Em todas as cultivares os teores foliares de N ficaram acima da faixa considerada adequada para a batateira ($40\text{-}50 \text{ g kg}^{-1}$), por Lorenzi et al. (1997), mas dentro do intervalo de 45 a 60 g kg^{-1} , proposto como adequado por Jones Junior (1991). Os teores de P, observados em todas as cultivares enquadraram-se dentro da faixa de teores considerada adequada por Lorenzi et al. (1997) ($2,5$ a $5,0 \text{ g kg}^{-1}$) e Jones Junior (1991) ($2,9$ a $5,0 \text{ g kg}^{-1}$), inclusive nos tratamentos que não receberam adubação fosfatada (Figura 23b), o que demonstra que o P já disponível no solo

(Tabela 1) foi suficiente para nutrir as plantas de batata, fato não observado nos experimentos em áreas com baixo teor de P disponível (Figuras 7b e 8b).

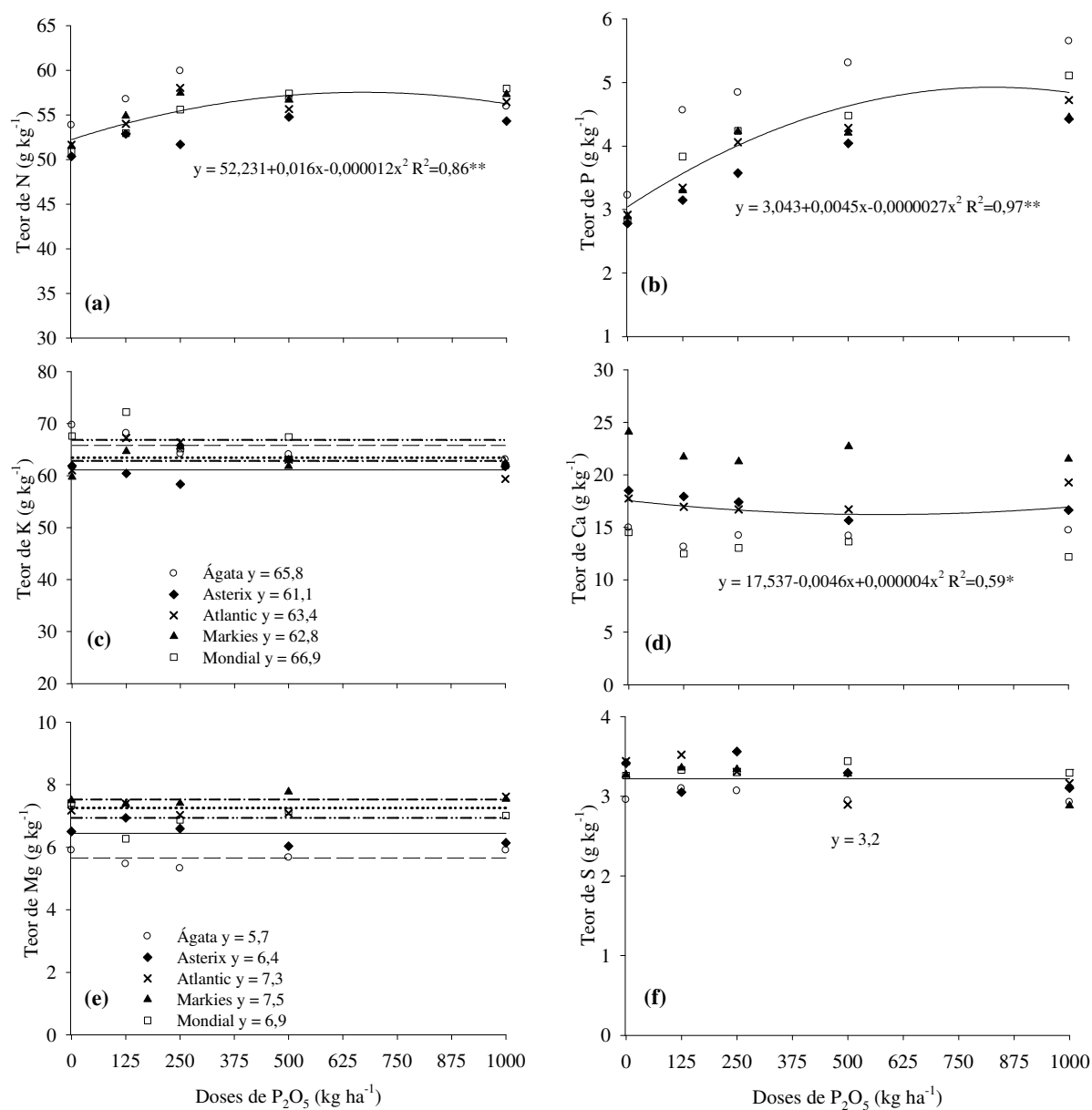


Figura 23. Teores de N (a), P (b), K (c), Ca (d), Mg (e) e S (f) na folha diagnose de cultivares de batata, cultivadas em solo com “médio teor de P”, em resposta a aplicação de P. * $p < 0,05$ e ** $p < 0,01$ pelo teste F.

Os teores de K na folha diagnose foram influenciados apenas pelo fator cultivar, sendo observada diferença significativa apenas entre a cultivar Mondial (66,9 g kg⁻¹) e a cultivar Asterix (61,1 g kg⁻¹) (Tabela 28 e Figura 23c). Nas cultivares Ágata e Mondial os teores foliares de K ficaram acima do intervalo proposto como adequado por Lorenzi et al. (1997) (40 a 65 g kg⁻¹), porém nas demais cultivares os teores foliares desse nutriente enquadraram-se dentro do intervalo proposto por estes autores. No entanto, todas as cultivares apresentaram teores foliares de K inferiores ao intervalo de 93 a 115 g kg⁻¹ considerado como adequado por Jones Júnior (1991).

Houve efeito isolado dos fatores cultivar e dose de P sobre o teor de Ca na folha diagnose (Tabela 28). Os maiores teores foliares de Ca foram observados nas folhas da cultivar Markies e os menores teores nas folhas das cultivares Ágata e Mondial, enquanto nas demais cultivares os teores foram intermediários. A aplicação de doses crescentes de P proporcionou pequena redução nos teores foliares desse nutriente até a dose estimada de 563 kg ha⁻¹ de P₂O₅ (Figura 23d). Apenas a cultivar Markies apresentou teores foliares de Ca superiores ao intervalo considerado adequado por Lorenzi et al. (1997), que é de 10 a 20 g kg⁻¹, enquanto nas demais cultivares os teores foliares ficaram dentro desse intervalo. Porém, todas as cultivares apresentaram teores foliares de Ca superiores ao intervalo considerado adequado por Jones Júnior (1991) que é de 7,6 a 10 g kg⁻¹.

Os teores foliares de Mg sofreram influência apenas do fator cultivar, enquanto os teores foliares de S não foram afetados pelos fatores estudados, mas permaneceram dentro do intervalo considerado adequado para a cultura por Lorenzi et al. (1997) que é de 2,5 a 5,0 g kg⁻¹ (Tabela 28 e Figura 23e). Os maiores teores foliares de Mg ocorreram nas folhas das cultivares Atlantic e Markies, os menores teores nas folhas da cultivar Ágata, enquanto nas demais cultivares os teores foram intermediários. Todas as cultivares apresentaram teores foliares de Mg acima da faixa considerada adequada por Lorenzi et al. (1997) (3,0 a 5,0 g kg⁻¹), mas abaixo do intervalo proposto como adequado por Jones Júnior (1991) (10 a 12 g kg⁻¹).

Com relação aos micronutrientes, observa-se que os teores foliares de B não foram influenciados pelos fatores estudados, mas permaneceram ao redor de 26 mg kg⁻¹, ou seja, dentro da faixa considerada como adequada por Lorenzi et al., (1997) que é de 25 a 50 mg kg⁻¹ (Tabela 29 e Figuras 24a). Apesar das cultivares terem apresentado teores adequados

de B, os valores obtidos ficaram muito próximo do limite inferior da faixa de teores considerada adequada por Lorenzi et al. (1997), mesmo tendo sido observado teores médios de B no solo (Tabela 1).

Tabela 29. Teores de B, Cu, Fe, Mn e Zn na folha diagnose de cultivares de batata, cultivadas em solo com “médio teor de P”, em resposta a aplicação de P.

Cultivar	B	Cu	Fe	Mn	Zn
			mg kg ⁻¹		
Ágata	27a	38d	449a	98bc	163b
Asterix	26a	70a	298b	109b	203a
Atlantic	25a	60b	290b	102b	171b
Markies	25a	50c	388a	134a	195a
Mondial	27a	50c	277b	86c	200a
Probabilidade			(<i>P</i> > <i>F</i>)		
Cultivar (C)	0,059	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Dose (D)	0,812	<0,001	0,551	0,037	0,725
Interação C x D	0,112	0,360	0,916	0,758	0,876
CV(%)	11,2	16,5	24,2	14,7	10,7

Médias seguidas de letras distintas na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey (*p*<0,05).

Os teores foliares de Cu e Mn foram influenciados por ambos os fatores estudados (Tabela 29). Os maiores teores de Cu ocorreram nas folhas da cultivar Asterix, os menores teores nas cultivares Markies e Mondial, enquanto nas cultivares Ágata e Atlantic os teores foram intermediários. No caso do Mn, a cultivar Markies apresentou os maiores teores foliares, a cultivar Mondial os menores teores, e as demais cultivares teores intermediários. Tanto os teores foliares de Cu como de Mn foram reduzidos de forma linear com o aumento das doses de P aplicadas (Figuras 24b e 24d). Em todas as cultivares, os teores foliares de Cu ficaram acima da faixa de 7 a 20 mg kg⁻¹, considerada como adequada por Lorenzi et al. (1997) e Jones Júnior (1991), enquanto os teores foliares de Mn se enquadraram dentro do intervalo considerado como adequado por esses autores que é de 30 a 250 mg kg⁻¹. Entretanto, a disponibilidade inicial de ambos os micronutrientes no solo era elevada (Tabela 1).

Os teores foliares de Fe e de Zn foram influenciados apenas pelo fator cultivar, sendo que as cultivares Ágata e Markies apresentaram teores foliares de Fe superiores aos das demais cultivares que não diferiram entre si (Tabela 29 e Figuras 24c e 24e). Quanto

ao Zn, os maiores teores foliares ocorreram nas cultivares Asterix, Markies e Mondial, e os menores teores nas cultivares Ágata e Atlantic.

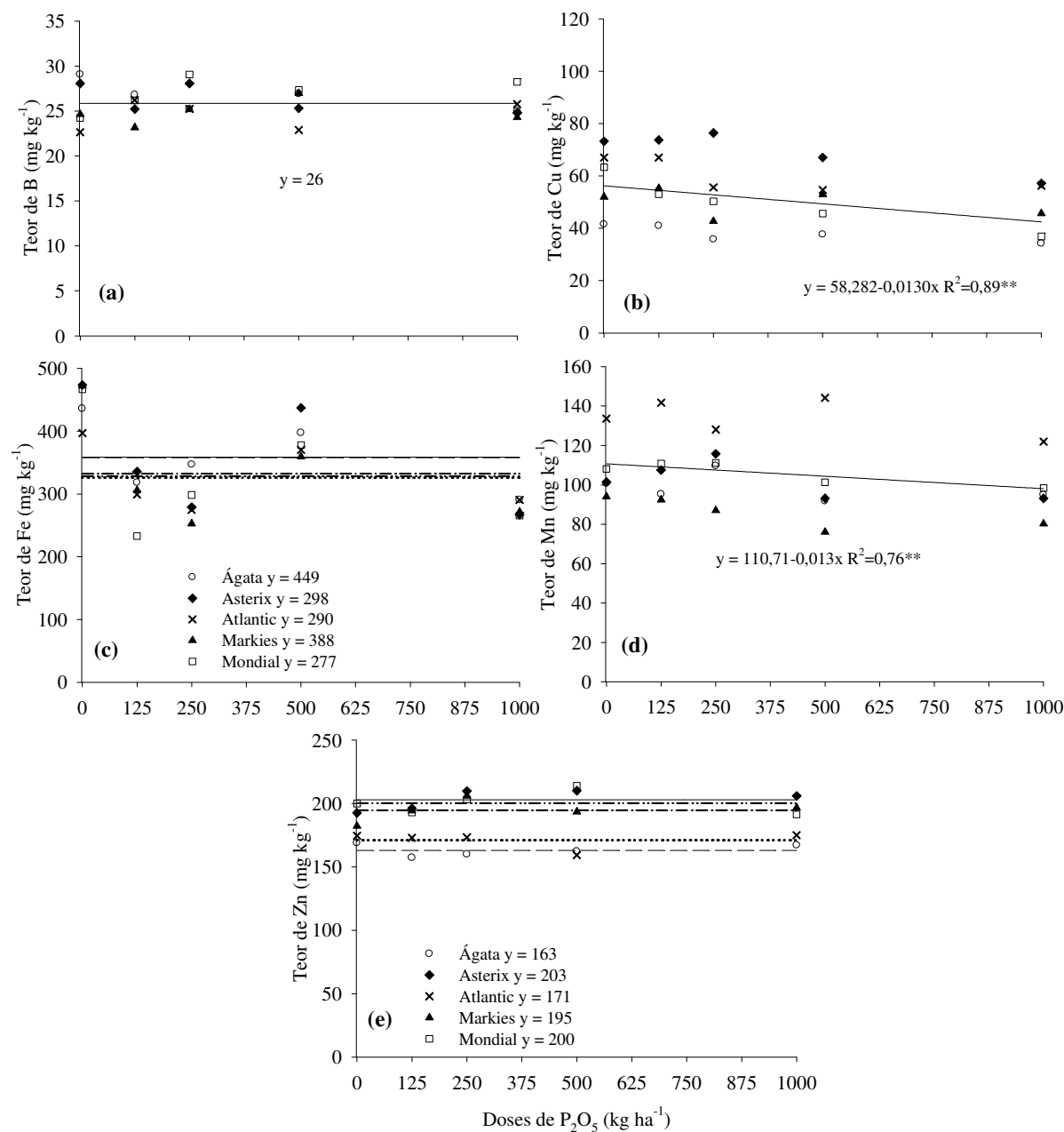


Figura 24. Teores de B (a), Cu (b), Fe (c), Mn (d) e Zn (e) na folha diagnose de cultivares de batata, cultivadas em solo com “médio teor de P”, em resposta a aplicação de P. * $p < 0,05$ e ** $p < 0,01$ pelo teste F.

Os teores foliares de Fe observados em todas as cultivares ficaram acima da faixa considerada como adequada por Lorenzi et al. (1997) e Jones Júnior (1991) (50 a 100 mg kg⁻¹) (Tabela 29 e Figuras 24c), reflexo dos elevados teores no solo da área experimental (Tabela 1). Já os teores foliares de Zn ficaram acima do intervalo considerado adequado por Lorenzi et al. (1997) (20 a 60 mg kg⁻¹), mas dentro do intervalo considerado como adequado por Jones Júnior (1991), que é de 45 a 250 mg kg⁻¹. Os altos teores de Zn e Fe na folha diagnose são resultado da elevada disponibilidade desses micronutrientes no solo e das aplicações de fungicida contendo Zn (metiram) aos 20 e 42 DAP, e de fertilizante foliar contendo Zn e Fe aos 28, 36 DAP (Tabelas 1, 4 e 5). O fertilizante foliar utilizado também continha Mn, porém em menores concentrações, o que não gerou teores tão elevados como observado para os micronutrientes Fe e Zn, apesar da elevada disponibilidade inicial de Mn no solo (Tabelas 1 e 5).

6.3.2 Quantidade de matéria seca acumulada e extração de P

A quantidade de MS acumulada nas raízes foi afetada somente do fator cultivar, o que demonstra que nesse experimento a disponibilidade inicial de P no solo, foi suficiente para promover o desenvolvimento adequado do sistema radicular da cultura, diferente do que foi observado nas áreas com baixo teor de P (Tabela 30 e Figuras 25a, 11a e 12a).

Tabela 30. Quantidade de matéria seca acumulada nas raízes, parte aérea, tubérculos e na planta inteira de cultivares de batata, cultivadas em solo com “médio teor de P”, em resposta a aplicação de P.

Cultivar	Raízes	Parte aérea	Tubérculos	Planta inteira
	kg ha ⁻¹			
Ágata	14,9a	821c	3.282c	4.118d
Asterix	8,1c	947b	5.433b	6.388b
Atlantic	6,4d	842bc	4.754b	5.602c
Markies	9,8b	806c	5.247b	6.062bc
Mondial	10,1b	1.090a	7.075a	8.175a
Probabilidade	(P > F)			
Cultivar (C)	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Dose (D)	0,265	<0,001	<0,001	<0,001
Interação C x D	0,999	0,945	0,712	0,830
CV(%)	17,5	15,0	15,0	13,6

Médias seguidas de letras distintas na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

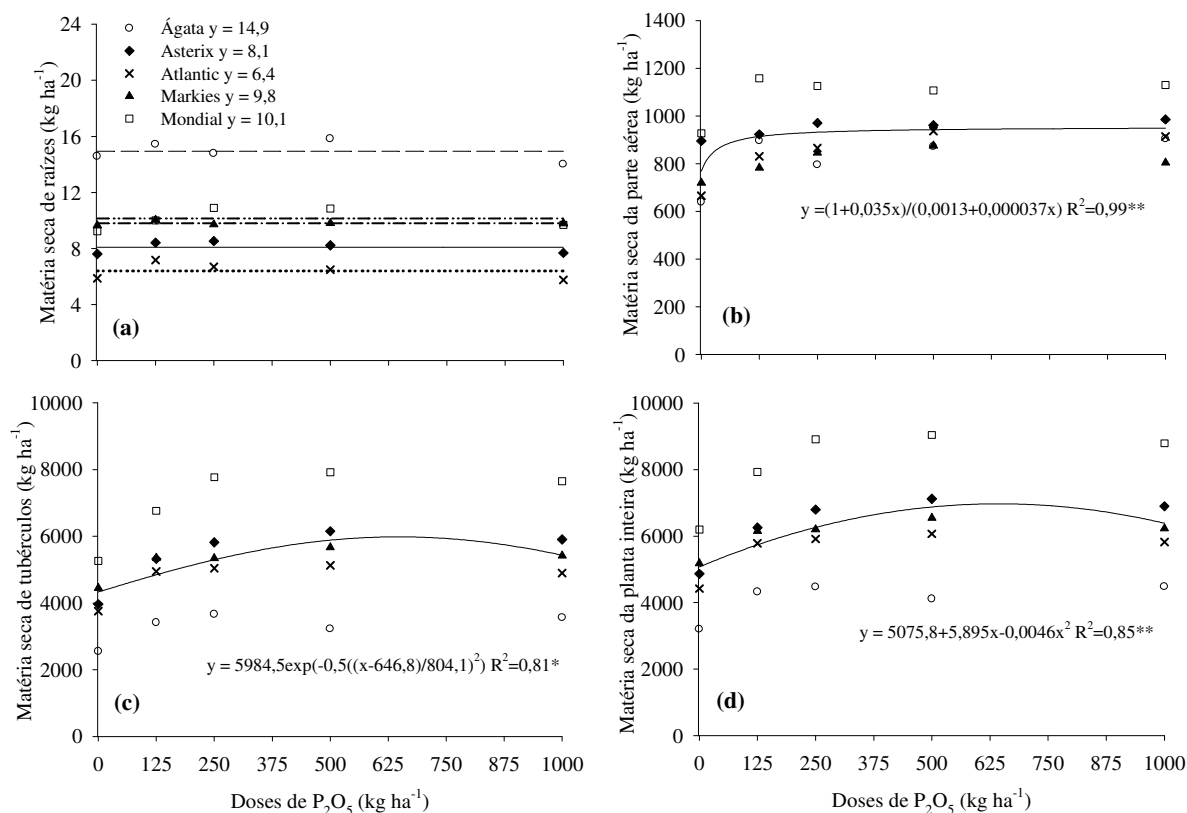


Figura 25. Quantidade de matéria seca acumulada nas raízes (a), parte aérea (b), tubérculos (c) e na planta inteira (d) de cultivares de batata, cultivadas em solo com “médio teor de P”, em resposta a aplicação de P. * $p < 0,05$ e ** $p < 0,01$ pelo teste F.

Os maiores acúmulos radiculares de MS foram observados na cultivar Ágata, como também ocorreu nas áreas com baixo teor de P. A cultivar Atlantic apresentou os menores acúmulos radiculares de MS, enquanto as demais cultivares apresentaram acúmulos intermediários.

O acúmulo de MS na parte aérea, nos tubérculos e na planta inteira sofreu influência isolada dos fatores estudados (Tabela 30). A cultivar Mondial apresentou os maiores acúmulos de MS, na parte aérea, tubérculos e na planta inteira. Na parte aérea, houve menor acúmulo de MS nas cultivares Ágata e Markies, sendo obtidos acúmulos intermediários nas demais cultivares. Nos tubérculos e na planta inteira, a cultivar Ágata apresentou os menores acúmulos de MS, enquanto as cultivares Asterix, Atlantic e Markies apresentaram acúmulos intermediários, porém com maiores quantidades de MS na planta inteira da cultivar Asterix do que na da cultivar Atlantic.

Mesmo com teores médios de P no solo, a adubação fosfatada incrementou as quantidades de MS acumuladas na parte aérea, porém, apenas até a dose de 125 kg ha^{-1} de P_2O_5 , sendo que doses maiores não alteraram a MS da parte aérea (Figura 25b). Fernandes e Soratto (2012b), avaliando o crescimento e a nutrição da cultivar Ágata em solução nutritiva, também observaram que o fornecimento de doses elevadas de P não resultaram em incrementos na MS da parte aérea da batateira. Os incrementos nas quantidades de MS acumuladas na parte aérea foram pequenos com o aumento da adubação fosfatada, pois em média, a MS aumentou de 770 kg ha^{-1} no tratamento sem adubação fosfatada até a quantidade média de 920 kg ha^{-1} de MS, com a dose de 125 kg ha^{-1} de P_2O_5 (Figura 25b). A ausência de resposta a doses mais elevadas de P demonstra que o teor inicial do solo (Tabela 1), foi suficiente para suprir boa parte das exigências da cultura, já que mesmo na ausência da adubação fosfatada, os teores de P na folha diagnose já se apresentavam dentro do intervalo considerado adequado para a cultura (Figura 23b).

Com relação aos tubérculos e a planta inteira, observa-se que os acúmulos de MS foram crescentes até a dose estimada de 640 kg ha^{-1} de P_2O_5 , mas diminuíram em doses superiores (Figuras 25c e 25d). Esses resultados demonstram que mesmo sob disponibilidade média de P no solo, a planta de batata ainda apresenta certo aumento na MS acumulada nos tubérculos e na planta inteira com a aplicação de doses superiores a 125 kg ha^{-1} de P_2O_5 , o que não ocorre na parte aérea (Figuras 25b, 25c e 25d). Em estudo realizado por Alvarez-Sánchez et al. (1999), também foi observado que os acúmulos máximos de MS nos tubérculos e na planta inteira da batateira foram obtidos mediante a aplicação de doses superiores àquelas que promoveram os máximos acúmulos de MS na parte aérea. Esses resultados demonstram que mesmo em solo com teores médios de P, o acúmulo de MS nos tubérculos e na planta inteira podem ser incrementos com o aumento da adubação fosfatada, enquanto na parte aérea a adubação fosfatada promove aumentos pouco significativos nas quantidades de MS acumulada.

Considerando os acúmulos de P nas raízes, parte aérea, tubérculos e na planta inteira observa-se que houve influência isolada dos fatores estudados (Tabela 31). A cultivar Ágata apresentou acúmulos radiculares de P superiores aos de todas as demais cultivares, as quais não diferiram entre si. Esse elevado acúmulo de P nas raízes da cultivar Ágata está relacionado com seu maior acúmulo de MS radicular (Tabelas 30 e 31). Com

relação à parte aérea, as cultivares Ágata, Asterix, Atlantic e Mondial apresentaram acúmulos semelhantes de P, mas superiores aos observados na cultivar Markies (Tabela 31). Nos tubérculos e na planta inteira a cultivar Mondial acumulou quantidades de P superiores as das demais cultivares, sendo os menores acúmulos obtidos nos tubérculos e nas plantas das cultivares Ágata e Atlantic (Tabela 31). De maneira geral, as cultivares Asterix e Markies acumularam quantidades intermediárias de P nos tubérculos e na planta inteira.

Tabela 31. Quantidade de P acumulada nas raízes, parte aérea, tubérculos e na planta inteira de cultivares de batata, cultivadas em solo com “médio teor de P”, em resposta a aplicação de P.

Cultivar	Raízes	Parte aérea	Tubérculos	Planta inteira
	kg ha ⁻¹			
Ágata	0,03a	1,8a	7,9c	9,7d
Asterix	0,01b	1,9a	11,3b	13,3b
Atlantic	0,01b	1,9a	9,3c	11,3cd
Markies	0,02b	1,4b	11,3b	12,8bc
Mondial	0,02b	2,0a	15,0a	17,0a
Probabilidade	(P > F)			
Cultivar (C)	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Dose (D)	0,009	<0,001	<0,001	<0,001
Interação C x D	0,641	0,983	0,172	0,567
CV(%)	28,2	19,6	16,5	17,2

Médias seguidas de letras distintas na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Com exceção do sistema radicular que apresentou acúmulos crescentes de P até a dose estimada de 700 kg ha⁻¹, observa-se que na parte aérea, tubérculos e na planta inteira as quantidades acumuladas foram crescentes até a maior dose estudada (Figuras 26a, 26b, 26c e 26d). No entanto, os aumentos nos acúmulos de P nessas partes da planta e na planta inteira, foram muito pequenos com doses acima de 250 kg ha⁻¹, ou seja, em média a absorção de P, considerando a planta inteira de batata aumentou de 14 para 15 kg ha⁻¹ de P. Apesar de haver acúmulo crescente de P na parte aérea, mesmo que pouco significativo, com a aplicação de doses mais elevadas de P, a quantidade de MS acumulada praticamente se estabilizou a partir dos 125 kg ha⁻¹ de P₂O₅ (Figuras 25b e 26b), ou seja, a eficiência de utilização do nutriente diminuiu, pois a produção de MS não foi aumentada. Alvarez-Sánchez et al. (1999) observaram esse tipo de comportamento apenas para os tubérculos e para a planta inteira. No caso da parte aérea, esses autores verificaram que houve acúmulo crescente de P

apenas até a dose de fósforo que proporcionou o máximo acúmulo de MS. Eles argumentaram que não houve acúmulo de luxo de P na parte aérea como ocorreu com tubérculos por causa da redistribuição do P da parte aérea para os órgãos de armazenamento, ou seja, para os tubérculos.

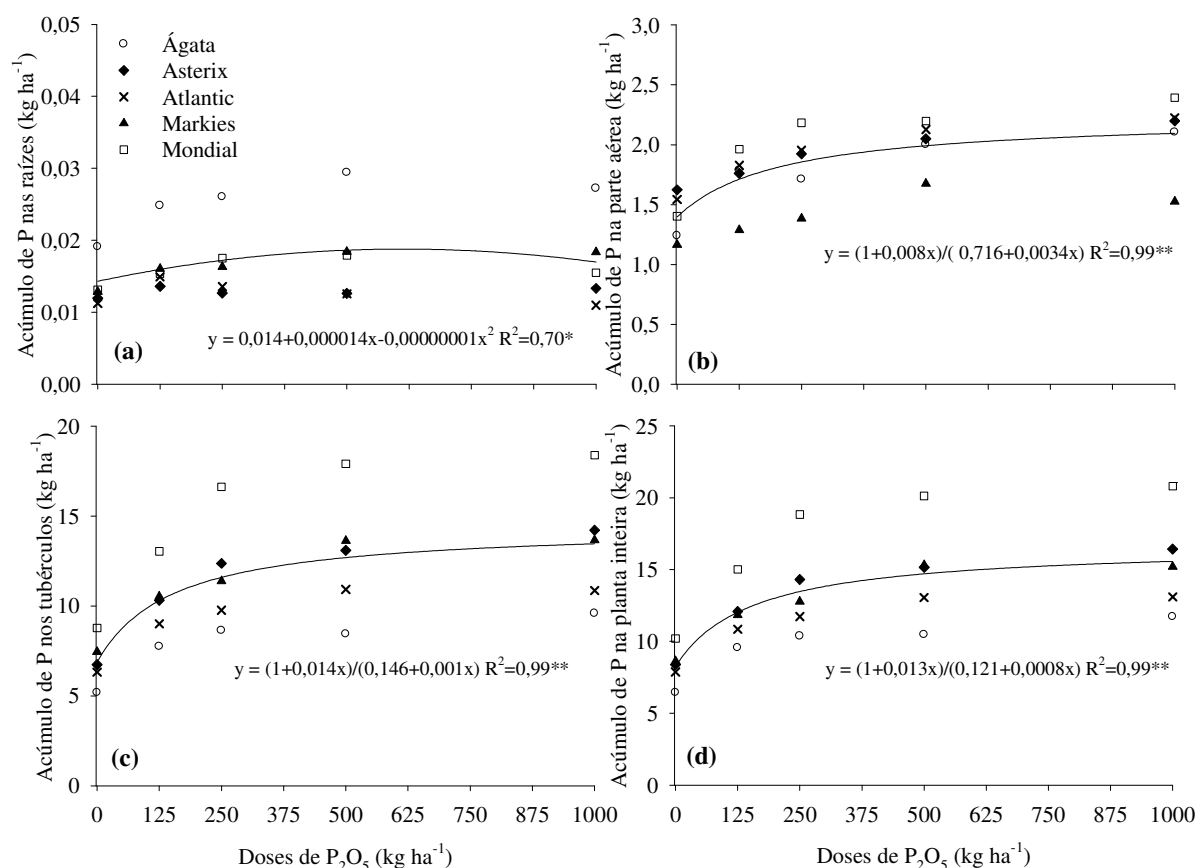


Figura 26. Quantidade de P acumulada nas raízes (a), parte aérea (b) tubérculos (c) e na planta inteira de cultivares de batata, cultivadas em solo com “médio teor de P”, em resposta a aplicação de P. * $p < 0,05$ e ** $p < 0,01$ pelo teste F.

6.3.3 Número, produtividade total, produtividade classificada e produtividade relativa de tubérculos

O número total, comercial e da classe especial de tubérculos foi influenciado pelo fator cultivar e pelo fator dose de P (Tabela 32). As cultivares Mondial e Asterix apresentaram os maiores números totais e comerciais de tubérculos por planta, as

cultivares Ágata e Markies apresentaram números intermediários e a cultivar Atlantic os menores números de tubérculos por planta. O número de tubérculos da classe especial foi maior na cultivar Mondial, mas os menores números de tubérculos dessa classe ocorreram nas cultivares Asterix e Markies. As cultivares Ágata e Atlantic apresentaram valores intermediários de número de tubérculos da classe especial por planta.

Tabela 32. Número total de tubérculos, número de tubérculos comercializáveis e número de tubérculos das classes especial, primeira, segunda e miúda de cultivares de batata, cultivadas em solo com “médio teor de P”, em resposta a aplicação de P.

Cultivar	Total	Comercial	Especial	Primeira	Segunda	Miúda
tubérculos por planta						
Ágata	6,4b	6,2b	3,1bc	2,2b	0,9a	0,2b
Asterix	7,9a	7,6a	2,9c	3,6a	1,0a	0,4ab
Atlantic	4,9c	4,9c	3,6b	1,1c	0,2b	0,0c
Markies	6,1b	5,8b	2,9c	2,1b	0,8a	0,3b
Mondial	7,6a	7,0a	4,4a	1,8b	0,7a	0,5a
Probabilidade	<i>(P > F)</i>					
Cultivar (C)	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Dose (D)	0,009	0,004	<0,001	0,186	0,156	0,261
Interação C x D	0,967	0,988	0,905	0,963	0,994	0,726
CV(%)	14,8	14,6	16,3	26,9	47,7	65,3

Médias seguidas de letras distintas na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

A adubação fosfatada promoveu pequenos incrementos no número total e comercial de tubérculos por planta até a dose estimada de 560 kg ha⁻¹ de P₂O₅, sendo que em doses mais elevadas o número de tubérculos por planta dessas classes diminuiu (Figuras 27a e 27b). Esses resultados demonstram que em solo com teor médio de P a adubação fosfatada tem pouca influência sobre o número total e comercial de tubérculos por planta. Para a classe de tubérculos de tamanho especial a adubação fosfatada aumentou o número de tubérculos por planta apenas até a dose de 250 kg ha⁻¹ de P₂O₅, demonstrando que a aplicação de doses elevadas de fertilizante fosfatado em solo com média disponibilidade de P não aumenta o número de tubérculos de maior tamanho (Figura 27c).

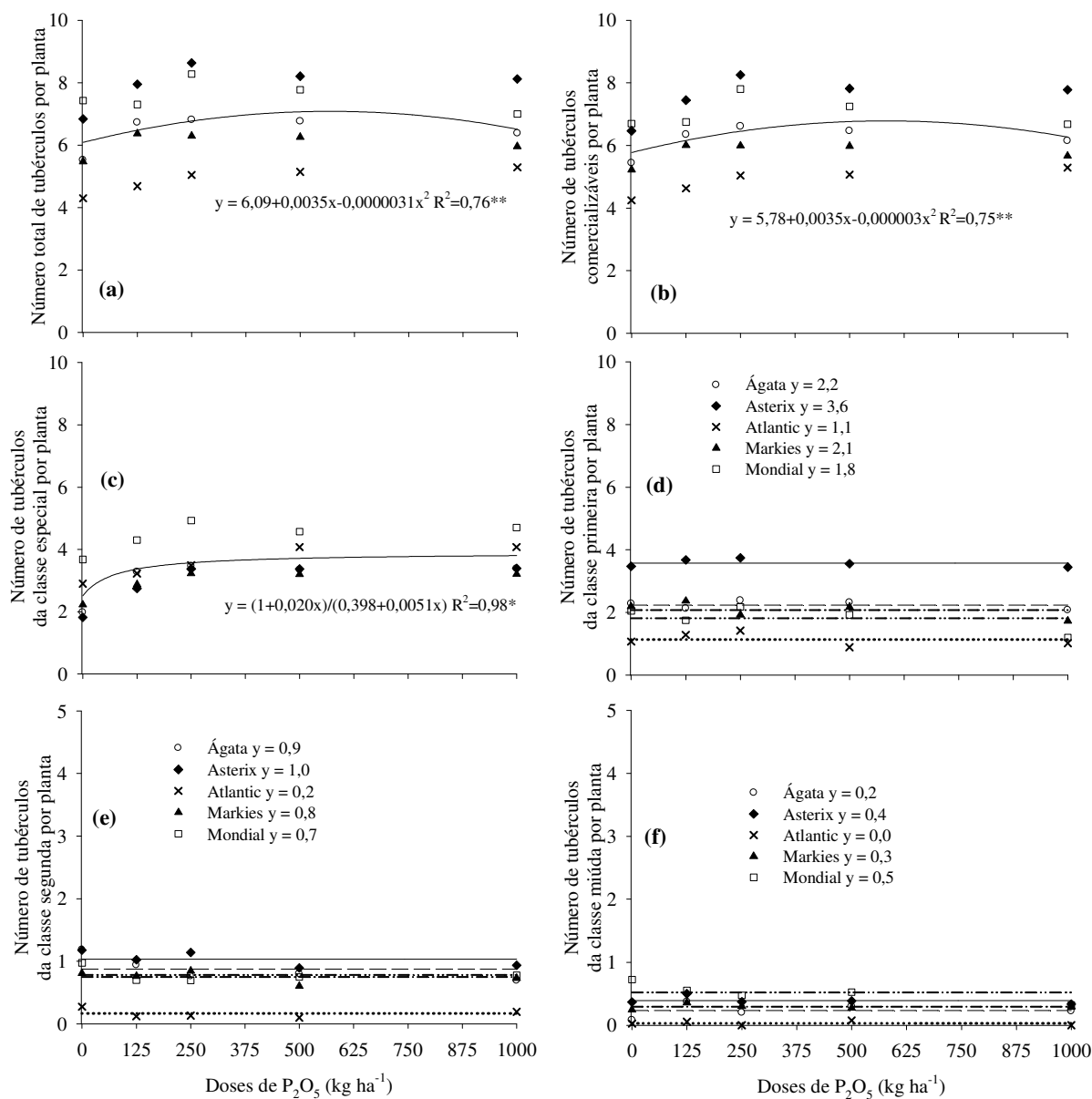


Figura 27. Número total de tubérculos (a), número de tubérculos comercializáveis (b) e número de tubérculos das classes especial (c), primeira (d), segunda (e) e miúda (f) de cultivares de batata, cultivadas em solo com “médio teor de P”, em resposta a aplicação de P. * $p < 0,05$ e ** $p < 0,01$ pelo teste F.

O número de tubérculos das classes primeira, segunda e miúda foi afetado apenas pelo fator cultivar (Tabela 32 e Figuras 27d, 27e e 27f). Isto demonstra que o efeito causado pela adubação fosfatada em diminuir a produção de tubérculos de menor tamanho só ocorre quando a disponibilidade de P no solo é baixa, como foi observado nos

experimentos das áreas com baixo teor inicial de P (Figuras 15 e 16). Porém, deve-se considerar que mesmo sem a aplicação de P, o número de tubérculos das classes segunda e miúda era baixo. O maior número de tubérculos da classe primeira foi observado na cultivar Asterix, o menor número de tubérculos ocorreu na cultivar Atlantic e nas demais cultivares o número de tubérculos da classe primeira foi intermediário e não diferiu (Tabela 32 e Figura 27d). A cultivar Atlantic apresentou o menor número de tubérculos por planta da classe segunda, de modo que nas demais cultivares o número de tubérculos desta classe não variou (Tabela 32 e Figura 27e). O número de tubérculos da classe miúda foi maior nas cultivares Mondial e Asterix, enquanto na cultivar Atlantic, este foi praticamente ausente (Tabela 32 e Figura 27f). As demais cultivares apresentaram número intermediário de tubérculos da classe miúda por planta.

Houve efeito isolado dos fatores estudados sobre a produtividade total, produtividade comercial e da classe especial de tubérculos (Tabela 33). A cultivar Mondial apresentou os maiores valores de produtividade total, comercial e da classe especial. Os menores valores de produtividade total e comercial ocorreram nas cultivares Ágata, Atlantic e Markies, mas na cultivar Asterix essas produtividades foram intermediárias. As cultivares Ágata, Asterix, Atlantic e Markies não diferiram entre si quanto à produtividade de tubérculos da classe especial, mas todas foram menos produtivas que a cultivar Mondial.

Tabela 33. Produtividade total de tubérculos, produtividade comercial de tubérculos, produtividade classificada de tubérculos e produtividade relativa de tubérculos de cultivares de batata, cultivadas em solo com “médio teor de P”, em resposta a aplicação de P.

Cultivar	Total	Comercial	Especial	Primeira	Segunda	Miúda	Relativa
	kg ha ⁻¹						%
Ágata	27.919c	27.841c	21.139b	6.045b	657bc	78c	92a
Asterix	35.614b	35.483b	22.250b	12.259a	974a	131b	91a
Atlantic	25.456c	25.418c	22.267b	2.962c	189d	38d	91a
Markies	28.833c	28.726c	22.189b	5.967b	570c	107b	96a
Mondial	46.840a	46.679a	40.597a	5.370b	712b	161a	92a
Probabilidade	(P > F)						
Cultivar (C)	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,743
Dose (D)	<0,001	<0,001	<0,001	0,105	0,010	0,001	<0,001
Interação C x D	0,995	0,994	0,936	0,262	0,202	0,010	0,998
CV(%)	11,7	11,7	14,4	21,2	24,4	28,3	13,8

Médias seguidas de letras distintas na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

A aplicação de doses acima de 250 kg ha^{-1} de P_2O_5 , não influenciou significativamente a produtividade total e comercial de tubérculos, mas houve pequenos incrementos na produtividade especial de tubérculos até a maior dose estudada (Figuras 28a, 28b e 28c). Os aumentos nas produtividades total e comercial de tubérculos, obtidos com a adição do fertilizante fosfatado foi de aproximadamente $10.500 \text{ kg ha}^{-1}$, ou seja, os maiores incrementos de produtividade foram proporcionados pelas menores doses de P estudadas (125 e 250 kg ha^{-1} de P_2O_5). Mesmo em solo com menor disponibilidade de P, existe estudo demonstrando que os maiores incrementos de produtividade comparado ao tratamento sem adubação fosfatada ocorreram com a utilização de doses mais baixas de P, sendo que a aplicação de elevadas doses causou apenas pequenos incrementos na produtividade de tubérculos (ALVAREZ-SÁNCHEZ et al., 1999).

A produtividade relativa de tubérculos foi afetada apenas pelo fator dose de P (Tabela 33). Na ausência da adubação fosfatada a produtividade total foi em média 30% menor que a produtividade máxima obtida com a dose de 250 kg ha^{-1} de P_2O_5 (Figura 28a e 29), ou seja, uma redução de produtividade bem menor que a observada nas áreas com baixo teor de P (Figura 19). Esses resultados demonstram a influência do P já disponível no solo (Tabela 1), e comprovam que sob maior disponibilidade de P no solo, não há necessidade de aplicação de elevadas doses de P, pois a produtividade máxima de tubérculos foi obtida com metade da dose utilizada nos experimentos das áreas com baixo teor de P disponível (Figuras 17, 18 e 19). Estudo realizado com a cultivar Ágata em solução nutritiva também demonstrou comportamento semelhante, em que a cultura da batata respondeu apenas até certo nível de P na solução nutritiva, ou seja, o fornecimento de doses elevadas não incrementou a MS das plantas de batata (FERNANDES; SORATTO, 2012b). Covarrubias-Ramírez et al. (2005), estudando a absorção e a eficiência de utilização de P pela cultura da batata, concluíram que quando a disponibilidade de P no solo é elevada, devido à aplicações constantes realizadas anteriormente ao cultivo da batata, as doses de fertilizantes fosfatados a serem aplicadas no cultivo da batateira podem ser menores.

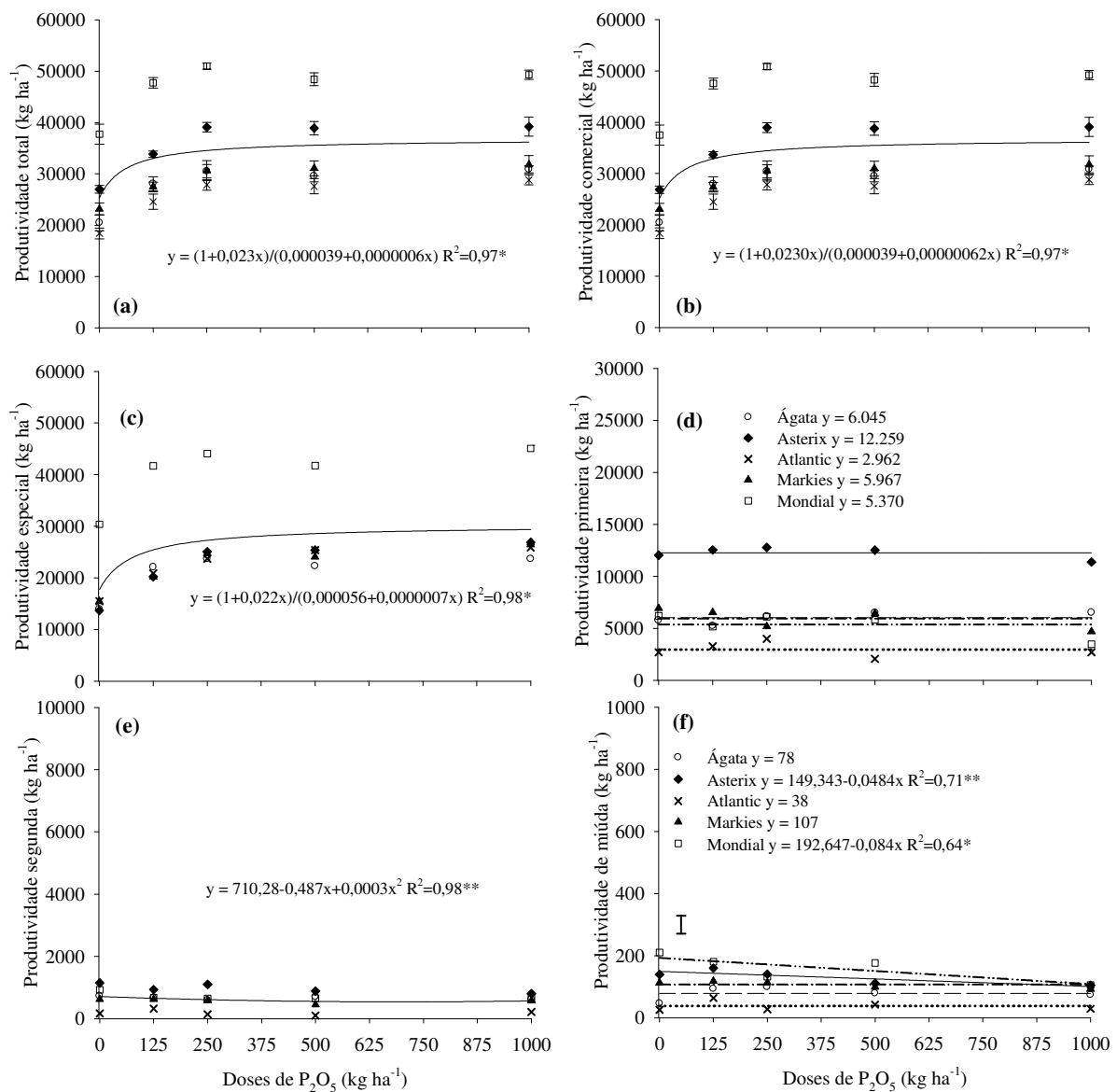


Figura 28. Produtividade total de tubérculos (a), produtividade de tubérculos comercializáveis (b) e produtividade de tubérculos das classes especial (c), primeira (d), segunda (e) e miúda (f) de cultivares de batata, cultivadas em solo com “médio teor de P”, em resposta a aplicação de P. * $p<0,05$ e ** $p<0,01$ pelo teste F. Barras verticais nos pontos das figuras (a) e (b) representam o erro padrão das médias ($n=4$). Barra vertical na área da figura (f) indica o valor de DMS pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

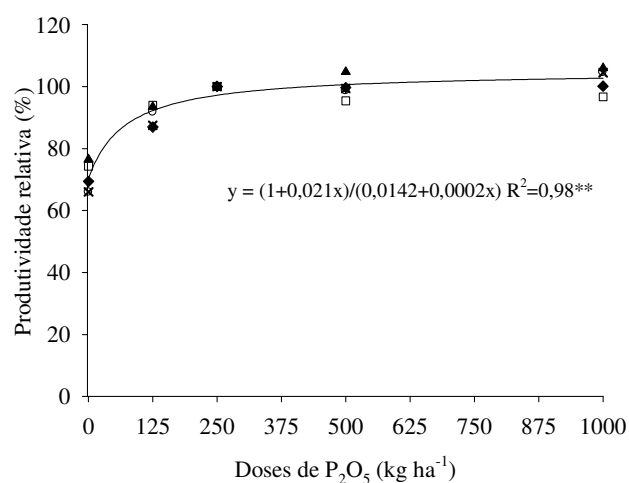


Figura 29. Produtividade relativa de tubérculos de cultivares de batata, cultivadas em solo com “médio teor de P”, em resposta a aplicação de P. ****** $p < 0,01$ pelo teste F.

A produtividade de tubérculos da classe primeira foi influenciada apenas pelo fator cultivar, enquanto a produtividade da classe segunda sofreu influência de ambos os fatores estudados (Tabela 33 e Figuras 28d e 28e). De maneira geral, a cultivar Asterix apresentou as maiores produtividades de tubérculos das classes primeira e segunda, a cultivar Atlantic as menores produtividades e nas demais cultivares as produtividades foram intermediárias. Apesar da análise estatística indicar influência da adubação sobre a produtividade de tubérculos da classe segunda, observa-se que a aplicação de doses crescentes de P praticamente não ocasionou mudanças perceptíveis na produtividade de tubérculos dessa classe (Figura 28e).

Houve interação dos fatores estudados sobre a produtividade de tubérculos da classe miúda (Tabela 33). A produtividade de tubérculos da classe miúda nas cultivares Ágata, Atlantic e Markies não foi influenciada pela adubação, porém nas cultivares Asterix e Mondial a produtividade reduziu linearmente com o aumento das doses de P (Figuras 28f). Na ausência da adubação e com a aplicação de 125 kg ha⁻¹ de P₂O₅, as cultivares Mondial e Asterix apresentaram produtividade de tubérculos da classe miúda superior a das cultivares Ágata e Atlantic, mas à medida que aumentaram-se as doses de P, essa diferença deixou de existir devido à redução da produtividade das cultivares Asterix e Mondial.

6.3.4 Porcentagem de MS, teor de P e exportação de P pelos tubérculos

A porcentagem de MS dos tubérculos foi afetada apenas pelo fator cultivar (Tabela 34 e Figuras 30a), demonstrando que em solos com médio teor de P, elevadas doses de adubação fosfatada não aumenta a produtividade nem melhora a qualidade dos tubérculos produzidos. As maiores porcentagens de MS foram observadas nos tubérculos da cultivar Atlantic, enquanto as cultivares Asterix e Markies obtiveram porcentagens intermediárias de MS nos tubérculos. As menores porcentagens de MS ocorreram nos tubérculos das cultivares Ágata e Mondial, apesar das porcentagens de MS nos tubérculos da cultivar Mondial terem superado as da cultivar Ágata. Fernandes et al. (2010b) em estudo sobre a qualidade dos tubérculos de cultivares de batata também observaram elevadas porcentagens de MS nos tubérculos da cultivar Atlantic e menores porcentagens de MS nos tubérculos das cultivares Mondial e Ágata.

Houve efeito apenas da adubação sobre o teor de P nos tubérculos obtidos na colheita final, de modo que o teor desse nutriente foi aumentado linearmente com o incremento da adubação fosfatada (Tabela 34 e Figuras 30b). Mesmo em solos com teores considerados de médio a alto de P, outros autores também obtiveram aumentos lineares nos teores de P nos tubérculos da batateira, em resposta a adubação fosfatada (RYKBOST et al., 1993; ROSEN; BIERMAN, 2008).

Tabela 34. Porcentagem de MS, teor de P e exportação de P pelos tubérculos de cultivares de batata, cultivadas em solo com “médio teor de P”, em resposta a aplicação de P.

Cultivar	Porcentagem de MS	Teor de P	Exportação de P
	%	g kg ⁻¹	kg ha ⁻¹
Ágata	14,6d	1,9a	7,8d
Asterix	18,6b	1,8a	11,9b
Atlantic	20,8a	1,8a	9,5c
Markies	19,3b	1,9a	10,5c
Mondial	16,6c	1,8a	14,1a
Probabilidade	(P > F)		
Cultivar (C)	<0,001	0,113	<0,001
Dose (D)	0,442	<0,001	<0,001
Interação C x D	0,174	0,606	0,184
CV(%)	4,9	13,3	12,8

Médias seguidas de letras distintas na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

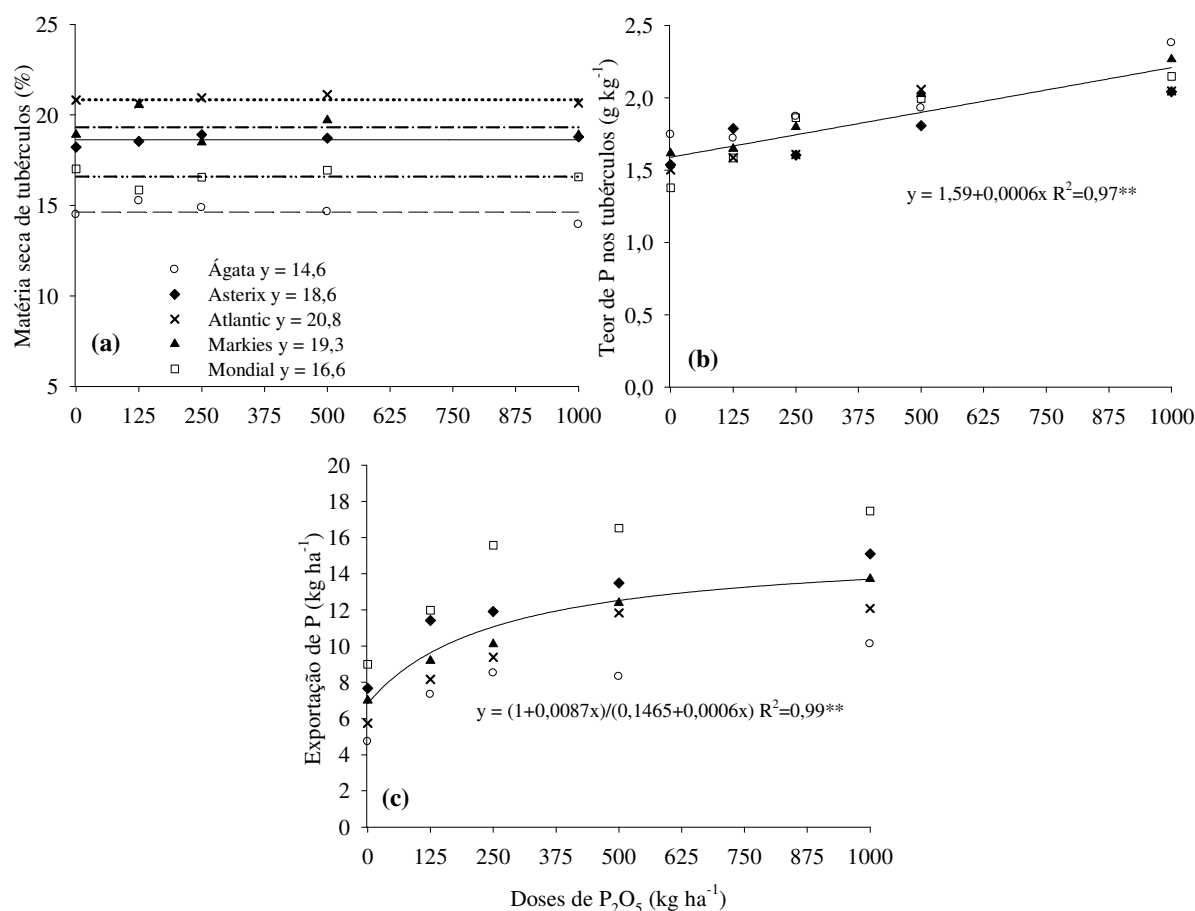


Figura 30. Porcentagem de MS, teor de P e exportação de P pelos tubérculos de cultivares de batata, cultivadas em solo com “médio teor de P”, em resposta a aplicação de P. $^{**} p < 0,01$ pelo teste F.

A exportação de P sofreu efeito isolado dos fatores estudados, cujos maiores valores foram obtidos com a cultivar Mondial, demonstrando que a elevada produtividade dessa cultivar compensou suas baixas porcentagens de MS, e os teores similares de P dos tubérculos (Tabela 34 e Figuras 28 e 30). As menores exportações de P ocorreram na cultivar Ágata, isto é, apesar da produtividade total e dos teores de P em seus tubérculos serem iguais aos das cultivares Atlantic e Markies, os tubérculos da cultivar Ágata possuem baixas porcentagens de MS. As cultivares Asterix, Atlantic e Markies apresentaram exportações intermediárias de P, porém com maiores valores na cultivar Asterix que apresentou maior produtividade. A adubação fosfatada aumentou a exportação de P até a maior dose utilizada, porém com menores taxas nas maiores doses estudadas (Figura 30c). Ou seja, mesmo sem

haver aumento na produtividade de tubérculos com o uso de doses acima de 250 kg ha^{-1} de P_2O_5 , a exportação de P aumentou até a dose de 1.000 kg ha^{-1} de P_2O_5 , o que é reflexo do aumento linear nos teores de P dos tubérculos (Figuras 28, 29 e 30). Rykbost et al. (1993) e Rosen e Bierman (2008) também observaram em solos com média a alta disponibilidade de P, que embora a adubação fosfatada não tenha aumentado a produtividade de tubérculos houve incremento nos teores e na exportação de P pela cultura da batata. De maneira geral, na média, a exportação de P atingiu no máximo 14 kg ha^{-1} de P (Figura 30c), ou seja, valores próximos daqueles obtidos por Yorinori (2003) e Fernandes et al. (2011) em estudo sobre absorção de nutrientes pela batateira em solos com teores altos de P.

6.3.5 Teores de P residual no solo, teor crítico de P no solo, porcentagem de recuperação e eficiência de uso do P aplicado

Os teores de P no solo após a colheita da batata foram influenciados somente pelas doses de P, de modo que o teor desse nutriente no solo aumentou de forma linear com o incremento da adubação, atingindo valores próximos a 185 mg dm^{-3} com a maior dose empregada (Tabela 35 e Figura 31a). Em solo com teor inicial de 60 mg dm^{-3} de $\text{P}_{(\text{resina})}$, Feltran (2005) também observou aumento linear nos teores de P do solo após a colheita da batata em resposta a adubação. Esse autor obteve teores próximos a 150 mg dm^{-3} com a aplicação de 4.000 kg ha^{-1} do fertilizante NPK 8-28-16, ou seja, com o uso de 1.120 kg ha^{-1} de P_2O_5 .

Apesar da maior disponibilidade inicial de P no solo, o teor crítico de P neste experimento foi semelhante ao observado nos experimentos das áreas com baixo teor de P, ou seja, foi de 58 mg dm^{-3} de P (Figuras 31b e 21b). Esses resultados demonstram que independente da disponibilidade inicial de P no solo, teores acima de $50\text{-}60 \text{ mg dm}^{-3}$ são considerados altos para a cultura da batata.

Tabela 35. Teores de P residual no solo após a colheita da batata (P_{resina}), porcentagem de recuperação do P aplicado (RPA) e eficiência de uso do P aplicado (EU), por cultivares de batata, cultivadas em solo com “médio teor de P”, em resposta a aplicação de P.

Cultivar	P_{resina}	RPA ⁽¹⁾	EU ⁽²⁾
	mg dm ⁻³	%	kg kg ⁻¹
Ágata	98a	3,1	32
Asterix	97a	4,3	35
Atlantic	98a	3,1	29
Markies	95a	3,6	22
Mondial	96a	5,9	42
Probabilidade	(P > F)		
Cultivar (C)	0,990	<0,001	<0,001
Dose (D)	<0,001	<0,001	<0,001
Interação C x D	1,000	0,044	<0,001
CV(%)	21,7	22,2	18,7

Médias seguidas de letras distintas na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). ⁽¹⁾ [(Conteúdo de P na planta fertilizada – conteúdo de P na testemunha)/quantidade de P aplicada via fertilizante] x 100; ⁽²⁾ (Produtividade de tubérculos por tratamento – produtividade de tubérculos na testemunha)/quantidade de P_2O_5 aplicada em cada tratamento.

A porcentagem de recuperação do P aplicado e a eficiência de uso do P sofreram efeito dos fatores isolados e da interação entre eles (Tabela 35). Nas menores doses de P, a cultivar Mondial recuperou maior porcentagem do P aplicado que as cultivares Ágata, Atlantic e Markies, enquanto a cultivar Asterix apresentou valores intermediários de recuperação de P (Figura 31c). A maior recuperação do P aplicado pela cultivar Mondial é resultado da maior absorção apresentada por esta cultivar (Figuras 31c e 26d). O incremento na adubação fosfatada causou redução na porcentagem de recuperação do P aplicado em todas as cultivares, passando a não haver mais diferença entre as mesmas (Figura 31c).

Nas menores doses de P, a maior eficiência de uso do P foi obtida na cultivar Mondial, a menor na cultivar Markies, enquanto nas demais cultivares a eficiência foi intermediária (Figura 31d). Com a aplicação de 125 kg ha⁻¹ de P_2O_5 a cultivar Mondial produziu cerca de 80 kg de tubérculos para cada kg de P_2O_5 aplicado, ou seja, praticamente o dobro da cultivar Markies. Nas demais cultivares a eficiência de uso do P com a utilização da dose de 125 kg ha⁻¹ de P_2O_5 foi muito semelhante e ficou entre 50 e 60 kg de tubérculos por kg de P_2O_5 aplicado. No entanto, as doses crescentes de fertilizante fosfatado causaram redução na eficiência de uso do P aplicado, em decorrência do aumento na disponibilidade de P no solo, da estabilização da produtividade e do pequeno incremento na absorção de P (Figuras

26d, 28a, 31a, 31d). Dessa forma, com o fornecimento de doses de P_2O_5 acima de 250 kg ha^{-1} a eficiência de uso do P não diferiu entre as cultivares e permaneceu entre 10 e 25 kg de tubérculos para cada kg de P_2O_5 aplicado (Figura 31d).

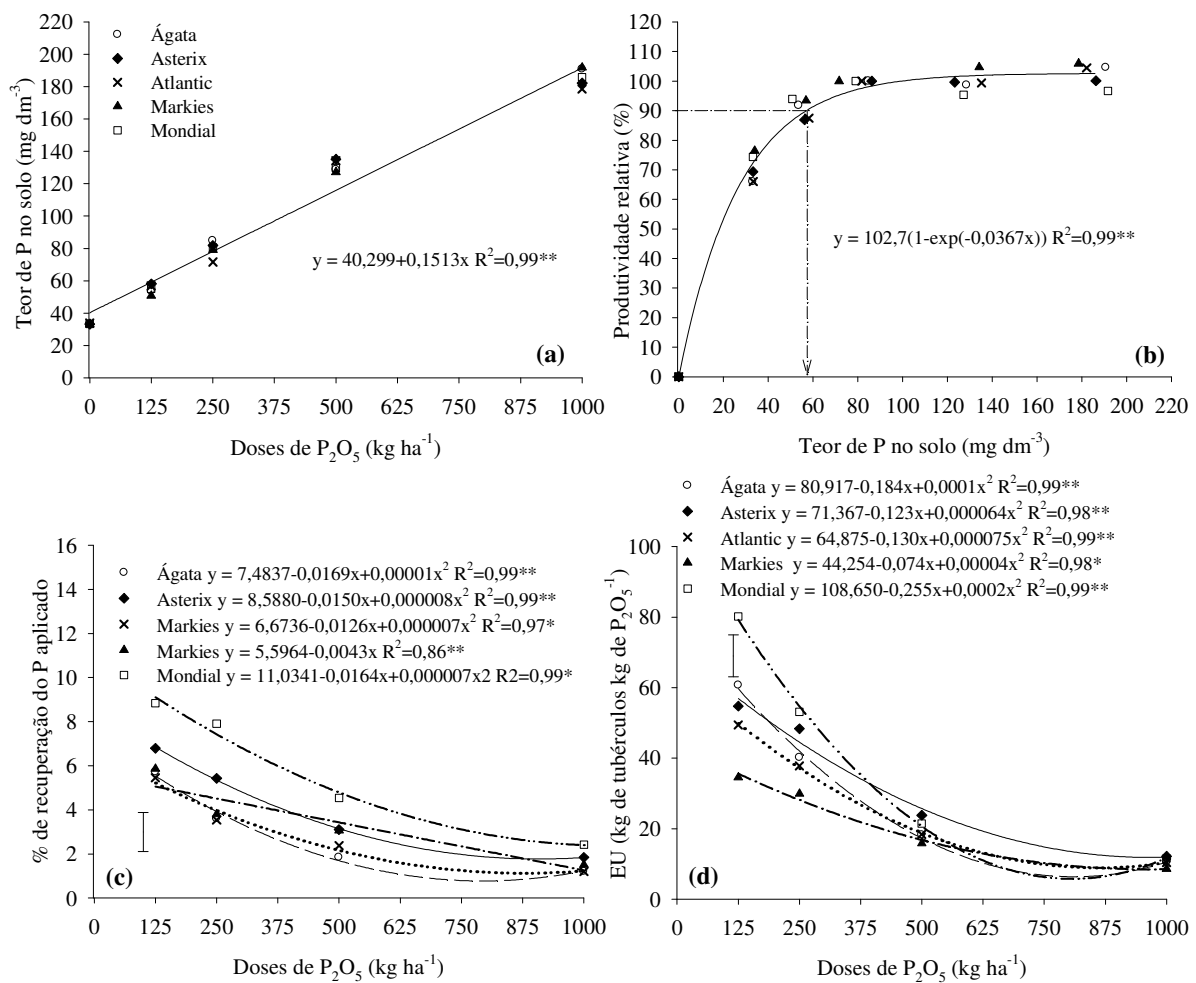


Figura 31. Teores de P residual no solo após a colheita (a), teor crítico de P no solo (b), porcentagem de recuperação do P aplicado (c) e eficiência de uso do P aplicado (d) por cultivares de batata, cultivadas em solo com “médio teor de P”, em resposta a aplicação de P. * $p < 0,05$ e ** $p < 0,01$. Barras verticais na área das figuras (c) e (d) indicam o valor de DMS pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

6.4 Experimento em área com alto teor de P no solo (70 mg dm⁻³)

6.4.1 Diagnose foliar

Os teores de N na folha diagnose da batateira não foram afetados pelos fatores estudados, sendo obtido o valor médio de 55,3 g kg⁻¹, o qual ficou acima do intervalo proposto como adequado por Lorenzi et al. (1997) (40 a 50 g kg⁻¹), mas ficou dentro da faixa considerada adequada por Jones Júnior (1991) que é de 45 a 60 g kg⁻¹ (Tabela 36 e Figura 32a).

Tabela 36. Teores de N, P, K, Ca, Mg e S na folha diagnose de cultivares de batata, cultivadas em solo com “alto teor de P”, em resposta a aplicação de P.

Cultivar	N	P	K	Ca	Mg	S
	g kg ⁻¹					
Ágata	57,0a	4,9a	76,0ab	13,1b	7,5a	2,6ab
Asterix	54,2a	4,1bc	72,0b	15,6a	7,0a	2,4b
Atlantic	54,1a	3,6c	80,6a	13,8b	7,0a	2,8a
Markies	54,0a	4,5ab	78,5ab	16,6a	7,7a	2,4b
Mondial	57,0a	4,6ab	79,8a	11,0c	6,9a	2,7a
Probabilidade	(P > F)					
Cultivar (C)	0,179	<0,001	0,005	<0,001	0,109	0,001
Dose (D)	0,196	<0,001	0,150	0,364	0,999	0,565
Interação C x D	0,791	0,464	0,889	0,924	0,994	0,731
CV(%)	7,3	14,2	10,0	9,2	16,8	12,2

Médias seguidas de letras distintas na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

As cultivares e as doses de P afetaram os teores foliares de P (Tabela 36). Os maiores teores foliares de P ocorreram na cultivar Ágata, porém diferindo apenas das cultivares Asterix e Atlantic. A adubação fosfatada aumentou os teores foliares de P até a dose estimada de 860 kg ha⁻¹ (Figura 32b). Em todas as cultivares os teores foliares de P enquadraram-se dentro do intervalo considerado como adequado para a cultura por Lorenzi et al. (1997) (2,5 a 5,0 g kg⁻¹) e Jones Junior (1991) (2,9 a 5,0 g kg⁻¹), mesmo nos tratamentos que não receberam adubação fosfatada, o que demonstra que o P já disponível no solo foi suficiente para nutrir a cultura.

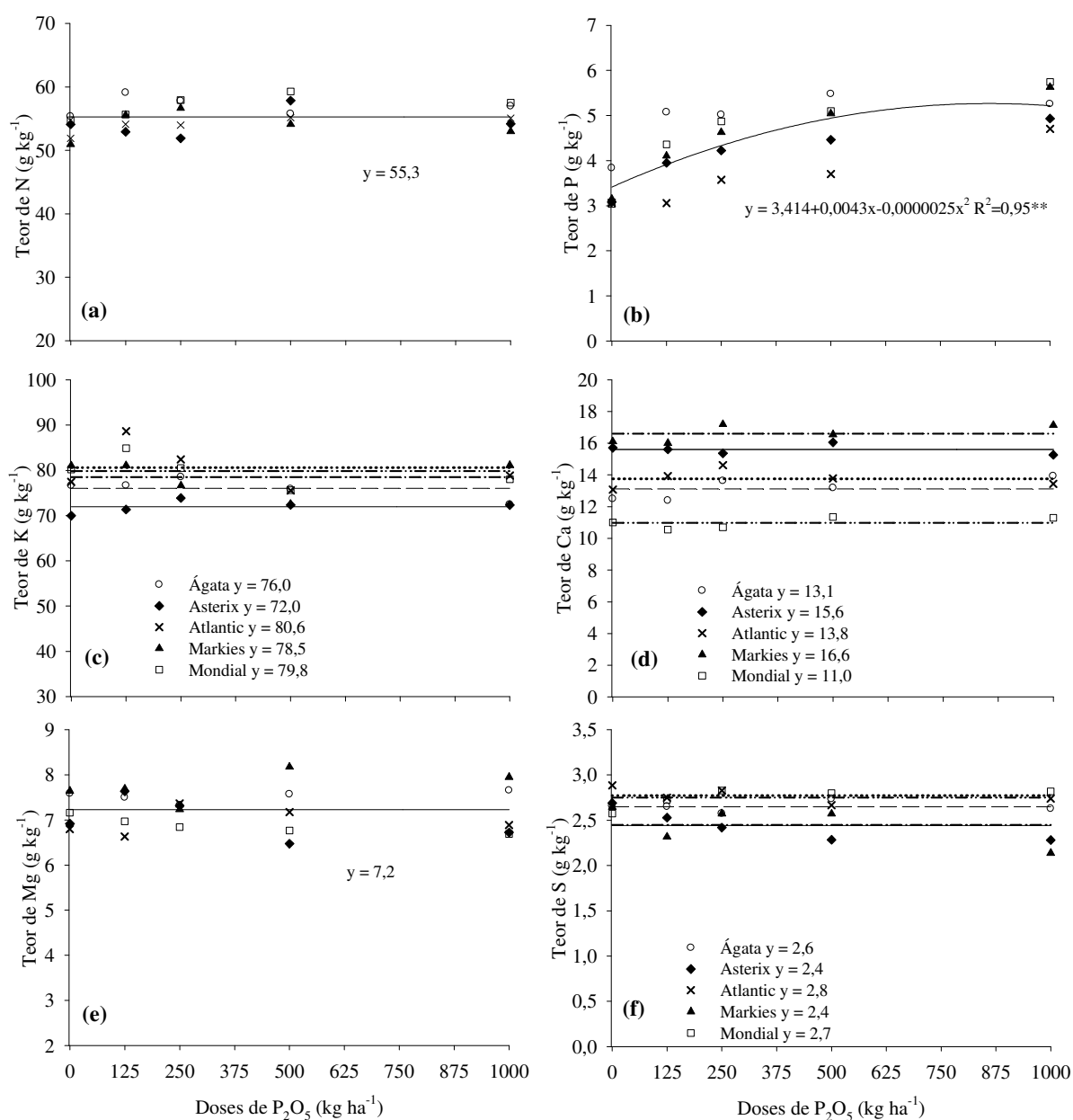


Figura 32. Teores de N (a), P (b), K (c), Ca (d), Mg (e) e S (f) na folha diagnose de cultivares de batata, cultivadas em solo com “alto teor de P”, em resposta a aplicação de P. * $p < 0,05$ e ** $p < 0,01$ pelo teste F.

Os teores foliares de K, Ca e S foram influenciados apenas pelo fator cultivar (Tabela 36 e Figuras 32c, 32d e 32f). Os teores foliares de K diferiram apenas entre a cultivar Asterix e as cultivares Atlantic e Mondial, as quais apresentaram os maiores teores

desse nutriente. Os teores foliares de K observados em todas as cultivares ficaram acima do intervalo proposto como adequado por Lorenzi et al. (1997) (40 a 65 g kg⁻¹), mas abaixo do intervalo de 93 a 115 g kg⁻¹, considerado como adequado por Jones Júnior (1991). Valores semelhantes foram observados por Fernandes et al. (2011) para essas cultivares, ou seja, maiores que o intervalo descrito por Lorenzi et al. (1997), mas menor que o intervalo proposto como adequado por Jones Júnior (1991).

Quanto ao Ca, verifica-se que as cultivares Asterix e Markies apresentaram os maiores teores desse nutriente, enquanto os menores teores foram obtidos na cultivar Mondial (Tabela 36 e Figura 32d). As cultivares Ágata e Atlantic apresentaram teores intermediários de Ca na folha diagnose, mas todas as cultivares apresentaram teores superiores ao intervalo considerado adequado por Jones Júnior (1991) (7,6 a 10 g kg⁻¹), porém compatíveis com o intervalo considerado adequado por Lorenzi et al. (1997), que é de 10 a 20 g kg⁻¹. Os teores de S foram maiores nas cultivares Atlantic e Mondial e menores nas cultivares Asterix e Markies, as quais apresentaram teores desse nutriente abaixo do intervalo considerado adequado para a cultura por Lorenzi et al. (1997) (2,5 a 5,0 g kg⁻¹) (Tabela 36 e Figura 32f). A cultivar Ágata apresentou teores intermediários de S, porém, tanto nessa cultivar como nas cultivares Atlantic e Mondial os teores desse nutriente enquadraram-se dentro do intervalo considerado como adequado por Lorenzi et al. (1997).

No que se refere aos teores foliares de Mg, não houve efeito de nenhum dos fatores estudados sobre esta variável, e o valor médio obtido foi de 7,2 g kg⁻¹ (Tabela 36 e Figura 32e), ou seja, acima da faixa considerada adequada (3,0 a 5,0 g kg⁻¹) por Lorenzi et al. (1997), mas abaixo do intervalo proposto como adequado (10 a 12 g kg⁻¹) por Jones Júnior (1991).

Quanto aos micronutrientes, verifica-se que os teores de B foram afetados apenas pelo fator dose de P, sendo que estes diminuíram até a dose estimada de 430 kg ha⁻¹ de P₂O₅, mas apresentaram pequena elevação com doses superiores (Tabela 37 e Figura 33a). Independente das cultivares, os teores foliares de B se enquadraram dentro do intervalo considerado adequado para a batateira que é de 25 a 50 mg kg⁻¹ (LORENZI et al., 1997). Esses resultados demonstram que houve disponibilidade adequada de B para a cultura, uma vez que os teores no solo estavam altos (Tabela 1).

Tabela 37. Teores de B, Cu, Fe, Mn e Zn na folha diagnose de cultivares de batata, cultivadas em solo com “alto teor de P”, em resposta a aplicação de P.

Cultivar	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	mg kg ⁻¹				
Ágata	28a	13a	514a	84b	45a
Asterix	28a	10b	337b	105a	30b
Atlantic	26a	8c	351b	86b	32b
Markies	27a	10b	515a	87b	44a
Mondial	29a	13a	365b	76b	48a
Probabilidade	(P > F)				
Cultivar (C)	0,176	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Dose (D)	0,061	0,372	0,004	0,092	0,765
Interação C x D	0,521	0,695	0,369	0,981	0,858
CV(%)	12,9	21,0	20,1	18,5	14,4

Médias seguidas de letras distintas na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Apenas o fator cultivar afetou os teores de Cu, Mn e Zn na folha diagnose da batateira (Tabela 37 e Figuras 33b, 33d e 33e). Os maiores teores de Cu ocorreram nas folhas das cultivares Ágata e Mondial, os menores teores nas folhas da cultivar Atlantic e teores intermediários foram obtidos nas cultivares Asterix e Markies. No caso do Mn, a cultivar Asterix apresentou teores foliares superiores aos das demais cultivares, que não diferiram entre si. Já os maiores teores foliares de Zn ocorreram nas cultivares Ágata, Markies e Mondial e os menores teores nas cultivares Asterix e Atlantic. Todas as cultivares apresentaram teores foliares de Cu e Mn dentro do intervalo considerado como adequado por Lorenzi et al. (1997) e Jones Junior (1991) (7 a 20 mg kg⁻¹). Os teores foliares de Zn, em todas as cultivares ficaram dentro da faixa considerada como adequada por Lorenzi et al. (1997) (20 a 60 mg kg⁻¹), mas apenas nas cultivares Ágata e Mondial os teores desse nutriente ficaram dentro da faixa considerada por Jones Junior (1991) (45 a 250 mg kg⁻¹). Nas demais cultivares os teores foliares de Zn foram inferiores ao intervalo descrito como adequado por Jones Junior (1991).

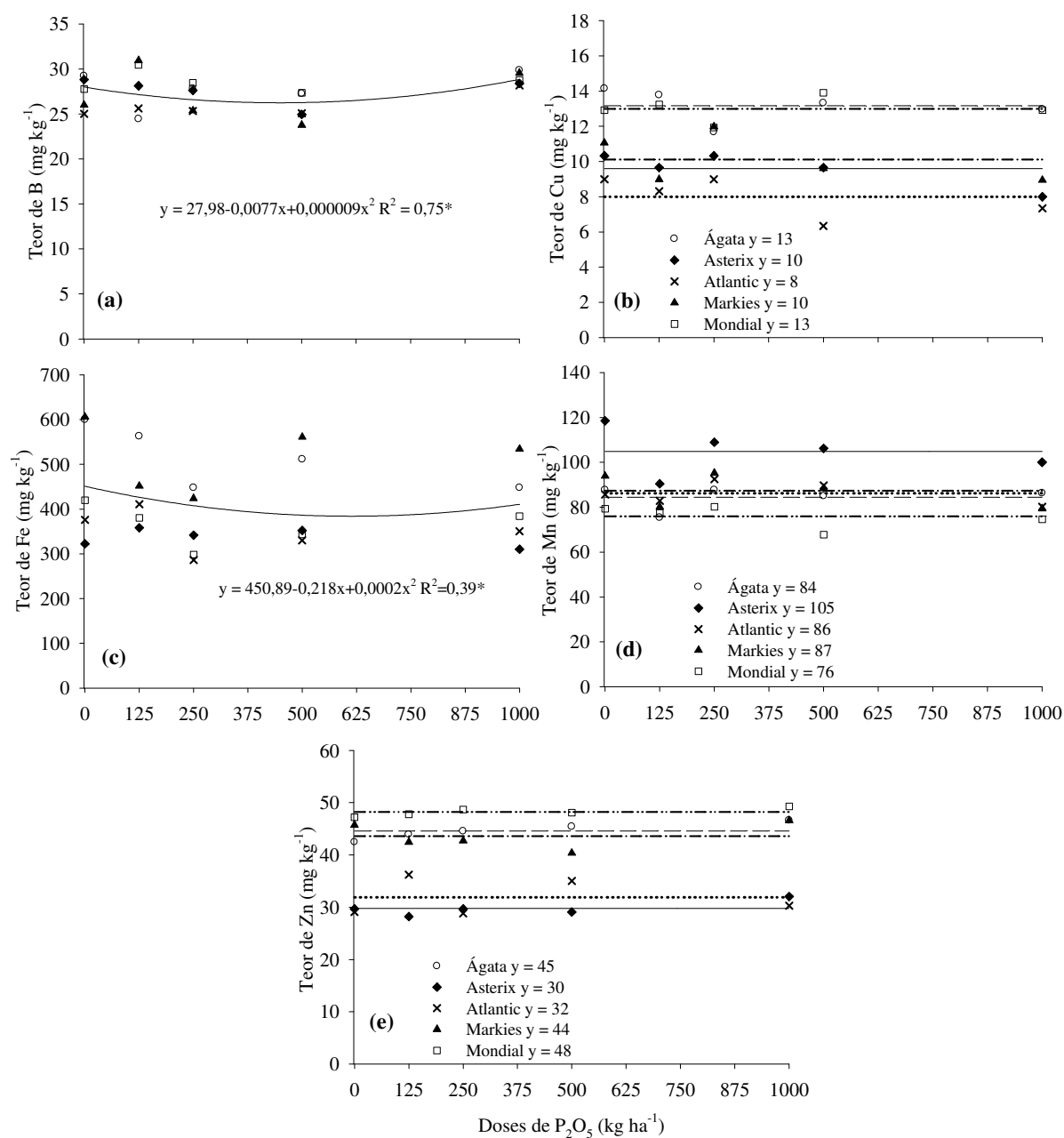


Figura 33. Teores de B (a), Cu (b), Fe (c), Mn (d) e Zn (e) na folha diagnose de cultivares de batata, cultivadas em solo com “alto teor de P”, em resposta a aplicação de P. * $p < 0,05$ pelo teste F.

Os teores foliares de Fe foram afetados por ambos os fatores estudados, sendo os maiores teores observados nas cultivares Ágata e Markies e os menores nas cultivares Asterix, Atlantic e Mondial (Tabela 37). A adubação fosfatada promoveu

pequenas reduções nos teores foliares de Fe até a dose estimada de 545 kg ha⁻¹ (Figura 33c), mas mesmo com essa diminuição, os teores de Fe permaneceram acima da faixa considerada como adequada por Lorenzi et al. (1997) e Jones Junior (1991), que é de 50 a 100 mg kg⁻¹. A ocorrência de teores foliares de micronutrientes catiônicos (Cu, Fe, Mn e Zn) dentro e/ou acima das faixas consideradas adequadas para a cultura são reflexo dos elevados teores desses nutrientes no solo, o que demonstra que houve disponibilidade adequada dos mesmos para o desenvolvimento da batateira (Tabela 1).

6.4.2 Quantidade de matéria seca acumulada e extração de P

O acúmulo de MS nas raízes foi afetado apenas pelo fator cultivar, sendo observado maior acúmulo na cultivar Ágata (Tabela 38). Os menores acúmulos radiculares de MS foram observados na cultivar Markies, enquanto nas demais cultivares os acúmulos foram intermediários. O fato da adubação fosfatada não ter influenciado no crescimento radicular das cultivares estudadas (Figura 34a), é reflexo da elevada disponibilidade de P no solo (Tabela 1), a qual foi suficiente para promover o desenvolvimento adequado do sistema radicular (Figura 34a).

Tabela 38. Quantidade de matéria seca acumulada nas raízes, parte aérea, tubérculos e na planta inteira de cultivares de batata, cultivadas em solo com “alto teor de P”, em resposta a aplicação de P.

Cultivar	Raízes	Parte aérea	Tubérculos	Planta inteira
	kg ha ⁻¹			
Ágata	11,3a	946a	5.313bc	6.260b
Asterix	8,1b	1.014a	6.081a	7.515a
Atlantic	7,6b	1.019a	4.750c	6.194b
Markies	4,8c	925a	5.177c	6.666b
Mondial	8,2b	1.026a	5.983ab	7.484a
Probabilidade	(P > F)			
Cultivar (C)	<0,001	0,373	<0,001	<0,001
Dose (D)	0,196	0,005	<0,001	<0,001
Interação C x D	0,944	1,00	0,999	0,999
CV(%)	23,0	20,5	14,5	13,3

Médias seguidas de letras distintas na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

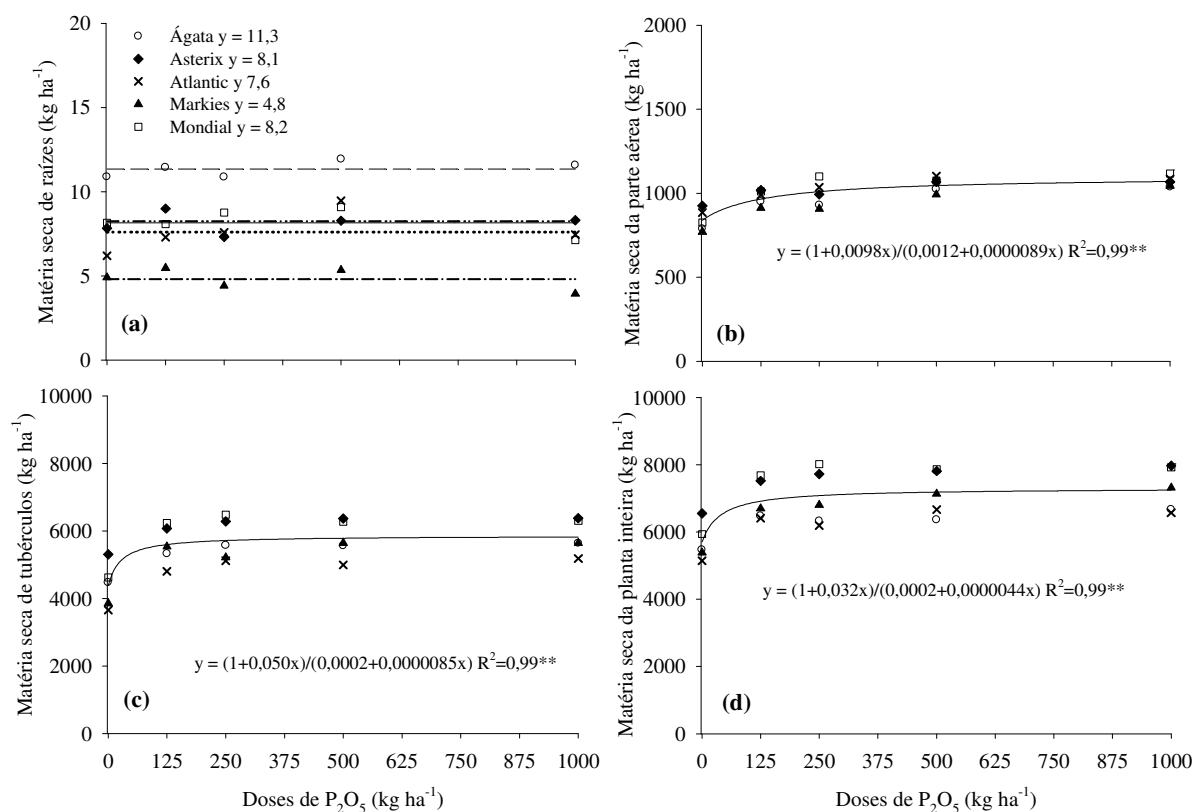


Figura 34. Quantidade de matéria seca acumulada nas raízes (a), parte aérea (b), tubérculos (c) e na planta inteira (d) de cultivares de batata, cultivadas em solo com “alto teor de P”, em resposta a aplicação de P. ** $p < 0,01$ pelo teste F.

A MS da parte aérea foi afetada apenas pelo fator dose de P, cujos incrementos na quantidade acumulada ocorreu até a dose aproximada de 250 kg ha⁻¹ de P_2O_5 (Tabela 38 e Figura 34b). Nas doses mais elevadas, o acúmulo de MS na parte aérea praticamente não foi alterado e manteve-se estável. Rosen e Bierman (2008), também observaram em solo fértil em P, que praticamente não houve aumento significativo nas quantidades de MS acumuladas na parte aérea da batateira em resposta a adubação fosfatada.

As quantidades de MS acumuladas nos tubérculos e na planta inteira foram influenciadas isoladamente pelos fatores estudados (Tabela 38). As cultivares Asterix e Mondial acumularam as maiores quantidades de MS tanto nos tubérculos como na planta inteira. Fernandes et al. (2010a), acompanharam nessas mesmas cultivares o crescimento e o acúmulo de MS ao longo do ciclo em solo com alto teor de P, e também observaram maior acúmulo de MS nos tubérculos e na planta inteira das cultivares Asterix e Mondial. Nos

tubérculos, os menores acúmulos de MS ocorreram com as cultivares Atlantic e Markies, enquanto a cultivar Ágata apresentou acúmulos intermediários. Já na planta inteira as cultivares Ágata, Atlantic e Markies apresentaram acúmulos semelhantes de MS, como também foi observado por Fernandes et al. (2010a).

A adubação fosfatada promoveu aumento na MS de tubérculos e da planta inteira, porém, praticamente não houve incrementos nos acúmulos de MS com doses acima de 125 kg ha^{-1} de P_2O_5 (Figuras 34c e 34d). Ali e Anjum (2004) estudaram a influência da adubação fosfatada na cultura da batata, em solo com maior teor residual de P, e verificaram que a aplicação de pequenas doses de P aumentou a MS total das plantas, o que não ocorreu com o uso de doses mais elevadas. Esses autores concluíram que os teores residuais de P disponível no solo foram suficientes para gerar produtividades satisfatórias de MS, e que as respostas à adubação foram relativamente pequenas e não significativas. Mesmo em solo de baixa fertilidade em P, foi observado que a aplicação de doses acima de 105 kg ha^{-1} de P_2O_5 , não resultou em maior acúmulo de MS nos tubérculos da batateira, indicando que quando a planta de batata atinge um nível nutricional adequado de P, ela não altera mais seu índice de colheita (ALVAREZ-SÁNCHEZ et al., 1999). Estes resultados demonstram que quando a disponibilidade de P no solo é elevada, devido às constantes aplicações realizadas anteriormente ao cultivo da batata, as doses de fertilizante fosfatado a serem aplicadas no cultivo da batateira podem ser menores (COVARRUBIAS-RAMÍREZ et al., 2005), pois como foi observado os aumentos no acúmulo de MS são pequenos, mesmo com a aplicação de doses elevadas (Figuras 34c e 34d).

Com relação à absorção de P, verifica-se que o acúmulo de P nas raízes sofreu influência da interação cultivar x dose de P (Tabela 39). As cultivares Ágata, Asterix e Markies não tiveram seus acúmulos radiculares de P alterados pela adubação fosfatada, de modo que independente da adubação os maiores acúmulos radiculares de P sempre ocorreram na cultivar Ágata, os menores na cultivar Markies e os acúmulos intermediários na cultivar Asterix (Figura 35a). Na ausência da adubação fosfatada as cultivares Atlantic e Mondial apresentaram baixos acúmulos radiculares de P, ou seja, semelhantes ao da cultivar Markies, entretanto o incremento na adubação fosfatada aumentou as quantidades de P acumuladas nas raízes dessas cultivares, as quais, passaram a acumular quantidades semelhantes às daquelas das cultivares Ágata e Asterix.

Tabela 39. Quantidade de P acumulada nas raízes, parte aérea, tubérculos e na planta inteira de cultivares de batata, cultivadas em solo com “alto teor de P”, em resposta a aplicação de P.

Cultivar	Raízes	Parte aérea	Tubérculos	Planta inteira
	kg ha ⁻¹			
Ágata	0,02	2,0a	12,0a	14,0ab
Asterix	0,02	2,3a	12,6a	14,9a
Atlantic	0,01	2,4a	9,8b	12,2b
Markies	0,01	2,1a	11,5ab	13,7ab
Mondial	0,02	2,0a	11,7ab	13,7ab
Probabilidade	(P > F)			
Cultivar (C)	<0,001	0,046	0,004	0,011
Dose (D)	0,034	<0,001	<0,001	<0,001
Interação C x D	0,014	0,999	0,999	0,998
CV(%)	21,6	22,1	19,9	17,1

Médias seguidas de letras distintas na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Houve efeito apenas do fator dose de P sobre o acúmulo de P na parte aérea da batateira, sendo que as quantidades de P acumuladas apresentaram pequenos aumentos até a maior dose estudada, mesmo sem haver aumento na MS da parte aérea com doses acima de 250 kg ha⁻¹ de P₂O₅ (Tabela 39 e Figura 35b). Esse comportamento também foi observado por Alvarez-Sánchez et al. (1999) para os tubérculos e a planta inteira. Os incrementos nos acúmulos de P na parte aérea da batateira com a aplicação de doses acima de 250 kg ha⁻¹ de P₂O₅ foram pouco significativos, ou seja, não atingiram valores da ordem 1,0 kg ha⁻¹ de P, além de não refletirem em aumento na produção de MS (Figura 35b e 34b).

Nos tubérculos e na planta inteira, os acúmulos de P foram afetados pelos fatores isolados (Tabela 39). As quantidades de P acumuladas nos tubérculos da batateira diferiram apenas entre a cultivar Atlantic (9,8 kg ha⁻¹) e as cultivares Ágata (12,0 kg ha⁻¹) e Asterix (12,6 kg ha⁻¹). Na planta inteira os acúmulos de P diferiram somente entre a cultivar Asterix (maior acúmulo) e a cultivar Atlantic (menor acúmulo). A adubação fosfatada aumentou o acúmulo de P nos tubérculos e na planta inteira da batateira até a dose máxima estudada (Figura 35c e 35d). No entanto, os incrementos nas quantidades acumuladas foram pouco significativos a partir da dose de 250 kg ha⁻¹ de P₂O₅. Covarrubias-Ramírez et al. (2005) estudando a absorção e eficiência de uso do P pela cultura da batata, utilizando ³²P em solo com maior disponibilidade de P, observaram que a adubação fosfatada não melhorou a absorção de P do solo ou do fertilizante, devido aos elevados teores iniciais de P no solo.

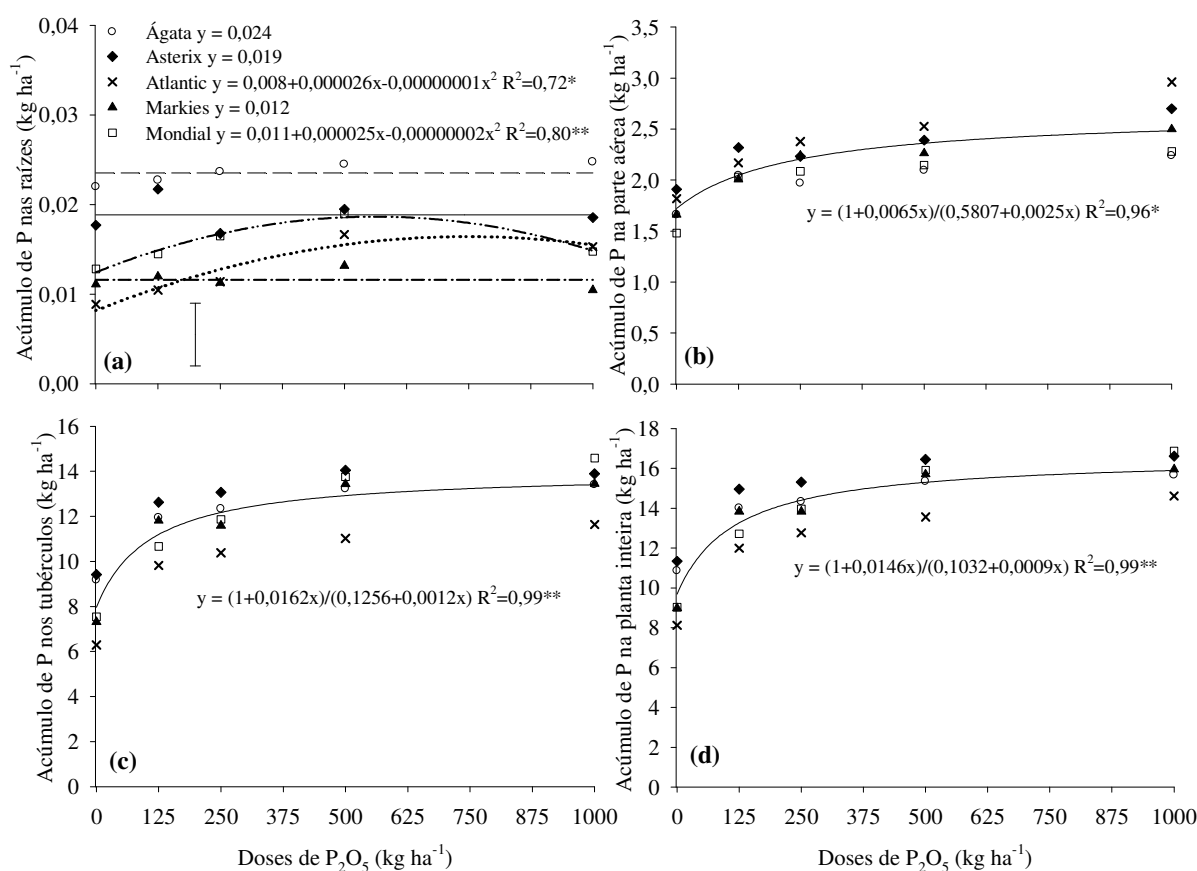


Figura 35. Quantidade de P acumulada nas raízes (a), parte aérea (b), tubérculos (c) e na planta inteira (d) de cultivares de batata, cultivadas em solo com “alto teor de P”, em resposta a aplicação de P. * $p < 0,05$ e ** $p < 0,01$ pelo teste F.

De maneira geral, mesmo com alta disponibilidade de P no solo e com a aplicação de elevadas doses de P, as quantidades de P absorvidas pela batateira não são tão elevadas, já que, em média, a extração de P pela planta de batata não ultrapassou 16 kg ha⁻¹ de P (Figura 35d). Resultados similares foram obtidos por Yorinori (2003) e Fernandes et al. (2011) em estudos sobre marcha de absorção de nutrientes. Esses autores verificaram que mesmo em solo com teor de P considerado alto (≥ 70 mg dm⁻³ de $P_{(resina)}$) e com a aplicação de 640 kg ha⁻¹ de P_2O_5 , a absorção de P pela batateira ficou entre 15,2 e 18 kg ha⁻¹ de P, e representou por volta de 5,4% e 6,4% do P aplicado via adubação. Rosen e Bierman (2008), observaram em solo com teores elevados de P, que a adubação fosfatada proporcionou apenas pequenos incrementos na absorção de P pela batateira, em comparação aos tratamentos sem

adubação com P. Esses autores sugeriram que os efeitos da adubação fosfatada foram mais evidentes durante o início da tuberização, mas que a partir dessa fase o desenvolvimento de cultura tornou-se semelhante em todos os tratamentos, demonstrando que o P já disponível no solo foi suficiente para promover o crescimento adequado da cultura.

6.4.3 Número, produtividade total, produtividade classificada e produtividade relativa de tubérculos

O número total de tubérculos por planta e o número de tubérculos das classes primeira e segunda foram influenciados apenas pelo fator cultivar (Tabela 40 e Figuras 36a, 36d e 36e). Os maiores números totais de tubérculos por planta foram obtidos nas cultivares Ágata e Mondial, os menores números na cultivar Atlantic, enquanto as cultivares Asterix e Markies apresentaram número intermediário de tubérculos por planta.

Tabela 40. Número total de tubérculos, número de tubérculos comercializáveis e número de tubérculos das classes especial, primeira, segunda e miúda de cultivares de batata, cultivadas em solo com “alto teor de P”, em resposta a aplicação de P.

Cultivar	Total	Comercial	Especial	Primeira	Segunda	Miúda
tubérculos por planta						
Ágata	9,4a	9,0a	5,0a	2,9a	1,1a	0,4a
Asterix	8,1b	7,7b	3,7bc	3,0a	1,0ab	0,4a
Atlantic	5,6d	5,6c	4,0b	1,4b	0,2c	0,0b
Markies	6,8c	6,5c	3,3c	2,5a	0,7b	0,3a
Mondial	8,4ab	8,0b	4,2b	2,8a	1,0ab	0,5a
Probabilidade	(P > F)					
Cultivar (C)	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Dose (D)	0,164	0,009	0,014	0,173	0,216	0,004
Interação C x D	0,991	0,989	1,00	0,998	0,897	0,145
CV(%)	15,3	15,6	16,3	28,0	48,2	53,4

Médias seguidas de letras distintas na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Na classe primeira, a cultivar Atlantic apresentou os menores números de tubérculos por planta, enquanto as demais cultivares obtiveram número semelhante de tubérculos por planta (Tabela 40 e Figura 36d). O número de tubérculos da classe segunda diferiu apenas entre a cultivar Ágata (maior número) e as cultivares Atlantic e Markies (menor número) (Tabela 40 e Figura 36e).

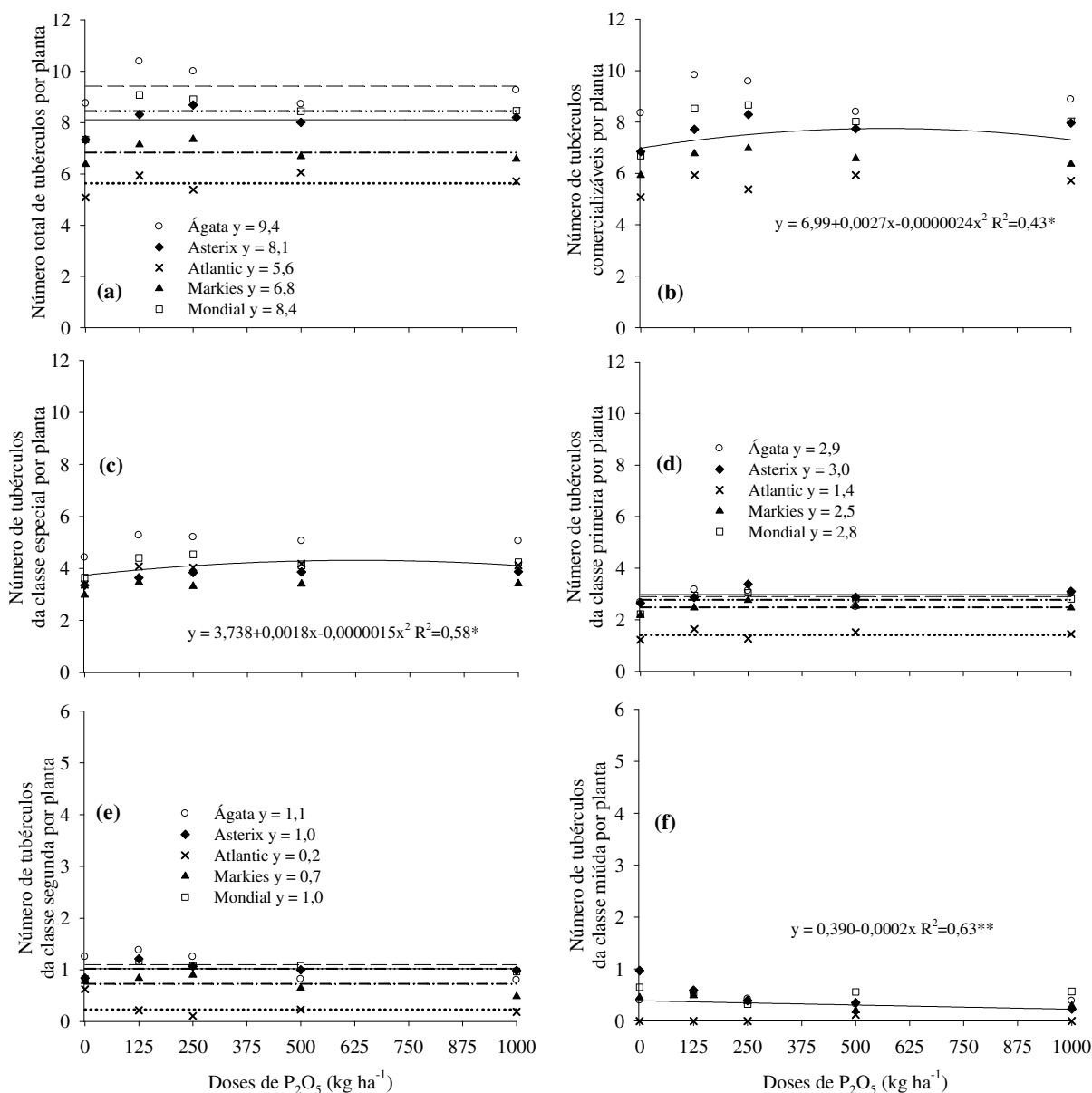


Figura 36. Número total de tubérculos (a), número de tubérculos comercializáveis (b) e número de tubérculos das classes especial (c), primeira (d), segunda (e) e miúda (f) de cultivares de batata, cultivadas em solo com “alto teor de P”, em resposta a aplicação de P. * $p < 0,05$ e ** $p < 0,01$ pelo teste F.

Os números de tubérculos comercializáveis e das classes especial e miúda foram afetados por ambos os fatores estudados (Tabela 40). Os maiores números de tubérculos comerciais e da classe especial ocorreram na cultivar Ágata, os menores números de tubérculos comercializáveis ocorreram nas cultivares Atlantic e Markies, e o menor número

de tubérculos da classe especial na cultivar Markies. Nas demais cultivares, observaram-se números intermediários de tubérculos comercializáveis e da classe especial por planta.

A adubação fosfatada promoveu pequenos aumentos no número de tubérculos comerciais e da classe especial, até doses próximas de 560 kg ha^{-1} de P_2O_5 (Figuras 36b e 36c). Entretanto, os aumentos no número de tubérculos comercializáveis e da classe especial em resposta à adubação fosfatada não chegou a atingir valores da ordem de um tubérculo por planta em média, ou seja, sob maior disponibilidade de P no solo a adubação fosfatada praticamente não altera o número de tubérculos de tamanho comercial e especial por planta. Isso ocorre porque os aumentos no número de tubérculos por planta já ocorrem com o fornecimento de pequenas doses de P, mas a aplicação de doses mais elevadas de P ainda gera certos incrementos de produtividade em decorrência, apenas do aumento no tamanho dos tubérculos e não do número de tubérculos (DUBETZ; BOLE; 1975; ALI et al., 2004). Rosen e Bierman (2008) chegaram a obter redução na quantidade de tubérculos de maior tamanho ($> 285 \text{ g}$) em resposta a adubação fosfatada em solo com alta disponibilidade de P, ou seja, quando a disponibilidade de P no solo já é alta, a adubação fosfatada pode inclusive reduzir o número de tubérculos maiores.

O número de tubérculos da classe miúda foi menor na cultivar Atlantic e não diferiu entre as demais cultivares, mas em todas as cultivares a adubação fosfatada promoveu pequena redução no número de tubérculos (Tabela 40 e Figura 36f).

De maneira geral, a adubação não alterou ou alterou muito pouco o número de tubérculos de maior tamanho neste experimento, demonstrando que em solo com alta disponibilidade de P a adubação fosfatada praticamente não altera o número de tubérculos por planta (Figura 36). Outros autores observaram até redução no número de tubérculos maiores e aumento no número de tubérculos menores, em resposta a adubação fosfatada em solo com teores elevados desse nutriente (ROSEN; BIERMAN, 2008). Em estudo realizado por Feltran (2005), em São Manuel-SP, também não foi observada alteração no número de tubérculos graúdos por planta em resposta a adubação NPK com 8-28-16, em solo com teor de 60 mg dm^{-3} de P. Apesar desse autor ter trabalhado com formulação NPK, provavelmente, a falta de resposta deveu-se aos elevados teores de P do solo, já que o mesmo autor obteve aumento linear no número de tubérculos graúdos, em experimento em solo com menores teores de P.

Com relação à produtividade de tubérculos, observou-se influência isolada dos fatores estudados, sobre a produtividade total e comercial (Tabela 41). A cultivar Mondial apresentou as maiores produtividades total e comercial de tubérculos, a cultivar Atlantic as menores produtividades e as demais cultivares apresentaram produtividades intermediárias. A adubação fosfatada aumentou significativamente a produtividade total e comercial de tubérculos até a dose de 125 kg ha⁻¹ de P₂O₅, mas não alterou a produtividade de tubérculos em doses maiores, como pode ser observado pelos valores de erro padrão das médias (Figuras 37a e 37b).

Tabela 41. Produtividade total de tubérculos, produtividade comercial de tubérculos, produtividade classificada de tubérculos e produtividade relativa de tubérculos de cultivares de batata, cultivadas em solo com “alto teor de P”, em resposta a aplicação de P.

Cultivar	Total	Comercial	Especial	Primeira	Segunda	Miúda	Relativa
	kg ha ⁻¹						%
Ágata	37.556b	37.452b	29.778b	6.796b	878	103	96a
Asterix	35.952b	35.834b	26.182c	8.730a	922	118	101a
Atlantic	25.507d	25.467d	22.373d	2.888c	206	40	98a
Markies	30.457c	30.377c	22.835d	6.974b	567	81	99a
Mondial	41.748a	41.599a	32.853a	7.825ab	921	149	98a
Probabilidade	(P > F)						
Cultivar (C)	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,843
Dose (D)	<0,001	<0,001	<0,001	0,121	<0,001	<0,001	<0,001
Interação C x D	0,909	0,911	0,997	0,802	0,001	0,031	0,999
CV(%)	9,9	9,9	11,9	19,9	23,7	27,9	13,1

Médias seguidas de letras distintas na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

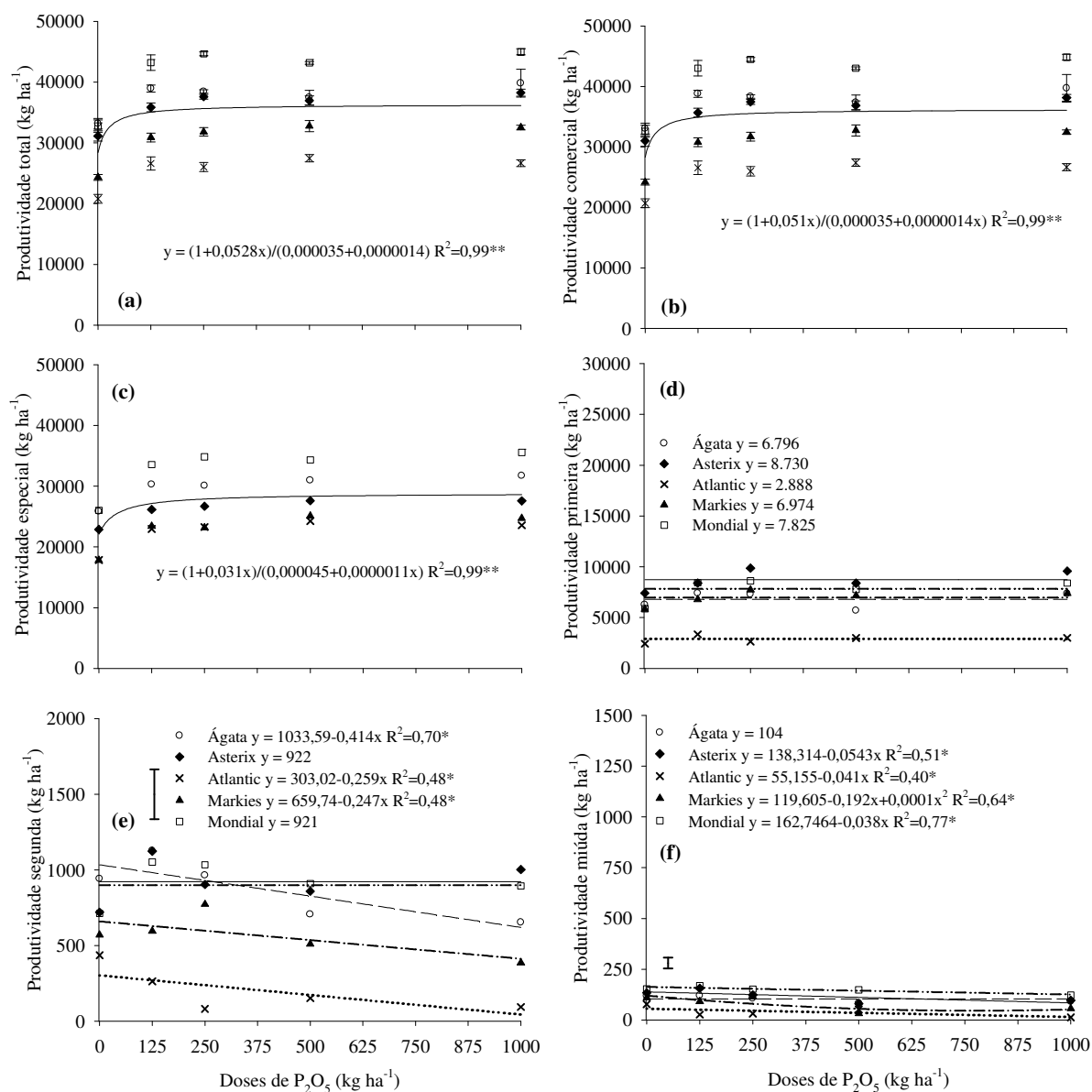


Figura 37. Produtividade total de tubérculos, produtividade de tubérculos comercializáveis e produtividade de tubérculos das classes especial, primeira, segunda e miúda de cultivares de batata, cultivadas em solo com “alto teor de P”, em resposta a aplicação de P. * $p<0,05$ e ** $p<0,01$ pelo teste F. Barras verticais nos pontos das figuras (a) e (b) representam o erro padrão das médias ($n=4$). Barras verticais nas figuras (e) e (f) indicam o valor de DMS pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

Apenas as doses de P influenciaram a produtividade relativa de tubérculos, com aumentos de produtividade ocorrendo somente até a dose de 125 kg ha⁻¹ de P_2O_5 , quando as plantas atingiram as produtividades máximas (Tabela 41 e Figuras 37a e 38).

Esses resultados demonstram que em solos com altos teores de P disponível, é possível reduzir a adubação fosfatada tradicionalmente utilizada na cultura da batata, sem comprometer a produtividade de tubérculos. Porém, mesmo sob elevada disponibilidade de P no solo, a aplicação de pelo menos 125 kg ha^{-1} de P_2O_5 , foi essencial para maximizar a produtividade de tubérculos, pois a ausência da adubação fosfatada reduziu a produtividade de tubérculos em 18% em relação à produtividade máxima obtida (Figuras 37a e 38). Outros estudos demonstraram que mesmo com elevada disponibilidade de P no solo a inclusão de pequenas doses de P na adubação de plantio aumentou a produtividade de tubérculos da batateira, gerando produtividades similares as obtidas com o uso de doses elevadas (HOCHMUTH et al., 2002; ALI et al., 2004; ROSEN; BIERMAN, 2008), ou produtividades até superiores (RYKBOST et al., 1993).

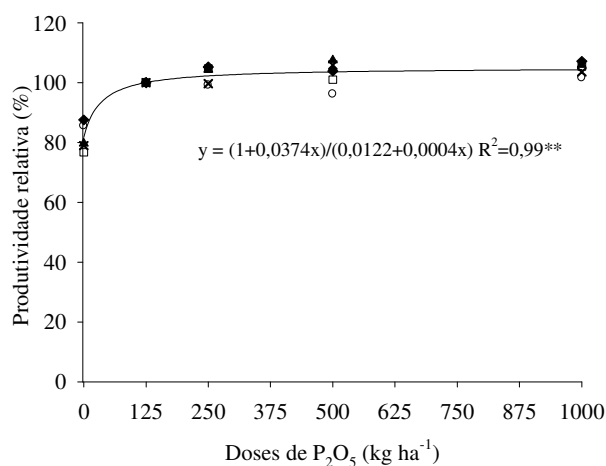


Figura 38. Produtividade relativa de tubérculos de cultivares de batata, cultivadas em solo com “alto teor de P”, em resposta a aplicação de P. ** $p < 0,01$ pelo teste F.

Em estudo realizado por Feltran (2005), observou-se que a aplicação de doses superiores a 1.000 kg ha^{-1} de 8-28-16 (280 kg ha^{-1} de P_2O_5), em solo com teor de 46 mg dm^{-3} de $\text{P}_{(\text{resina})}$, proporcionou pequenos acréscimos na produtividade total e comercial de tubérculos. Mas em solos com maiores teores de P disponível (60 mg dm^{-3} de $\text{P}_{(\text{resina})}$), esse autor observou que a produtividade total e comercial de tubérculos nas doses de 2.000, 3.000 e 4.000 kg ha^{-1} de 8-28-16 chegaram a ser inferiores à observada com a aplicação de apenas 1.000 kg ha^{-1} da mesma formulação, ou seja, a aplicação de doses acima de 80 kg de N , 280

kg de P_2O_5 e 160 kg de K_2O por hectare não refletiu em aumentos de produtividade. Esses resultados demonstram que sob maior disponibilidade de P no solo, a aplicação de menores doses de P, pode refletir em redução de custo e de risco ambiental, já que a produtividade não é reduzida com a diminuição da adubação fosfatada. Estudo realizado na década de 60, já demonstrava a importância do P residual no solo para a cultura da batata (BOOCK; FREIRE, 1960). Esses autores após analisar 10 experimentos, observaram que nas áreas que nunca tinham recebido adubação fosfatada a produtividade da batata aumentou linearmente com as doses do fertilizante fosfatado, mas nas áreas que já haviam recebido adubação fosfatada nas culturas antecedentes à batata, a produtividade de tubérculos tendeu a se estabilizar com a aplicação de doses próximas a 120 kg ha^{-1} de P_2O_5 .

Os fatores estudados influenciaram a produtividade de tubérculos da classe especial, sendo que as maiores produtividades foram obtidas na cultivar Mondial (Tabela 41). A cultivar Asterix apresentou as menores produtividades de tubérculos da classe especial, enquanto as demais cultivares apresentaram produtividades intermediárias. A adubação fosfatada aumentou a produtividade de tubérculos da classe especial apenas até a dose de 125 kg ha^{-1} de P_2O_5 , com incrementos que não ultrapassaram 6.000 kg ha^{-1} de tubérculos (Figura 37c). Esses resultados estão de acordo com a hipótese do presente trabalho, de que em áreas com elevada disponibilidade de P, as quantidades aplicadas podem ser reduzidas, já que não se observou aumentos de produtividade.

A produtividade de tubérculos da classe primeira sofreu influência apenas do fator cultivar (Tabela 41 e Figura 37d). As maiores produtividades de tubérculos da classe primeira foram observadas nas cultivares Asterix e Mondial, as menores produtividades ocorreram na cultivar Atlantic, enquanto nas demais cultivares as produtividades foram intermediárias.

Houve interação dos fatores estudados sobre a produtividade de tubérculos das classes segunda e miúda (Tabela 41). A adubação fosfatada não alterou a produtividade de tubérculos da classe segunda das cultivares Asterix e Mondial, porém reduziu linearmente a produtividade das demais cultivares (Figuras 37e e 37f). Apesar da adubação ter reduzido a produtividade de tubérculos da classe segunda na cultivar Ágata, esta ainda permaneceu semelhante a das cultivares Asterix e Mondial. Essas três cultivares apresentaram produtividades superiores as da cultivar Atlantic em todas as doses estudadas,

enquanto a cultivar Markies apresentou produtividades intermediárias. Apenas a cultivar Ágata não teve sua produtividade de tubérculos da classe miúda afetada pelas doses de P, entretanto nas demais cultivares a produtividade de tubérculos dessa classe foi reduzida com o aumento da adubação fosfatada (Figura 37f). Nas menores doses estudadas a cultivar Atlantic apresentou as menores produtividades da classe miúda, porém com o aumento das doses de P, verificou-se redução mais acentuada na produtividade de tubérculos da maioria das demais cultivares, as quais passaram a apresentar produtividade semelhante a da cultivar Atlantic.

6.4.4 Porcentagem de MS, teor de P e exportação de P pelos tubérculos

Houve efeito apenas do fator cultivar sobre a porcentagem de MS dos tubérculos, demonstrando que em solos com elevado teor de P disponível a adubação fosfatada não altera a qualidade dos tubérculos produzidos (Tabela 42 e Figura 39a). As maiores porcentagens de MS foram obtidas nos tubérculos da cultivar Atlantic, as menores porcentagens ocorreram nos tubérculos das cultivares Mondial e Ágata, enquanto nas demais cultivares as porcentagens de MS de tubérculos foram intermediárias. Em estudos realizados por outros autores também foi observado maiores porcentagens de MS nos tubérculos da cultivar Atlantic (FERNANDES et al., 2010b; EVANGELISTA et al., 2011), o que é devido as características genéticas desse material, ou seja, trata-se de uma cultivar adaptada para a indústria e que apresenta elevadas porcentagens de MS nos tubérculos.

Tabela 42. Porcentagem de MS, teor de P e exportação de P pelos tubérculos de cultivares de batata, cultivadas em solo com “alto teor de P”, em resposta a aplicação de P.

Cultivar	Porcentagem de MS	Teor	Exportação
	%	g kg ⁻¹	kg ha ⁻¹
Ágata	14,1e	1,8a	9,4ab
Asterix	18,1c	1,6ab	10,4a
Atlantic	20,2a	1,5b	8,2b
Markies	18,8b	1,7ab	10,0a
Mondial	15,5d	1,6ab	10,5a
Probabilidade	(P > F)		
Cultivar (C)	<0,001	0,002	<0,001
Dose (D)	0,756	<0,001	<0,001
Interação C x D	0,997	0,884	0,851
CV(%)	4,4	10,7	15,4

Médias seguidas de letras distintas na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

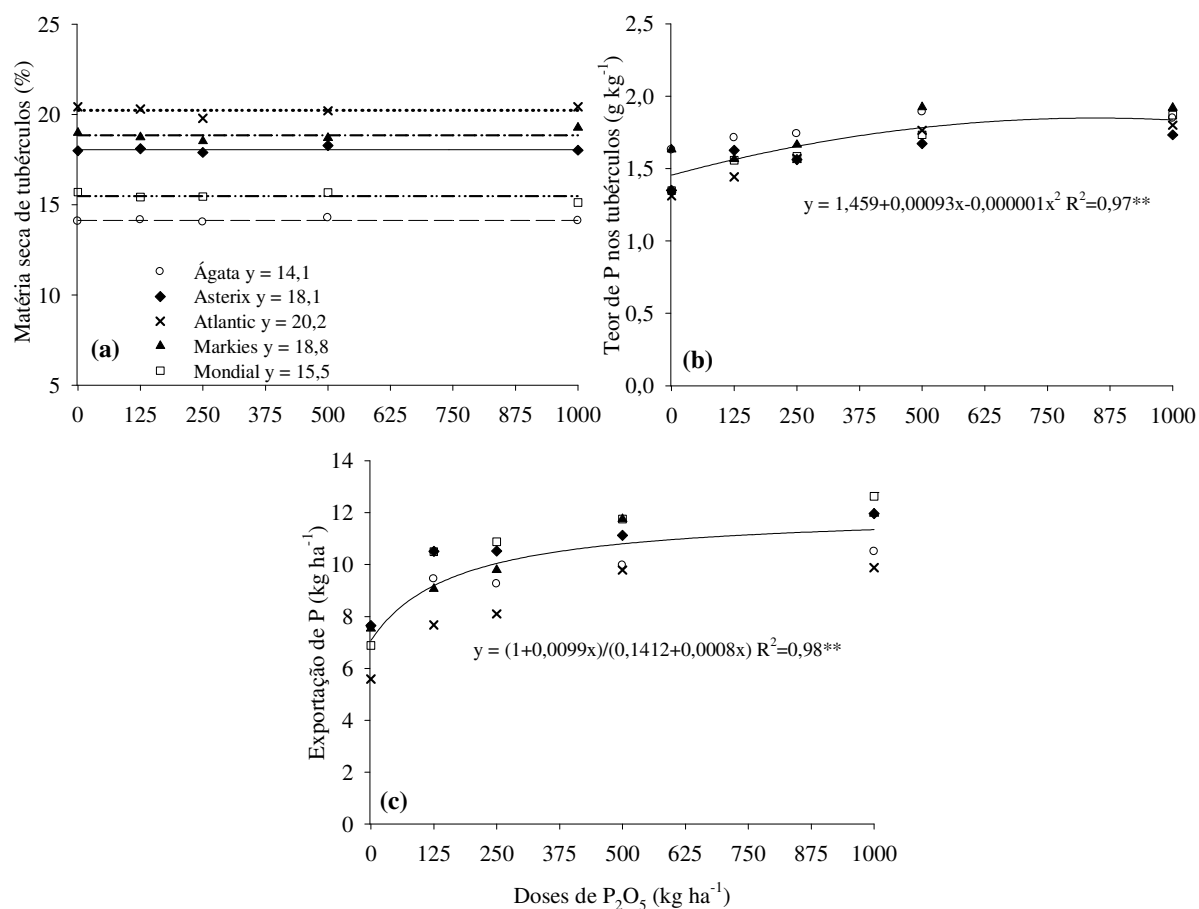


Figura 39. Porcentagem de MS, teor de P e exportação de P pelos tubérculos de cultivares de batata, cultivadas em solo com “alto teor de P”, em resposta a aplicação de P. $** p < 0,01$ pelo teste F.

Quanto aos teores e as exportações de P, verifica-se que houve influência isolada dos fatores estudados (Tabela 42). Os maiores teores de P ocorreram na cultivar Ágata, os menores teores na cultivar Atlantic, enquanto nas demais cultivares os teores foram intermediários. Quanto à exportação, observa-se que a cultivar Atlantic exportou quantidades de P inferiores às das cultivares Asterix, Markies e Mondial, mas semelhantes às da cultivar Ágata. Esses resultados demonstram que a cultivar Atlantic apesar de apresentar maiores porcentagens de MS nos tubérculos, possui baixa produtividade e menores teores de P nos tubérculos, o que resulta em menores exportações desse nutriente (Tabelas 41 e 42). Entretanto, a cultivar Mondial que apresentou as maiores produtividades de tubérculos, não apresentou valores de exportação de P superiores aos da maioria das

cultivares, em função das baixas porcentagens de MS nos seus tubérculos, já que o teor de P dos mesmos não diferiu das demais cultivares (Tabelas 41 e 42). Esses resultados demonstram que a exportação de P não aumenta, necessariamente, na mesma proporção da produtividade de tubérculos. Em estudo de absorção de macronutrientes pela batateira também foi observado este tipo de comportamento com a cultivar Mondial (FERNANDES et al., 2011). Esses autores verificaram que a exportação de macronutrientes não esteve diretamente relacionada com a produtividade de tubérculos, já que a cultivar Mondial que foi a mais produtiva não exportou as maiores quantidades de macronutrientes.

A adubação fosfatada incrementou os teores de P nos tubérculos da batateira até a dose estimada de 750 kg ha^{-1} (Figura 39b). Já a exportação de P aumentou com a adubação fosfatada até a maior dose estudada, mas com aumentos mais acentuados até a dose de 500 kg ha^{-1} de P_2O_5 (Figura 39c). Mesmo sem haver aumento no acúmulo de MS e na produtividade de tubérculos com a aplicação de doses acima de 125 kg ha^{-1} de P_2O_5 , a exportação de P aumentou até dose quatro vezes maior que àquela que gerou as maiores produtividades e acúmulos de MS nos tubérculos (Figuras 34c, 37a e 39c). RYKBOST, et al. (1993) cultivando batata em solo com elevados teores de P, observaram que mesmo sem haver aumento na produtividade de tubérculos, a adubação fosfatada promoveu aumentos lineares nos teores de P dos tubérculos e aumentos significativos nas quantidades de P exportadas. Esses resultados demonstram que elevadas doses de P, em solo fértil em P, aumenta os teores de P dos tubérculos e causa pequenos aumentos na exportação de P, sem alterar a produtividade.

As quantidades exportadas foram pequenas se consideradas as doses aplicadas e a elevada disponibilidade de P já presente no solo, pois, em média, as exportações de P atingiram no máximo $11,5 \text{ kg ha}^{-1}$ de P (Figura 39c). Em estudo realizado por outros autores em solo com alta disponibilidade de P, e que recebeu adubação com 640 kg ha^{-1} de P_2O_5 , a exportação de P chegou, no máximo a 15 kg ha^{-1} dependendo da cultivar, ou seja, valores até superiores aos obtidos neste estudo (YORINORI, 2003; FERNANDES et al., 2011).

6.4.5 Teores de P residual no solo, teor crítico de P no solo, porcentagem de recuperação e eficiência de uso do P aplicado

Apenas o fator dose de P afetou os teores de P do solo após a colheita da batata, os quais aumentaram linearmente com o incremento da adubação fosfatada (Tabela 43 e Figura 40a). Com a aplicação da dose máxima de P, os teores de P do solo atingiram valores da ordem de 210 mg dm^{-3} . Em solo com teor inicial de 60 mg dm^{-3} de $P_{\text{(resina)}}$, Feltran (2005) também observou aumento linear nos teores de P do solo após a colheita da batata, devido ao aumento da adubação. Esse autor obteve teores próximos a 150 mg dm^{-3} de $P_{\text{(resina)}}$ com a aplicação de 4.000 kg ha^{-1} do fertilizante NPK 8-28-16, ou seja, com o uso de 1.120 kg ha^{-1} de P_2O_5 .

Tabela 43. Teores de P residual no solo após a colheita da batata (P_{resina}), porcentagem de recuperação do P aplicado (RPA) e eficiência de uso do P aplicado (EU), por cultivares de batata, cultivadas em solo com “alto teor de P”, em resposta a aplicação de P.

Cultivar	P_{resina} mg dm ⁻³	RPA ⁽¹⁾ %	EU ⁽²⁾ kg kg ⁻¹
Ágata	125a	3,0c	21
Asterix	119a	3,5bc	21
Atlantic	126a	3,8abc	22
Markies	124a	4,5a	27
Mondial	124a	4,1ab	41
Probabilidade	(P > F)		
Cultivar (C)	0,922	<0,001	<0,001
Dose (D)	<0,001	<0,001	<0,001
Interação C x D	1,000	0,224	<0,001
CV(%)	20,3	22,3	21,0

Médias seguidas de letras distintas na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). ⁽¹⁾ [(Conteúdo de P na planta fertilizada – conteúdo de P na testemunha)/quantidade de P aplicada via fertilizante] x 100; ⁽²⁾ (Produtividade de tubérculos por tratamento – produtividade de tubérculos na testemunha)/quantidade de P_2O_5 aplicada em cada tratamento.

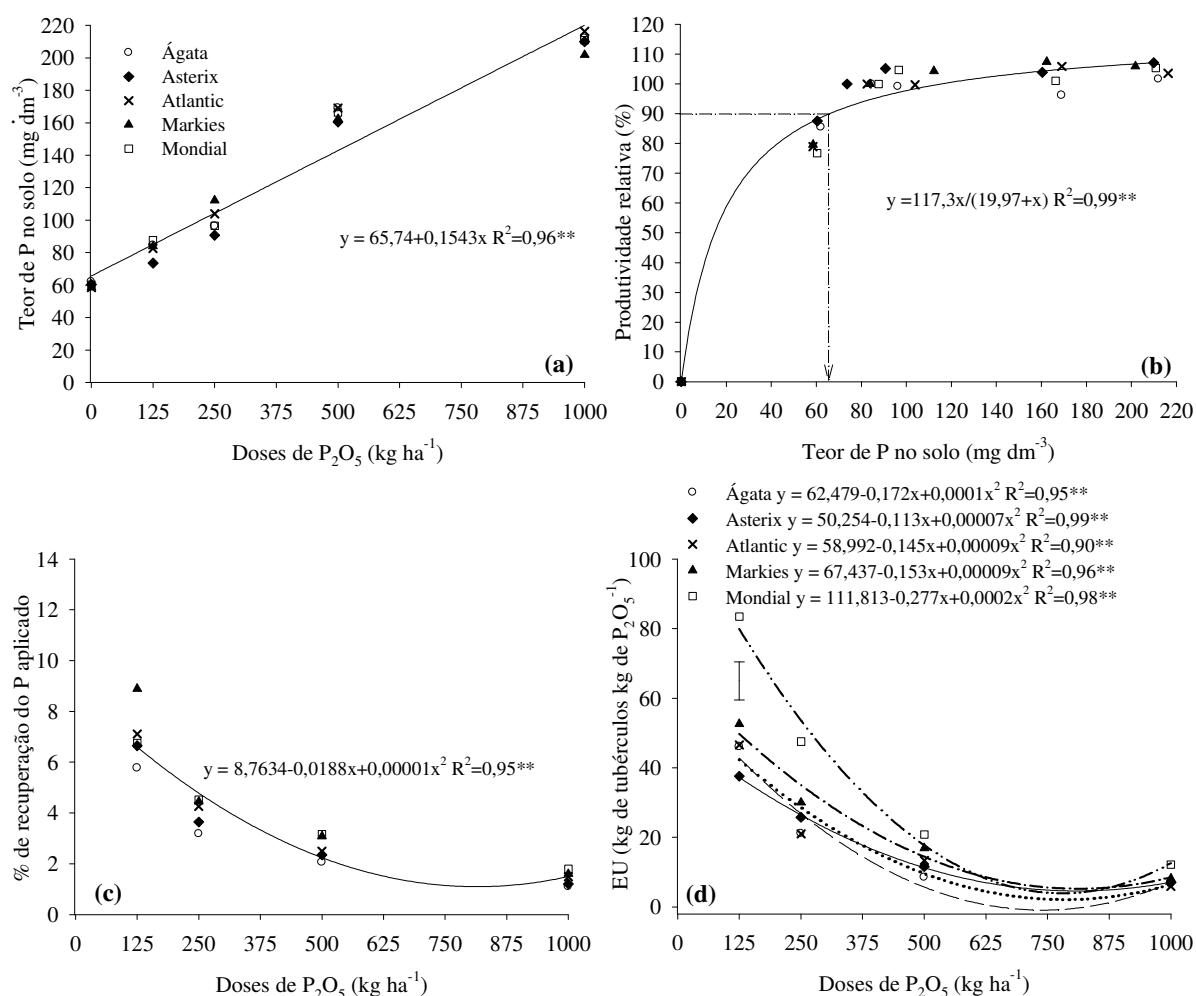


Figura 40. Teores de P residual no solo após a colheita (a), teor crítico de P no solo (b), porcentagem de recuperação do P aplicado (c) e eficiência de uso do P aplicado (d) por cultivares de batata, cultivadas em solo com “alto teor de P”, em resposta a aplicação de P. $^{**}p < 0,01$ pelo teste F. Barra vertical na área da figura (d) indica o valor de DMS pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

O teor crítico de P no solo foi de $65\ mg\ dm^{-3}$, ou seja, próximo do observado nos experimentos com baixa e média disponibilidade de P no solo (Figuras 21c, 21d, 31b e 40b), e do que é proposto para a cultura da batata, para as condições do estado de São Paulo, em que o nível crítico de P no solo é de $60\ mg\ dm^{-3}$ (RAIJ et al., 1997). A dose necessária para se atingir o teor crítico de P no solo, normalmente, está próxima daquela que proporciona a máxima produtividade da cultura e o máximo retorno econômico (MIELNICZUK et al., 1969; RAIJ et al., 1997; SCHLINDWEIN, 2003; COMISSÃO, 2004).

Assim, como se observou em todos os experimentos de campo, o teor crítico de P, praticamente não se altera em função da disponibilidade inicial de P no solo (Figuras 21c, 21d, 31b e 40b), ou seja, quando o teor de P no solo encontra-se acima de 60 mg dm^{-3} , a resposta da batateira a adubação fosfatada é pequena ou quase nula (Figuras 37 e 38). Nessas condições, ou seja, em solos com teores de P acima do nível crítico, a adubação da cultura deve ser feita visando repor as quantidades de P exportadas e as perdas que ocorrem no sistema solo-planta (ANDRADA, 2005).

A porcentagem de recuperação do P aplicado foi afetada pelos fatores estudados, sendo que a maior recuperação de P foi observada nas cultivares Atlantic, Markies e Mondial (Tabela 43). As menores porcentagens de recuperação ocorreram na cultivar Ágata, enquanto a cultivar Asterix apresentou valores de recuperação de P intermediários. Independente da cultivar, a porcentagem de recuperação do P aplicado diminuiu com o aumento das doses de P, assim como observado para os demais experimentos de campo (Figuras 21c, 21d, 31b e 40b).

Houve interação dos fatores estudados em relação à eficiência de uso do P aplicado (Tabela 43). Com o fornecimento de doses entre 125 e 250 kg ha^{-1} de P_2O_5 a cultivar Mondial apresentou eficiência de uso de P superior as obtidas nas demais cultivares, as quais tiveram valores de eficiência muito similares (Figura 40d). Na dose de 125 kg ha^{-1} de P_2O_5 a cultivar Mondial produziu cerca de 80 kg de tubérculos por kg de P_2O_5 aplicado, mas nas demais cultivares a eficiência de uso de P foi inferior a 60 kg de tubérculos por kg de P_2O_5 adicionado ao solo. No entanto, o fornecimento de doses mais elevadas de fertilizante fosfatado, causou diminuição na eficiência de uso do P aplicado em todas as cultivares, de modo que as mesmas, passaram a produzir, em média, menos de 20 kg de tubérculos por kg de P_2O_5 aplicado (Figura 40d).

6.5 Relações entre cinética de absorção, estado nutricional e produtividade da batata cultivada em solo com baixo, médio e alto teor de P

No experimento em casa de vegetação, a cultivar Ágata apresentou elevados valores de V_{max} e influxo de P, principalmente, quando cultivada sob baixa disponibilidade de P, mas apresentou sistema radicular com menor massa, comprimento e superfície radicular, ou seja, com características morfológicas desfavoráveis a absorção de P.

Já a cultivar Asterix apresentou características morfológicas do sistema radicular favoráveis a absorção de P (maior massa, comprimento e superfície radicular), mas com baixa capacidade de absorver P, ou seja, com menores valores de $V_{\max}$ e influxo de P. A cultivar Mondial apresentou valores, relativamente, elevados de comprimento e superfície radicular e de $V_{\max}$ e Influxo de P, ou seja, apresentou sistema radicular com características morfológicas e fisiológicas favoráveis a absorção de P.

No campo, verificou-se que em todos os experimentos a cultivar Mondial apresentou os maiores níveis de produtividade em resposta a adubação fosfatada, sendo que as cultivares Ágata e Asterix também apresentaram elevados índices de produtividade, porém quase sempre menores que os obtidos na cultivar Mondial. Esses resultados demonstram que cultivares de batata, como a cultivar Mondial, que apresenta sistema radicular com características morfológicas e fisiológicas favoráveis à absorção de P, respondem melhor a adubação fosfatada, do que cultivares que apresentam sistema radicular apenas com características morfológicas (Asterix) ou fisiológicas (Ágata) favoráveis a absorção de P. Ou seja, em termos de resposta ao P, é mais vantajoso que uma cultivar apresente sistema radicular com certo equilíbrio entre as características morfológicas e fisiológicas que determinam a absorção de P, do que sistema radicular amplo e desenvolvido, com elevado comprimento e superfície radicular, mas com baixa eficiência fisiológica de absorção, ou vice versa.

Com relação à nutrição fosfatada das plantas, chama a atenção o fato de que em todos os experimentos de campo os teores foliares considerados adequados para a cultura da batata foram atingidos com a aplicação de doses menores que àquelas que proporcionaram as maiores produtividades (Figuras 7, 8, 17, 18, 23, 28, 32 e 37). Nas áreas com baixo teor de P, a aplicação de 125 kg ha^{-1} de P_2O_5 no primeiro ano e a aplicação de 250 kg ha^{-1} de P_2O_5 no segundo ano, proporcionaram teores considerados adequados para a batateira, mas a produtividade, em ambos os anos, aumentou até a dose de 500 kg ha^{-1} de P_2O_5 . Nas áreas com médio e alto teor de P, mesmo na ausência da adubação fosfatada os teores foliares já apresentavam-se como adequados, no entanto a produtividade aumentou até as doses de 250 e 125 kg ha^{-1} de P_2O_5 , para as áreas com médio e alto teor de P, respectivamente. Porém, mesmo nas doses que proporcionaram as maiores produtividades os teores foliares permaneceram dentro ou um pouco acima da faixa considerada como adequada para a cultura

da batata. Isso evidencia que a faixa de teores considerada adequada para a cultura é bastante ampla, sendo possível obter ganhos de produtividade com a adubação fosfatada mesmo em situações em que teoricamente a cultura está bem nutrida com P. Dessa forma, talvez a faixa de teores considerados adequados para a cultura por Jones Júnior (1991) (2,9 a 5,0 g kg⁻¹) seja mais adequada do que a proposta por Lorenzi et al. (1997) (2,5 a 5,0 g kg⁻¹), uma vez que o intervalo considerado como adequado é menor.

Em relação à absorção de P pela cultura, observa-se que nas áreas com baixo teor de P, em média, os acúmulos máximos de P pela batateira alcançaram 12 (2011) e 15 (2012) kg ha⁻¹ de P, na área com médio teor de P o acúmulo máximo foi de 15,4 kg ha⁻¹ de P, e na área com alto teor de P o acúmulo atingiu 16 kg ha⁻¹ de P (Figuras 13, 14, 26 e 35). Em média, a exportação atingiu no máximo 10 (2011) e 12,5 (2012) kg ha⁻¹ de P nas áreas com baixo teor de P, 14 kg ha⁻¹ de P na área com médio teor de P e 11,4 kg ha⁻¹ de P na área com alto teor de P. Esses resultados demonstram que as exigências da cultura quanto ao P são as mesmas tanto em área com baixo, médio e alto teor de P. Assim, a aplicação de doses elevadas de P, principalmente em áreas com elevados teores de P disponível é desnecessária, já que não reflete em maior absorção de P pela cultura. Estudos realizados em áreas com teores elevados de P (≥ 70 mg dm⁻³ de P_(resina)) e que receberam ao redor de 640 kg ha⁻¹ de P₂O₅ no momento do plantio, também demonstraram pequena absorção de P pela cultura, cujos valores ficaram entre 15,2 a 18 kg ha⁻¹ de P (YORINORI, 2003; FERNANDES et al., 2011).

A produtividade de tubérculos aumentou significativamente até as doses de 500, 250 e 125 kg ha⁻¹ de P₂O₅ nas áreas com baixo, médio e alto teor de P (Figuras 17, 18, 28 e 37). A baixa resposta a adubação fosfatada nas áreas com médio e alto teor de P disponível no solo já era esperado, e confirma os resultados obtidos por outros autores, que constatarem em solos com elevada disponibilidade de P, que a cultura da batata não respondeu a adubação fosfatada (RYKBOST et al., 1993; HOCHMUTH et al., 2002; FELTRAN, 2005; ALI et al., 2004; ROSEN; BIERMAN, 2008). Esses resultados estão de acordo com os relatos de Fernandes e Soratto (2012a) de que a utilização de elevadas doses de adubação fosfatada em áreas férteis em P, podem estar incrementando desnecessariamente o custo de produção da cultura da batata. Hochmuth et al. (2002) após realizar vários experimentos no nordeste da Flórida (EUA), em solos arenosos com altos teores de P residual, chegaram a afirmar que em áreas com maiores teores de P residual os produtores poderiam até omitir a adubação

fosfatada, sem haver prejuízos na produtividade de tubérculos. Porém, pelos resultados obtidos observa-se que mesmo com elevada disponibilidade de P no solo (70 mg dm^{-3}) não é recomendável a omissão total do P na adubação, pois a inclusão de 125 kg ha^{-1} de P_2O_5 , no momento do plantio contribui para o aumento da produtividade. Isso demonstra que a recomendação de adubação fosfatada para a cultura da batata no estado de São Paulo (LORENZI et al., 1997) está adequada, principalmente, para áreas com médio e alto teor de P, cujas doses recomendadas são de 200 e 100 kg ha^{-1} de P_2O_5 , respectivamente.

Nas áreas com baixa disponibilidade de P, os resultados obtidos demonstraram a necessidade de se aplicar, em média, 200 kg ha^{-1} de P_2O_5 , acima do que é recomendado por Lorenzi et al. (1997) para a cultura da batata, para a obtenção de elevadas produtividades. Apesar de existirem recomendações de adubação fosfatada para a cultura da batata no Brasil, o que se observa nas áreas de produção, é a utilização de doses muito superiores às sugeridas pelas recomendações oficiais de cada estado produtor. Em determinadas regiões há relatos de que as doses aplicadas chegam a atingir de 500 kg ha^{-1} (SANGOI; KRUSE, 1994) a 540 kg ha^{-1} de P_2O_5 (YORINORI, 2003; FERNANDES et al., 2011), acima do que é recomendado para a cultura (CFS RS/SC, 1995; LORENZI et al., 1997). Um dos motivos que talvez justificasse o uso dessas quantidades de fertilizantes fosfatados na batateira, inclusive em áreas mais férteis, estaria no fato de que as recomendações oficiais de adubação fosfatada para a cultura da batata pudessem estar desatualizadas, já que nos últimos anos a produtividade dessa cultura, praticamente dobrou e as cultivares utilizadas atualmente são mais produtivas (FERNANDES; SORATTO, 2012a). No entanto, isso não se confirmou, principalmente, nas áreas com maior nível de fertilidade em P, ou seja, em áreas com teores de $\text{P}_{(\text{resina})}$ acima do nível crítico que é de 60 mg dm^{-3} , a batateira praticamente não respondeu ou respondeu a doses muito pequenas de fertilizante fosfatado, pois nessas condições já ocorreu a construção da fertilidade fosfatada do solo. E mesmo em áreas com baixa disponibilidade de P, existe estudo demonstrando que no caso de produção de tubérculos-semente, a utilização de apenas 31% da dose de P, utilizada pelos produtores, proporcionou as mesmas produtividades de tubérculos das áreas comerciais que receberam 100% da dose estipulada (SANGOI; KRUSE, 1994).

7 CONCLUSÕES

As cultivares de batata diferem entre si com relação à absorção de P, devido a diferenças nas características morfológicas e fisiológicas dos sistemas radiculares que determinam a absorção de P.

A cultivar Mondial apresenta sistema radicular com características morfológicas e fisiológicas favoráveis a absorção de P, as quais lhe confere maior desempenho produtivo quando é submetida a adubação fosfatada, independentemente da disponibilidade de P no solo.

Cultivares de batata como Ágata e Asterix que apresentam sistema radicular com apenas características morfológicas ou fisiológicas favoráveis a absorção de P, não apresentam vantagem adicional em relação a cultivares como a cultivar Mondial, que apresenta ambas as características favoráveis, ou um equilíbrio entre elas.

Sob condições de disponibilidade adequada de P, as cultivares não diferem entre si com relação à eficiência de uso do P absorvido, mas quando ocorre restrição no fornecimento de P a cultivar Ágata produz maior quantidade de MS por unidade de P absorvido.

Nos experimentos de campo, a cultivar Mondial apresenta maior produtividade de tubérculos e maior eficiência de uso do P aplicado, especialmente nas menores doses de P utilizadas.

Todas as cultivares alcançam as máximas produtividades de tubérculos com a aplicação das mesmas doses de P, em cada uma das situações de disponibilidade inicial de P no solo.

Independentemente da cultivar, a produtividade de tubérculos aumenta com a adubação fosfatada até as doses de 500, 250 e 125 kg ha⁻¹ de P₂O₅, respectivamente, nos solos com baixo, médio e alto teor de P disponível.

Em solo com teor de P disponível próximo ou acima de 60 mg dm⁻³ é possível obter elevada produtividade de tubérculos com o uso de dose de P₂O₅ entre 125 e 250 kg ha⁻¹, ou seja, bem menores que as doses tradicionalmente utilizadas na cultura da batata.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABBA - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA BATATA. **Variedades**. Disponível em: <<http://www.abbabatatabrasileira.com.br/2008/variedades.asp>>. Acesso em: 05 dez. 2012.

AGRIANUAL - ANUÁRIO DA AGRICULTURA BRASILEIRA. **Batata**. São Paulo: FNP, 2013. 497p.

ALI, H.; ANJUM, M. A. Aerial Growth and dry matter production of potato (*Solanum tuberosum* L.) cv. Desiree in relation to phosphorus application. **International Journal of Agriculture & Biology**, v.6, n.3, p.458-461, 2004.

ALI, H.; ANJUM, M. A.; RANDHAWA, S. A. Influence of phosphorus on yield potential of potato (*Solanum tuberosum* L.) crops. **International Journal of Agriculture & Biology**, v.6, n.1, p.165-167, 2004.

ALVAREZ-SÁNCHEZ, E.; ETCHEVERS, J. D.; ORTIZ, J.; NÚÑEZ, R.; MARTÍNEZ, A.; CASTELLANOS, J.Z. Phosphorus nutrition of potato and maize seedlings. **Terra Latinoamericana**, v.19, n.1, p.55-65, 2001.

ALVAREZ-SÁNCHEZ, E.; ETCHEVERS, J. D.; ORTIZ, J.; NÚÑEZ, R.; VOLKE, V.; TIJERINA, L.; MARTÍNEZ, A. Biomass production and phosphorus accumulation of potato as affected by phosphorus nutrition. **Journal of Plant Nutrition**, v.22, n.1, p.205-217, 1999.

ALVES, V. M. C.; NOVAIS, R. F.; OLIVEIRA, M. F. G.; BARROS, N. F. Efeito da omissão de fósforo na absorção de nitrogênio por híbridos de milho (*Zea mays* L.). **Revista Ceres**, v.43, n. 248, p.435-443, 1996.

ALVES, V. M. C.; NOVAIS, R. F.; OLIVEIRA, M. F. G.; SANTANA, R. Cinética e translocação de fósforo em híbridos de milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.33, n.7, p.1047-1052, 1998.

ANDA - ASSOCIAÇÃO NACIONAL PARA DIFUSÃO DOS ADUBOS. **Anuário Estatístico**. São Paulo: ANDA, 2000. 252p.

ANDRADA, M. M. C. **Calibração visando recomendações de fertilização fosfatada para as principais culturas de grãos sob sistema plantio direto no Paraguai**. 2005, 167f. Dissertação (Mestre em Ciência do Solo), Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria. 2005.

ANDRIOLO, J. L.; BISOGNIN, D. A.; PAULA, A. L.; PAULA, F. L. M.; GODOI, R. S.; BARROS, G. T. Curva crítica de diluição de nitrogênio da cultivar Asterix de batata. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.41, n.7, p.1179-1184, 2006.

ARAÚJO, A. P.; MACHADO, C. T. T. Fósforo. In: FERNANDES, M. S. (Ed.). **Nutrição mineral de plantas**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006. p.254-280.

BALEMI, T.; SCHENK, M. K. Genotypic variation of potato for phosphorus efficiency and quantification of phosphorus uptake with respect to root characteristics. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, v.172, n.5, p.669-677, 2009.

BARBER, S. A. **Soil nutrient bioavailability: a mechanistic approach**. New York: J. Wilen & Sons, Inc., 1984. 398p.

BEUKEMA, H. P.; ZAAG, D. E. van der. **Introduction to potato production**. Wageningen: PUDOC. 1990. 207p.

BHADORIA, P. S., EL DESSOUGI, H., LIEBERSBACH, H.; CLAASSEN, N. Phosphorus uptake kinetics, size of root system and growth of maize and groundnut in solution culture. **Plant and Soil**, v.262, n.1-2, p.327-336, 2004.

BOOCK, O. J.; FREIRE, E. S. Adubação da batatinha – experiências com doses crescentes de fósforo. **Bragantia**, v.19, n.25, p.369-391, 1960.

CFSEMG - COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação**. Lavras: CFSEMG, 1999. 359p.

CFSRS/SC - COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO - RS/SC. **Recomendações de adubação e calagem para os estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. 3.ed. Passo Fundo: SBCS - Núcleo Regional Sul, 1995. 224p.

CLAASSEN, N.; BARBER, S. A. A method for characterizing the relation between nutrient concentration and flux into roots of intact plants. **Plant Physiology**, v.54, n.4, p.564-568, 1974.

COGO, C. M.; ANDRIOLO, J. L.; BISOGNIN, D. A. GODOI, R. S.; BORTOLOTTI, O. C.; LUZ, G. L. Relação potássio-nitrogênio para o diagnóstico e manejo nutricional da cultura da batata. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.41, n.12, p.1781-1786, 2006.

COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO - RS/SC. **Manual de recomendações de adubação e calagem para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. Porto Alegre: SBCS - Núcleo Regional Sul, 2004. 394p.

COVARRUBIAS-RAMÍREZ, J. M.; CASTILLO-AGUILAR, S.; VERA-NÚÑEZ, J. A.; NÚÑEZ-ESCOBAR, R.; SÁNCHEZ-GARCÍA, P.; AVELDAÑO-SALAZAR, R.; PEÑA-CABRIALES, J. J. Absorción y eficiencia de uso de fósforo en papa cultivar Alpha con ^{32}P . **Agrociencia**, v.39, n.2, p.127-136. 2005.

DECHASSA, N.; SCHENK, M. K.; CLAASSEN, N.; STEINGROBE, B. Phosphorus efficiency of cabbage (*Brassica oleraceae* L. var. *capitata*), carrot (*Daucus carota* L.), and potato (*Solanum tuberosum* L.). **Plant and Soil**, v.250, n.3, p.215-224, 2003.

DELEO, J. P. B. Gestão sustentável na bataticultura. In: BARROS, G.S.A.C. (coord.). **Hortifruti brasil**, Piracicaba: CEPEA, ano.9, n.95, p.8-26, 2010.

DELEO, J. P. B.; RAMOS, R. M. Batata: gestão sustentável - quanto custa investir em batata? In: BARROS, G.S.A.C. (coord.). **Hortifruti brasil**, Piracicaba: CEPEA, ano.11, n.116, p.9-26, 2012.

DREW, M. C., SAKER, L. R. Uptake and long-distance transport of phosphate, potassium and chloride in relation to internal ion concentrations in barley: evidence of non-allosteric regulation. **Planta**, v.160, n.6, p.500-507, 1984.

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

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2.ed. Rio de Janeiro: Embrapa-Solos, 2006. 306p.

EPSTEIN, E., HAGEN, C. E. A kinetic study of the absorption of alkali cations by barley roots. **Plant Physiology**, v.27, n.3, p.457-474, 1952.

ERNANI, P. R.; BARBER, S. A. Comparison of P-availability from monocalcium and diammonium phosphates using a mechanistic nutrient uptake model. **Fertilizer Research**, v.22, n.1, p.15-20, 1990.

EVANGELISTA, R. M.; NARDIN, I.; FERNANDES, A. M.; SORATTO, R. P. Qualidade nutricional e esverdeamento pós-colheita de tubérculos de cultivares de batata. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.46, n.8, p.953-960, 2011.

FAGERIA, N. D.; KLUTHCOUSKI, J. **Metodologia para avaliação de cultivares de arroz e feijão para condições adversas de solo**. Brasília: EMBRAPA/CNPAP. 22p. 1980.

FAGERIA, N. K.; BALIGAR, V. C. Screening crop genotypes for mineral stresses. In: **Workshop on adaptation of plants to soil stress**, Lincoln. Proceedings. University of Nebraska. p.248-268. 1993.

FAGERIA, N. K.; BALIGAR, V. C.; ALLAN JONES, C. **Growth and mineral nutrition of field crops**. 2. ed. New York: Marcel Dekker, 1997. 624p.

FAGERIA, V. D. Nutrient interactions in crop plants. **Journal of Plant Nutrition**, v.24, p.1269-1290, 2001.

FAO - FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. (Roma, Itália). **FAOSTAT: Crops**. Disponível em: <<http://faostat.fao.org/site/567/DesktopDefault.aspx>>. Acesso em: 04 dez. 2012.

FELTRAN, J. C. **Adubação mineral na cultura da batata e residual no feijoeiro**. 2005. 112p. Tese (Doutorado em Agronomia/Agricultura), Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agronômicas, Botucatu. 2005.

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.; SILVA, B. L.; SOUZA-SCHLICK, G. D. Crescimento, acúmulo e distribuição de matéria seca em cultivares de batata na safra de inverno. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.45, n.8, p.826 - 835, 2010a.

FERNANDES, A. M.; SORATTO, R. P.; EVANGELISTA, R. M.; NARDIN, I. Qualidade físico-química e de fritura de tubérculos de cultivares de batata na safra de inverno. **Horticultura Brasileira**, v.28, n.3, p.299 - 304, 2010b.

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, M. S.; SOUZA, S. R. Absorção de nutrientes. In: FERNANDES, M. S. (Ed.). **Nutrição mineral de plantas**. Viçosa: SBCS, 2006. p.115-152.

FILGUEIRA, F. A. R. Nutrição mineral e adubação em bataticultura, no Centro-Sul. In: **Nutrição mineral e adubação de hortaliças**. Piracicaba: Potafós, 1993. p.401-428.

FIXEN, P. E. World fertilizer nutrient reserves - a view to the future. **Better Crops**, v.93, n.3, p.8-11, 2009.

FONTES, P. C. R. **Preparo do solo, nutrição mineral e adubação da batateira**. Viçosa: UFV, 1997. 42p.

FONTES, P. C. R.; MOREIRA, M. A.; FONTES, P. C. R.; CARDOSO, A. A. Effects of zinc fungicides and different zinc fertilizer application methods on soluble and total zinc in potato plant shoots. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v.30, n.13-14, p.1847-1859, 1999.

FONTES, P. C. R.; ROCHA, F. A. T.; MARTINEZ, H. E. P. Produção de máxima eficiência econômica da batata em função da adubação fosfatada. **Horticultura Brasileira**, v.15, n.2, p.104-107, 1997.

FURIHATA, T.; SUZUKI, M.; SAKURAI, H. Kinetic characterization of two phosphate uptake systems with different affinities in suspension-cultured catharanthus roseus protoplasts. **Plant Cell Physiology**, v.33, n.8, p.1151-1157, 1992.

GAHOONIA, T. S.; NIELSEN, N. E. Root traits as tools for creating phosphorus efficient crop varieties. **Plant and Soil**, v.260, n.1-2, p.47-57, 2004.

GERLOFF, G. C.; GABELMAN, W. H. Genetic basis of inorganic plant nutrition. In: LAÜCHLI, A.; BIELESKI, R. L. (Eds.). **Inorganic Plant Nutrition**. New York: Springer-Verlag, 1983. p.453-480.

HOAGLAND, D. R.; ARNON, D. L. **The water culture methods for growing plants without soil**. Berkeley: California Agriculture Experiment Station. 1950. 32p. (Bulletin, 347).

HOCHMUTH, G.; WEINGARTNER, P.; HUTCHINSON, C.; TILTON, A.; JESSEMAN, D. Potato yield and tuber quality did not respond to phosphorus fertilization of soil testing high in phosphorus content. **HorTechnology**, v.12, n.3, p.420-422, 2002.

HOLFORD, I. C. R. Soil phosphorus: its measurement, and its uptake by plants. **Australian Journal of Soil Research**, v.35, n.2, p.227-239, 1997.

HORST, W. J.; KAMH, M.; JIBRIN, J. M.; CHUDE, V. O. Agronomic measures for increasing P availability to crops. **Plant and Soil**, v.237, n.2, p.211-223, 2001.

HU, Y.; YE, X.; SHI, L.; DUAN, H.; XU, F. Genotypic differences in root morphology and phosphorus uptake kinetics in *Brassica napus* under low phosphorus supply. **Journal of Plant Nutrition**, v.33, n.6, p.889-901, 2010.

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: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/indicadores/agropecuaria/lspa/lspa_201210_6.shtm>. Acesso em 29 de nov. 2012.

IWAMA, K. Physiology of the potato: new insights into root system and repercussions for crop management. **Potato Research**. v.51, n.3-4, p.333-353, 2008.

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.

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

JOERN, B. C.; VITOSHI, M. L. Influence of applied nitrogen on potato. Part I: yield, quality and nitrogen uptake. **American Potato Journal**, v.72, n.1, p.51-63, 1995.

JONES JUNIOR, J. B.; WOLF, B.; MILL, H. A. **Plant analysis handbook**. Georgia: Micro-Macro Publishing, 1991. 213p.

JUNGK, A. Phosphate uptake characteristics of intact root systems in nutrient solution as affected by plants species age and P supply. In: COLLOQUIUM IN PLANT ANALYSIS AND FERTILITY PROBLEMS, 7., **Proceedings...** Hannover, West Germany: [s.n.], 1975. p.185-196.

JUNK, A.; ASHER, C. J.; EDWARDS, D. G.; MEYER, D. Influence of phosphate status on phosphate uptake kinetics of maize (*Zea mays* L) and soybean (*Glycine max* L). **Plant and Soil**, v.124, n.2, p.175-182. 1990.

LIMA, A. M. N.; NEVES, J. C. L.; SILVA, I. R.; LEITE, F. P. Cinética de absorção e eficiência nutricional de K^+ , Ca^{2+} e Mg^{2+} em plantas jovens de quatro clones de eucalipto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.29, n.6, p.903-909, 2005.

LOPES, A. S.; SILVA, C. A. P.; BASTOS, A. R. R. Reservas de fosfatos e produção de fertilizantes fosfatados no Brasil e no mundo. In: YAMADA, T.; STIPP, S. R.; ABDALLA, S. R. S. (Eds). **Fósforo na Agricultura Brasileira**. Piracicaba: Potafós, 2004. p.13-34.

LORENZI, J. O.; MONTEIRO, P. A.; MIRANDA FILHO, H. S.; RAIJ, B. van. 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 Agrônômico de Campinas, 1997. p.221-229. (Boletim Técnico, 100).

MACHADO, C. T. T.; FURLANI, Â. M. C. Kinetics of phosphorus uptake and root morphology of local and improved varieties of maize. **Scientia Agricola**, v.61, n.1, p.69-76, 2004.

MAIA, S. C. M.; SORATTO, R. P.; NASTARO, B.; FREITAS, L. B. The nitrogen sufficiency index underlying estimates of nitrogen fertilization requirements of common bean. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.36, n.1, p.183-191, 2012.

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

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2 ed. London: Academic Press, 1995. 889p.

MARTINEZ, H. E. P.; NOVAIS, R. F.; RODRIGUES, L. A.; SACRAMENTO, L. V. S. Comportamento de variedades de soja cultivadas em diferentes doses de fósforo: I. Cinética de absorção de fósforo e ajustes morfológicos da planta. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.17, n.2, p.231-238, 1993.

MIELNICZUK, J.; LUDWICK, A.; BOHNEN, H. Métodos de análise do laboratório de análise de solo In: **Recomendações de adubo e calcário para as principais culturas do Estado do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Faculdade de Agronomia e Veterinária da UFRGS, 1969. 39p. (Boletim Técnico, 2).

MUCHHAL, U. S.; RAGHOTHAMA, K. G. Transcriptional regulation of plant phosphate transporters. **PNAS**, v.96, n.10, p.5868-5872, 1999.

MURPHY, J.; RILEY, J. P. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. **Analytica Chimica Acta**, v.27, n.1, p.31-36, 1962.

NAVA, G.; DECHEN, A. R.; IUCHI, V. L. Produção de tubérculos de batata-semente em função das adubações nitrogenada, fosfatada e potássica. **Horticultura Brasileira**, v.25, n.3, p.365-370, 2007.

NIELSEN, N. E.; BARBER, S. A. Differences among genotypes of corn in the kinetics of P uptake. **Agronomy Journal**, v.70, n.5, p.695-698, 1978.

NOVAIS, R. F.; SMYTH, T. J. **Fósforo em solo e planta em condições tropicais**. Viçosa: UFV. 1999. 399p.

PEIXOTO, J. R.; GARCIA, C. A. P.; MARTINS, J. F. Produtividade de batata cv. Achat em função de doses de NPK e B. **Horticultura brasileira**, v.14, n.2, p.232-235, 1996.

PEREIRA, A. S.; DANIELS, J. **O cultivo da batata na região sul do Brasil**. Brasília: Embrapa Informação tecnológica, 2003. 567p.

PÉREZ, D. V.; MACEDO, J. R.; SILVEIRA, G. S. R.; MENEGUELLI, N. A.; CASTRO, I. M.; FERREIRA, J. C. S. Efeito de doses de fósforo e fontes de potássio na produtividade e qualidade comercial da batata (*Solanum tuberosum* L.) cv. Achat. **Comunicado Técnico 08**. Rio de Janeiro: Embrapa. 2001. 4p.

PROCÓPIO, S. O.; SANTOS, J. B.; PIRES, F. R.; SILVA, A. A.; MENDONÇA, E. S. Absorção e utilização do fósforo pelas culturas da soja e do feijão e por plantas daninhas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.29, n.6, p.911-921, 2005.

PURSGLOVE, J.; SANDERS, F. E. The growth and phosphorus economy of the early potato (*Solanum tuberosum* L.). **Communication in Soil Science and Plant Analysis**, v.12, n.11, p. 1105-1121, 1981.

RAIJ, B. van; QUAGGIO, J. A.; CANTARELLA, H.; ABREU, C. A. Interpretação de resultados de análise de solo. 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, 1997. p.8-13. (Boletim Técnico, 100).

RAIJ, B. van.; ANDRADE, J. C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agrônomo, 2001. 284p.

RESENDE, A. V.; FURTINI NETO, A. E.; ALVES, V. M. C.; MUNIZ, J. A.; CURI, N.; FAQUIN, V.; KIMPARA, D. I.; SANTOS, J. Z. L.; CARNEIRO, L. F. Fontes e modos de aplicação de fósforo para o milho em solo cultivado da região do Cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.30, n.3, p. 453-466, 2006.

RIBEIRO, J. D. R. Associativismo garante futuro do produtor de batatas. **Informe Agropecuário**, v.20, n.197, p.5-6, 1999.

RODRÍGUEZ. S. J. **La fertilización de los cultivos: un método racional**. Facultad de Agronomía: Pontificia Universidad Católica de Chile. 1993. 291p.

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.

ROSOLEM, C. A. **Relações solo-planta na cultura do milho**. Jaboticabal: Funep, 1995. 53p.

RUIZ, H. A. Estimativa dos parâmetros cinéticos K_m e V_{max} por uma aproximação gráfico matemática. **Revista Ceres**, v.32, n.179, p.79-84, 1985.

RYKBOST, K. A.; CHISTENSEN, N.W.; MAXWELL, J. Fertilization of Russet Burbank in short-season enviroment. **American Potato Journal**, v.70, n.10, p.699-710, 1993.

SANGOI, L.; KRUSE, N. D. Doses crescentes de nitrogênio, fósforo e potássio e características agrônômicas da batata em dois níveis de pH. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v.29, n.9, p.1331-1343, 1994.

SCHENK, M. K.; BARBER, S. A. Phosphate uptake by corn as affected by soil characteristics and root morphology. **Soil Science Society of America Journal**, v.43, n.5, p.880-883, 1979.

SCHLINDWEIN, J. A. **Calibração de métodos de determinação e estimativa de doses de fósforo e potássio em solos sob sistema plantio direto**. 2003. 169f. Tese (Doutorado em Ciência do solo). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 2003.

SHARMA, R. C.; SAHOTA, T. C.; SHARMA, U. C.; SHARMA, A. K. Phosphorus economy in potato cultivation by soaking mother seed tubers in a solution of urea and phosphate. **Journal of Agricultural Science**, v.102, n.2, p.307-314, 1984.

SHARPLEY, A. N.; HALVORSON, D. A. The management of soil phosphorus availability and its impact on surface water quality. In: LAL, R.; STEWART, B.A. (Eds). **Soil processes and water quality**. Madison: American Society of Agronomy, 1994. p.7-89.

SHIMOGAWARA, K.; USUDA, H. Uptake of inorganic phosphate by suspension-cultured tobacco cells: kinetics and regulation by Pi starvation. **Plant Cell Physiology**, v.36, n.2, p.341-351, 1995.

SILVA, E. C.; SILVA FILHO, A. V.; ALVARENGA, M. A. R. Efeito residual da adubação da batata sobre a produção do milho-verde em cultivo sucessivo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.35, n.11, p.2151-2155, 2000.

SILVA, T. O.; MENEZES, R. S. C.; TIESSEN, H.; SAMPAIO, E. V. S. B; SALCEDO, I. H. SILVEIRA, L. M. Adubação orgânica da batata com esterco e, ou, *Crotalaria juncea*. I - Produtividade vegetal e estoque de nutrientes no solo em longo prazo. **Revista Brasileira de Ciência Solo**, v.31, n.1, p.39-49, 2007.

SOUZA, Z.S. Ecofisiologia. In: PEREIRA, A. S.; DANIELS, J. (eds). **O cultivo da batata na região sul do Brasil**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2003. p.80-105.

STRECK, N. A.; LAGO, I.; ALBERTO, C. M.; BISOGNIN, D. A. Simulação do desenvolvimento da batata cultivar Asterix em cinco cenários de mudanças climáticas em Santa Maria, RS. **Bragantia**, v.65, n.4, p.693-702, 2006.

SWIADER, J. M.; CHYAN, Y.; FREIJI, F. G. Genotypic differences in nitrate uptake and utilization efficiency in Pumpkin hybrids. **Journal of Plant Nutrition**, v.17, n.10, p.1687-1699, 1994.

TENNANT, D. A. A test of a modified line intersect method of estimating root length. **Journal of Ecology**, v.63, n.3, p.995-1001, 1975.

VANCE, C. P.; UHDE-STONE, C.; ALLEN, 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.

VILELA, L.; ANGHINONI, I. Morfologia do sistema radicular e cinética da absorção de fósforo em cultivares de soja afetados pela interação alumínio-fósforo. **Revista Brasileira de Ciência Solo**, v.8, n.1, p.91-96, 1984.

YAMAGUCHI, J.; TANAKA, A. Quantitative observation on the root system of various crops growing in the field. **Soil Science and Plant Nutrition**, v.36, n.3, p.483-493, 1990.

YORINORI, G. T. **Curva de crescimento e acúmulo de nutrientes pela cultura da batata cv. 'Atlantic'**. 2003. 66p. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Solos e Nutrição de Plantas), Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba. 2003.