



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA  
INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

**ADUBAÇÃO MINERAL EM CULTIVARES DE BATATA: PRODUTIVIDADE,  
QUALIDADE E SISTEMA INTEGRADO DE DIAGNOSE E  
RECOMENDAÇÃO DRIS**

ROBERTA CAMARGOS DE OLIVEIRA

2017

ROBERTA CAMARGOS DE OLIVEIRA

**ADUBAÇÃO MINERAL EM CULTIVARES DE BATATA: PRODUTIVIDADE,  
QUALIDADE E SISTEMA INTEGRADO DE DIAGNOSE E  
RECOMENDAÇÃO DRIS**

Tese apresentada à Universidade Federal de Uberlândia, como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Agronomia – Doutorado, área de concentração em Fitotecnia, para obtenção do título de “Doutor”.

Orientador

Prof. Dr. José Magno Queiroz Luz

UBERLÂNDIA  
MINAS GERAIS – BRASIL  
2017

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)  
Sistema de Bibliotecas da UFU, MG, Brasil.

---

O48a  
2017  
Oliveira, Roberta Camargos de, 1988-  
Adubação mineral em cultivares de batata : produtividade, qualidade  
e sistema integrado de diagnose e recomendação DRIS / Roberta  
Camargos de Oliveira. - 2017.

101 f. : il.

Orientador: José Magno Queiroz Luz.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Uberlândia, Programa de  
Pós-Graduação em Agronomia.

Inclui bibliografia.

1. Agronomia - Teses. 2. Batata - Cultivo - Teses. 3. Fertilização -  
Teses. I. Luz, José Magno Queiro, 1967-. II. Universidade Federal de  
Uberlândia, Programa de Pós-Graduação em Agronomia. III. Título.

CDU: 631

---

ROBERTA CAMARGOS DE OLIVEIRA

**ADUBAÇÃO MINERAL EM CULTIVARES DE BATATA: PRODUTIVIDADE,  
QUALIDADE E SISTEMA INTEGRADO DE DIAGNOSE E  
RECOMENDAÇÃO DRIS**

Tese apresentada à Universidade Federal de Uberlândia, como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Agronomia – Doutorado, área de concentração em Fitotecnia, para obtenção do título de “Doutor”.

APROVADA em 23 de fevereiro de 2017.

Prof. Dr<sup>a</sup>. Tiyoko Nair Rojo Rebouças UESB/ Vitória da Conquista-BA

Prof. Dr<sup>a</sup>. Angélica Araújo Queiroz IFTM/Uberlândia- MG

Prof. Dr<sup>a</sup>. Renata Castoldi UFU/Monte Carmelo- MG

Prof. Dr<sup>a</sup>. Regina Maria Quintão Lana UFU/Uberlândia- MG

Prof. Dr. José Magno Queiroz Luz  
ICIAG-UFU  
(Orientador)

UBERLÂNDIA  
MINAS GERAIS – BRASIL  
2017

## DEDICATÓRIA

Aos meus avós, Celina e Joaquim (*in memoriam*), aos meus pais, Zenaide e Robson, aos meus irmãos, Roberto e Rogério e aos sobrinhos Rodney e Oto.

*A todos os pesquisadores, agricultores e trabalhadores do campo que não medem esforços para produzir alimentos de qualidade e cuidam do ambiente.*

*Ofereço!*

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pela beleza existente em todas as coisas, por todas as oportunidades e por dar-me saúde, força, paciência, perseverança, audácia e coragem para correr atrás dos meus sonhos e enfrentar os momentos difíceis;

Agradeço à minha mãe, Zenaide, e ao meu pai, Robson, pela dedicação, pelo amor, pela confiança, pelo apoio incondicional e pelos sacrifícios que fizeram para que eu concluísse as diversas etapas de minha vida;

Aos meus irmãos, Roberto e Rogério, pelo carinho, apoio, incentivo, amizade, confiança, atenção e, principalmente, todos os conselhos;

Ao Prof. Dr. José Magno Queiroz Luz pela orientação, suporte, acolhimento, confiança e paciência;

A prof. Dr. Regina Maria Quintão Lana pela paciência, orientação, acolhimento, conselhos, revisão e contribuição no texto;

A Universidade Federal de Uberlândia, aos docentes pelos ensinamentos e convivência, em especial, Marcus Vinícius, Carlos Machado, Denise, Ana Paula e Beno e aos técnicos, em especial, Adílio, Marco Aurélio, Angélica, Manuel e Eduardo;

Ao grupo Wehrmann, Fazenda Progresso e Rocheto em especial, Rodrigo Ribeiro, Hercilio e João Paulo por toda a ajuda e por ter cedido a área para montagem dos experimentos;

A todos os estagiários de Olericultura pela ajuda no processamento das plantas, momentos de muito trabalho e algumas leves descontrações. Em especial, Gustavo, Joao Ricardo e Jarbas, pelo compromisso e dedicação;

Aos funcionários da Pós-graduação Cida, Eduardo, Yara e Mariana e aos funcionários da garagem (em especial, Vander e o motorista João Batista Borges), por toda ajuda nas viagens;

Ao Prof. Dr. Rickey Yada, Dr. Reena Pinhero e Vanessa Currie pelo aceite em Guelph pelo acolhimento, paciência, ensinamentos, compreensão e por todo o apoio;

A Thaise Lara, pela atenção, paciência e sempre gentil ajuda na liofilização das amostras de batata;

Aos amigos do laboratório Yada Empire: Brian, Doug, Victoria, Keila e Adnan, pelos incríveis momentos, pela paciência e apoio;

Aos amigos que me receberam em Guelph- Canada e fizeram da minha

estadia maravilhosa e enriquecedora: Ágata, Praguiany, Rajendran, Sanjeey, Ana, Sam, Wondimu, Geoff, John, Joe e Sang Hoon;

Aos amigos Flavia, Pedro e Thais, pelo acolhimento, amizade e parceria que fizeram até ir no supermercado e academia um programa divertido;

Ao Hien por todos os momentos e palavras;

A Lilian, Raissa, Anelise, Paulinha, Naiara, Clarinha, Michele, Julia, Risely e Camilinha pela sólida amizade, que segue por toda vida!

Aos amigos Ernane e Joao Ricardo, pelo carinho e companheirismo, pela motivação e doses de entretenimento;

A todos os amigos e colegas, em especial, André, Herick, Nilson, Daniel, Diego, Ariel, Fernando, Danyela, Lara, Bruno, João Eduardo, Vanderley pela honrosa companhia, pelas ótimas conversas e alegrias compartilhadas;

A Prof. Dr<sup>a</sup> Angélica pela ajuda com o DRIS,

A FAPEMIG, CNPq e CAPES pela concessão da bolsa de estudos;

A todos que de alguma forma colaboraram com o meu percurso acadêmico;

Aqueles que não atrapalharam e aqueles que torceram e/ou acreditaram em minhas capacidades.

O valor das coisas não está no tempo que elas duram, mas na intensidade com que acontecem. Por isso, existem momentos inesquecíveis, coisas inexplicáveis e pessoas incomparáveis.

**Fernando Pessoa**



## SUMÁRIO

RESUMO.....	i
ABSTRACT.....	ii
INTRODUÇÃO GERAL.....	1
REFERÊNCIAS.....	4
CAPÍTULO 1.....	6
Adubação nitrogenada em batateira: Produtividade e qualidade de tubérculos de Ágata e Atlantic.....	6
RESUMO.....	6
ABSTRACT.....	6
1 INTRODUÇÃO.....	7
2 MATERIAL E MÉTODOS.....	9
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	12
4 CONCLUSÕES.....	23
REFERÊNCIAS.....	24
CAPÍTULO 2.....	29
Adubação fosfatada em batateira: produtividade e qualidade de tubérculos de Ágata e Atlantic.....	29
RESUMO.....	29
ABSTRACT.....	29
1 INTRODUÇÃO.....	30
2 MATERIAL E MÉTODOS.....	32
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	33
4 CONCLUSÕES.....	43
REFERÊNCIAS.....	44
CAPÍTULO 3.....	48
Adubação potássica em batateira: Produtividade e qualidade de tubérculos de Ágata e Atlantic.....	48
RESUMO.....	48
ABSTRACT.....	48
1 INTRODUÇÃO.....	49
2 MATERIAL E MÉTODOS.....	51
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	52
4 CONCLUSÕES.....	62
REFERÊNCIAS.....	62
CAPÍTULO 4.....	66
Níveis de fertilizante na cultura da batata e sistema integrado de diagnose e recomendação (DRIS).....	66
RESUMO.....	66
ABSTRACT.....	66
1 INTRODUÇÃO.....	67
2 MATERIAL E MÉTODOS.....	69
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	73
<b>4 CONCLUSÕES.....</b>	<b>86</b>
REFERÊNCIAS.....	86

## LISTA DE TABELAS

### PÁGINA

1	Caracterização química dos solos das áreas dos experimentos, antes do plantio e adição de fertilizantes. Uberlândia- MG, 2017.	10
2	Teores de macronutrientes em batateira cultivar Atlantic e Ágata cultivada em Unai- MG e Ágata cultivada em Mucugê-BA sob níveis de fertilização nitrogenada, Uberlândia- MG, 2017.	13
3	Teores de micronutrientes em batateira cultivar Atlantic e Ágata cultivada em Unai- MG e Ágata cultivada em Mucugê-BA sob níveis de fertilização nitrogenada, Uberlândia- MG, 2017.	14
4	Teores de macronutrientes em batateira cultivar Atlantic e Ágata cultivada em Unai- MG e Ágata cultivada em Mucugê-BA sob níveis de fertilização fosfatada, Uberlândia- MG, 2017.	35
5	Teores de micronutrientes em batateira cultivar Atlantic e Ágata cultivada em Unai- MG e Ágata cultivada em Mucugê-BA sob níveis de fertilização fosfatada, Uberlândia- MG, 2017.	36
6	Teores de macronutrientes em batateira cultivar Atlantic e Ágata cultivada em Unai- MG e Ágata cultivada em Mucugê-BA sob níveis de fertilização potássica, Uberlândia- MG, 2017.	53
7	Teores de micronutrientes em batateira cultivar Atlantic e Ágata cultivada em Unai- MG e Ágata cultivada em Mucugê-BA sob níveis de fertilização potássica, Uberlândia- MG, 2017.	54
8	Caracterização química dos solos das áreas dos experimentos, antes do plantio e adição de fertilizantes. Uberlândia- MG, 2017.	70
9	Índices DRIS para macro e micronutrientes em lavouras de alta produtividade ( $> 44 \text{ t ha}^{-1}$ ) e baixa produtividade ( $> 44 \text{ t ha}^{-1}$ ) de batata cultivar Ágata em Unai-MG. Uberlândia- MG, 2017.	74
10	Índices DRIS para macro e micronutrientes em lavouras de alta produtividade ( $> 35 \text{ t ha}^{-1}$ ) e baixa produtividade ( $> 35 \text{ t ha}^{-1}$ ) de batata cultivar Atlantic em Unai-MG. Uberlândia- MG, 2017.	79
11	Índices DRIS para macro e micronutrientes em lavouras de alta produtividade ( $> 53 \text{ t ha}^{-1}$ ) e baixa produtividade ( $> 53 \text{ t ha}^{-1}$ ) de batata cultivar Ágata em Mucugê-BA. Uberlândia- MG, 2017.	83
12	Índice de deficiência de macro e micronutrientes em lavouras de alta e baixa produtividade de tubérculos de batata cultivar Ágata em Unai-MG; Atlantic em Unai-MG e Ágata em Mucugê-BA. Uberlândia- MG, 2017.	85

## LISTA DE FIGURAS

### PÁGINA

- 1 Produtividade de tubérculos de batata da classe Especial, cultivar Atlantic (A) e Ágata cultivada em Unai- MG (B) e Ágata cultivada em Mucugê-BA (C) sob níveis de fertilização nitrogenada, Uberlândia- MG, 2017. 16
- 2 Produtividade de tubérculos de batata da classe 1X, cultivar Atlantic (A) e Ágata cultivada em Unai- MG (B) e Ágata cultivada em Mucugê-BA (C) sob níveis de fertilização nitrogenada, Uberlândia- MG, 2017. 18
- 3 Produtividade de tubérculos de batata da classe 2X, cultivar Atlantic (A) e Ágata cultivada em Unai- MG (B) e Ágata cultivada em Mucugê-BA (C) sob níveis de fertilização nitrogenada, Uberlândia- MG, 2017. 18
- 4 Produtividade total de tubérculos de batata, cultivar Atlantic (A) e Ágata cultivada em Unai- MG (B) e Ágata cultivada em Mucugê-BA (C) sob níveis de fertilização nitrogenada, Uberlândia- MG, 2017. 19
- 5 Carboidratos totais (%) em massa seca de tubérculos de batata, cultivar Atlantic (A) e Ágata cultivada em Unai- MG (B) sob níveis de fertilização nitrogenada, Uberlândia- MG, 2017. 22
- 6 Proteínas totais (%) em massa seca de tubérculos de batata, cultivar Atlantic (A) e Ágata cultivada em Unai- MG (B) sob níveis de fertilização nitrogenada, Uberlândia- MG, 2017. 23
- 7 Produtividade de tubérculos de batata da classe Especial, cultivar Atlantic (A) e Ágata cultivada em Unai- MG (B) e Ágata cultivada em Mucugê-BA (C) sob níveis de fertilização fosfatada, Uberlândia- MG, 2017. 37
- 8 Produtividade de tubérculos de batata da classe 1X, cultivar Atlantic (A) e Ágata cultivada em Unai- MG (B) e Ágata cultivada em Mucugê-BA (C) sob níveis de fertilização fosfatada, Uberlândia- MG, 2017. 39
- 9 Produtividade de tubérculos de batata da classe 2X, cultivar Atlantic (A) e Ágata cultivada em Unai- MG (B) e Ágata cultivada em Mucugê-BA (C) sob níveis de fertilização fosfatada, Uberlândia- MG, 2017. 40
- 10 Produtividade total de tubérculos de batata, cultivar Atlantic (A) e Ágata cultivada em Unai- MG (B) e Ágata cultivada em Mucugê-BA (C) sob níveis de fertilização fosfatada, Uberlândia- MG, 2017. 41
- 11 Carboidratos totais em matéria seca de tubérculos de batata, cultivar Atlantic (A) e Ágata cultivada em Unai- MG (B) sob níveis de fertilização fosfatada, Uberlândia- MG, 2017. 43
- 12 Proteínas totais (%) em matéria seca de tubérculos de batata, cultivar Atlantic (A) e Ágata cultivada em Unai- MG (B) sob níveis de 44

fertilização fosfatada, Uberlândia- MG, 2017.

- 13 Produtividade de tubérculos de batata da classe Especial, cultivar Atlantic (A) e Ágata cultivada em Unai- MG (B) e Ágata cultivada em Mucugê-BA (C) sob níveis de fertilização potássica, Uberlândia- MG, 2017. 56
- 14 Produtividade de tubérculos de batata da classe 1X, cultivar Atlantic (A) e Ágata cultivada em Unai- MG (B) e Ágata cultivada em Mucugê-BA (C) sob níveis de fertilização potássica, Uberlândia- MG, 2017. 57
- 15 Produtividade de tubérculos de batata da classe 2X, cultivar Atlantic (A) e Ágata cultivada em Unai- MG (B) e Ágata cultivada em Mucugê-BA (C) sob níveis de fertilização potássica, Uberlândia- MG, 2017. 58
- 16 Produtividade total de tubérculos de batata, cultivar Atlantic (A) e Ágata cultivada em Unai- MG (B) e Ágata cultivada em Mucugê-BA (C) sob níveis de fertilização potássica, Uberlândia- MG, 2017. 59
- 17 Carboidratos totais (%) em massa seca de tubérculos de batata, cultivar Atlantic (A) e Ágata cultivada em Unai- MG (B) sob níveis de fertilização potássica, Uberlândia- MG, 2017. 61
- 18 Proteínas totais (%) em massa seca de tubérculos de batata, cultivar Atlantic (A) e Ágata cultivada em Unai- MG (B) sob níveis de fertilização potássica, Uberlândia- MG, 2017. 61

## RESUMO

OLIVEIRA, ROBERTA CAMARGOS DE. **Adubação mineral em cultivares de batata: produtividade, qualidade e sistema integrado de diagnose e recomendação DRIS**. 2017. 101 f. Tese (Doutorado em Agronomia/Fitotecnia) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, MG<sup>1</sup>.

A batata é um alimento rico em nutrientes e compostos favoráveis a saúde. Dentre os fatores de manejo da cultura, o suprimento de nutrientes às plantas contribui de forma decisiva para a sua produtividade e qualidade. Este fato faz com que os produtores apliquem doses elevadas, muitas vezes além da capacidade de absorção pelas plantas, o que eleva os custos de produção e os riscos de contaminação ambiental. Dessa forma, objetivou-se neste estudo avaliar a influência da variação de doses de fertilizante nitrogenado (N), fosfatado (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) e potássico (KCl) na produtividade de tubérculos de batata das cultivares Ágata e Atlantic. Foram conduzidos três experimentos concomitantes, um para cada nutriente: nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K), sendo a cultivar Ágata cultivada em Unaí-MG e Mucugê-BA e Atlantic cultivada em Unaí-MG. O delineamento utilizado foi o de blocos ao acaso, com quatro repetições. Foram estudadas doses de N: 0, 30, 70, 120 e 280 kg ha<sup>-1</sup> de N; doses de P: 0, 150, 300, 600 e 900 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e doses de K: 0, 70, 110, 220 e 450 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O. Em cada experimento houve variação de apenas um nutriente, sendo as doses dos demais fixos na dose recomendada (120, 480 e 220 kg ha<sup>-1</sup> de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e K<sub>2</sub>O, respectivamente). A produtividade de tubérculos de batata especial e total respondeu às doses de N em todas as cultivares e locais. As doses máximas variaram entre 138 e 194 kg ha<sup>-1</sup> de N em região com solos de CTC alta e baixa, respectivamente. As doses máximas estimadas para produtividade total em Atlantic-MG, Ágata-MG e Ágata-BA foram respectivamente: 606, 730 e 535 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, com produtividades de 38, 47,6 e 59,7 t ha<sup>-1</sup>, respectivamente. A cultivar Atlantic-MG não respondeu ao aumento da adubação potássica, com produtividade entre 32,3 a 37 t ha<sup>-1</sup>. As cultivares Ágata-MG e Ágata-BA responderam até a dose estimada de 225 e 166 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O com produtividade máxima de 53,9 e 56,2 t ha<sup>-1</sup>, respectivamente. Os fatores qualitativos da batata avaliados apresentaram pequenas diferenças tanto entre cultivares, como entre as doses de todos os nutrientes avaliados. Portanto, a adubação interfere de forma mais substancial na quantidade produzida. Com relação a adoção do Sistema de Recomendação e Diagnose DRIS, observou-se que os nutrientes mais limitantes nas áreas de alta e baixa produtividade, respectivamente, apresentaram a seguinte ordem para a cultivar Ágata-MG: Cu > P > B > Ca > Fe > Mn > N > Zn > Mg > K > S e P > Ca > Cu > B > Fe > Mg > N = K = S = Mn = Zn; Ágata-BA: Mg > Ca > B > S > Cu > N > Fe > Zn > P > Mn > K e B > Cu > Mg > Fe > P > N > Mn > Ca > K > S > Zn; Atlantic-MG: Mg > K > N > Fe > Cu > B > S > P > Mn > Ca > Zn e P > B > Mg > Cu > N > S > Mn > Fe > Ca > Zn > K. Os fatores qualitativos da batata avaliados apresentaram pequenas diferenças tanto entre cultivares, como entre as doses de todos os nutrientes avaliados. Portanto, a adubação interfere de forma mais substancial na quantidade produzida.

**Palavras-chave:** *Solanum tuberosum*, qualidade de tubérculos, fertilização com NPK, nutrição de plantas, otimização de fertilizantes.

---

<sup>1</sup> Orientador: José Magno Queiroz Luz- UFU

## ABSTRACT

OLIVEIRA, ROBERTA CAMARGOS DE. **Mineral fertilization in potato cultivars: productivity, quality and integrated diagnosis and recommendation system DRIS**. 2017. 101 f. Thesis (Ph.D. in Agronomy / Plant Science)-University of Uberlândia. Uberlândia<sup>1</sup>

Potatoes are a food rich in health-friendly nutrients and compounds. It offers affordable price, high acceptability and versatility, with increasing demands over the decades. Among the management factors of the crop, the supply of nutrients to the plants contributes decisively to its productivity and quality. This causes farmers to apply high doses, often beyond the absorption capacity of plants, which increases production costs and risks of environmental contamination. Therefore, the objective of this study was to evaluate the influence of nitrogen fertilizer (N), phosphate ( $P_2O_5$ ) and potassium (KCl) fertilizer rates on the productivity of potato tubers of the cultivars Ágata and Atlantic. Three concurrent experiments were carried out, one for each nutrient: nitrogen (N), phosphorus (P) and potassium (K). The cultivar Ágata was cultivated in Unaí-MG and Mucugê-BA and the Atlantic was cultivated in Unaí-MG. The experimental design was a randomized block design with four replications. Doses of N: 0, 30, 70, 120 and 280 kg ha<sup>-1</sup> of N were studied, as well as doses of P: 0, 150, 300, 600 e 900 kg ha<sup>-1</sup> of  $P_2O_5$  and doses of K: 0, 70, 110, 220 e 450 kg ha<sup>-1</sup> of  $K_2O$ . In each experiment there was only one nutrient variation, with the other doses fixed at the recommended dose (120, 480 and 220 kg ha<sup>-1</sup> of N,  $P_2O_5$  and  $K_2O$ , respectively). Productivity of special and total potato tubers responded to N rates in all cultivars and sites. The maximum doses varied between 138 and 194 kg ha<sup>-1</sup> of N in region with high and low CTC soils, respectively. The maximum doses estimated for total productivity in Atlantic-MG, Ágata-MG and Ágata-BA were respectively: 606, 730 and 535 kg ha<sup>-1</sup> of  $P_2O_5$ , with productivities of 38, 47.6 and 59.7 t ha<sup>-1</sup>, respectively. The cultivar Atlantic-MG did not respond to the increase of potassium fertilization, with productivity between 32.3 and 37 t ha<sup>-1</sup>. The cultivars Ágata-MG and Ágata-BA responded up to the estimated dose of 225 and 166 kg ha<sup>-1</sup> of  $K_2O$  with maximum productivity of 53.9 and 56.2 t ha<sup>-1</sup>, respectively. The qualitative factors presented small differences between cultivars and rates of all evaluated nutrients. Therefore, the fertilization interferes more substantially in the amount produced. Regarding the adoption of the DRIS Recommendation and Diagnosis System, it was observed that the most limiting nutrients in the areas of high and low productivity, respectively, presented the following order for the Ágata-MG cultivar: Cu > P > B > Ca > Fe > Mn > N > Zn > Mg > K > S and P > Ca > Cu > B > Fe > Mg > N = K = S = Mn = Zn; Agata-BA: Mg > Ca > B > Cu > N > Fe > Zn > P > Mn > K and B > Cu > Mg > Fe > P > N > Mn > Ca > K > S > Zn; Atlantic-MG: Mg > K > N > Fe > Cu > B > S > P > Mn > Ca > Zn and P > Mg > Cu > N > S > Mn > Fe > Ca > Zn > K. The qualitative factors of the evaluated potato presented small differences between cultivars as well as between the doses of all nutrients evaluated. Therefore, the fertilization interferes more substantially in the quantity produced.

**Keywords:** *Solanum tuberosum*, tuber quality, NPK fertilization, plant nutrition, fertilizer optimization.

## INTRODUÇÃO GERAL

A batata (*Solanum tuberosum* L.) constitui importante alimento para a nutrição humana, fornecendo proteínas, carboidratos, fibras, vitaminas e nutrientes (BRAUN *et al.*, 2011). Além disso, compostos bioativos com alto índice de ácidos fenólicos, antocianinas e carotenóides já foram detectados tanto na polpa quanto nas cascas de batatas (EZEKIEL *et al.*, 2013). A ingestão desses fitoquímicos está relacionada com a prevenção de doenças crônicas, inflamações diversas e diabetes (ACOSTA-ESTRADA *et al.*, 2014), o que faz crescer o interesse da pesquisa desta cultura com o objetivo de atender a demanda de uma população preocupada com alimentos benéficos à saúde.

Em 2010, a cultura se tornou o terceiro alimento mais consumido no mundo, atrás apenas do arroz e do trigo. Com o crescimento populacional e a redução da disponibilidade de terras agricultáveis, a relevância de pesquisas que produzam conhecimento para uma melhor produção da cultura tende a aumentar (ANUÁRIO DA AGRICULTURA BRASILEIRA, 2012).

No Brasil, a cultura da batata ocupou, em 2016, uma área de aproximadamente 125 mil hectares, com produção de 3,58 milhões de toneladas de tubérculos (IBGE, 2016). A produtividade média é de 28 t ha<sup>-1</sup>, porém, em algumas regiões, a exemplo de Minas Gerais e Bahia (região da chapada Diamantina), por apresentarem condições climáticas favoráveis e produtores com alto nível tecnológico, alcançam produtividades na ordem de 60 t ha<sup>-1</sup> (a depender da cultivar, manejo, clima, ano, adubação e épocas de plantio).

A maior parte da produção brasileira de batata é destinada ao consumo *in natura*. Entretanto, nos últimos anos, observa-se expansão da cadeia produtiva do setor de processamento, especialmente na forma de batata frita, pré-frita e desidratados. Tudo isso graças à ampla versatilidade gastronômica dos tubérculos.

Essa realidade traz novas demandas para produtores e pesquisadores, cuja necessidade de ampliação e melhor aproveitamento das áreas de produção se tornam cada vez mais urgentes. Dessa forma, a fim de atender a produtividade, há necessidade de um estudo criterioso das técnicas de manejo, buscando a otimização e eficiência em todo o processo produtivo e a entrega de um produto de excelência para o mercado consumidor.

Dentre os fatores de manejo que potencializam os resultados do cultivo, o suprimento de nutrientes às plantas merece destaque, pois, contribui de forma decisiva

para o incremento da produtividade e qualidade do produto colhido, especialmente em culturas altamente responsivas à aplicação de fertilizantes como a batata. Entender o processo e as especificidades da cadeia produtiva, entretanto, é imprescindível. Afinal, apesar de apresentar um ciclo relativamente curto, a batata apresenta elevada exigência quanto à presença de nutrientes disponíveis na solução do solo (FERNANDES, 2010). Conhecer detalhadamente essas exigências nutritivas é o caminho para a obtenção de altos rendimentos por área.

Sabe-se que os nutrientes desempenham funções específicas e são essenciais para o pleno desenvolvimento vegetal. Plantas bem nutridas são capazes de suportar melhor as condições de estresse, tanto biótico quanto abiótico, proporcionando melhores retornos a nível de quantidade e qualidade. Os maiores incrementos em produtividade relacionam-se à aplicação de fósforo, nitrogênio e potássio, nesta ordem. O fósforo (P) aumenta o rendimento e encurta o período vegetativo (BOOCK; CASTRO, 1950); O nitrogênio (N) aumenta o crescimento vegetativo das plantas, intensifica a cor verde da folhagem e retarda a maturidade. Porém, em doses excessivas, aumenta a suscetibilidade a doenças fúngicas; Já o potássio (K) é importante para fatores relacionados à qualidade, aumentando a conservação pós-colheita (FILGUEIRA, 2008).

Segundo a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (1999), a demanda relativa de fertilizantes da batata é a maior entre as culturas produzidas no Brasil. Isso se deve, em parte, ao fato de a adubação utilizada pelos produtores brasileiros nem sempre ser realizada de maneira adequada às características agronômicas, ou seja, não seguindo os critérios técnico-científicos quanto à correção do solo e à necessidade da cultura.

Podem-se observar casos em que os produtores aplicam doses excessivas de fertilizantes pelo simples fato de não haver coleta de amostras do solo para análise química e orientações quanto à recomendação de adubação (QUEIROZ, 2011). Essa prática onera desnecessariamente a produção e não oferece a devida atenção para os impactos que a nutrição tem no desenvolvimento e, especialmente, na qualidade dos tubérculos (FERNANDES *et. al.*, 2015). O inconveniente de tal atitude vai além do uso indiscriminado dos recursos (fertilizantes), já que resulta também em impactos negativos na produção (BOULOMYTIS; BRESAOLA JUNIOR, 2013).

O que leva a isso é muitas vezes o receio de baixa produção (KAWAKAMI, 2015). A falta de conhecimento acerca das quantidades recomendadas (apontadas caso a



caso, a partir de estudos específicos) alimenta o engodo de que a redução da aplicação a níveis necessários/adequados estimula o risco e a perda na produtividade. Mas não é apenas o gasto desnecessário dos recursos que justificam os investimentos em estudos em busca de saberes acerca da quantidade de nutrientes que as cultivares realmente necessitam. Há que se considerar também o custo ambiental, uma vez que doses excessivas contribuem para a poluição do solo e de águas superficiais, a exemplo das grandes quantidades de nitrato e fosfato adicionadas sem necessidade ao ambiente e que, a longo prazo, representam sérios problemas para os seres humanos e animais (TAMASI *et. al.*, 2015). Segundo Queiroz *et. al.* (2013), há um abismo entre a recomendação de adubação proveniente de pesquisas e a utilizada pelos produtores de batata.

As cultivares de batata possuem particularidades que refletem em diferenças no manejo e na produtividade. Fernandes (2013), em estudo com as cultivares mais plantadas no Brasil (Ágata, Asterix, Atlantic, Markies e Mondial), observou 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. Assim, observa-se que há comportamento distinto quanto à absorção e eficiência na utilização dos nutrientes, o que determina exigências diferentes por cada cultivar.

Fernandes e Soratto (2013) relataram que a falta de recomendações específicas para as cultivares mais utilizadas no Brasil estão relacionadas, principalmente, à falta de informações quanto à eficiência de uso dos nutrientes. Furlani e Purqueiro (2010) afirmaram que são necessários mais estudos nutricionais envolvendo a dinâmica dos nutrientes nas culturas. O monitoramento da resposta das plantas à adubação fornece aos produtores respostas precisas para orientar as recomendações de adubação existentes, sendo necessários estudos para cada material genético dentro da mesma espécie.

Além do conhecimento sobre a quantidade correta de nutriente a ser aplicada, são interessantes os trabalhos utilizando o Sistema Integrado de Diagnose e Recomendação- DRIS. Este método considera o equilíbrio entre os nutrientes no processo de diagnóstico nutricional, possibilitando identificar a ordem de limitação nutricional e permitindo agrupar os nutrientes desde o mais limitante por deficiência até àqueles que estão em níveis excessivos.

É preciso, portanto, avançar nos conhecimentos técnicos sobre o assunto e, ao mesmo tempo, viabilizar a sua aplicação. Dessa forma, intenciona-se com essa tese

elaborar conhecimento sistematizado do efeito de adubação com NPK em batateira, analisando os aspectos relacionados à fertilidade e a sua dinâmica. E, com isso, obter informações consistentes a respeito da quantidade de cada nutriente a ser aplicado para cada cultivar, otimizando o manejo racional de fertilizantes, de modo a garantir o melhor custo-benefício em relação ao uso de insumos.

Assim, objetivou-se avaliar a influência da variação de doses de fertilizante nitrogenado, fosfatado e potássico na produtividade de tubérculos e nas propriedades nutricionais de batata das cultivares Ágata e Atlantic utilizando o Sistema Integrado de Diagnóstico e Recomendação- DRIS.

## REFERÊNCIAS

ACOSTA-ESTRADA, B.A.; GUTIÉRREZ-URIBE, J.A.; SERNA-SALDÍVAR, S.O. Boundphenolics in foods, a review. **Food Chemistry**, 152 (2014), pp. 46–55.

AGRIANUAL – ANUÁRIO DA AGRICULTURA BRASILEIRA. 2012. **Batata**. São Paulo: FNP. 482p.

BRAUN, H. FONTES, P. C. R. BUSATO, C. CECON, P. R. Teor e exportação de macronutrientes e micronutrientes nos tubérculos de cultivares de batata em função do nitrogênio. **Bragantia**, v.70, n.1, p.50-57, 2011.

BOOCK, O. J.; CASTRO, J. B. Efeito do nitrogênio, fósforo e potássio na adubação da batatinha - *Solanum tuberosum* L. **Bragantia**. vol.10 no.8 Campinas Aug. 1950. 221-233.

BOULOMYTIS, V.T.G.; BRESAOLA JUNIOR, R. Problemática no uso da terra e no manejo agrícola da bataticultura em Bueno Brandão, MG. **Soc. & Nat.**, Uberlândia, 25 (2): 303-316, mai/ago/2013.

EMBRAPA. EMPRESA BRASILEIRA DE PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). Manual de análise química dos solos, plantas e fertilizantes. Embrapa Solos, 1999. 370p.

EZEKIEL, R.; SINGH, N.; SHARMA, S.; KAUR, A. Beneficial phytochemicals in potato—a review. **Food Research International**, 50 (2) (2013), pp. 487–496.

FERNANDES, A. M. Crescimento, produtividade, acúmulo e exportação de nutrientes em cultivares de batata (*Solanum tuberosum* L.). 2010.158 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrônomicas UNESP, Botucatu, 2010.

FERNANDES, A. M. Adubação fosfatada em cultivares de batata (*Solanum tuberosum* L.). 2013.163 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrônomicas UNESP, Botucatu, 2013.

FERNANDES, A. M.; SORATTO, R. P. Eficiência de utilização de nutrientes por cultivares de batata. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 29, n. 1, p. 91-100, 2013.

FERNANDES, A.; SORATTO, R.P.; EVANGELISTA, R.M. Qualidade de tubérculos de batata da cultivar ‘Atlantic’ afetada pela adubação fosfatada. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.45, n.8, p.1401-1407, ago, 2015.

FILGUEIRA, F.A.R. **Novo manual de olericultura: Agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças.** 2 ed. Vicosa: UFV, 2008, 421 p.

FURLANI, P.R.; PURQUERIO, L.F.V. Avanços e desafios na nutrição de hortaliças. In: Nutrição de Plantas: diagnose foliar em hortaliças. MELLO PRADO, R. et al. Jaboticabal: FCAV/CAPES/FUNDUNESP, 2010. p.45-62.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística IBGE. Estatística da Produção Agrícola. 72 p. 2016. Acesso em: [ftp://ftp.ibge.gov.br/Producao\\_Agricola/Fasciculo\\_Indicadores\\_IBGE/estProdAgr\\_201601.pdf](ftp://ftp.ibge.gov.br/Producao_Agricola/Fasciculo_Indicadores_IBGE/estProdAgr_201601.pdf)

KAWAKAMI, J. Redução da adubação e doses e parcelamento de nitrogênio no crescimento e produtividade de batata. **Horticultura Brasileira**, v.33, n.2, p. 168-173, Vitória da Conquista, 2015.

QUEIROZ, A. A. Produtividade e qualidade de cultivares de batata em função de doses de NPK. 2011. 134f. Tese (Doutorado em Agronomia), Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2011.

QUEIROZ LRM; KAWAKAMI J; MULLER MML; OLARI ICR; UMBURANAS RC; ESCHEMBAK V. 2013. Adubação NPK e tamanho da batata-semente no crescimento, produtividade e rentabilidade de plantas de batata. **Hortic. Bras.** vol.31 no.1, p. 119-127, Vitória da Conquista, 2013.

## CAPÍTULO 1

### **Adubação nitrogenada em batateira: Produtividade e qualidade de tubérculos de Ágata e Atlantic**

#### **RESUMO**

O nitrogênio é um nutriente essencial presente em grande parte dos processos biológicos que ocorrem nas plantas. A baixa disponibilidade do nutriente na camada arável do solo, somada à grande demanda pelas plantas, faz com que esse nutriente seja um dos mais limitantes à produtividade em plantas de batata (*Solanum tuberosum*). Aplicações excessivas e sub-ótimas são prejudiciais sobre os aspectos financeiro e de sustentabilidade. Portanto, objetivou-se avaliar a influência da variação de doses de fertilizante nitrogenado na produtividade de tubérculos das cultivares Ágata e Atlantic. O delineamento utilizado foi o de blocos ao acaso com quatro repetições. Foram estudadas as doses de 0, 30, 70, 120 e 280 kg ha<sup>-1</sup> de N. Os demais nutrientes foram fixos em 480 e 220 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e K<sub>2</sub>O, respectivamente. Na ausência de aplicação de N, observou-se que o P, K, S e B apresentaram teores 32,8; 6,3; 36,8; e 15,1% inferiores ao adequado em Atlantic-MG, os teores de S e Zn foram 50,8 e 27,6% abaixo do adequado em Ágata-MG e os teores de N, K, Mg e S foram 6,5; 13,1; 14,2 e 50,8% inferiores ao adequado em Ágata-BA. Todos os demais nutrientes atenderam às necessidades da batateira, sendo o incremento das doses de N favoráveis ao aumento dos teores da maioria dos nutrientes em todos os experimentos. A produtividade de tubérculos de batata Especial e total respondeu às doses de N em todas as cultivares e locais. As doses máximas variaram entre 138 e 194 kg ha<sup>-1</sup> de N em região com solos de CTC alta e baixa, respectivamente. O N não interfere no teor de carboidratos totais. Já o teor de proteínas totais em Atlantic-MG é crescente até uma dose de 258 kg ha<sup>-1</sup> de N (6,26%). A adubação N deve ser orientada, a partir do conhecimento dos atributos do solo e da dinâmica dos seus constituintes (textura e fertilidade), condições climáticas (precipitação e temperatura), especificidades das cultivares (controle genético de absorção e formação de sistema radicular) e análises de custos (econômicos e ambientais). A atenção para a interação entre tais fatores ao longo dos anos permite aprimorar a predição de dosagem pela redução na quantidade ótima, sem afetar os rendimentos, em manejos específicos para cada local.

**Palavras-chave:** *Solanum tuberosum* L., ureia, níveis de nitrogênio

#### **ABSTRACT**

### **Nitrogen fertilization in potato: Productivity and quality of tubers from Ágata and Atlantic**

Nitrogen is an essential nutrient present in many of the biological processes that occur in plants. The low availability of the nutrient in the arable layer of the soil, added with the great demand for the plants, makes this nutriente to be one of the most limiting to the productivity in potato plants (*Solanum tuberosum*). Excessive and suboptimal applications are detrimental to the financial and sustainability aspects. Therefore, objective of this study was to evaluate the influence of nitrogen fertilizer rates variation

on the productivity of tubers of the Ágata and Atlantic cultivars. The experimental design was a randomized block design with four replications. The doses of 0, 30, 70, 120 and 280 kg ha<sup>-1</sup> of N. The other nutrients were fixed at 480 and 220 kg ha<sup>-1</sup> of P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> and K<sub>2</sub>O, respectively. In the absence of N application, it was observed that P, K, S and B presented levels 32.8; 6.3; 36.8; and 15.1% lower than that in Atlantic-MG, the S and Zn contents were 50.8 and 27.6% below the adequate in Ágata-MG and the contents of N, K, Mg and S were 6.5 ; 13.1; 14.2 and 50.8% lower than that in Ágata-BA. All other nutrients met potato needs, with increasing N rates favoring the increase of most nutrients in all experiments. Productivity of Special and total potato tubers responded to N rates in all cultivars and sites. The maximum doses varied between 138 and 194 kg ha<sup>-1</sup> of N in regions with high and low CTC soils, respectively. The N does not interfere with total carbohydrate content. The total protein content in Atlantic-MG is increasing until 258 kg ha<sup>-1</sup> of N (6.26%). N fertilization should be oriented, based on the knowledge of the soil attributes and the dynamics of its constituents (texture and fertility), climatic conditions (precipitation and temperature), specificities of the cultivars (genetic control of absorption and formation of root system) and cost analysis (economic and environmental). The attention to the interaction between these factors over the years allows an improvement to the dosage prediction by reducing the optimal quantity, without affecting yields, in specific management for each location.

**Key words:** *Solanum tuberosum* L., urea, levels of nitrogenium

## 1 INTRODUÇÃO

A cultura da batata (*Solanum tuberosum*) apresenta alta capacidade de converter energia luminosa em produção. Tanto que, em condições favoráveis de clima e alta tecnologia, a produtividade pode chegar a 60 toneladas por hectare, a depender da cultivar e técnica utilizada. No entanto, as características que elevam o custo de produção associada às oscilações de preço do mercado podem configurar risco financeiro ao produtor (STÜRMER *et. al.*, 2014).

Uma das maneiras de evitar perdas financeiras devido a produções insuficientes é conhecendo as necessidades nutritivas das cultivares e a disponibilidade dos nutrientes no solo, e dessa forma, procurar equilibrar oferta e demanda.

Sabe-se que a batata requer quantidades substanciais de fertilizantes nitrogenados para otimizar o seu rendimento e a qualidade dos tubérculos (GAO *et. al.*, 2013), sendo imprescindível a sua aplicação. A baixa disponibilidade de nitrogênio (N) na camada arável do solo, somada à grande demanda pelas plantas, faz com que esse

elemento essencial seja um dos nutrientes mais limitantes à produtividade em plantas de batata (BRAUN *et. al.*, 2013).

O N é um nutriente essencial presente em grande parte dos processos biológicos que ocorrem nas plantas. Participa com quatro átomos na molécula de clorofila e é componente dos ácidos nucléicos (COELHO *et. al.*, 2012). O suprimento adequado deste elemento essencial é fundamental para constituição dos carboidratos e metabolismo proteico (SHEHU *et. al.*, 2010).

As plantas se adaptam às flutuações na disponibilidade em torno das raízes por meio do ajuste coordenado da morfologia radicular e a expressão de genes. Isso acontece por conta da regulação da taxa de absorção de N pelas raízes devido ao efeito da condutividade hidráulica, o qual diminui com a privação de N e aumenta com a disponibilidade de N (ISHIKAWA -SAKURAI *et. al.*, 2014). Assim, o fornecimento de N altera de forma sinérgica ou antagônica a absorção e utilização dos demais nutrientes presentes nos solos, sendo a acumulação de nutrientes geneticamente controlada e afetada pela interação genótipo-ambiente-manejo (MA *et. al.*, 2016).

Em campo é possível observar aplicações de níveis excessivos de fertilizantes nitrogenados para assegurar rendimentos desejáveis, uma vez que o custo deste fertilizante é relativamente baixo em comparação ao custo total de produção. As razões pelas quais os agricultores reagem desta forma variam. Quase sempre, no entanto, estão relacionadas a tentativa de alcançar a quantidade de N necessária durante o ciclo de cultivo sem o devido estudo do solo, compensando com o exagero na aplicação do produto e a falta de métodos precisos que auxiliem o manejo nutricional (KONG *et. al.*, 2013).

A disparidade existente entre a recomendação de adubação fornecida pela literatura e a utilizada pelos produtores, associada à falta de informação técnica sobre o assunto (QUEIROZ *et. al.*, 2013), justifica a necessidade de desenvolver pesquisas na área. Os resultados devem orientar de forma consistente o uso consciente dos fertilizantes, garantindo uma relação sustentável com o meio ambiente e com a economia através da redução dos custos de produção.

As reflexões sobre o papel e o funcionamento dos fertilizantes minerais, ainda que fundamentais, têm sido negligenciadas por décadas. Para exemplificar: a indústria de fertilizantes investe apenas de 0,1 a 0,2% de sua receita em pesquisa e desenvolvimento, enquanto segmentos como o de sementes fazem investimentos da ordem de 10% (BINDRABAN *et. al.*, 2015). A falta de esforços e estudos geram não só

a contaminação do ambiente, mas também o desperdício de um recurso imprescindível e, muitas vezes, não renovável.

No mundo contemporâneo são necessárias práticas agrícolas sustentáveis para melhorar o rendimento das culturas e reduzir os riscos ambientais do agronegócio (DIACONO *et. al.*, 2013). Afinal, buscar altos níveis de produção a partir do manejo sub-ótimo ou excesso de nutrientes resultam em mineração de nutrientes, desequilíbrios no sistema solo-planta e deterioração do estado de equilíbrio do solo (CHOUDHARYET *et. al.*, 2013).

O N pode ser lixiviado e contaminar os lençóis freáticos, ou ainda, volatilizar e se perder na atmosfera. As emissões de gases  $N_2O$  provenientes de fertilizantes nitrogenados são particularmente danosas, uma vez que contribui para o aquecimento global, o dano ambiental mais debatido nos últimos 20 anos (EHDAIE *et. al.*, 2010). Segundo Zebarth *et. al.* (2009) a perda total de N pode chegar a 52%, o que enfatiza a importância de adotar um manejo de adubação nitrogenada mais eficiente.

Dose reduzida de N geralmente reflete em baixa produção e tubérculos pequenos, devido ao limitado desenvolvimento da parte aérea da planta. Por outro lado, o excesso de N favorece o crescimento vigoroso da batateira e concentra grande parte da energia em folhas, o que retarda o enchimento e a maturação do tubérculo e reduz o teor de massa seca dos tubérculos (MOREIRA *et. al.*, 2011).

Portanto, o manejo nutricional é dinâmico e afeta fatores externos e internos dentro de um cultivo, no qual doses adequadas refletem em um maior equilíbrio do sistema. Assim, objetivou-se avaliar a influência da variação de doses de fertilizante nitrogenado na produtividade de tubérculos de batata das cultivares Ágata e Atlantic.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 Localização e instalação

Os cultivos de Ágata e Atlantic foram realizados em Minas Gerais em Unai, de maio a agosto e de junho a setembro de 2014, respectivamente. Já na Bahia, o experimento com Ágata foi realizado em Mucugê de setembro a dezembro de 2014.

Unai- MG situa-se a: 16° 21' 27" de latitude S e 46° 54' 22" de longitude W. A região possui clima Tropical Aw e altitude aproximada de 640 m. A temperatura máxima e mínima durante o período do experimento variou entre 32° a 40°C e 9° a

14°C, respectivamente. O solo da área apresenta textura argilosa, sendo Latossolo Vermelho distrófico. Já a região de Mucugê-BA situa-se a: 13°00'19" de latitude S e 41°22'15" de longitude W. A região possui clima semi-úmido e altitude de 986 m. A temperatura máxima e mínima durante o período do experimento variou entre 25° a 29°C e 12° a 16°C, respectivamente. O solo da área apresenta textura media, sendo Latossolo Vermelho- Amarelo (EMBRAPA, 2013).

Antes do plantio realizou-se a amostragem de solo na camada de 0-20 cm e procedeu-se a caracterização química, de acordo com o método descrito pela Embrapa (2013). Os valores encontram-se na Tabela 1.

TABELA 1. Caracterização química dos solos das áreas dos experimentos, antes do plantio e adição de fertilizantes. Uberlândia- MG, 2017.

Características do solo	Bahia (Ágata)	Minas Gerais (Ágata)	Minas Gerais (Atlantic)
pH agua	5,7	5,2	5,3
P (mg dm <sup>-3</sup> )	11,7	14,5	17,0
K (mg dm <sup>-3</sup> )	84	84,4	89
Ca (cmolc dm <sup>-3</sup> )	1,3	2,9	3,2
Mg (cmolc dm <sup>-3</sup> )	0,4	1,1	0,9
H+Al (cmolc dm <sup>-3</sup> )	1,8	3,5	3,6
CTC (cmolc dm <sup>-3</sup> )	3,7	7,7	7,9
V (%)	51,9	54,6	54,4

## 2.2 Delineamento Experimental

Para cada cultivar e localidade avaliou-se o efeito de dose de nitrogênio: 0, 30, 70, 120 e 280 kg ha<sup>-1</sup>. O delineamento experimental foi o de blocos ao acaso com cinco doses e quatro repetições. Cada parcela constituiu por seis linhas, com seis metros de comprimento, espaçadas em 0,8 m entre linhas e 0,30 m entre plantas, totalizando 28,8 m<sup>2</sup> de área total por parcela. As avaliações foram realizadas nas duas linhas centrais, com área útil da parcela, totalizando 8 m<sup>2</sup>.

A dose padrão dos nutrientes P e K, fixados em 480 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e 220 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O, seguiram as recomendações da Comissão de Fertilidade dos Solos de Minas Gerais (CFSEMG, 1999). As fontes de N, P e K utilizadas foram ureia, superfosfato triplo e cloreto de potássio, respectivamente. Foram aplicados os micronutrientes:



Zinco: 0,2%, Magnésio: 2%, Cálcio: 11%, Enxofre: 12%, Boro: 0,08%, Cobre: 0,08% e Manganês: 0,2% no momento do plantio.

### **2.3 Instalação e condução do experimento**

Após o preparo do solo, aração, gradagem e abertura dos sulcos, as doses de N foram distribuídas manualmente ao sulco de plantio, sendo incorporadas com auxílio de enxada.

Do total do N e K aplicado, 60% foi distribuído no plantio, e os demais 40% em cobertura 27 dias após o plantio (DAP), período em que foi realizado a amontoa.

As plantas de batata dos experimentos receberam suplementação hídrica por sistema de pivô central, com fornecimento de água suficiente para o pleno desenvolvimento da cultura (500 mm) ao longo de todo o período de cultivo.

De acordo com o monitoramento de pragas, doenças e plantas infestantes foram realizados todos os cuidados fitossanitários, quando necessários, com produtos registrados para a cultura da batata e em doses recomendadas pelos fabricantes.

### **2.4 Características avaliadas**

#### **2.4.1 Teor foliar de macro e micronutrientes**

Em cada cultivar e localidade, em 35 dias após o plantio (DAP), foram coletadas 20 folhas completas (limbo + pecíolo) do terceiro trifólio completamente desenvolvido de cada parcela (CFSEMG, 1999). As folhas foram acondicionadas em sacos de papel e destinadas ao laboratório de análises para quantificação de nutrientes.

As amostras foram lavadas segundo a metodologia de Bataglia (1983), secas em estufa com circulação forçada de ar ( $65\text{ °C} \pm 5\text{ °C}$ ), e após a secagem, foram moídas e determinadas os teores foliares dos macronutrientes: nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, enxofre e micronutrientes: boro, cobre, ferro, manganês e zinco (EMBRAPA, 2013).

#### **2.4.2 Produtividade e qualidade de tubérculos**

Ao final dos experimentos (112 e 115 DAP- Ágata e Atlantic em Unai-MG e 106 DAP- Ágata em Mucugê-BA), os tubérculos contidos na área útil das parcelas foram colhidos manualmente (desprezando 0,5 m de cada extremidade), classificados e pesados em balança eletrônica. Os valores obtidos foram transformados em  $\text{t ha}^{-1}$ .

Os tubérculos foram classificados quanto ao diâmetro em: Especial (acima de 5 cm), 1X (4 a 5 cm) e 2X (inferior a 4 cm). A somatória das classificações constituiu a produtividade total.

Nos experimentos de Unai-MG, de cada parcela foi retirada uma amostra de batatas para realizar, em duplicata, as análises de carboidratos totais e proteínas. Foram retiradas as cascas e laterais dos tubérculos e as demais partes foram trituradas e congeladas a -180 C por 48 horas. As amostras congeladas foram liofilizadas e o material seco, após ser moído e passado em peneira de 250 mesh, foram acondicionados em sacos plásticos até o momento das análises.

O teor de carboidrato totais foi determinado usando o Megazyme Total Starch method (AACC Método 76.13), de acordo com o procedimento do fabricante (Megazyme Internacional da Irlanda).

A proteína total foi extraída a partir de 150 mg de batata liofilizada em 1,5 ml de tampão Tris-HCl 62,5 mM, pH 6,8, com SDS a 2%, agitando em intervalos de 15 minutos durante cerca de 4h a 4°C e centrifugando a 8161 g por 5 min (BARTA; BARTOVA, 2008). O sobrenadante foi coletado e armazenado a -30 ° C até o uso. O conteúdo de proteínas foi determinado usando o teste de microplacas da determinação da proteína DCTM (Bio-Rad Protein Assay Kit).

## **2.5 Análise estatística**

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância para verificar a existência de diferenças entre os tratamentos. Para a comparação das médias, aplicou-se o teste de F e a análise de regressão polinomial para os que foram significativos, utilizando o programa estatístico SISVAR (FERREIRA, 2011).

# **3 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

## **3.1 Teor foliar de macro e micronutrientes**

A equação polinomial que mais se adequou aos conjuntos de dados que apresentaram diferença significativa para teores de nutrientes encontram-se nas Tabelas 2 e 3.

TABELA 2. Teores de macronutrientes em batateira cultivar Atlantic e Ágata cultivada em Unaí- MG e Ágata cultivada em Mucugê-BA sob níveis de fertilização nitrogenada, Uberlândia- MG, 2017.

Nutriente	Cultivar e local	Equação	R <sup>2</sup>	Xmax kg ha <sup>-1</sup>	Ymax g kg <sup>-1</sup>	Intervalo adequado Lorenzi et al. 1997
N	Atlantic MG	$y = 0,0412x + 41,964$	83,45	280,00	53,5	40 – 50
	Ágata MG	$y = -0,0002x^2 + 0,0599x + 45,104$	88,88	149,75	49,59	
	Ágata BA	$y = 0,0504x + 36,566$	79,32	280,00	50,68	
P	Atlantic MG	$y = -0,00005x^2 + 0,0202x + 1,5424$	84,31	202,00	3,58	2,5 – 5
	Ágata MG	--	-	-	-	
	Ágata BA	$y = -0,00002x^2 + 0,0057x + 3,5651$	60,58	142,50	3,97	
K	Atlantic MG	$y = -0,0002x^2 + 0,1038x + 35,573$	71,63	259,50	49,04	40 – 65
	Ágata MG	--	-	-	-	
	Ágata BA	$y = -0,0001x^2 + 0,0299x + 35,102$	70,70	149,50	37,34	
Mg	Atlantic MG	--	-	-	-	3,5 – 5
	Ágata MG	--	-	-	-	
	Ágata BA	$y = -0,000006x^2 + 0,003x + 2,9685$	49,57	250,00	3,34	
S	Atlantic MG	$y = -0,0006x + 1,4533$	38,34	280,00	1,29	2,5 – 5
	Ágata MG	--	-	-	-	
	Ágata BA	$y = -0,0006x + 1,2242$	55,58	280,00	1,22	

<sup>1</sup>-- não significativo ao teste F a 0,05 de probabilidade.

O local em que a adubação nitrogenada mais influenciou no teor foliar foi em Ágata- BA, onde apenas o Ca e o Fe não apresentaram diferença entre as doses. Por outro lado, a aplicação de N em Ágata-MG não afetou o teor do Zn e todos os macronutrientes, exceto N. Os teores encontrados em Ágata-MG para P; K; S; Mg e Zn foram, respectivamente de: 2,9 a 3,2; 42,8 a 43,6; 1,2 a 1,3; 6,2 a 6,5 g kg<sup>-1</sup> de massa seca (MS) e 30,2 a 35,7 mg kg<sup>-1</sup> de MS. Destes, apenas o S apresentou teor abaixo do adequado sugerido por Lorenzi *et. al.* (1997), sendo os demais representados dentro do intervalo indicado para a batata (Tabela 2 e 3).

A maior resposta das doses de N nos teores foliares de macro e micronutrientes em Ágata-BA provavelmente se relaciona ao tipo de solo, especialmente à textura, que promoveu uma maior dinâmica entre os nutrientes no solo da B. Devido a maior quantidade dos nutrientes na solução do solo, eles se tornam mais acessíveis às plantas e à lixiviação comparado aos solos de MG, que por serem argilosos, retêm maior quantidade dos nutrientes em seus coloides (NOVAIS *et. al.*, 2007).

TABELA 3. Teores de micronutrientes em batateira cultivar Atlantic e Ágata cultivada em Unaí- MG e Ágata cultivada em Mucugê-BA sob níveis de fertilização nitrogenada, Uberlândia- MG, 2017.

Nutriente	Cultivar e local	Equação	R <sup>2</sup>	Xmax kg ha <sup>-1</sup>	Ymax mg kg <sup>-1</sup>	Intervalo adequado Lorenzi et al. 1997
Cu	Atlantic MG	--	-	-	-	7 – 20
	Ágata MG	$y = -0,0168x + 36,919$	48,81	280,0	32,2	
	Ágata BA	$y = -0,0001x^2 + 0,0313x + 18,001$	99,82	156,5	20,4	
Mn	Atlantic MG	$y = -0,0007x^2 + 0,3517x + 36,757$	93,30	251,2	80,9	30 – 250
	Ágata MG	$y = 0,1126x + 91,031$	91,67	280,0	122,5	
	Ágata BA	$y = -0,0833x + 248$	71,41	280,0	347,2	
B	Atlantic MG	--	-	-	-	25 – 50
	Ágata MG	$y = -0,0323x + 43,508$	93,17	280,0	34,4	
	Ágata BA	$y = -0,0288x + 62,666$	74,91	280,0	54,5	

<sup>1</sup>-- não significativo ao teste F a 0,05 de probabilidade.

A dinâmica que ocorre no solo foi influenciada pelas condições climáticas, em especial, porque a temperatura x precipitação/irrigação dos locais interferem na atividade da vida microbiana dos solos, os quais agem nos nutrientes por mineralização-imobilização (CHEN *et. al.*, 2013). Portanto, a eficiência de utilização dos nutrientes varia em função da região de cultivo, o que destaca a importância de se levar em consideração todos estes fatores de cultivar- região para a recomendação de adubação.

O Ca não foi significativo pelo teste F em nenhuma cultivar e local. Os teores variaram entre 15,7 a 17,7; 15,5 a 17,2 e 12,6 a 13,5 g kg<sup>-1</sup> de MS para Atlantic-MG, Ágata-MG e Ágata-BA, respectivamente (Tabela 1), sendo todos incluídos dentro do intervalo adequado de Lorenzi *et. al.* (1997) - 10 a 20 g kg<sup>-1</sup> de MS.

A dose crescente de N promoveu incremento linear no teor de N em Atlantic-MG e Ágata-BA. Já em Ágata-MG, doses superiores a 149 kg ha<sup>-1</sup> reduzem o teor desse nutriente nos tubérculos.

A cultivar Atlantic-MG foi a menos sensível à variação de doses de N quanto aos teores foliares, pois não afetou o teor de Mg, Fe, Cu, Zn e B, os quais apresentaram 67 a 80; 254,2 a 335; 49 a 73; 65,7 a 76 e 17 a 21,2 mg kg<sup>-1</sup> de MS, respectivamente (Tabelas 2 e 3). Apenas o B apresentou teor abaixo do adequado para Lorenzi *et. al.* (1997).

O teor de K e P, quando adubadas com doses baixas de N (0 e 30 kg ha<sup>-1</sup>), apresentaram teores abaixo da faixa adequada para Lorenzi *et. al.* (1997) em Atlantic-MG. Em todos os experimentos o Cu e o Fe apresentaram teores superiores a faixa adequada segundo Lorenzi *et. al.* (1997): 7 a 20 e 50 a 100 mg kg<sup>-1</sup> de MS, respectivamente.

O teor de S esteve abaixo do intervalo adequado em todas as localidades e cultivares, com teores abaixo de  $2 \text{ g kg}^{-1}$  de MS. Isso indica uma taxa reduzida desse nutriente nos solos de MG e BA, sendo necessário sua aplicação por meio de algum fertilizante que o contenha ou a realização de gessagem, que constitui uma maneira para incrementar o solo com o S e Ca de baixo custo.

Em Ágata-BA, para todas as doses de N, o K também esteve abaixo do adequado, inclusive na dose máxima. Isso pode ter ocorrido pela taxa de absorção de cátions e ânions ocorrer em quantidades desiguais, não sendo a presença dos nutrientes disponíveis na solução uma garantia de absorção e translocação (MENGEL; KIRKBY, 1987).

Altas concentrações de outros cátions na solução do solo também podem reduzir a absorção de  $\text{K}^+$  (VITTI *et. al.*, 2006; NOVAIS *et. al.*, 2007). O nutriente mais absorvido em Ágata-BA foi o Mn, que por ser um cátion bivalente, pode ter promovido um efeito de competição com o K.

Os teores dos micronutrientes Cu, Fe, Mn e Zn se enquadraram dentro do intervalo adequado para a cultura da batata (LORENZI *et. al.*, 1997) em todas as cultivares e locais avaliados. O B esteve abaixo do limite em Atlantic-MG, dentro da faixa para Ágata-MG e acima do intervalo para Ágata-BA. Essa diferença pode estar relacionada à dinâmica e eficiência de absorção e translocação entre as diferentes cultivares em MG e entre os tipos de solo de MG e BA, os quais apresentam textura argilosa e média, respectivamente.

Em estudo de extração e exportação de nutrientes em cultivares de batata Fernandes *et. al.* (2011) e Soratto *et. al.* (2011) encontraram nas cultivares Ágata e Atlantic teores foliares superiores aos encontrados no presente estudo para N, P, K, Mg, S, Cu, Fe, Mn, Zn e B. Vale ressaltar que as diferenças entre as regiões de cultivo, a dose aplicada e o manejo geral da cultura também foram responsáveis pela alteração na resposta das cultivares à absorção dos nutrientes entre os experimentos.

Em análise dos limites inferiores dos intervalos referente aos teores considerados adequados para Lorenzi *et. al.* (1997) e os teores encontrados nas populações onde não houve aplicação de adubação nitrogenada, observou-se que o P, K, S e B apresentaram teores 32,8; 6,3; 36,8; e 15,1% inferiores ao adequado em Atlantic-MG. Os teores de S e Zn foram 50,8 e 27,6% inferiores ao adequado em Ágata-MG e os teores de N, K, Mg e S foram 6,5; 13,1; 14,2 e 50,8% inferiores ao adequado em Ágata-

BA. Todos os demais nutrientes atenderam às necessidades de nutriente da batateira segundo a referência de Lorenzi *et. al.* (1997).

Luz *et. al.* (2014) também encontraram o valor adequado de N na ausência de aplicação da adubação nitrogenada, afirmando que os teores contidos no solo foram suficientes para as necessidades da cultura.

Os teores dos nutrientes aplicados somado aos contidos no solo foram suficientes para garantir uma boa produtividade na ausência de aplicação de N, sendo a produtividade inclusive superior à média nacional (30,5 t ha<sup>-1</sup>) em 7,8; 53 e 15,6% para Atlantic-MG, Ágata-MG e Ágata-BA, respectivamente (IBGE, 2017).

### 3.2 Produtividade de tubérculos

#### 3.2.1. Produtividade de tubérculos classe Especial

As cultivares de batata responderam de forma quadrática à aplicação de fertilizante nitrogenado nas classes Especial e total. As doses máximas estimadas em Atlantic-MG, Ágata-MG e Ágata-BA, foram respectivamente: 141,50; 140 e 192,14 kg ha<sup>-1</sup> para produtividades de 34,27; 42,87 e 52,9 t ha<sup>-1</sup> de tubérculos classificados como especial (Figura 1A, B e C).

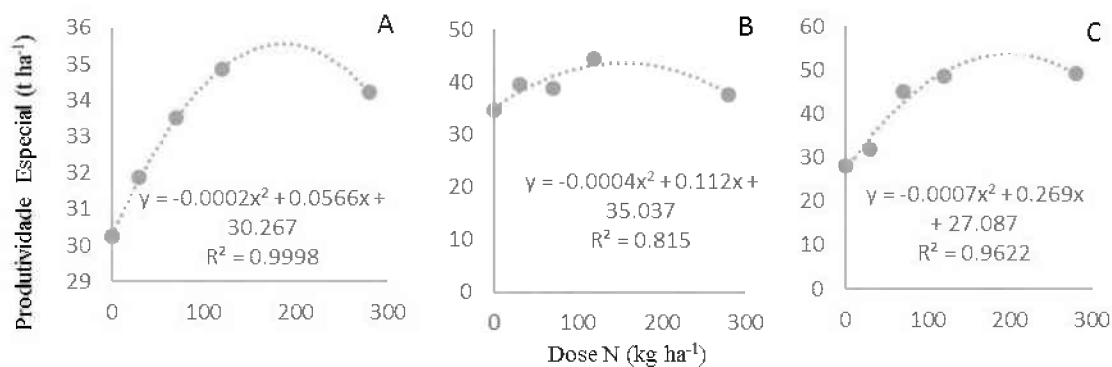


FIGURA 1. Produtividade de tubérculos de batata da classe Especial, cultivar Atlantic (A) e Ágata cultivada em Unai- MG (B) e Ágata cultivada em Mucugê-BA (C) sob níveis de fertilização nitrogenada, Uberlândia- MG, 2017.

De acordo com a regressão da equação de produtividade obtida pela estatística, inferiu-se que a redução de 50% da dose máxima estimada promoveria redução de 3, 4,5 e 12,1% na produtividade de Atlantic-MG, Ágata-MG e Ágata-BA, respectivamente. Portanto, observou-se que o cultivo de diferentes cultivares na mesma região responderam em doses próximas para a produtividade máxima da classe especial

e na redução da dose. Enquanto isso, a mesma cultivar em regiões diferentes apresentou maiores alterações na produtividade e resposta à adubação nitrogenada.

Ágata-BA demandou uma taxa de adubação de N 27,1% superior a Ágata-MG, porém, com produtividade 18,9% maior. As condições climáticas nas quais Ágata-BA foi cultivada são ideais para o cultivo de batata, que somado ao alto nível tecnológico dos produtores da região justificaram a alta produtividade observada.

A escolha da taxa de aplicação geralmente é orientada de acordo com a produção econômica, associada à 90% da máxima produção (MALAVOLTA et al., 1997). No entanto, essa consideração precisa ser melhor avaliada em termos econômicos e ambientais, pois, considerar redução de 10% na máxima produção de Ágata-MG, por exemplo, equivale a produtividade da área onde não houve adubação nitrogenada, com uma perda de 3,4 t ha<sup>-1</sup>.

Por outro lado, a redução em 20% da dose máxima de N gerou queda de apenas 0,4; 0,6 e 1,6% na produtividade da classe especial de Atlantic-MG, Ágata-MG e Ágata-BA, respectivamente. Neste sentido, os produtores devem estar atentos as suas condições, recorrendo a uma análise consistente no custo de produção e tendência no preço de mercado da batata, para assim tomar a decisão de quanto pode reduzir na aplicação. Esses cálculos são ainda mais importantes considerando a classe Especial, haja vista o seu tamanho ser o mais desejado pelo mercado consumidor.

No planejamento da recomendação da dose é necessário incluir os impactos de doses elevadas aplicadas ao solo, em especial, a lixiviação, contaminação dos rios e a economia dos recursos naturais. Para os casos em que o produtor tenha receio ao reduzir a dose, ele tem recursos que o auxiliam a evitar perdas oriundas de baixa produtividade através do monitoramento da lavoura.

Ao utilizar de análises como as foliares, é possível observar os teores de nutrientes nas plantas e, caso esteja abaixo ou muito próximo do intervalo considerado próprio para a cultura, recomenda-se fazer aplicações foliares com auxílio efetivo no manejo nutricional e geral da cultura. Os níveis críticos determinados aos 21 dias após a emergência são adequados para fazer avaliações relativamente precisas de suficiência de N em um estágio precoce de avaliação (COELHO *et. al.*, 2013).

### **3.2.2. Produtividade de tubérculos classe 1X**

Quanto à classe 1X, apenas Ágata-MG respondeu a aplicação de N (Figura 2B), com menor produção desta classe conforme o aumento da dose. Na dose máxima houve

produtividade mínima de 5,77 t ha<sup>-1</sup>. Em Atlantic-MG e Ágata-BA a produtividade 1X variou entre 2 a 2,8 e 3,7 a 9 t ha<sup>-1</sup> (Figura 2A e 2C, respectivamente).

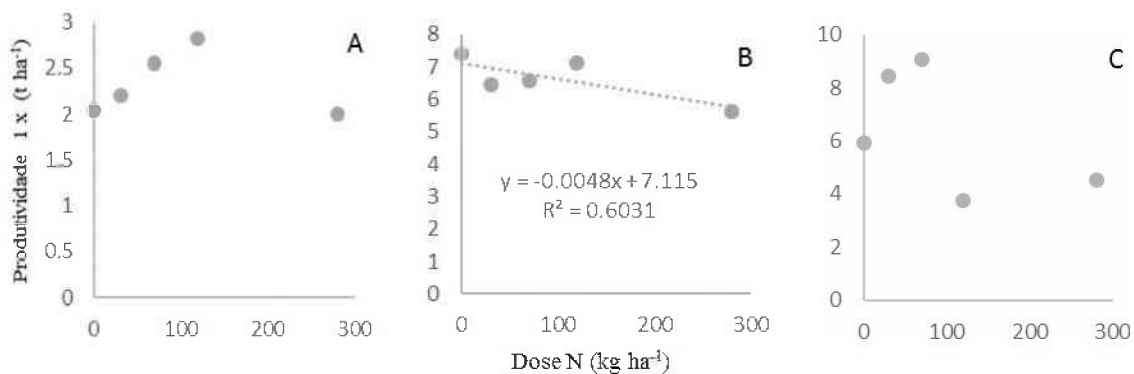


FIGURA 2. Produtividade de tubérculos de batata da classe 1X, cultivar Atlantic (A) e Ágata cultivada em Unaí- MG (B) e Ágata cultivada em Mucugê-BA (C) sob níveis de fertilização nitrogenada, Uberlândia- MG, 2017.

### 3.2.3. Produtividade de tubérculos classe 2X

Para a classe 2X houve respostas diferentes entre cultivares e região de cultivo. Atlantic-MG apresentou produção entre 0,3 a 0,6 t ha<sup>-1</sup>. Já a menor (4,05 t ha<sup>-1</sup>) e maior (1,55 t ha<sup>-1</sup>) produtividades encontradas em Ágata-MG e Ágata-BA relacionaram-se a dose máxima (280 kg ha<sup>-1</sup>) (Figura 3).

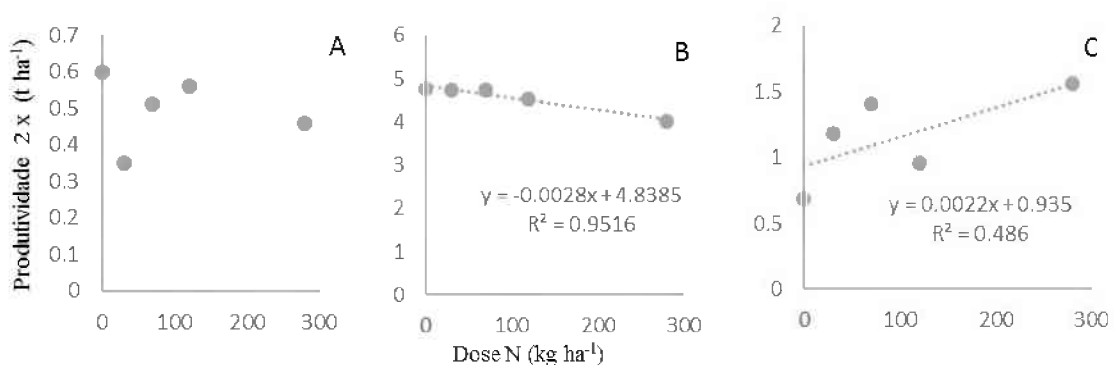


FIGURA 3. Produtividade de tubérculos de batata da classe 2X, cultivar Atlantic (A) e Ágata cultivada em Unaí- MG (B) e Ágata cultivada em Mucugê-BA (C) sob níveis de fertilização nitrogenada, Uberlândia- MG, 2017.

A classe 2X possui baixo valor de comercialização, portanto, deve-se preconizar por manejos que não favoreçam esta classe. Apesar de Ágata-BA apresentar maior variação entre as doses extremas (0 e 280 kg ha<sup>-1</sup> de N), produziu metade da quantidade de tubérculos quando comparada a Ágata-MG.



Bangemann *et. al.* (2014) relataram que a adubação com N influenciou significativamente a classificação do tubérculo em vários anos, sendo favorável a formação de tubérculos de diâmetro maior e, em contraste, não alterando tubérculos de diâmetro menor.

### 3.2.1. Produtividade total de tubérculos

As doses máximas estimadas para a produtividade total em Atlantic-MG, Ágata-MG e Ágata-BA, foram respectivamente de: 170,75; 138,37 e 194,56 kg ha<sup>-1</sup> de N, e produção de 38,58; 54,45 e 65,88 t ha<sup>-1</sup> (Figura 4).

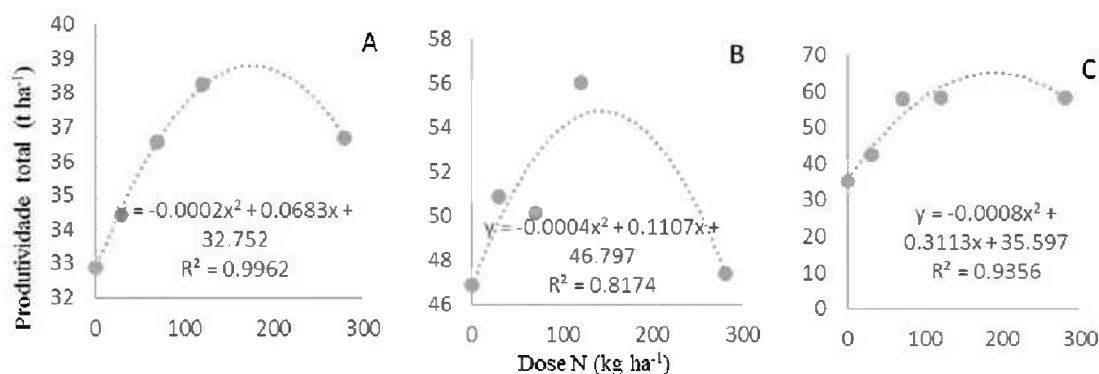


FIGURA 4. Produtividade total de tubérculos de batata, cultivar Atlantic (A) e Ágata cultivada em Unaí- MG (B) e Ágata cultivada em Mucugê-BA (C) sob níveis de fertilização nitrogenada, Uberlândia- MG, 2017.

Com relação às equações, a redução de 50% da dose máxima estimada, ou seja, aplicações de 85,4; 69,2 e 97,3 kg ha<sup>-1</sup> de N em Atlantic-MG, Ágata-MG e Ágata-BA, respectivamente, reduzem a produtividade total em 3,8; 3,5 e 11,5%. Reduções de 50% de doses encontrados em trabalhos da literatura refletem em redução aproximada de 7,6 e 10,4% na produtividade (COELHO *et. al.*, 2010; QUEIROZ *et. al.*, 2013; LUZ *et. al.*, 2014).

Vale ressaltar que em situações de alto nível tecnológico, grande área cultivada e elevada experiência do produtor com a cultura, como no caso das áreas dos presentes experimentos, reduções pequenas como as citadas na produtividade, se somadas a períodos em que a cotação da batata e as condições climáticas encontram-se favorável, podem refletir em perdas consideráveis no lucro com a atividade. Porém, uma redução considerável (20 a 30%), apesar de reduzir pouco a produtividade (0,6 a 1,3; 0,5 a 1,2 e 1,8 a 4,1%, para Atlantic-MG, Ágata-MG e Ágata-BA, respectivamente), podem reduzir problemas ambientais e conservar os recursos naturais.

A queda na produtividade nos 3 experimentos em função da dose elevada de N pode ser atribuída ao papel fisiológico do N na fotossíntese. As plantas o absorvem e formam exuberante crescimento vegetativo, mas isso não necessariamente está relacionado a alta produtividade (LIU *et. al.*, 2017).

A diferença entre dosagens das duas áreas pode ser justificada pelas características do solo. Sendo o solo da Bahia mais arenoso que o de Minas Gerais, os nutrientes ficam menos aderidos aos coloides, o que facilita a perda por lixiviação. Esse fato era o esperado, pois ao se observar as análises dos solos dos locais, Minas Gerais apresentou solo com maior CTC que Bahia. Dessa forma, a correta interpretação da análise de solo permite ao produtor manejar de forma racional a adubação.

Estudos comprovam que boas práticas na gestão de fertilizantes têm potencial para minimizar impactos futuros e maximizar a eficiência do uso de recursos (HERATH *et. al.*; 2014; SINGH *et. al.*, 2015). Isto é particularmente importante em áreas com solo mais arenoso como o da Bahia, mais propensos a lixiviação.

A proteção do ambiente é uma das prioridades nos países europeus e essa política vem se difundindo por todo o mundo. O impacto das medidas agroambientais implementadas em países como a Dinamarca e Suécia, orientam estratégias ao longo do tempo para reduzir as perdas de N das terras agrícolas, o que gera melhorias significativas na qualidade da água superficial em rios agrícolas (STÄLNACKE, *et. al.*, 2014). Segundo Ierna *et. al.* (2011) é possível economizar cerca de 90 mm de água e 200, 50 e 300 kg ha<sup>-1</sup> de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e K<sub>2</sub>O, respectivamente, sem comprometer o rendimento.

A aplicação de N a uma taxa que é 95% da exigência de rendimento máximo, pode reduzir em 30 a 40% a lixiviação de nitrato, sendo as perdas de N em grande parte dependente dos métodos e práticas de irrigação (NASSAR, 2015).

O nível de N exigido para o rendimento máximo é reduzido com a redução na taxa de irrigação (AHMADI *et. al.*, 2016). Taxa de irrigação moderada (40-50%) e N também moderada (135-150 kg ha<sup>-1</sup> N) foram destacados por atingir rendimentos triplos da média nacional no noroeste da China, simultaneamente colhendo batatas de qualidade superior e conservando a água de irrigação, o que demonstra o impacto positivo de manejos adequados (YANG *et. al.*, 2017).

O clima ameno de Mucugê-BA favoreceu de certa forma o desenvolvimento de batata Ágata-BA, com produção 21% superior à região mais quente Ágata-MG. Isso também pode ser atribuído à interferência da temperatura na variação de eficiência no

uso de N. Dessa forma, durante uma estação em que a temperatura é mais elevada, menos fertilizantes N devem ser fornecidos (ZHOU *et. al.*, 2017).

Ademais, as discrepâncias entre as doses e produtividades observadas podem estar relacionadas a reflexos de outros fatores, como fatores agronômicos e manejo do produtor (LUZ *et. al.*, 2014). Aspectos de manejo mostraram que algumas cultivares de batata para processamento requerem taxa de aproximadamente 150% mais de N e K do que cultivares de batata de mesa (DAS *et. al.*, 2015). Observou-se que a cultivar Atlantic-MG (processamento), apesar de apresentar menor produtividade que a Ágata-MG, necessitou de maiores aportes de N (23,7%) para atingir produtividades elevadas.

Alguns países europeus e EUA recomendam taxas de fertilização com N entre 70 a 330 kg ha<sup>-1</sup>, sendo as taxas economicamente mais eficientes entre 147 a 201 kg ha<sup>-1</sup> (FONTES *et. al.*, 2010). No Brasil, as taxas também são variáveis, podendo ser entre 120 a 200 kg ha<sup>-1</sup> (CFSEMG, 1999, FILGUEIRA, 2008). Os resultados do experimento também se encontram dentro dessa ampla faixa de recomendação, porém o foco deste trabalho é enfatizar que as cultivares respondem com elevadas produtividades às doses inferiores a máxima, que são as doses utilizadas pelos produtores geralmente.

Na literatura pode-se observar variações entre as doses ótimas de N em batateira cultivada em diferentes manejos, nível tecnológico e locais. Verificou-se que a cultivar BRS Ana não respondeu muito, em rendimento, a doses de nitrogênio maiores do que 100 kg ha<sup>-1</sup>, sugerindo que a dose recomendada segundo a análise de solo de 120 kg ha<sup>-1</sup> possa ser reduzida em até 17% (SILVA *et. al.*, 2014).

Silva *et al.* (2007) recomendaram doses de 163 a 171 kg ha<sup>-1</sup> de N, dependendo do cenário favorável ou desfavorável ao preço da batata. Kawakami (2015) divulgou que 120 kg ha<sup>-1</sup> de N, parcelada em metade no plantio e metade em cobertura, resultou em altas produtividades.

Banjare *et. al.* (2014) salientaram também a importância do parcelamento para um manejo mais sustentável. Dividir a aplicação de fertilizante N reduziria a lixiviação e melhoraria a suficiência espacial e temporal, pois, no início de desenvolvimento, as plantas precisam de pouco aporte de nutrientes (HERATH *et. al.*, 2014). Isso é particularmente essencial em regiões de solo com textura média a arenosa, como no caso da Bahia.

Apesar da pouca quantidade requerida na fase inicial é preciso ter cautela com o parcelamento. Isto porque o aumento da oferta de N reflete no vigor da raiz. Dessa forma, para o desenvolvimento inicial é necessário adequar o suprimento de N para

ótimo vigor das raízes e, portanto, potencial de absorção e crescimento (ZHENG *et. al.*, 2016). O N e o K foram aplicados 60% no plantio e em batatas com boa brotação, visando alcançar rápido e vigoroso crescimento inicial.

Além do problema de lixiviação, o excesso de N pode favorecer o microclima favorável no interior da copa. Isso gera aumento do custo de produção tanto pelo excesso de fertilizantes quanto pela necessidade de controle de doenças com fungicidas (BANGEMANN *et. al.*, 2014). A exemplo, SHAH *et. al.* (2014) observaram aumento na severidade da sarna pulverulenta em altas doses de aplicações de N.

As emissões de  $N_2O$  e  $NO_3$  aumentam exponencialmente quando a taxa de N ótimo é ultrapassada, o que acentua os impactos ambientais (BROWN *et. al.*, 2014) e podem alterar a composição da comunidade microbiana (GEISSELER; SCOW, 2014).

A determinação das taxas futuras de fertilizantes nitrogenados é um desafio metodológico que provavelmente necessitará de modelos de avaliação integrados (WEBBER *et. al.*, 2015). Modelos matemáticos tentam auxiliar na predição do uso e eficiência de N e a relação com impactos de mudança climática sobre rendimentos (ROSENZWEIG *et. al.*, 2014; WEBBER *et. al.*, 2015). Mecanismos que vem a somar na acurácia da determinação são tendências que definirão o rumo da agricultura em caminhos da associação entre as técnicas advindas da tecnologia com os recursos naturais.

O teor de carboidratos totais não demonstrou resposta significativa quanto as doses de N. Os teores de Atlantic e Ágata foram respectivamente: 67 a 71 e 62 a 67% (Figura 5).

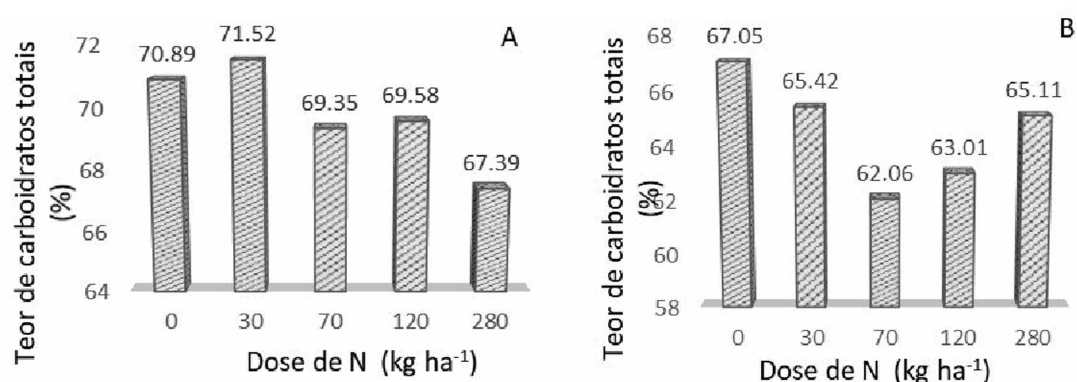


FIGURA 5. Carboidratos totais (%) em massa seca de tubérculos de batata, cultivar Atlantic (A) e Ágata cultivada em Unai- MG (B) sob níveis de fertilização nitrogenada, Uberlândia- MG, 2017.

O teor de proteína não diferiu entre as doses em Ágata (5 a 5.5%). Já em Atlantic, o maior teor (6.26%) refere-se a dosagem de 258.3 kg N ha<sup>-1</sup> (Figura 6). Na dose que gerou a maior produtividade total (194.5 kg N ha<sup>-1</sup>) o teor de proteína cai para 6.13%.

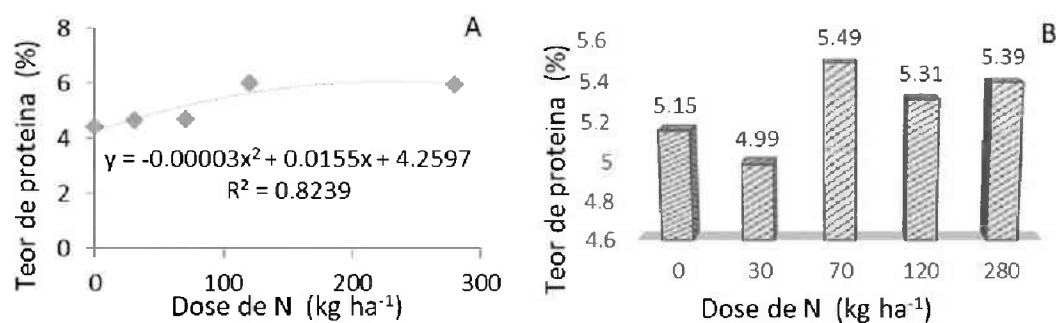


FIGURA 6. Proteínas totais (%) em massa seca de tubérculos de batata, cultivar Atlantic (A) e Ágata cultivada em Unai- MG (B) sob níveis de fertilização nitrogenada, Uberlândia- MG, 2017.

Yang *et. al.* (2017) encontrou resposta favorável para proteína e carboidratos total, em que doses de N de 135 a 150 kg ha<sup>-1</sup> N promoveram os melhores resultados. Ressalta-se que o N é componente de proteínas de fundamental importância no metabolismo da planta. Com destaque a rubisco, enzima responsável pela fixação de CO<sub>2</sub> na fotossíntese, promotora do acúmulo de carboidratos, e também das redutases e aminotransferases, enzimas importantes na incorporação do N e síntese de aminoácidos (MALLMANN *et. al.*, 2011). No presente trabalho, a cultivar Atlantic revelou maior teor de carboidratos totais e, em consequência, de proteínas comparado a cultivar Ágata.

#### 4 CONCLUSÕES

Na ausência de aplicação de N observou-se que o P, K, S e B apresentaram teores 32,8; 6,3; 36,8; e 15,1% inferiores ao adequado em Atlantic-MG, teores de S e Zn 50,8 e 27,6% abaixo do adequado em Ágata-MG e os teores de N, K, Mg e S: 6,5; 13,1; 14,2 e 50,8% inferiores ao adequado em Ágata-BA. Todos os demais nutrientes atenderam às necessidades da batateira, sendo o incremento das doses de N favoráveis ao aumento dos teores da maioria dos nutrientes em todos os locais de cultivo.

A produtividade de tubérculos de batata Especial e total respondeu às doses de N em todas as cultivares e locais. As doses máximas variaram entre 138 e 194 kg ha<sup>-1</sup> de N, em região com solos de CTC alta e baixa, respectivamente.

O N não interfere no teor de carboidratos totais. Já o teor de proteínas totais em Atlantic-MG é crescente até a dose de 258 kg ha<sup>-1</sup> de N (6.26%).

A adubação de N deve ser orientada a partir do conhecimento dos atributos do solo e da dinâmica dos seus constituintes (textura e fertilidade), condições climáticas (precipitação e temperatura), especificidades das cultivares (controle genético de absorção e formação de sistema radicular) e análises de custos (econômicos e ambientais). A atenção para a interação entre tais fatores ao longo dos anos permite aprimorar a predição de dosagem, com redução na quantidade ótima sem afetar os rendimentos em manejos específicos para cada local.

## REFERÊNCIAS

AHMADI, S.H.; AGHAREZAEI, M.; KAMGAR-HAGHIGHI, A.A.; SEPASKHAH, A.R. Water-saving irrigation strategies affect tuber water relations and nitrogen content of potatoes. **International Journal of Plant Production**, v. 10, n.3, 2016.

BANGEMANN, L.W.; SIELING, K.; KAGE, H. The effect of nitrogen and late blight on crop growth, solar radiation interception and yield of two potato cultivars. **Field Crops Research**, v. 155, p. 56–66, 2014.

BANJARE S., SHARMA, G.; VERMA, s.k. Potato Crop Growth and Yield Response to Different Levels of Nitrogen under Chhattisgarh Plains Agro-climatic Zone. **Indian Journal of Science and Technology**, v.10, p. 1504–1508, 2014.

Barta, J. and Bartova, V. (2008) Patatin, the Major Protein of Potato (*Solanum tuberosum* L.) Tubers, and Its Occurrence as Genotype Effect: Processing versus Table Potatoes. *Czech Journal of Food Sciences*, 26, 347-359.

BRAUN, H.; COELHO, F.S.; SILVA, M.C.C.; FONTES, P.C.R.; CECON, P.R.; BUSATO, C. Absorção, metabolismo e diagnóstico do estado de nitrogênio em plantas de batata. **Rev. Cienc. Agrar.**, v. 56, n. 3, p. 185-195, 2013.

BINDRABAN, P.S.; DIMKPA, C.; NAGARAJAN, L.; ROY, A.; RABBINGE, R. Revisiting fertilisers and fertilisation strategies for improved nutrient uptake by plants. **BiolFertil Soils**, n. 51, p. 897–911, 2015.

BROWN, K.H.; BACH, E.M.; DRIJBER, R.A.; HOFMOCKEL, K.R.S.; ESKE, E.S.J.; SAWYER, J.E.; CASTELLANO, M.J. A long-term nitrogen fertilizer gradient has little effect on soil organic matter in a high-intensity maize production system. **Global Change Biology**, v. 20, p. 1339–1350, 2014.

CFSEMG - Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais. Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais - 5ª aproximação. Viçosa, 1999. 359p.

COELHO FS; FONTES PCR; PUIATTI M; NEVES JCL; SILVA MCC. 2010. Doses de nitrogênio associada à produtividade de batata e índices do estado de nitrogênio na folha. **Revista Brasileira Ciência do Solo** 34: 1175-1183.

COELHO, F.S.; FONTES, P.C.R.; FINGER, F.L.; CECON, P.R. Avaliação do estado nutricional do nitrogênio em batateira por meio de polifenóis e clorofila na folha. **Pesq. agropec. bras.**, Brasília, v.47, n.4, p.584-592, 2012.

COELHO, F.S.; FONTES, P.C.R.; CECON, P.R.; BRAUN, H.; SILVA, I.R. Valor e predição do nível crítico de índices para avaliar o estado nitrogenado da batateira. **Revista Ciência Agronômica**, v. 44, n. 1, p. 115-122, 2013.

CHEN, Y.; HAN, W.; TANG, L.; TANG, Z.; FANG, J. Leaf nitrogen and phosphorus concentrations of woody plants differ in responses to climate, soil and plant growth form. **Ecography**, v.36, p. 178–184, 2013.

CHOUDHARY, A.K., THAKUR, S.K., SURI, V.K. Technology transfer model on integrated nutrient management technology for sustainable crop production in high value cash crops and vegetables in north-western Himalayas. **Commun. Soil Sci. Plant Anal.**, v. 44, 1684–1699, 2013.

DAS, S.K.; BANERJEE, H.; CHAKRABORTY, A.; SARKAR, A. Production potential of newly released potato (*Solanum tuberosum* L.) Cultivars under different nitrogen levels. **SAARC Journal of Agriculture**, v. 13, n. 2, p. 121-130, 2015.

DIACONO, M.; RUBINO, P.; MONTEMURRO, F. Precision nitrogen management of wheat. A review. **Agron. Sustain. Dev.**, v. 33, p.219–241, 2013.

EHDAIE B, MERHAUT DJ, AHMADIAN S, HOOPS AC, KHUONG T, LAYNEAP, WAINES JG. Root system size influences water nutrient uptake and nitrate leaching potential in wheat. **J AgronCrop Sci**, v. 196, p.455–466, 2010.

EMBRAPA, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 3 ed. Brasília, (DF): Embrapa, 2013, 353 p.

FERNANDES, A.M.; SORATTO, R.P.; SILVA, B.L. Extração e exportação de nutrientes em cultivares de batata: I – macronutrientes. **R. Bras. Ci. Solo**, 35:2039-2056, 2011.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Revista Ciência agrotecnologia**, v.35, n. 6, p. 1039-1042, 2011.

FILGUEIRA, F. A. R. **Novo manual de olericultura: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças**. 2 ed. Viçosa: UFV, 2008, 421 p.

GAO, X.; TENUTA, M.; NELSON, A.; SPARLING, B.; TOMASIEWICZ, D.; MOHR, R.M.; BIZIMUNGU, B. Effect of nitrogen fertilizer rate on nitrous oxide emission from irrigated potato on a clay loam soil in Manitoba, Canada. **Canadian Journal Soil Science**, v. 93, p. 1-11, 2013.

GEISSELER, D.; SCOW, K.M. Long-term effects of mineral fertilizers on soil microorganisms e A Review. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 75, p. 54-63, 2014.

HERATH, I.; GREEN, S.; HORNE, D.; SINGH, R.; CLOTHIER, B. Quantifying and reducing the water footprint of rain-fed potato production, part I: measuring the net use of blue and green water. **Journal of Cleaner Production**, v. 81, p. 111-119, 2014.

IERNA, A.; PANDINO, G.; LOMBARDO, S.; MAUROMICALE, G. Tuber yield, water and fertilizer productivity in early potato as affected by a combination of irrigation and fertilization. **Agricultural Water Management**, v. 101, p. 35– 41, 2011.

ISHIKAWA-SAKURAI, J.; HAYASHI, H.; MURAI-HATANO, M. Nitrogen availability affects hydraulic conductivity of rice roots, possibly through changes in aquaporin gene expression. **Plant Soil**, v. 379, p.289–300, 2014.

KAWAKAMI J. 2015. Redução da adubação e doses e parcelamento de nitrogênio no crescimento e produtividade de batata. **Horticultura Brasileira** 33: 168-173.

KONG, L.; WANG, F.; LOPEZ-BELLIDO, L.; GARCIA-MINA, J.M.; SI, J. Agronomic improvements through the genetic and physiological regulation of nitrogen uptake in wheat (*Triticum aestivum* L.). **Plant Biotechnol Rep**, v.7, p. 129–139, 2013.

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).

LIU, H.; WANG, X.; ZHANG, X.; ZHANG, L.; LI, Y.; HUANG, G. Evaluation on the responses of maize (*Zea mays* L.) growth, yield and water use efficiency to drip irrigation water under mulch condition in the Hetao irrigation District of China. **Agricultural Water Management**, v. 179, p. 144–157, 2017.

LUZ JMQ; QUEIROZ AA; OLIVEIRA RC. Teor crítico foliar de nitrogênio na batata ‘Asterix’ em função de doses de nitrogênio. **Horticultura Brasileira**, v. 32, p. 225-229, 2014.



MA, B. L.; ZHENG, Z. M.; MORRISON, M. J.; GREGORICH, E. G. Nitrogen and phosphorus nutrition and stoichiometry in the response of maize to various N rates under different rotation systems. **Nutr Cycl Agroecosyst**, v. 104, p. 93–105, 2016.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. Princípios, métodos e técnicas de avaliação do estado nutricional. In: MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional da planta: princípios e aplicações**. 2.ed. Piracicaba: POTAFÓS, 1997.

MENGEL, K.; KIRKBY, E.A. **Principles of plant nutrition**. 4.ed. Bern: International Potash Institute, 1987. 655p.

MOREIRA, M.A.; FONTES, P.C.R.; CECON, P.R.; ARAÚJO, R.F. Índices para avaliar o estado de nitrogênio da batata multiplicada por distintos materiais propagativos. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 58, n.3, p. 384-392, 2011.

NASSAR, A. Impact of conventional N-fertiliser application in various soil types on ground water pollution in the Gaza Strip. **Int. J. Environmental Technology and Management**, v. 18, n. 1, 20, 2015.

QUEIROZ LRM; KAWAKAMI J; MULLER MML; OLIARI ICR; UMBURANAS RC; ESCHEMBACK V. 2013. Adubação NPK e tamanho da batata-semente no crescimento, produtividade e rentabilidade de plantas de batata. **Hortic. Bras.** vol.31 no.1, p. 119-127, Vitoria da Conquista, 2013.

ROSENZWEIG, C., ELLIOTT, J., DERYNG, D., RUANE, A.C., MÜLLER, C., ARNETH, A., BOOTE, K.J., FOLBERTH, C., GLOTTER, M., KHABAROV, N., 2014. Assessing agricultural risks of climate change in the 21st century in a global gridded crop model intercomparison. **Proc. Natl. Acad. Sci.** 111, 3268–3273.

SHAH, F.A.; FALLOON, R.E.; BUTLER, R.C.; LISTER, R.A.; THOMAS, S.M.; CURTIN, D. Agronomic factors affect powdery scab of potato and amounts of *Spongospora subterranea* DNA in soil. **Australasian Plant Pathol.**, v. 43, p. 679–689, 2014.

SHEHU, H.E.; KWARI, J.D.; SANDABE, M. K. Effects of N, P, K fertilizers on yield, content and uptake of N, P and K by sesame. **International Journal of Agriculture & Biology**, v. 12, n.6, p. 845–850, 2010.

SINGH, B.; SINGH, S.; ARORA, V.K.; SEKHON, N.K. Residue Mulch Effects on Potato Productivity and Irrigation and Nitrogen Economy in a Subtropical Environment. **Potato Research**, v. 58, p. 245–260, 2015.

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 do Solo**, v.31, p.39-49, 2007.

SILVA GO; PEREIRA AS; SUINAGA FA; PONIJALEKI R. Adubação nitrogenada no rendimento da cultivar de batata BRS Ana. **Horticultura Brasileira**, v. 32, p.107-110, 2014.

STÅLNACKE, P.; AAKERØY, P.A.; BLICHER-MATHIESEN, G.; IITAL, A.; JANSONS, V.; KOSKIAHO, J.; KYLLMAR, K.; LAGZDINS, A.; PENDERUD, A.; POVILAITIS, A. Temporal trends in nitrogen concentrations and losses from agricultural catchments in the Nordic and Baltic countries. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 198, p. 94–103, 2014.

SORATTO, R.P.; FERNANDES, A.M.; SOUZA-SCHLICK, G.D. Extração e exportação de nutrientes em cultivares de batata: II – micronutrientes. *Revista Brasileira de Ciências do Solo*, 35:2057-2071, 2011.

STÜRMER, S.L.K.; VALICHESKI, R.R.; WEBER, F.S.; VITÓRIA, G.; SALVADOR, R.; LOPES, H. Atributos biométricos da batata, cultivar Asterix, sob diferentes doses de adubação e espaçamentos. **Iniciação Científica CESUMAR**, v. 16, n. 2, p. 199-204, 2014.

VITTI, G. C.; LIMA, E.; CICARONE, F. Cálcio, magnésio e enxofre. In: FERNANDES, M.S. **Nutrição mineral de plantas**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006. p.299-325.

WEBBER, H.; ZHAO, G.; WOLF, J.; BRITZ, W.; VRIES, W.; GAISER, T.; HOFFMANN, H.; EWERTA, F. Climate change impacts on European crop yields: Do we need to consider nitrogen limitation? **Europ. J. Agronomy**, v. 71, p. 123–134, 2015.

YANG, K.; WANG, F.; SHOCK, C.C.; KANG, S.; HUO, Z.; SONG, N.; MA, D. Potato performance as influenced by the proportion of wetted soil volume and nitrogen under drip irrigation with plastic mulch. **Agricultural water management**, v.179, p.260-270, 2017.

ZHENG, S. L.; CHENG, H.; LI, P. H.; YUAN, J. C. Root vigor and kinetic characteristics and nitrogen use efficiencies of different potato (*Solanum tuberosum* L.) cultivars. **J. Agr. Sci. Tech.**, v. 18, p. 399-410, 2016.

ZHOU, Z.; PLAUBORG, F.; KRISTENSEN, K.; ANDERSEN, M.N. Dry matter production, radiation interception and radiation use efficiency of potato in response to temperature and nitrogen application regimes. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 232, p. 595–605, 2017.

ZEBARTH, B. J.; DRURY, C. F.; TREMBLAY, N.; CAMBOURIS, A. N. Opportunities for improved fertilizer nitrogen management in production of arable crops in eastern Canada: A review. **Canadian Journal Soil Science**, v. 89, p. 113-132, 2009.

## CAPÍTULO 2

### Adubação fosfatada em batateira: produtividade e qualidade de tubérculos de Ágata e Atlantic

#### RESUMO

O fósforo é um nutriente essencial e determinante para obtenção de altos rendimentos. Devido aos aspectos peculiares do nutriente e sua dinâmica no solo, grandes quantidades são aplicadas no momento do plantio, o que pode ser excessivo e agravar os impactos ambientais. A adoção de manejos adequados é imprescindível em um cenário de limitação de recursos naturais não renováveis. Portanto, objetivou-se avaliar a variação de doses de fertilizante fosfatado na produtividade de tubérculos de batata das cultivares Ágata e Atlantic. Os experimentos foram conduzidos entre maio e agosto e maio a setembro de 2014, utilizando as cultivares Ágata e Atlantic, em Unaí-MG e entre setembro a dezembro de 2014 com a cultivar Ágata em Mucugê-BA. O delineamento utilizado foi o de blocos ao acaso com quatro repetições. Foram estudadas as doses de 0, 150, 300, 600 e 900 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. Os demais nutrientes foram fixos em 120 e 220 kg ha<sup>-1</sup> de N e K<sub>2</sub>O, respectivamente. Para a cultivar Atlantic-MG, o aumento da dose de fósforo, promoveu incremento de todos os teores de macro e micronutrientes. Já para a cultivar Ágata-MG houve redução apenas do teor de enxofre, com o aumento dos teores de fósforo. E para a cultivar Ágata-BA, doses maiores de fósforo reduziram os teores de nitrogênio, cobre, manganês e zinco. As doses máximas estimadas para produtividade total em Atlantic-MG, Ágata-MG e Ágata-BA foram respectivamente de: 606, 730 e 535 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, com produtividades de 38, 47,6 e 59,7 t ha<sup>-1</sup>, respectivamente. A cultivar Ágata-BA teve resposta em doses de fósforo 25,4% inferior a Ágata-MG, o que pode estar relacionado ao menor teor de argila e menor CTC do solo de Mucugê-BA; com menor capacidade de retenção do P, comparativamente ao solo de Unaí-MG, que é um solo argiloso e com elevada CTC. O P não interfere no teor de carboidratos totais e proteínas totais, os quais variam entre 59 e 73 e 4.9 a 5.5%, respectivamente. Contudo, doses de P deve ser orientada a partir do conhecimento dos atributos do solo e da dinâmica dos seus constituintes, das especificidades das cultivares e das interações com condições climáticas regionais.

**Palavras-chave:** *Solanum tuberosum* L., superfosfato triplo, fertilização, qualidade de tubérculos

#### ABSTRACT

### Phosphate fertilization in potato: Productivity and quality of tubers from Ágata and Atlantic

Phosphorus is an essential and determinant nutrient in obtaining high yields. Due to the peculiar aspects of the nutrient and its dynamics in the soil, large amounts are applied at the time of planting, which can be excessive and aggravate the environmental impacts. The adoption of adequate management is essential in a scenario of limitation of nonrenewable natural resources. Therefore, the objective of this study was to evaluate

the variation of doses of phosphate fertilizer in the yield of potato tubers of the cultivars Ágata and Atlantic. The experiments were conducted from May to August and from May to September 2014, using the cultivar Ágata and Atlantic, respectively, in Unaí-MG and from September to December 2014 with the cultivar Ágata in Mucugê-BA. The experimental design was a randomized block design with four replications. The doses of 0; 150; 300; 600 and 900 kg ha<sup>-1</sup> of P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> were studied. The other nutrients were fixed at 120 and 220 kg ha<sup>-1</sup> of N and K<sub>2</sub>O, respectively). For the Atlantic-MG cultivar, the increase of the phosphorus dose promoted an increase of all macro and micronutrient contents. However, for the cultivar Ágata-MG, there was only a reduction of the sulfur content, with the increase of the phosphorus content; and for the cultivar Ágata-BA, higher doses of phosphorus reduced the levels of nitrogen, copper, manganese and zinc. The maximum doses estimated for total productivity in Atlantic-MG, Ágata-MG and Ágata-BA were respectively: 606; 730 and 535 kg ha<sup>-1</sup> of P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, with yields of 38; 47.6 and 59.7 t ha<sup>-1</sup>, respectively. The cultivar Ágata-BA had a response in phosphorus doses 25.4% lower than Ágata-MG, which may be related to the lower clay content and lower CTC of the Mucugê-BA soil, with lower P retention capacity, comparatively to the soil of Unaí-MG, which is a clay soil with high CTC. The P does not interfere with total carbohydrate and total protein content, which varies between 59 to 73 and 4.9 to 5.5%, respectively. However, doses of P should be oriented, based on the knowledge of soil attributes and the dynamics of its constituents, cultivar specificities and interactions with regional climatic conditions.

**Keywords:** *Solanum tuberosum* L., triple superphosphate, productivity, quality of tubers

## 1 INTRODUÇÃO

A batata (*Solanum tuberosum* L.) é considerada uma das principais fontes alimentares do planeta. Versátil, alia ciclo curto com eficiência fotossintética, o que torna possível a alta capacidade produtiva da cultura. No entanto, exige grande aporte de nutrientes que precisam estar prontamente disponíveis no solo. Entre os fertilizantes utilizados no cultivo da batata, os fosfatados se destacam (FERNANDES; SORATTO, 2012).

O fósforo (P) participa de numerosas etapas metabólicas, atuando no DNA, no RNA, nos fosfolípidos, na adenosina trifosfato (ATP), na adenosina difosfato e nicotinamida adenina dinucleotídeo fosfato (GAN *et. al.*, 2016).

Do total de fertilizante mineral fosfatado aplicado ao solo, apenas 10 a 30% é recuperado pela cultura. O restante fica retido no solo, podendo ser liberado pela dinâmica dos solos em cultivos posteriores. Isso faz com que, em solos cuja capacidade de adsorção de nutrientes é elevada, a quantidade de fósforo a ser aplicada torne a

atividade agrícola inviável do ponto de vista econômico (e mesmo ambiental). Portanto, é imprescindível que a aplicação seja realizada em dose, época e locais corretos, considerando a combinação geral de todos os nutrientes e um equilíbrio entre eles (BALEMI; NEGISHO, 2012; BRUULSEMA *et. al.*, 2009), o que só é possível estudando adequadamente a correção do solo e conhecendo bem a relação entre o fertilizante e a cultura em questão.

O processo de disponibilidade do P para as plantas é lento devido à adsorção do elemento essencial nas superfícies de argila reativa do solo, carbonatos e matéria orgânica. Em pH acima de 5,5 a maioria do fosfato adicionado ao solo reage com o cálcio e a um pH abaixo de 5,5, reagirá com os óxidos de Al e Fe (TÓTH *et. al.*, 2014), impactando grandemente no P disponível para absorção da cultura. Além disso, o nutriente apresenta baixo movimento no solo por difusão, algo em torno de 1 a 2 mm dia<sup>-1</sup>, sendo o P que se encontra a esta distância das raízes para absorção pelas plantas (GRANT *et. al.*, 2001).

A batata possui um sistema radicular superficial sensível à seca e com elevada exigência em P. O aumento linear positivo da biomassa radicular notado a partir da adubação com P, destaca a sua importância no desenvolvimento das plantas, que passam a reagir melhor em relação à absorção de nutrientes (LIU *et. al.*, 2015). A baixa disponibilidade de P pode, no entanto, desencadear em algumas espécies, respostas adaptativas fisiológicas como aumento da área de superfície da raiz e crescimento de pêlos radiculares. Pode ainda interferir nas respostas bioquímicas da cultura, como a exsudação de prótons e ácidos orgânicos que permitam a absorção de P (MARCANTE *et. al.*, 2016). O crescimento da raiz em resposta às condições de baixo teor de P relaciona-se com a presença de NO<sub>3</sub><sup>-</sup> (MEDICI *et. al.*, 2015), sendo a formação dependente de relação entre as formas dos macronutrientes nitrogênio e fósforo.

A deficiência de P diminui a produtividade agrícola em mais de dois bilhões de hectares no mundo. Este dado, por si só, já é alarmante. Mas as projeções apontam que essa deficiência aumentará ainda mais, uma vez que os recursos globais de P são limitados e os preços dos fertilizantes fosfatados estão a aumentar (KREY *et. al.*, 2013). Inclusive, a tendência a escassez de P está a emergir como um dos principais desafios ambientais globais do século XXI, com preocupações quanto à segurança alimentar (CORDELLA; NESET, 2014). Entender melhor o impacto do P nas culturas e o desenvolvimento de técnicas para o seu melhor aproveitamento é, portanto, urgente e essencial.

Faz-se necessário o investimento em pesquisas nas diferentes áreas do conhecimento, visando estabelecer a quantidade adequada de fertilizantes a serem utilizados e, também, outras formas de suprir a necessidade de P das culturas. É o caso de construir saberes e aplicá-los para evitar doses excessivas que comprometam o equilíbrio do ecossistema (KLEIN; AGNE, 2012). A utilização de P deve se basear na interseção entre as esferas de interesses geográficos, políticos e econômicos, que englobam todos os setores relevantes e partes interessadas das comunidades (WITHERS *et. al.*, 2015).

Muitos agricultores não seguem recomendações técnicas de adubação e aplicam doses elevadas de fertilizantes com a expectativa de obter alta produtividade. Entretanto, quantidades excessivas de adubos fosfatados podem afetar negativamente as características de qualidade dos tubérculos de batata, essenciais para cultivares que se destinam à industrialização. Ademais, a disponibilidade de P no solo pode interferir de forma diferente na alocação de fotoassimilados para os tubérculos entre cultivares (FERNANDES *et. al.*, 2015; SORATTO *et. al.*, 2015; FERNANDES *et. al.*, 2016). Dessa forma, avaliou-se a variação de doses de fertilizante fosfatado na produtividade de tubérculos de batata das cultivares Ágata e Atlantic.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 Localização e instalação

A localização e instalação do experimento seguiu o mesmo adotado e descrito no capítulo 1.

### 2.2 Delineamento Experimental

Para cada cultivar e localidade, avaliou-se o efeito de dose de fósforo (0, 150, 300, 600 e 900 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>). O delineamento experimental foi o de blocos ao acaso com cinco doses e quatro repetições. Cada parcela constituiu por seis linhas, com seis metros de comprimento, espaçadas em 0.8 cm entre linhas e 0.30 cm entre plantas, totalizando 28.8 m<sup>2</sup> de área total por parcela. As avaliações foram realizadas nas duas linhas centrais, na área útil da parcela, totalizando 8 m<sup>2</sup>.

A dose padrão dos nutrientes N e K, fixados em 120 kg ha<sup>-1</sup> de N e 200 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O, seguiram as recomendações da Comissão de Fertilidade dos Solos de Minas Gerais (CFSEMG, 1999). As fontes de N, P e K utilizadas foram ureia, superfosfato

triplo e cloreto de potássio, respectivamente. Foram aplicados os micronutrientes: Zinco: 0,2%, Magnésio: 2%, Cálcio: 11%, Enxofre: 12%, Boro: 0,08%, Cobre: 0,08% e Manganês: 0,2%, no momento do plantio.

### **2.3 Instalação e condução do experimento**

A instalação e condução dos experimentos estão descritas no capítulo 1.

## **2.4 Características avaliadas**

### **2.4.1 Teor foliar de macro e micronutrientes**

Avaliaram-se os teores foliares de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, enxofre, boro, cobre, ferro, manganês e zinco, assim como descrito no capítulo 1.

### **2.4.2 Produtividade e qualidade de tubérculos**

Ao final dos experimentos, os tubérculos de batata foram colhidos, classificados e analisados conforme descrito no capítulo 1.

## **2.5 Análise estatística**

Os dados foram analisados utilizando o programa estatístico SISVAR, segundo descrito no capítulo 1.

## **3 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **3.1 Teor foliar de macro e micronutrientes**

A equação polinomial que mais se adequou aos conjuntos de dados que apresentaram diferença significativa para teores de nutrientes encontram-se nas Tabelas 4 e 5.

Os teores de N estavam dentro do intervalo considerado adequado para Lorenzi *et. al.* (1997) em todos os experimentos. A dose crescente de P aumentou linearmente à absorção de N em Ágata-MG, ao passo que em doses superiores a 385 e 175 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> houve redução da absorção em Atlantic-MG e Ágata-BA, respectivamente (Tabela 4). Changhui *et. al.* (2014) verificaram que a adição de P induz a uma redução do N

inorgânico do solo. Esse resultado leva a menor absorção e, conseqüente, teor foliar, como observado neste trabalho.

Não houve diferença significativa para teores de P com a elevação da dose de P em Ágata-BA, em que a variação foi de 3,7 a 3,9 g kg<sup>-1</sup> de MS. Em Atlantic-MG e Ágata-BA os teores de P aumentaram linearmente com aumento da dose de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. O P apresentou concentrações inferiores ao adequado até a dose de 300 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> em Ágata-MG, estando nas demais doses e experimentos dentro da faixa considerada favorável ao desenvolvimento da batateira (Tabela 4).

Os teores de K aumentaram até a dose de 815, 377 e 800 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> em Atlantic-MG, Ágata-MG e Ágata-BA, respectivamente. Os maiores teores de K se referiram a Atlantic-MG (Tabela 4). Já em Ágata-BA, os teores de K foram inferiores a faixa adequada para Lorenzi *et. al.* (1997) em todas as dosagens, exceto em 600 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. O Mn nessa localidade revelou doses muito elevadas.

O Mn e o K são cátions que competem pelo mesmo sítio de absorção. O K por ser monovalente é menos favorecido frente ao Mn em mesma concentração (NOVAIS *et. al.*, 2007). A dose elevada de Mn nas folhas revela a sua alta concentração no solo, conseqüentemente, a absorção e translocação de Mn pode ter prejudicado a absorção de K pelas plantas.

Os teores de Ca e Mg variaram entre 21,7 a 23 e 11,9 a 13 g kg<sup>-1</sup> de MS na cultivar Atlantic-MG. Os teores de Mg variaram entre 5,9 a 6,5 g kg<sup>-1</sup> de MS na cultivar Ágata-MG e os teores de P, Ca e S variaram entre 3,7 a 3,9; 18,1 a 19 e 1,4 a 1,6 g kg<sup>-1</sup> de MS na cultivar Ágata-BA (Tabela 4).

O S apresentou doses muito abaixo da adequada para a cultura segundo Lorenzi *et. al.* (1997). Soratto *et. al.* (2011) relacionou teores baixos de S à alta disponibilidade de fosfato no solo, pois sendo ambos ânions, o fosfato pode interferir na absorção do sulfato, o que possivelmente pode ter ocorrido nos experimentos desta pesquisa.

Por outro lado, a baixa concentração pode ser resolvida com melhoria nos aspectos químicos dos solos, como a aplicação de gessagem, um insumo de baixo custo e geralmente negligenciado pela maioria dos produtores. De acordo com a lei do mínimo, a produtividade das culturas é limitada pelo nutriente que se encontra em menor nível no solo (LIEBIG, 1840). Isso mostra que não resolveria a aplicação de altas dosagens de P se não houvesse no solo os teores que atendam aos limites inferiores ao necessário para o desenvolvimento da batateira.



Os teores de Mn variaram entre 222 a 253 mg kg<sup>-1</sup> de MS na cultivar Ágata-BA. Doses superiores a 402 e 226 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> reduziram o teor de Mn em Atlantic-MG e Ágata-MG, respectivamente (Tabela 5).

TABELA 4. Teores de macronutrientes em batateira cultivar Atlantic e Ágata cultivada em Unaí- MG e Ágata cultivada em Mucugê-BA sob níveis de fertilização fosfatada, Uberlândia- MG, 2017.

Nutriente	Cultivar e local	Equação	R <sup>2</sup>	Xmax kg ha <sup>-1</sup>	Ymax g kg <sup>-1</sup>	Intervalo adequado Lorenzi et al. 1997
N	Atlantic MG	$y = -0,00002x^2 + 0,0154x + 40,271$	80,54	385,00	43,24	40 – 50
	Ágata MG	$y = 0,0013x + 49,816$	75,48	900,00	50,98	
	Ágata BA	$y = -0,000002x^2 - 0,0007x + 45,9$	92,30	175,00	45,96	
P	Atlantic MG	$y = 0,0008x + 3,0944$	87,49	900,00	3,81	2,5 – 5
	Ágata MG	$y = 0,0011x + 2,1802$	73,68	900,00	3,17	
	Ágata BA	--	-	-	-	
K	Atlantic MG	$y = -0,0001x^2 + 0,163x + 9,1055$	77,48	815,00	75,53	40 – 65
	Ágata MG	$y = -0,000009x^2 + 0,0068x + 42,949$	95,91	377,78	44,23	
	Ágata BA	$y = -0,000007x^2 + 0,0112x + 35,635$	93,01	800,00	40,12	
Ca	Atlantic MG	--	-	-	-	10 – 20
	Ágata MG	$y = 0,0024x + 11,931$	81,07	900,00	12,14	
	Ágata BA	--	-	-	-	
Mg	Atlantic MG	--	-	-	-	3,5 – 5
	Ágata MG	--	-	-	-	
	Ágata BA	$y = -0,00003 + 0,0007x + 7,6235$	81,50	116,67	8,03	
S	Atlantic MG	$y = -0,000004x^2 + 0,0049x + 0,2747$	77,52	612,50	1,78	2,5 – 5
	Ágata MG	$y = -0,0002x + 1,3345$	41,95	900,00	1,16	
	Ágata BA	--	-	-	-	

<sup>1</sup>-- não significativo ao teste F a 0,05 de probabilidade.

Os teores de Zn em Atlantic-MG não diferiram entre as doses de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, variando entre 58,7 a 80,8 mg kg<sup>-1</sup> de MS. Em Ágata-MG, o máximo teor de Zn relacionou com a dose de 740 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. Todas as doses de P refletiram em teores de Zn adequados para Lorenzi *et. al.* (1997) em Atlantic-MG e abaixo do adequado em Ágata-MG (Tabela 4).

Em Ágata-BA, o aumento de P no solo reduziu linearmente o teor foliar de Zn, sendo em doses acima de 150 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, inferior adequado para Lorenzi *et. al.* (1997). Fernandes *et. al.* (2015) também observaram que a adubação fosfatada reduziu o teor de Zn.

Doses crescentes de  $P_2O_5$  promoveram aumento linear nas doses de B em Ágata-MG, e doses superiores a 455 e 533  $kg\ ha^{-1}$  de  $P_2O_5$  reduziram o teor de B em Atlantic-MG e Ágata-BA, respectivamente. Os teores de B foram adequados em Ágata-MG e Ágata-BA e, abaixo do intervalo considerado adequado para Lorenzi *et. al.* (1997) em Atlantic-MG (Tabela 5).

TABELA 5. Teores de micronutrientes em batateira cultivar Atlantic e Ágata cultivada em Unaí- MG e Ágata cultivada em Mucugê-BA sob níveis de fertilização fosfatada, Uberlândia- MG, 2017.

Nutriente	Cultivar e local	Equação	R <sup>2</sup>	Xmax kg ha <sup>-1</sup>	Ymax mg kg <sup>-1</sup>	Intervalo adequado Lorenzi et al. 1997
Mn	Atlantic MG	$y = -0,00005x^2 + 0,0402x + 50,018$	78,62	402,00	58,10	30 – 250
	Ágata MG	$y = -0,00008x^2 + 0,0362x + 100,84$	97,26	226,25	104,94	
	Ágata BA	--	-	-	-	
Zn	Atlantic MG	--	-	-	-	45 – 250
	Ágata MG	$y = -0,00001x^2 + 0,0148x + 34,728$	75,3	740,00	40,20	
	Ágata BA	$y = -0,0127x + 49,261$	76,02	900,00	37,83	
B	Atlantic MG	$y = -0,00001x^2 + 0,0091x + 22,52$	75,68	455,00	24,59	25 – 50
	Ágata MG	$y = 0,0106x + 36,558$	68,15	900,00	46,1	
	Ágata BA	$y = -0,00006x^2 + 0,064x + 40,026$	96,32	533,33	57,09	

<sup>1</sup>-- não significativo ao teste F a 0,05 de probabilidade.

Os micronutrientes Cu e Fe não apresentaram diferença entre as dosagens de P em nenhum experimento. Os teores variaram entre 58 a 80 e 254 a 401  $mg\ kg^{-1}$  de MS em Atlantic-MG; 33 a 38 e 248 a 291  $mg\ kg^{-1}$  de MS em Ágata-MG e 16,8 a 20,9 e 147 a 178  $mg\ kg^{-1}$  de MS em Ágata-BA (Tabela 4). Todos os teores de Fe encontrados nesta pesquisa foram superiores ao considerado adequado (50 a 100  $mg\ kg^{-1}$  de MS) para Lorenzi *et. al.* (1997). Os teores de Cu estiveram dentro do intervalo de Lorenzi *et. al.* (1997) em Ágata-BA (7 a 20  $mg\ kg^{-1}$  de MS) e foram superiores ao adequado em Atlantic-MG e Ágata-MG.

Em suma, o aumento da dose de P aumentou todos os teores de macro e micronutrientes em Atlantic-MG. Em Ágata-MG, apenas o S reduziu e em Ágata-BA doses maiores de P reduziram os teores de N, Cu, Mn e Zn. Apesar da redução, apenas o Zn esteve abaixo do intervalo considerado adequado para a batateira.

Os teores foliares de Ca, Mg, Cu e Zn em Atlantic-MG, Mg em Ágata-MG e Ca e Mg em Ágata-BA foram superiores aos encontrados por Fernandes *et. al.* (2011) e Soratto *et. al.* (2011), sendo os demais macro e micronutrientes inferiores aos teores encontrados pelos autores citados, em todos os experimentos. As diferenças entre as regiões de cultivo, a dose aplicada e o manejo geral da cultura também foram responsáveis pela alteração na resposta das cultivares à absorção dos nutrientes entre os experimentos.

Em análise dos limites inferiores nos intervalos dos teores considerados adequados para Lorenzi *et. al.* (1997) e os teores encontrados nas populações onde não houve aplicação de adubação fosfatada, observou-se que o N, S e B apresentaram teores 6,8; 44 e 7% inferiores ao adequado em Atlantic-MG; os teores de P, S e Zn foram 8, 50 e 21,2% inferiores ao adequado em Ágata-MG e os teores de K e S foram 10,6 e 40% inferiores ao adequado em Ágata-BA.

### 3.2 Produtividade de tubérculos

#### 3.2.1. Produtividade de tubérculos classe Especial

As cultivares de batata responderam de forma quadrática à aplicação de fertilizante fosfatado na classe Especial. As doses máximas estimadas em Atlantic-MG, Ágata-MG e Ágata-BA foram, respectivamente: de 835, 865, 692,5 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, para produtividade de 37,3; 37,4 e 54,9 t ha<sup>-1</sup> de tubérculos da classe Especial (Figura 7).

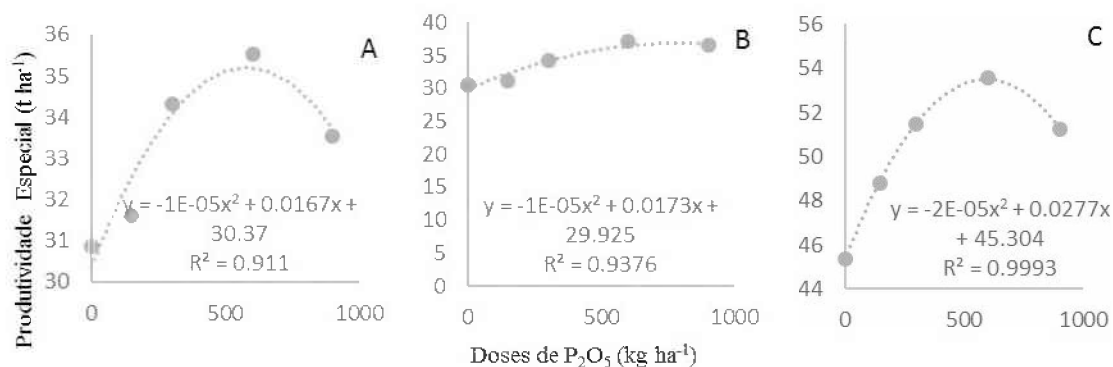


FIGURA 7. Produtividade de tubérculos de batata da classe Especial, cultivar Atlantic (A) e Ágata cultivada em Unai- MG (B) e Ágata cultivada em Mucugê-BA (C) sob níveis de fertilização fosfatada, Uberlândia- MG, 2017.

A batateira é muito exigente e responsiva às aplicações de P. Os teores considerados para a batata são, entre 77,5 a 90% e 44 a 62% superior aos valores

considerados para as demais culturas, em solo argiloso e arenoso, respectivamente (LABOSKI; PETERS, 2012). Isto pode ser observado no estudo pois, mesmo com teores de P no solo considerados bons para critérios de recomendação, houve incremento substancial nas produtividades.

A resposta positiva em produtividade para doses de P se deve, em especial, às propriedades dos solos de regiões tropicais, como o Brasil, que devido ao elevado intemperismo, possui grande quantidade de cargas eletropositivas que se ligam às cargas negativas disponíveis na solução do solo. Este fenômeno gera a indisponibilidade de parte do P para absorção pelas plantas, visto que ficam retidos aos colóides do solo (MOURA et al., 2015). Portanto, concentração de P torna-se fator determinante para a sorção / desorção no solo e controle dos níveis solúveis para as plantas (ABDAL *et al.*, 2015).

As altas dosagens utilizadas na batateira são justificadas também pela baixa eficiência do uso de P na produção agrícola, devido à baixa solubilidade e mobilidade no solo (FIXEN; BRUULSEMA, 2014). Pesquisas mostraram que a maioria dos fertilizantes fosfatados aplicados ficam concentrados nos 10 mm ao redor do local onde foram aplicados (CASTRO *et al.*, 2015). O aumento das doses no sulco de plantio pela maior concentração na solução, provavelmente, possibilitou melhor difusão e absorção do P. Pela baixa mobilidade, destaca-se que mais importante do que a dose aplicada seria o modo de aplicação, para garantia de proximidade do nutriente e o sistema radicular. Ao considerar as equações de regressão obtidas no presente trabalho, observou-se que a diferença para a produtividade de tubérculos da classe especial entre a dose máxima aplicada e a ausência de aplicação foram de 14,5; 20 e 17,5% para Atlantic-MG, Ágata-MG e Ágata-BA, respectivamente. As dosagens iniciais nos solos foram altas, o que representa a alta produtividade inicial, no tratamento em que não houve aplicação de fertilizante fosfatado.

Devido às dinâmicas que envolvem o P no solo, a redução de dosagens pode ter maiores impactos que o esperado, especialmente porque 95% da captação total de P pela superfície radicular realiza-se por difusão (LIU *et al.*, 2015). Fernandes e Soratto (2012) observaram aumento na taxa de captação de P por raiz unitária de batata quando a concentração de P na solução nutritiva foi aumentada.

Por outro lado, os produtores ao optarem por uma dose precisam considerar todos os aspectos da dinâmica do P. Doses elevadas podem prejudicar o desenvolvimento das plantas, pois o aumento da oferta de P para a raiz pode refletir em

redução do volume de pêlos radiculares para a captação de P (HALING *et. al.*, 2013). Este fato influi na capacidade de absorção, pois a absorção de P é altamente dependente das características do sistema radicular (MCLAUGHLINET *et. al.*, 2011; SUN *et. al.*, 2015; MAGALHAES *et. al.*, 2015).

O conhecimento sobre as adaptações da morfologia, fisiologia e bioquímica da raiz ao suprimento de P direciona à compreensão dos mecanismos de adaptação das plantas ao P do solo e auxilia no uso eficiente da gestão do P na agricultura. No entanto, as respostas encontradas na literatura são diversas de acordo com as condições avaliadas (TENG *et. al.*, 2013). Os efeitos deletérios de dose alta não foram observados no presente trabalho, pois as produtividades das doses máximas estimadas foram muito próximas as doses máximas testadas, inclusive em Ágata-BA, que em condições de solo de textura média teve queda de 0,9 t ha<sup>-1</sup> em relação entre a produtividade máxima estimada e testada.

A maior eficiência no uso de P pode ser obtido por meio de práticas que melhoram a rizosfera, como algum indutor do crescimento radicular (biológico ou não), alternativas isoladas ou combinação de ações, ou seja, uma gama de possibilidades ainda precisa ser elaborada e estudada (HOPKINS *et. al.*, 2014).

### 3.2.2. Produtividade de tubérculos classe 1X

Quanto a classe 1X, a produtividade de Atlantic-MG aumentou linearmente com a adição de P. Em Ágata-MG e Ágata-BA a resposta foi crescente até a dose 590 e 258,3 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> com produção de 6 e 5,4 t ha<sup>-1</sup>, respectivamente (Figura 8).

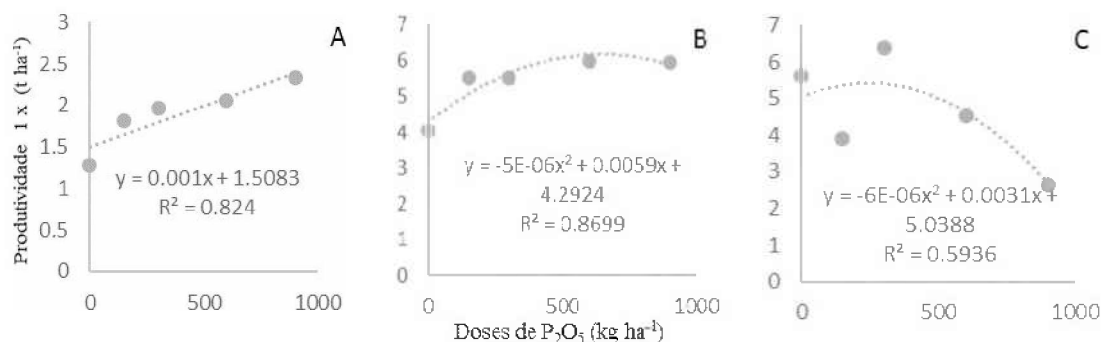


FIGURA 8. Produtividade de tubérculos de batata da classe 1X, cultivar Atlantic (A) e Ágata cultivada em Unai- MG (B) e Ágata cultivada em Mucugê-BA (C) sob níveis de fertilização fosfatada, Uberlândia- MG, 2017.

Níveis elevados de P promoveram baixo incremento da classe 1X em Atlantic-MG, um terço da produtividade de Ágata nas duas regiões avaliadas. Ágata-BA

promoveu quedas em produtividade na metade da dose resposta de Ágata-MG, provavelmente devido à capacidade dos solos de MG para reter o P nos coloides, característico de solos argilosos, com maior superfície específica.

### 3.2.3. Produtividade de tubérculos classe 2X

Para a classe 2X, Atlantic-MG e Ágata-MG apresentaram produtividades crescentes até a dose de 583,3 e 600 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, com produção de 0,6 e 4,5 t ha<sup>-1</sup>, respectivamente. Em Ágata-BA, 1,6 t ha<sup>-1</sup> relaciona-se a dose máxima (900 kg ha<sup>-1</sup>) (Figura 9).

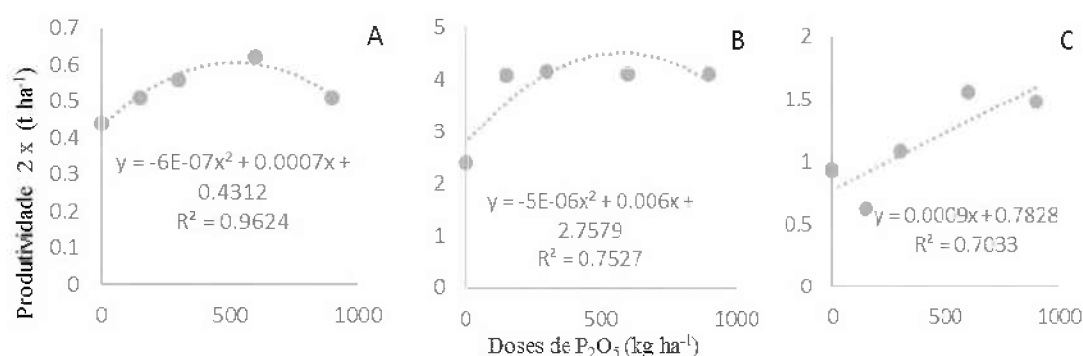


FIGURA 9. Produtividade de tubérculos de batata da classe 2X, cultivar Atlantic (A) e Ágata cultivada em Unai- MG (B) e Ágata cultivada em Mucugê-BA (C) sob níveis de fertilização fosfatada, Uberlândia- MG, 2017.

O manejo da adubação deve considerar o efeito da concentração dos nutrientes na classificação dos tubérculos, visto que a classe 1X e 2X têm valor de comercialização baixo em comparação com a Especial. No presente trabalho essas classes corresponderam a menores parcelas da produtividade, em torno de 4 a 6,5; 11 a 13,6 e 4 a 11% de tubérculos da classe 1X em Atlantic-MG, Ágata-MG e Ágata-BA, respectivamente, e, em torno de 1,3 a 1,6; 1,2 a 2,7 e 6,5 a 10% de tubérculos da classe 2X em Atlantic-MG, Ágata-MG e Ágata-BA, respectivamente.

### 3.2.4. Produtividade total de tubérculos

As doses máximas estimadas para produtividade total em Atlantic-MG e Ágata-MG e Ágata-BA foram, respectivamente: de 606,3; 730 e 535 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, e produção de 38; 47,6 e 59,7 t ha<sup>-1</sup> (Figura 10).

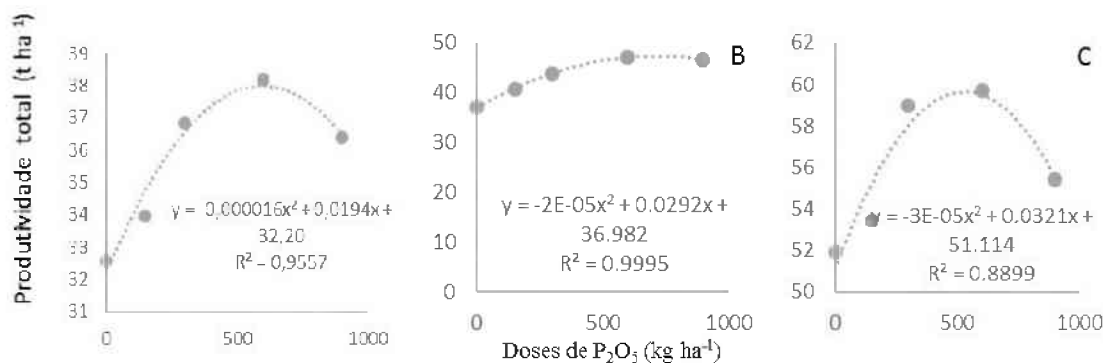


FIGURA 10. Produtividade total de tubérculos de batata, cultivar Atlantic (A) e Ágata cultivada em Unaí- MG (B) e Ágata cultivada em Mucugê-BA (C) sob níveis de fertilização fosfatada, Uberlândia- MG, 2017.

Na literatura há relatos de resposta entre dosagens de 280 a 700 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (RIBEIRO et al., 2016, QUEIROZ et al.; 2013, NAVA et al.; 2007, FERNANDES *et al.*, 2015, LUZ *et al.*, 2013). Fernandes e Soratto (2016) salientaram que o teor de P é fundamental em análise de dose, sendo que em altos teores é possível aplicar P a taxas mais baixas (125 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>). Porém, em condição de baixa disponibilidade de P no solo, Fernandes *et al.* (2015) e Zewide *et al.* (2012) afirmaram que o fornecimento de P é fundamental para a produção de tubérculos maiores (classe Especial).

Pesquisas revelaram que há uma inconsistência entre as quantidades de nutrientes que são recomendados e a quantidade que é usualmente aplicada pelos produtores de diversas regiões (TOTH *et al.*, 2014). Isso evidencia que há deficiência generalizada nos sistemas de informação sobre o uso de fertilizantes, o que dificulta obtenção de relevantes informações.

A faixa de resposta é alta e em vários locais observou-se que a redução da dose máxima reflete em baixa diminuição na produtividade. Portanto, salienta-se que para otimização da gestão de P para a batata devam ser considerados resultados de pesquisas regionais (ROSEN *et al.*, 2014), especialmente observação de históricos anteriores e as dinâmicas que ocorreram nos anos de avaliações.

Thornton *et al.* (2014) e Ribeiro *et al.* (2016) destacaram a importância do fator cultivar. Os autores, estudando várias cultivares, perceberam que há diferença na eficiência de captação de P do solo entre as cultivares, com reflexo no rendimento total de tubérculos de acordo com a taxa de fertilizantes aplicada. A cultivar Ágata produziu 33% mais tubérculos em dose de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 26,7% superior que a Atlantic em MG, sob condições de clima e solo similares.

Considerando a interação entre clima e solo (fatores determinantes na resposta em produtividade) observou-se que a produtividade de Ágata-BA foi 25% superior à de Ágata-MG. É bom lembrar que as cultivares amplamente produzidas no Brasil são provenientes de clima temperado, locais em que as temperaturas são mais próximas às encontradas em Mucugê-BA, o que justifica esta diferença na produtividade.

A cultivar Ágata-BA teve resposta em doses de fósforo 25,4% inferior a Ágata-MG, o que pode estar relacionado ao menor teor de argila e menor CTC do solo de Mucugê-BA e menor capacidade de retenção do P comparativamente ao solo de Unaí-MG, que é um solo argiloso e com elevada CTC.

Em geral, as plantas respondem em produtividade a doses maiores. No entanto, doses elevadas possuem desequilíbrio potencializado caso ocorra flutuações pluviométricas, devido a perdas de nutrientes por percolação ou escoamento superficial (XIA *et. al.*, 2015).

Ademais, muitas vezes, a maior oferta de nutrientes pode configurar consumo de luxo pelas plantas. Para evitar que isso aconteça, os produtores podem optar pela redução das dosagens de P no plantio e realizar uma análise foliar para acompanhamento dos teores dos nutrientes. Além de ser uma conduta mais sustentável, torna-se atrativo economicamente, por ser uma ferramenta de baixo custo. A viabilidade relaciona-se, em especial, ao intervalo de 60 a 80 dias após o plantio, pois o teor de P determina o estado nutricional da planta de batata e a área foliar neste período estão ativas e aptas a absorção de nutrientes (ZAMUNER *et. al.*, 2016).

Além disso, as estratégias futuras deverão incluir a diminuição da fertilização e a melhoria da gestão da adubação com o P nos solos. Portanto, informações coerentes e relações que envolvam os nutrientes devem estar bem elucidados. O acompanhamento das variações dos teores dos nutrientes e dinâmica entre eles no solo podem orientar as mudanças de atitude quanto a fertilidade do solo. Uma melhor compreensão das inter-relações com os demais processos que ocorrem no solo e na fisiologia das plantas, pode trazer mais confiança aos produtores quanto a resposta de um bom manejo, com impactos positivos em termos econômicos e ambientais (SUN *et. al.*, 2015).

O teor de carboidratos totais não demonstrou resposta significativa quanto as doses de  $P_2O_5$ . Os teores de Atlantic e Ágata foram: 59 a 62 e 68 a 73%, respectivamente (Figura 11).



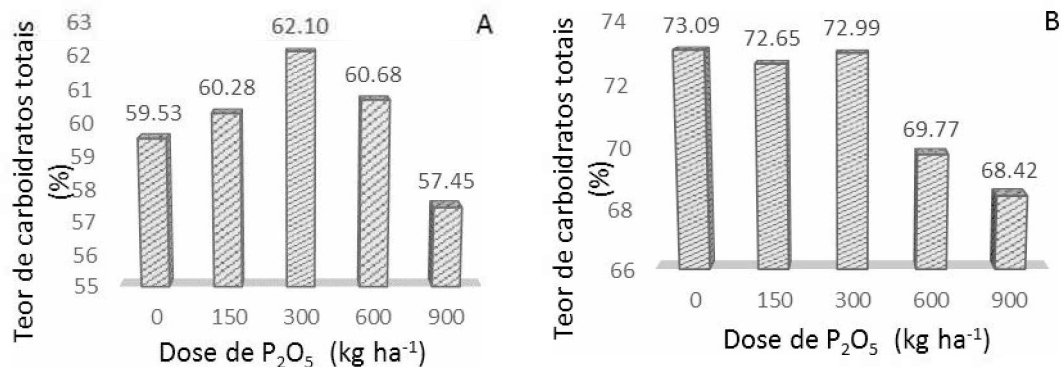


FIGURA 11. Carboidratos totais em matéria seca de tubérculos de batata, cultivar Atlantic (A) e Ágata cultivada em Unaí- MG (B) sob níveis de fertilização fosfatada, Uberlândia- MG, 2017.

O teor de proteína não diferiu entre as doses em Atlantic e Ágata, com variação de 4.9 a 5.5 e 4.9 e 5.3, respectivamente (Figura 12).

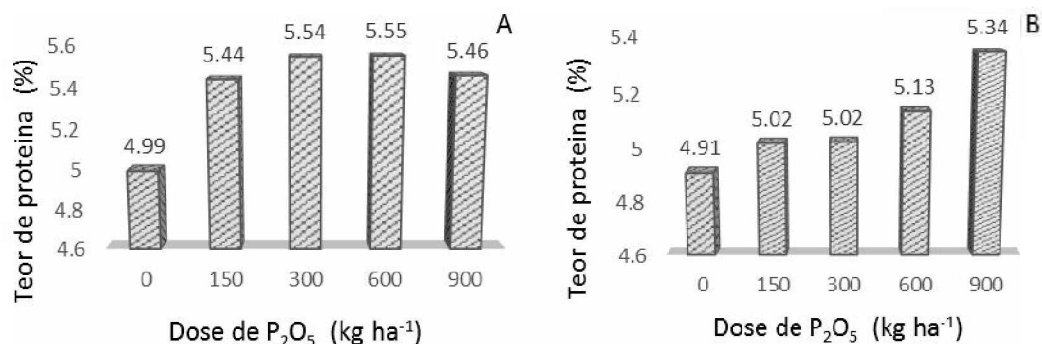


FIGURA 12. Proteínas totais (%) em matéria seca de tubérculos de batata, cultivar Atlantic (A) e Ágata cultivada em Unaí- MG (B) sob níveis de fertilização fosfatada, Uberlândia- MG, 2017.

Fernandes *et. al.* (2011) e Fernandes *et. al.* (2015) em solo com alta e baixo teor de P, também não observaram diferenças nos teores de proteína dos tubérculos de batata da cultivar Ágata.

No presente trabalho, assim como em trabalhos de Fernandes *et. al.* (2015), a adubação fosfatada tem maior influência sobre o tamanho dos tubérculos e a produção do que sobre as características de qualidade dos tubérculos.

#### 4 CONCLUSÕES

O aumento da dose de fósforo, promoveu incremento de todos os teores de macro e micronutrientes em Atlantic-MG. Já para a cultivar Ágata-MG, houve redução apenas do teor de enxofre, com o aumento dos teores de fósforo. E para a cultivar

Ágata-BA, doses maiores de fósforo reduziram os teores de nitrogênio, cobre, manganês e zinco.

As doses máximas estimadas para produtividade total em Atlantic-MG, Ágata-MG e Ágata-BA foram respectivamente: 606, 730 e 535 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, com produtividades de 38; 47,6 e 59,7 t ha<sup>-1</sup>, respectivamente.

A cultivar Ágata-BA obteve resposta em doses de fósforo 25,4% inferior a Ágata-MG, o que pode estar relacionado ao menor teor de argila e menor CTC do solo de Mucugê-BA, com menor capacidade de retenção do P, comparativamente ao solo de Unaí-MG, que é um solo argiloso e com elevada CTC.

O P não interfere no teor de carboidratos totais e proteínas totais, os quais variam entre 59 e 73 e 4.9 a 5.5%, respectivamente.

Contudo, doses de P deve ser orientada, a partir do conhecimento dos atributos do solo e a dinâmica dos seus constituintes, especificidades das cultivares e interações com condições climáticas regionais.

## REFERÊNCIAS

- ABDAL, D.B.; SILVA, I.R.; VERGÜTZ, L.; SPARKS, D.L. Long-term manure application effects on phosphorus speciation, kinetics and distribution in highly weathered agricultural soils. **Chemosphere**, v.119, p. 504–514, 2015.
- BALEMI, T.; NEGISHO, K. Management of soil phosphorus and plant adaptation mechanisms to phosphorus stress for sustainable crop production: a review. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, v.12, p. 547-561, 2012.
- BRUULSEMA T, LEMUNYON J & HERZ B. Fundamentos para utilização correta do seu fertilizante. **Informações Agronômicas**, v.126, p. 15-18, 2009.
- CASTRO, R.C.; BENITES, V.M.; TEIXEIRA, P.C.; ANJOS, M.J.; OLIVEIRA, L.F. Phosphorus migration analysis using synchrotron radiation in soil treated with Brazilian granular fertilizers. **Applied Radiation and Isotopes**, v. 105, p.233–237, 2015.
- CHANGHUI, W.; FENG, Z.; XIANG, Z.; KUANGHU, D. The effects of N and P additions on microbial N transformations and biomass on saline-alkaline grassland of Loess Plateau of Northern China. **Geoderma**, v. 213, p. 419–425, 2014.
- CORDELLA, D.; NESET, T.-S.S. Phosphorus vulnerability: A qualitative framework for assessing the vulnerability of national and regional food systems to the multi-dimensional stressors of phosphorus scarcity. **Global Environmental Change**, v.24, p.108–122, 2014.

FERNANDES, A.M. et al. Extração e exportação de nutrientes em cultivares de batata: I - Macronutrientes. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.35, n.6, p.2039-2056, 2011.

FERNANDES, A.M.; SORATTO, R.P. 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, 2012.

FERNANDES, A.M.; SORATTO, R.P.; EVANGELISTA, R.M. Qualidade de tubérculos de batata da cultivar 'Atlantic' afetada pela adubação fosfatada. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.45, n.8, p.1401-1407, 2015.

FERNANDES, A.M.; SORATTO, R.P.; MORENO, L.A.; EVANGELISTA, R.M. Qualidade de tubérculos frescos de cultivares de batata em função da nutrição fosfatada. **Bragantia**, Campinas, v.74, n. 1, p.102-109, 2015.

FERNANDES, A.M.; SORATTO, R.P. Response of Potato Cultivars to Phosphate Fertilization in Tropical Soils with Different Phosphorus Availabilities. **Potato Research**, v.59, p.259–278, 2016.

FERNANDES, AM; SORATTO, RP; EVANGELISTA, RM; JOB, ALG. Influência do fósforo na qualidade e produtividade de tubérculos de cultivares de batata de duplo propósito. **Horticultura Brasileira**, v. 34, p. 346-355, 2016.

FIXEN, P.E.; BRUULSEMA, T.W. Potato Management Challenges Created by Phosphorus Chemistry and Plant Roots. **Am. J. Potato Res.**, v. 91, p. 121–131, 2014.

GAN, H.; JIAO, Y.; JIA, J.B.; WANG, X.L.; LI, H.; SHI, W.G.; PENG, C.H.; POLLE, A.; LUO, Z.B. Luo Phosphorus and nitrogen physiology of two contrasting poplar genotypes when exposed to phosphorus and/or nitrogen starvation. **Tree Physiol.**, v.36, n.1, p. 22–38, 2016.

GRANT, C.A; Flaten, D.N.; Tomaszewicz, D.J.; Sheppard, S.C.- A importância do fósforo no desenvolvimento inicial da planta. **Informações Agrônomicas** Nº 95, Instituto da Potassa e do Fosfato, EUA, 2001.

HALING, R.E.; BROWN, L.K.; BENGOUGH, A.G.; YOUNG, I.M.; HALLETT, P.D.; WHITE, P.J.; GEORGE, T.S. Root hairs improve root penetration, root–soil contact, and phosphorus acquisition in soils of different strength. **Journal of Experimental Botany**, v. 64, n. 12, p. 3711–3721, 2013.

HOPKINS, B.G.; HORNECK, D.A.; MACGUIDWIN, A.E. Improving Phosphorus Use Efficiency Through Potato Rhizosphere Modification and Extension. **Am. J. Potato Res.**, v.91, p.161–174, 2014.

KLEIN, C.; AGNE, S.A.A. Fósforo: de nutriente à poluente! **Rev. Elet. em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, v 8, n. 8, p. 1713-1721, 2012.

KREY, T.; VASSILEV, N.; BAUM, C.; EICHLER-LÖBERMANN, B. Effects of long-term phosphorus application and plant-growth promoting rhizobacteria on maize phosphorus nutrition under field conditions. **European Journal of Soil Biology**, v. 55, p.124–130, 2013.

LABOSKI, C.A.M., AND J. B. PETERS. Nutrient application guidelines for field, vegetable and fruit crops in Wisconsin. Publication A2809, Madison: University of Wisconsin-Extension. 2012.

LIU, C.; RUBÆK, G.H.; LIU, F.; ANDERSEN, M.N. Effect of partial root zone drying and deficit irrigation on nitrogen and phosphorus uptake in potato. **Agricultural Water Management**, v. 159, p. 66–76, 2015.

LUZ, J.M.Q.; QUEIROZ LRM; KAWAKAMI J; MULLER MML; OLIARI ICR; UMBURANAS RC; ESCHEMBAK V. Adubação NPK e tamanho da batata-semente no crescimento, produtividade e rentabilidade de plantas de batata. **Horticultura Brasileira**, v. 31, p.119-127, 2013.

MARCANTE, N.C.; MUROAKA, T.; BRUNO, I.P.; CAMACHO, M.A. Phosphorus uptake and use efficiency of different cotton cultivars in savannah soil (Acrisol). **ActaScientiarum. Agronomy** Maringá, v. 38, n. 2, p. 239-247, 2016.

MCLAUGHLIN, M.J.; MCBEATH, T.M.; SMERNIK, R.; STACEY, S.P.; AJIBOYE, B.; GUPPY, C. The chemical nature of P accumulation in agricultural soils—implications for fertiliser management and design: an Australian perspective. **Plant Soil**, v. 349, p. 69–87, 2011.

MEDICI, A.; MARSHALL-COLON, A.; RONZIER, E.; SZPONARSKI, W.; WANG, R.; GOJON, A.; CRAWFORD, N.M.; RUFFEL, S.; CORUZZI, G.M.; KROUK, G. AtNIGT1/HRS1 integrates nitrate and phosphate signals at the Arabidopsis root tip. **Nature Communication**, v.6, p.62-72, 2015.

MAGALHAES, M.A.; POSTMA, J.A.; LYNCH, J.P. Phene synergism between root hair length and basal root growth angle for phosphorus acquisition. *Plant Physiol.* Vol. 167, 2015.

MOURA, J.B.; VENTURA, M.V.A.; CABRAL, J.S.R.; AZEVEDO, W.R. Adsorção de Fósforo em Latossolo Vermelho Distrófico sob Vegetação de Cerrado em Rio Verde-Go. **Journal of Social, Technological and Environmental Science**, v.4, n.3, p. 199-208, 2015.

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.

QUEIROZ, A.A.; BORGES, M.; OLIVEIRA, R.C.; LEITE, S.S.; CARDOSO, R.R. Influência da adubação fosfatada no teor foliar de fósforo e na produtividade de tubérculos de batata, cv. Ágata. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 34, n. 2, p. 649-656, 2013.

RIBEIRO, G.H.M.R.; PINTO, C.A.R.M.; GUEDES, M.L.; FIGUEIREDO, I.C.R.; MOREIRA, C.M.; FERNANDES FILHO, C.C. Resposta de genótipos de batata de uso doméstico e indústria a doses de fertilizante formulado. *Rev. Cienc. Agrar.*, v. 59, n. 2, p. 181-189, abr./jun. 2016

ROSEN, C.J.; KELLING, K.A.; STARK, J.C.; PORTER, G.A. Optimizing Phosphorus Fertilizer Management in Potato Production. *Am. J. Potato Res.*, v. 91, p.145–160, 2014.

SUN, W-X.; HUANG, B.; QU, M-K.; TIAN, K.; YAO, L-P.; FU, M-M.; YIN, L-P. Effect of Farming Practices on the Variability of Phosphorus Status in Intensively Managed Soils. *Pedosphere*, v. 25, n.3, p. 438–449, 2015.

TENG, W.; DENG, Y.; CHEN, X-P.; XU, X-F.; CHEN, R-Y.; LV, Y.; ZHAO, Y-Y.; ZHAO, X-Q.; HE, X.; LI, B.; TONG, Y-P.; ZHANG, F-S.; LI, Z-S. Characterization of root response to phosphorus supply from morphology to gene analysis in field-grown wheat. *Journal of Experimental Botany*, v. 64, n. 5, p. 1403–1411, 2013.

TÓTH, G.; GUICHARNAUD, R-A.; TÓTH, B.; HERMANN, T. Phosphorus levels in croplands of the European Union with implications for P fertilizer use. *Europ. J. Agronomy*, v. 55, p. 42–52, 2014.

THORNTON, M.K.; NOVY, R.G.; STARK, J.C. Improving Phosphorus Use Efficiency in the Future. *Am. J. Potato Res.*, v. 91, p. 175–179, 2014.

WITHERS, P.J.A.; DIJK, K.C.V.; NESET, T.T-S.; NESME, T.; OENEMA, O.; RUBÆK, G.H.; SCHOUMANS, O.F.; SMIT, B.; PELLERIN, S. Stewardship to tackle global phosphorus inefficiency: The case of Europe. *AMBIO*, v. 44, n.2, p.193–206, 2015.

XIA, L.-Z.; LIU, G.-H.; WU, Y.-H.; MA, L.; LI, Y.-D. Protection Methods to Reduce Nitrogen and Phosphorus Losses from Sloping Citrus Land in the Three Gorges Area of China. *Pedosphere*, v. 25, n.3, p. 478–488, 2015.

ZAMUNER, E.C.; LLOVERAS, J.; ECHEVERRÍA, H.E. Use of a Critical Phosphorus Dilution Curve to Improve Potato Crop Nutritional Management. *Am. J. Potato Res.*; v.93, p.392–403, 2016.

ZEWIDE, I., MOHAMMED, A., TULU, S. (2012). Effect of different rates of nitrogen and phosphorus on yield and yield components of potato (*Solanum tuberosum* L.) at Masha District, Southwestern Ethiopia. *International Journal of Soil Science*, v.7, p. 146-156, 2012.

### CAPÍTULO 3

#### Adubação potássica em batateira: Produtividade e qualidade de tubérculos de Ágata e Atlantic

##### RESUMO

O potássio (K) é o nutriente mais absorvido pela batateira (*Solanum tuberosum* L.). Compreender melhor a relação existente entre o rendimento da cultura e a taxa de aplicação de K favorece a produção de alimentos e é uma estratégia racional para o manejo de uso dos fertilizantes. Assim, objetivou-se avaliar a influência da variação de doses de fertilizante potássico na produtividade de tubérculos de batata das cultivares Ágata e Atlantic. Os experimentos foram conduzidos entre maio e agosto e maio a setembro de 2014, utilizando a cultivar Ágata e Atlantic, respectivamente, em Unaí-MG e entre setembro a dezembro de 2014 com a cultivar Ágata em Mucugê-BA. O delineamento utilizado foi o de blocos ao acaso com quatro repetições. Foram estudadas as doses 0; 70; 110; 220 e 450 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O. Os demais nutrientes foram fixados em 120 e 480 kg ha<sup>-1</sup> de N e P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, respectivamente. O aumento da dose de K reduziu os teores de S, Ca, Mg e B em Atlantic-MG, Ca, Mg, Zn e B em Ágata-MG e S, Fe e B em Ágata-BA. A cultivar Atlantic-MG não respondeu ao aumento da adubação potássica, apresentando produtividade total entre 32,3 a 37 t ha<sup>-1</sup>. A cultivar Ágata-MG e Ágata-BA responderam até as doses estimadas de 225 e 166 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O com produtividades máximas de 53,9 e 56,2 t ha<sup>-1</sup>, respectivamente. A produtividade de Ágata em Mucugê foi 4% superior ao cultivo em Unaí frente a adubação potássica. O K não interfere no teor de proteínas totais e variam entre 4.9 a 6.1%. Já o teor de carboidratos totais em Ágata-MG é crescente até dose de 116 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O (72%). O conhecimento das condições climáticas e CTC, bem como dos teores de nutriente no solo e nas folhas de cada cultivar e a relação com os demais aspectos de manejo são determinantes para o sucesso da lavoura.

**Palavras-chave:** *Solanum tuberosum* L., fertilização, qualidade de tubérculos, cloreto de potássio

#### Potassium fertilization in potato: Productivity and quality of tubers from Ágata and Atlantic

##### ABSTRACT

Potassium (K) is the nutrient most absorbed by the potato tree (*Solanum tuberosum* L.). A better understanding of the relationship between crop yield and K application rate favors food production and is a rational strategy for the management of fertilizer use. The objective of this study was to evaluate the influence of potassium fertilizer rates variation on the productivity of potato tubers of the Ágata and Atlantic cultivars. The experiments were conducted between May to August and May to September of 2014, using the cultivar Ágata and Atlantic, respectively, in Unaí-MG and from September to December 2014 with the cultivar Ágata in Mucugê-BA. The experimental design used was a randomized block design with four replications. The doses studied were 0; 70; 110; 220 and 450 kg ha<sup>-1</sup> of K<sub>2</sub>O. The other nutrients were fixed at 120 and 480 kg ha<sup>-1</sup> of N and P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, respectively. The increase of the K dose reduced the contents of S, Ca, Mg and B in Atlantic-MG, Ca, Mg, Zn and B in Ágata-MG and S, Fe and B in Ágata-

BA. The cultivar Atlantic-MG did not respond to the increase of potassium fertilization, presenting total productivity between 32.3 and 37 t ha<sup>-1</sup>. The Ágata-MG and Ágata-BA cultivars responded up to the estimated doses of 225 and 166 kg ha<sup>-1</sup> of K<sub>2</sub>O with maximum yields of 53.9 and 56.2 t ha<sup>-1</sup>, respectively. The productivity of Ágata in Mucugê was 4% higher than the crop in Unaí in comparison to the potassium fertilization. The K does not interfere with total protein content. The total carbohydrate content in Agate-MG is increasing until a dose of 116 kg ha<sup>-1</sup> of K<sub>2</sub>O (72%). The knowledge of the climatic conditions and CTC, as well as nutrient content in the soil, the leaves of each cultivar and the relationship with the other aspects of management are determinant for the success of the crop.

**Palavras-chave:** *Solanum tuberosum* L., productivity, quality of tubers, potassium chloride

## 1 INTRODUÇÃO

A cultura da batata (*Solanum tuberosum*) é a dicotiledônea mais eficiente na produção de energia e valor alimentar por unidade de área (ZANGENEH *et. al.*, 2010). Os tubérculos dessa espécie têm expressivo valor comercial, especialmente quando são processados em alimentos que atendem às expectativas dos consumidores quanto ao sabor, textura, aparência e conveniência (KIRKMAN, 2007).

O constituinte dos tubérculos de batata, como o teor total de amido, é significativamente afetado pelo seu genótipo, ambiente e condição de cultivo (BACH *et. al.*, 2013). Assim, dentre os fatores de manejo necessários para alta produtividade e qualidade está a fertilização da cultura, pois está entre as espécies cultivadas que demanda maior teor de nutrientes (ZANGENEH *et. al.*, 2010).

O nutriente absorvido em maior quantidade pela batateira é o potássio (K) (FILGUEIRA, 2008). A enzima catalisadora amido-sintetase é ativada pelo K, tornando sua presença fundamental para os processos vitais de desenvolvimento e produção (SALISBURY; ROSS, 1992) dos tubérculos. O K aumenta a altura da planta e o vigor da cultura, cumprindo papel importante no desempenho da translocação de carboidratos das folhas para os tubérculos (JASIM *et. al.*, 2013). O nutriente também se relaciona com a síntese de compostos secundários que atuam como inibidores da ação e desenvolvimento dos fatores bióticos. Portanto, plantas nutridas adequadamente com potássio apresentam redução na incidência e severidade de doenças e pragas (HUBER; ARNY, 1985, PERRENOUD, 1990).

A necessidade de fertilizantes é variável de acordo com a necessidade de cada solo e suas disponibilidades de nutrientes, fatores econômicos da área, suprimento de umidade e cultivar. Independente das particularidades, a nutrição adequada é crucial para determinar o rendimento e a qualidade da batata (MISGINA *et. al.*, 2016). Afinal, a falta de aplicação de K para a correção dos níveis pode provocar diminuição grave do estado do elemento essencial no solo, o que prejudica significativamente o cultivo de batata (Pervez *et. al.*, 2013).

As cultivares de batata se comportam de forma diferente em relação à exigência de K, de acordo com o potencial de rendimento e ao número de tubérculos. Portanto, além dos conhecimentos sobre os componentes do solo, a dose deve ser reflexo das necessidades de cada cultivar (BANSAL; TREHAN, 2011). Dessa forma, pesquisas com as principais cultivares utilizadas no Brasil devem ser estimuladas, com vista a fornecer informações sobre a dinâmica dos nutrientes para toda a comunidade. Os resultados evitam que sejam realizadas recomendações padronizadas e consumo de luxo de K pela batateira, assim como otimizar a produtividade e o uso do fertilizante na agricultura (SILVA; FONTES, 2016).

O uso inadequado dos nutrientes promove impactos substanciais nas práticas agrícolas e acredita-se que a falta de nutrientes fundamentais para as plantas será fonte de preocupações devido ao obstáculo para alcançar altas produtividades e a segurança alimentar global (ODEGARD; VOET *et. al.*, 2014). No Brasil, a falta de conhecimento sobre a eficiência de utilização de nutrientes pelas cultivares em diferentes solos ou estados faz com que os produtores recorram à fertilização com quantidades superiores às necessárias. Isso, além de aumentar os custos de produção da cultura, causa redução na eficiência de uso dos fertilizantes (FERNANDES; SORATTO, 2013). A adubação deve ser praticada de forma consciente, uma vez que nutrientes essenciais como o K são extraídos de recursos finitos e escassos, com valores crescentes ao longo dos tempos.

Conseguir sustentar a produção de alimentos requer uma estratégia racional de manejo de K baseada em uma melhor compreensão da relação entre o rendimento da cultura e a taxa de aplicação de K. Ao longo dos anos, as condições do solo e as práticas de manejo das culturas mudam e, com isso, podem ocorrer alterações na interface solo-planta-ambiente, o que exige novos conhecimentos sobre as respostas esperadas para a aplicação de K (WU *et. al.*, 2013). Milhares de estudos fisiológicos e metabólicos em décadas recentes estabeleceram o papel fundamental do K na função das plantas, especialmente na eficiência e na economia do uso da água. Porém, ainda faltam estudos



da interação entre os fatores macro-ecológicos que afetam o uso ótimo deste recurso (SARDANS; PEÑUELAS, 2015).

De acordo com Zörb *et. al.* (2014) a priorização da fertilização de K é necessária para combater a diminuição da fertilidade do solo e melhorar a segurança alimentar. Mas isso deve ser feito de modo adequado, dentro de parâmetros que potencializem a economia de recursos e garantam maior lucratividade por meio de uma produção satisfatória e de qualidade. Assim, objetivou-se avaliar a influência da variação de doses de fertilizante potássico na produtividade de tubérculos de batata das cultivares Ágata e Atlantic.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 Localização e instalação

A localização e instalação do experimento seguiu o mesmo adotado e descrito no capítulo 1.

### 2.2 Delineamento Experimental

Para cada cultivar e localidade avaliou-se o efeito de dose de potássio (0, 70, 110, 200 e 450 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O). O delineamento experimental utilizado foi por blocos ao acaso com cinco doses e quatro repetições. Cada parcela constituiu por seis linhas, com seis metros de comprimento, espaçadas em 0,8 m entre linhas e 0,3 m entre plantas, totalizando 28,8 m<sup>2</sup> de área total por parcela. As avaliações foram realizadas nas duas linhas centrais, na área útil da parcela, totalizando 8 m<sup>2</sup>.

A dose padrão dos nutrientes N e P fixadas em 120 kg ha<sup>-1</sup> de N e 480 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, seguiram as recomendações da Comissão de Fertilidade dos Solos de Minas Gerais (CFSEMG, 1999). As fontes de N, P e K utilizadas foram ureia, superfosfato triplo e cloreto de potássio, respectivamente. Foram aplicados os micronutrientes: Zinco: 0,2%, Magnésio: 2%, Cálcio: 11%, Enxofre: 12%, Boro: 0,08%, Cobre: 0,08% e Manganês: 0,2%, no momento do plantio.

### 2.3 Instalação e condução do experimento

A instalação e condução dos experimentos estão descritas no capítulo 1.

## 2.4 Características avaliadas

### 2.4.1 Teor foliar de macro e micronutrientes

Avaliaram-se os teores foliares de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, enxofre, boro, cobre, ferro, manganês e zinco, assim como descrito no capítulo 1.

### 2.4.2 Produtividade e qualidade de tubérculos

Ao final dos experimentos os tubérculos foram colhidos, classificados e analisados conforme descrito no capítulo 1.

## 2.5 Análise estatística

Os dados foram analisados utilizando o programa estatístico SISVAR, segundo descrito no capítulo 1.

# 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

## 3.1 Teor foliar de macro e micronutrientes

A equação polinomial que mais se adequou aos conjuntos de dados dos teores de macro e micronutrientes que apresentaram diferença significativa encontram-se nas Tabelas 6 e 7.

Não houve diferença entre as doses de K para o teor foliar de N e P em Ágata-MG e Ágata-BA. Os teores variaram entre 50,9 a 52 e 1,6 a 3,5 em Ágata-MG e 42,7 a 44,5 e 2,7 a 3,2 g kg<sup>-1</sup> de MS em Ágata-BA. Doses de K superiores a 228,3 e 230 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O reduziram o teor de N e P em Atlantic-MG, respectivamente. Todos os teores de N e P estavam dentro do intervalo considerado adequado para a batata (Lorenzi *et al.* 1997), com exceção de doses até 70 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O que apresentaram teor de P abaixo do adequado (Tabelas 6).

O teor foliar de K amentou linearmente com a dose de K em Atlantic-MG. Doses superiores a 292 e 232 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O reduziram o teor de K em Ágata-MG e Ágata-BA, respectivamente. Doses até 70 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O foram inferiores ao adequado

em Atlantic-MG e Ágata-BA, na faixa de Lorenzi *et. al.* (1997), sendo as demais doses de todos os experimentos adequados (Tabela 6).

O aumento das doses de K reduziu linearmente os teores de Ca e Mg em Ágata-MG. Doses superiores a 87,5 e 156,7 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O reduziram os teores foliares destes nutrientes em Ágata-BA. Em Atlantic-MG, as doses de K<sub>2</sub>O não influenciaram os teores de Ca e Mg, que variaram de 15 a 19,7 e 6,6 a 8,9 g kg<sup>-1</sup> de MS, respectivamente (Tabela 6). Todos os valores encontrados nos 3 experimentos foram adequados para Ca e superiores ao adequados para Mg, considerando os teores adequados sugeridos por Lorenzi *et. al.* (1997).

TABELA 5. Teores de macronutrientes em batateira, cultivares Atlantic e Ágata cultivadas em Unaí- MG e Ágata cultivada em Mucugê-BA sob níveis de fertilização potássica, Uberlândia- MG, 2017.

Nutriente	Cultivar e local	Equação	R <sup>2</sup>	Xmax kg ha <sup>-1</sup>	Ymax g kg <sup>-1</sup>	Intervalo adequado Lorenzi et al. 1997
N	Atlantic MG	$y = -0,00006x^2 + 0,0274x + 43,965$	40,52	228,33	47,09	40 – 50
	Ágata MG	--	-	-	-	
	Ágata BA	--	-	-	-	
P	Atlantic MG	--	-	-	-	2,5 – 5
	Ágata MG	--	-	-	-	
	Ágata BA	$y = -0,00001x^2 + 0,0046x + 3,6415$	66,86	230,00	4,17	
K	Atlantic MG	$y = 0,0167x + 32,883$	86,93	450,00	40,39	40 – 65
	Ágata MG	$y = -0,00005x^2 + 0,0292x + 40,543$	91,86	292,00	44,81	
	Ágata BA	$y = -0,00006x^2 + 0,0279x + 38,513$	86,35	232,50	41,76	
Ca	Atlantic MG	--	-	-	-	10 – 20
	Ágata MG	$y = -0,005x + 15,933$	51,46	450,00	13,68	
	Ágata BA	$y = -0,00004x^2 + 0,007x + 20,842$	67,97	87,50	21,15	
Mg	Atlantic MG	--	-	-	-	3,5 – 5
	Ágata MG	$y = -0,0035x + 8,0991$	74,93	450,00	6,52	
	Ágata BA	$y = -0,00003x^2 + 0,0094x + 6,833$	90,69	156,67	7,57	
S	Atlantic MG	$y = -0,0006x + 1,5317$	53,66	450,00	1,26	2,5 – 5
	Ágata MG	--	-	-	-	
	Ágata BA	$y = -0,0005x + 1,6217$	90,77	450,00	1,39	

<sup>1</sup>-- não significativo ao teste F a 0,05 de probabilidade.

Os teores de S reduziram linearmente com o aumento da dose de K em Atlantic-MG e Ágata-BA, não sendo influenciado pela variação da dose em Ágata-MG, que apresentaram teores de 1,2 a 1,3 g kg<sup>-1</sup> de MS (Tabela 6). Todos os teores de S nos 3 experimentos foram inferiores ao adequados para Lorenzi *et. al.* (1997).

Soratto *et. al.* (2011) também observaram doses inferiores ao adequado para algumas cultivares de batata. Portanto, ressalta-se a importância em se estabelecer tabelas de recomendação de adubação com S para as cultivares de batata nos diferentes estados do Brasil, visto ser um elemento que está em deficiência nos solos brasileiros.

Todos os nutrientes devem estar em equilíbrio e em quantidades adequadas requeridas pela cultura, sendo que doses elevadas de K não garantem adequadas produtividades, uma vez que o acúmulo de K tende a diminuir a absorção de outros nutrientes como o Ca, Mg, Fe e S, P que, conseqüentemente, interfere nos processos metabólicos da planta (LIEBIG, 1982). Neste caso, é possível optar pelo uso de pulverizações foliares, utilizadas para melhorar as condições de crescimento da cultura (ZORB *et. al.*, 2014).

Os teores de Zn não foram influenciados pelas doses de K, variando de 65,8 a 76; 34,7 a 39,5 e 48,7 a 51 mg kg<sup>-1</sup> de MS em Atlantic-MG, Ágata-MG e Ágata-BA, respectivamente (Tabela 7). Os teores foram adequados (Lorenzi *et. al.*, 1997) para Atlantic-MG e Ágata-BA e inferiores ao adequado em Ágata-MG.

TABELA 7. Teores de micronutrientes em batateira cultivar Atlantic e Ágata cultivada em Unaí- MG e Ágata cultivada em Mucugê-BA sob níveis de fertilização potássica, Uberlândia- MG, 2017.

Nutriente	Cultivar e local	Equação	R <sup>2</sup>	Xmax kg ha <sup>-1</sup>	Ymax mg kg <sup>-1</sup>	Intervalo adequado Lorenzi et al. 1997
Cu	Atlantic MG	--	-	-	-	7 – 20
	Ágata MG	$y = -0,00008x^2 + 0,0603x + 23,135$	68,20	376,88	34,50	
	Ágata BA	$y = -0,00005x^2 + 0,0287x + 17,235$	58,24	287,00	21,35	
Fe	Atlantic MG	$y = -0,0008x^2 + 0,6693x + 214,72$	87,98	418,31	354,71	50 – 100
	Ágata MG	--	-	-	-	
	Ágata BA	$y = -0,0741x + 216,31$	48,66	450,00	182,96	
Mn	Atlantic MG	$y = 0,0515x + 51,721$	98,35	450,00	74,89	30 – 250
	Ágata MG	$y = -0,0008x^2 + 0,1651x + 103,04$	82,53	103,19	111,56	
	Ágata BA	--	-	-	-	
B	Atlantic MG	$y = -0,0152x + 19,773$	73,56	450,00	12,93	25 – 50
	Ágata MG	$y = -0,0354x + 56,94$	86,89	450,00	41,01	
	Ágata BA	$y = -0,0351x + 54,45$	68,91	450,00	38,65	

<sup>1</sup>-- não significativo ao teste F a 0,05 de probabilidade.

Os teores de Cu aumentaram até a dose de 376,8 e 287 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O em Ágata-MG e Ágata-BA, respectivamente. O aumento de doses de K não influenciou o teor de Cu em Atlantic-MG, variando de 49,9 a 73,5 mg kg<sup>-1</sup> de MS. Todos os teores foram acima do adequado para Lorenzi *et. al.* (1997).

As doses crescentes de K reduziram linearmente os teores de B em todos os experimentos. Em Ágata-MG e Ágata-BA os teores de B foram adequados para batateira. Já em Atlantic-MG os teores foram abaixo do adequado para Lorenzi *et. al.* (1997) para todas as doses.

O aumento da dose de K reduziu os teores foliares de Fe em Ágata-BA, aumentou os teores em Atlantic-MG até a dose de 418 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O e não interferiu os teores em Ágata-MG, que variou entre 211 a 237,6 mg kg<sup>-1</sup> de MS (Tabela 7). E em todos os experimentos os teores foram superiores aos adequados segundo Lorenzi *et. al.* (1997).

Os teores foliares de Ca, Mg, Cu e Zn em Atlantic-MG, Mg e B em Ágata-MG e Ca e Mg em Ágata-BA foram superiores aos encontrados por Fernandes *et. al.* (2011) e Soratto *et. al.* (2011), sendo os demais macro e micronutrientes inferiores aos teores encontrados pelos autores citados em todos os experimentos. As diferenças entre as regiões de cultivo, a dose aplicada e o manejo geral da cultura também foram responsáveis pela alteração na resposta das cultivares à absorção dos nutrientes entre os experimentos.

Em análise dos limites inferiores dos intervalos dos teores considerados adequados para Lorenzi *et. al.* (1997) e os teores encontrados nas populações onde não houve aplicação de adubação fosfatada, observou-se que o K, S e B apresentaram teores 16,8; 38,8 e 16,5% inferiores ao adequado em Atlantic-MG. Os teores de S e Zn foram 50 e 12% inferiores ao adequado em Ágata-MG e os teores de K e S foram 3,4 e 36% inferiores ao adequado em Ágata-BA.

Em suma, o aumento da dose de K reduziu os teores de S, Ca, Mg e B em Atlantic-MG, Ca, Mg, Zn, de B em Ágata-MG e de S, Fe e B em Ágata-BA.

## **3.2 Produtividade de tubérculos**

### **3.2.1. Produtividade de tubérculos classe especial**

A cultivar Atlantic-MG não apresentou significância pelo teste F. A cultivar Ágata, nos dois locais de estudo, se adequou ao modelo polinomial quadrático para a classe especial. As doses máximas estimadas em Ágata-MG e Ágata-BA foram, respectivamente: 235 e 184 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O para produtividade de 41 e 47 t ha<sup>-1</sup> de tubérculos da classe Especial (Figura 13). A produtividade da Atlantic variou entre 30 a 34 t ha<sup>-1</sup>.

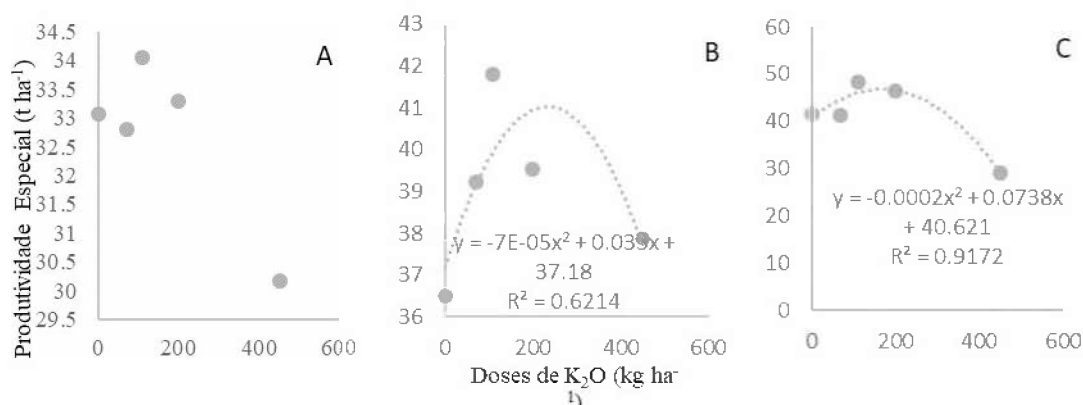


FIGURA 13. Produtividade de tubérculos de batata da classe Especial, cultivar Atlantic (A) e Ágata cultivada em Unai- MG (B) e Ágata cultivada em Mucugê-BA (C) sob níveis de fertilização potássica, Uberlândia- MG, 2017.

Os constituintes do solo, material de origem e grau de intemperização refletem substancialmente sobre o efeito dos minerais de argila na retenção ou liberação de K (AL-OBAIDI, *et. al.*, 2014, ZORB *et. al.*, 2014). A diferença entre as dosagens em Ágata-MG e Ágata-BA pode estar relacionada com a textura do solo. A textura argilosa dos solos de Unai-MG pode ter favorecido a retenção de nutrientes aos colóides do solo, justificando a maior resposta à adubação potássica, sendo 21,5% superior a quantidade máxima estimada em Mucugê-BA.

As altas taxas de rendimento de tubérculos onde não houve aplicação de K (33 a 41 t ha<sup>-1</sup>) estão relacionadas às boas práticas agrícolas das áreas (monitoramento de pragas e doenças e aplicações de defensivos em momentos adequados), somado ao balanço entre os nutrientes e a CTC dos solos, os quais garantiram bons rendimentos mesmo com alguns nutrientes abaixo do teor adequado para a batateira. Portanto, mais importante que a faixa adequada dos nutrientes seria o balanço entre os nutrientes no solo e, conseqüentemente, nas plantas.

Apesar da cultivar Ágata ser mais adaptada às condições climáticas de Mucugê-BA (ameno devido a alta altitude), observou-se que a produtividade da região foi apenas 13,4% superior quando comparada a produção em clima quente de Unai-MG.

Ágata-MG produziu 39,6% mais tubérculos da classe especial que a Atlantic-MG, destacando as diferenças na resposta fisiológica e na capacidade de assimilação de energia luminosa entre as cultivares. Cardoso *et. al.*, (2007), Sing e Lal (2012), Silva e Fontes (2016) também observaram resposta positiva com aplicação de K na produção de tubérculos grandes e médios.

O incremento significativo em produtividade com a adição de K está relacionado a gama de funções do nutriente: regulação de turgescência, metabolismo primário, alongamento celular, osmoregulação, ativação enzimática, transporte de solutos a longa distância, equilíbrio entre cátions e ânions, regulação citoplasmática do pH, síntese de proteínas e amido e, ainda, papel proeminente na resistência à seca, salinidade, alta luz ou frio e resistência a pragas e patógenos (ZORB *et. al.*, 2014, SHABALA; POTTOSIN, 2014, HAFSI *et. al.*, 2014). No entanto, o incremento em produtividade foi de apenas 10 a 15% superior a ausência de aplicação, o que pode ser explicado pela taxa inicial ter atendido grande parte das necessidades das plantas.

Observa-se que as cultivares apresentam máxima produção com diferentes doses de potássio. O tipo de solo e o clima de cada região foram determinantes quando considerada a mesma cultivar. Portanto, critérios de recomendação considerando a taxa de extração de cada cultivar e a região de cultivo, de acordo com as características físicas e químicas, bem como monitorar os efeitos da adubação, podem melhorar a eficiência no uso do fertilizante, predição de dose com maior acurácia e mantem os nutrientes em faixas adequadas (FERNANDES *et al.*, 2016; QIU *et. al.*, 2014; ZORB *et. al.*, 2014).

### 3.2.2. Produtividade de tubérculos classe 1X

Quanto à classe 1X, a Atlantic-MG apresentou produtividade entre 1,6 a 2,4 t ha<sup>-1</sup>, Ágata-MG respondeu positivamente até a dosagem de 140 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O (7,98 t ha<sup>-1</sup>) e Ágata-BA obteve produtividade crescente até a dose máxima (450 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O) (Figura 14).

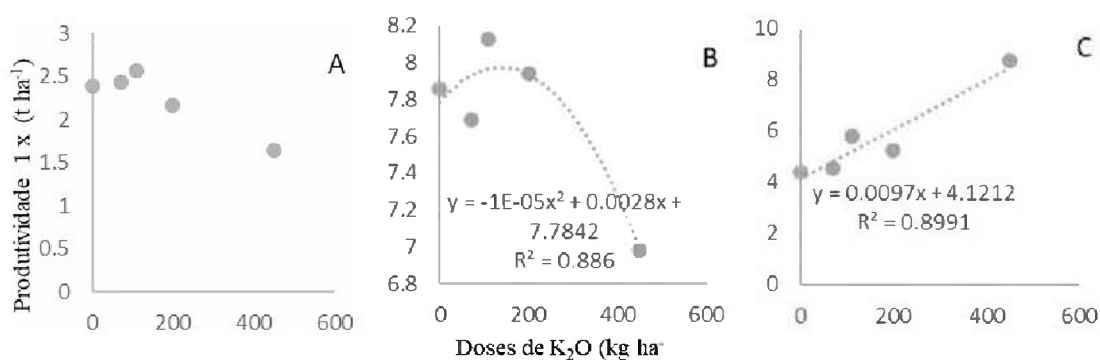


FIGURA 14. Produtividade de tubérculos de batata da classe 1X, cultivar Atlantic (A) e Ágata cultivada em Unai- MG (B) e Ágata cultivada em Mucugê-BA (C) sob níveis de fertilização potássica, Uberlândia- MG, 2017.

### 3.2.3. Produtividade de tubérculos classe 2X

Para a classe 2X, a produtividade de Atlantic-MG e Ágata-BA variou entre 0,43 a 0,5 e 1,0 a 1,8 t ha<sup>-1</sup>, respectivamente (Figura 15). Em Ágata-MG, houve incremento de produtividade até a dose de 230 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O.

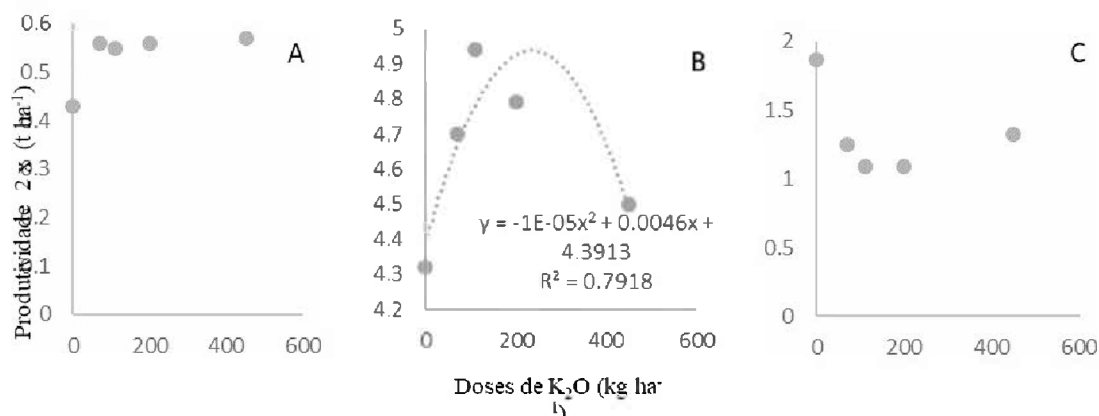


FIGURA 15. Produtividade de tubérculos de batata da classe 2X, cultivar Atlantic (A) e Ágata cultivada em Unai- MG (B) e Ágata cultivada em Mucugê-BA (C) sob níveis de fertilização potássica, Uberlândia- MG, 2017.

As classes 1X e 2X têm baixo valor de comercialização e, portanto, deve-se optar por dosagens que proporcionem incrementos mais substanciais da classe Especial. Em doses superiores à 184 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O em Ágata-BA ocorre queda de produtividade da classe Especial e aumento da classe 1X, o que não justifica a aplicação em elevadas doses.

O K, por ser monovalente, apresenta elevadas perdas por lixiviação nos latossolos. A lixiviação do K, além de reduzir o lucro do produtor, acarreta contaminação dos lençóis freáticos. Se a taxa de aplicação de K for excedida ou não sincronizada com a demanda da cultura, para uma determinada dose há redução do rendimento, pois o nutriente quando em excesso a sua eficiência de utilização diminuiu, aumentando os riscos de lixiviação de K (QIU et al., 2014). Vale ressaltar que o K é proveniente de recursos não-renováveis e não pode ser sintetizado a partir de outras substâncias químicas (HE et. al., 2015).

A aplicação em doses acima da capacidade das plantas pode ainda gerar o consumo de luxo de K pela batateira. Isso acontece quando as plantas respondem em produtividade até um certo ponto e o restante passa a se acumular nos órgãos vegetais (KANG et. al., 2014). Os agricultores precisam estar cientes de todos os impactos e fatores interdependentes que doses excessivas podem gerar. Já foi relatado que 50% do fertilizante aplicado pode ser lixiviado abaixo de 0,6 m no perfil do solo (ROSOLEM



*et. al.*, 2013), profundidade superior a capacidade de absorção pelo sistema radicular da batateira.

### 3.2.4. Produtividade total de tubérculos

A produtividade total da Atlantic-MG variou entre 32,3 a 37 t ha<sup>-1</sup>. As doses máximas estimadas para produtividade total em Ágata-MG e Ágata-BA foram, respectivamente: 225 e 166,7 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O, com produtividade de 53,9 e 56,2 t ha<sup>-1</sup> (Figura 16).

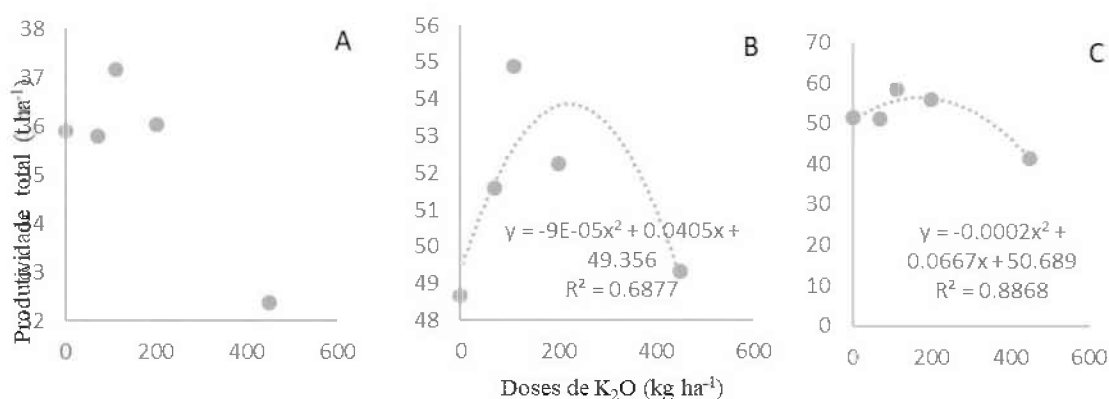


FIGURA 16. Produtividade total de tubérculos de batata, cultivar Atlantic (A) e Ágata cultivada em Unai- MG (B) e Ágata cultivada em Mucugê-BA (C) sob níveis de fertilização potássica, Uberlândia- MG, 2017.

O teor de K no solo nas diferentes regiões estudadas foi classificado como bom (CFSEMG, 1999), o que indica que a quantidade disponível para as plantas está adequada. A queda na produtividade com a dose de 450 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O foi crítica, com produção inferior a ausência de aplicação de K. O alto teor de K no solo pode causar desequilíbrio na relação entre as bases (K/Ca Mg) e em relação a CTC (K/T). Esta condição destaca a importância da melhor proporção de N, P e K do solo (LIU *et. al.*, 2014).

Na literatura, Fontes *et. al.* (1996), Pauletti e Menarin (2004), Nava *et. al.* (2007) não observaram resposta significativa com o aumento da dosagem de K. Por outro lado, nos trabalhos em que houve resposta, as doses de fertilizante potássico variaram entre 150 a 400 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O, sendo as doses mais elevadas relacionadas à baixa disponibilidade no solo, bem como a textura com maiores teores de argila (CFSEMG, REIS, 2008, SINGH; LAL, 2012, ZELELEW *et. al.*, 1999, 2016, SILVA; FONTES, 2016).

É importante ressaltar que as taxas obtidas nos trabalhos atuais encontram-se dentro das faixas recomendadas pela Comissão de Fertilidade do solo do estado de

Minas Gerais (1999), as quais consideram produtividade esperada de 30 t ha<sup>-1</sup>. Os avanços que ocorreram desde então são fruto de avanços tecnológicos diversos (manejo de irrigação e uso de defensivos) e observa-se que o incremento de produtividade esteja mais relacionado ao manejo adequado de outros fatores que interferem na produtividade do que ao uso de doses elevadas.

De acordo com a equação de regressão observou-se que a redução de 50% da dose máxima reflete em reduções da ordem de 2,1 e 2,4% em produtividade em Ágata-MG e Agata-BA, respectivamente. Considerando que o valor da batata é variável no mercado e, especialmente, que o preço dos fertilizantes está em ascensão devido à escassez, os produtores devem analisar o custo/retorno dessa atividade.

Singh e Lal (2012) obtiveram aumento em torno de 36% em aplicação de 150 a 225 kg ha<sup>-1</sup> K<sub>2</sub>O, comparado à ausência de aplicação. A diferença encontrada por esses autores é superior a observada no presente estudo, no qual doses máximas obtiveram produções de 8,5 e 10% superior a ausência de K para Ágata-MG e Ágata-BA, respectivamente. A menor resposta ao rendimento relaciona-se aos solos com maior fertilidade, resultando em menor eficiência do uso do K (LI *et. al.*, 2015).

Os impactos negativos das elevadas doses observadas na produtividade em Ágata-MG e Ágata-BA podem ser mais desfavoráveis se somados aos custos desnecessários e aos impactos ambientais. Nesse sentido, doses adequadas de acordo com as condições da região de cultivo e cultivar auxiliam no atendimento da urgente necessidade de implementar técnicas rentáveis e sustentáveis (MEENA *et. al.*, 2014).

Vale ressaltar que, em termos econômicos, prejuízos ambientais são os mais dispendiosos por envolver fatores muitas vezes de difícil controle e mensuração, como tempo de reação entre os vários organismos no solo e tamanho das populações de microrganismos até que um equilíbrio seja reestabelecido.

Vários estudos ressaltaram a influência das condições climáticas entre regiões e anos de estudo no teor de potássio no solo (BARCZAK, NOWAK 2014, ZARZECK *et. al.*, 2015). No entanto, é preciso entender que a determinação correta da quantidade de um fertilizante vai além do entendimento solo-planta-condições climáticas do ambiente. É preciso também atentar-se para o conhecimento dos mecanismos que ocorrem ao redor desta esfera e que interferem diretamente na eficiência dos elementos essenciais. O avanço da tecnologia vem permitindo entender melhor as interações que ocorrem em todos os campos. Aspectos fisiológicos estão sendo revelados, o que permite novas abordagens e desenvolvimento de estratégias correlacionadas.

A natureza molecular dos canais de  $K^+$  da planta vem sendo elucidada, mas há muito a se descobrir (HAMAMOTO; UOZUMI, 2014, NIEVES-CORDONES *et. al.*, 2014). Dentre as funcionalidades, foram descobertas ligações com a liberação de moléculas energéticas para defesa da planta (DEMIDCHIK, 2014) e a sinalização que medeia diversas respostas adaptativas das plantas ao ambiente (ANSCHÜTZ, 2014). Dessa forma, o K é essencial para os processos metabólicos e fisiológicos em momentos que as plantas se encontram sob condições de estresse biótico ou abiótico. Estes aspectos podem justificar a ação positiva da adubação potássica em todos os locais de cultivo do presente trabalho.

O teor de carboidratos totais não demonstrou resposta significativa quanto as doses de  $K_2O$  em Atlantic, variando de 56.8 e 64%. O teor em Ágata foi crescente até a dose de  $116 \text{ kg ha}^{-1} K_2O$  (72%) (Figura 17).

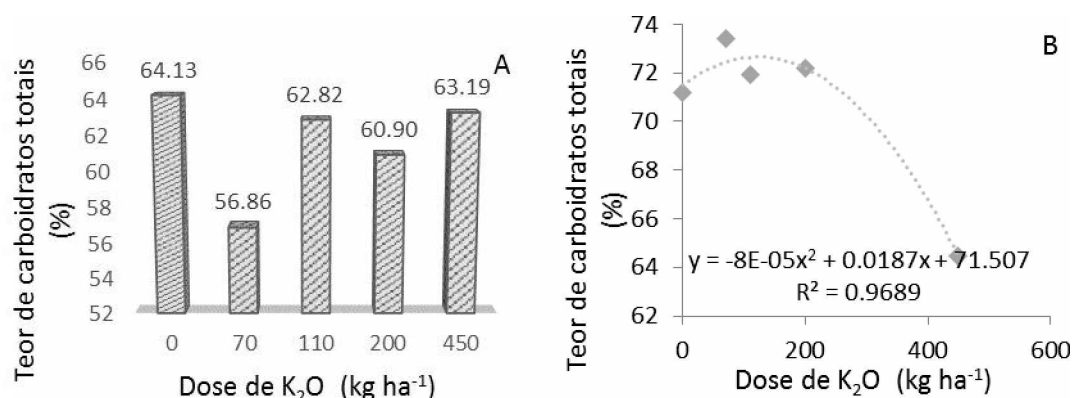


FIGURA 17. Carboidratos totais (%) em massa seca de tubérculos de batata, cultivar Atlantic (A) e Ágata cultivada em Unaí- MG (B) sob níveis de fertilização potássica, Uberlândia- MG, 2017

O teor de proteína não diferiu entre as doses em Atlantic e Ágata, variando de 5.1 a 6.1 e 4.9 a 5.4%, respectivamente (Figura 18).

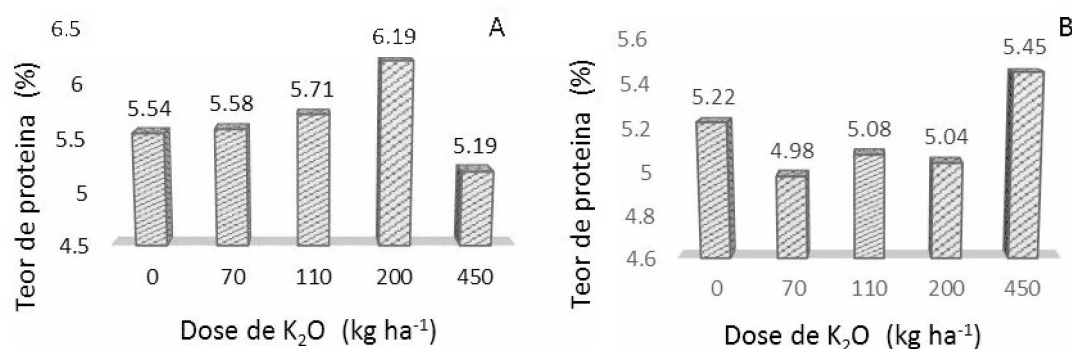


FIGURA 18. Proteínas totais (%) em massa seca de tubérculos de batata, cultivar Atlantic (A) e Ágata cultivada em Unaí- MG (B) sob níveis de fertilização potássica, Uberlândia- MG, 2017

#### 4 CONCLUSÕES

O aumento da dose de K reduz os teores de S, Ca, Mg e B em Atlantic-MG, Ca, Mg, Zn e B em Ágata-MG e S, Fe e B em Ágata-BA.

A cultivar Atlantic-MG não responde ao aumento da adubação potássica, tendo produtividade total entre 32,3 e 37 t ha<sup>-1</sup>. A cultivar Ágata-MG e Ágata-BA respondem até as doses estimadas de 225 e 166 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O, com produtividades máximas de 53,9 e 56,2 t ha<sup>-1</sup>, respectivamente. A produtividade de Ágata em Mucugê foi 4% superior ao cultivo em Unaí frente à adubação potássica.

O K não interfere no teor de proteínas totais e variam entre 4.9 a 6.1%. Já o teor de carboidratos totais em Ágata-MG é crescente até dose de 116 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O (72%).

O conhecimento das condições climáticas e CTC, bem como dos teores de nutrientes no solo e nas folhas de cada cultivar e a relação com os demais aspectos de manejo são determinantes para o sucesso da lavoura.

#### REFERÊNCIAS

AL-OBAIDI, M. A. J.; AHMED, H. M.; KHALIL, M. T. Role of Potassium Bearing Minerals in Desorption of Reserved Potassium in Some Soils of Northern Iraq. **Journal of Agricultural Science and Technology**, Noor, v. 4, p. 487-493, 2014.

ANSCHÜTZ, U.; BECKERA, D.; SHABAL, S. Going beyond nutrition: Regulation of potassium homeostasis as a common denominator of plant adaptive responses to environment. **Journal of Plant Physiology**, [S. l.], v. 171, p. 670–687, 2014.

BACH, S., YADA, R. Y., BIZIMUNGU, B., FAN, M., SULLIVAN, J. A. Genotype by environment interaction effects on starch content and digestibility in potato (*Solanum tuberosum* L.). **Journal of Agriculture and Food Chemistry**, Washington, v. 61, n. 16, p. 3941–3948, 2013.

BANSAL, S. K., TREHAN S. P. Effect of Potassium on Yield and Processing Quality Attributes of Potato. Karnataka. **Journal of Agricultural Sciences**, [S. l.], v. 24, p. 48-54, 2011.

CARDOSO, A. D.; ALVARENGA, M. A. R.; MELO, T. L.; VIANA, A. E. S. Produtividade e qualidade de tubérculos de batata em função de doses e parcelamentos de nitrogênio e potássio. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 31, n. 6, p. 1729-1736, 2007.

CFSEMG - Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais - 5ª aproximação**. Viçosa, 1999. 359p.

DEMIDCHIK, V. Mechanisms and physiological roles of K<sup>+</sup> efflux from root cells. **Journal of Plant Physiology**, [S. l.], v. 171, p. 696–707, 2014.

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**, Viçosa, v. 35, n. 6, p. 2039-2056, 2011.

FERNANDES, A. M.; SORATTO, R. P. Eficiência de utilização de nutrientes por cultivares de batata. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 29, n. 1, p. 91-100, 2013.

FERNANDES, A. M.; SORATTO, R. P.; EVANGELISTA, R. M.; JOB, A. L. G. Influência do fósforo na qualidade e produtividade de tubérculos de cultivares de batata de duplo propósito. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 34, p. 346-355, 2016.

FILGUEIRA, F.A.R. **Novo manual de olericultura: Agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças**. 2 ed. Viçosa: UFV, 2008. 421 p.

FONTES, P. C. R.; REIS JÚNIOR, R. A.; PEREIRA, P. R. G. Critical potassium concentration and K/Ca+Mg ratio in potato petioles associated to maximum tuber yields. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v. 19, n. 3-4, p. 657-667, 1996.

HAMAMOTO, S.; UOZUMI, N. Organelle-localized potassium transport systems in plants. **Journal of Plant Physiology**, [S. l.], v. 171, p. 743–747, 2014.

HAFSI, C.; DEBEZ, A.; ABDELLY, C. Potassium deficiency in plants: effects and signaling cascades. **Acta Physiology Plantarum**, New York, v. 36, p. 1055–1070, 2014.

HE, P.; YANG, L.; XU, X.; ZHAO, S.; CHEN, F.; LI, S.; TUE, S.; JIN, J.; JOHNSTON, A. M. Temporal and spatial variation of soil available potassium in China (1990–2012). **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 173, p. 49–56, 2015.

HUBER, D. M.; ARNY, D. C. **Interactions of potassium with plant disease**. In: MUNSON, R.D. (Ed.). **Potassium in Agriculture**, Madison: ASA/CSSA/SSA, 1985. p. 467-488.

JASIM, A. H.; HUSSEIN, M. J.; NAYEF, M. N. Effect of foliar fertilizer (high in potash) on growth and yield of seven potato cultivars (*Solanum tuberosum* L.). **Euphrates Journal of Agriculture Science**, [S. l.], v. 5, n. 1, p. 1-7, 2013.

KANG, W.; FAN, M.; MA, Z.; SHI, X.; ZHENG, H. Luxury Absorption of Potassium by Potato Plants. **American Journal of Potato Research**, New York, v. 91, p. 573–578, 2014.

KIRKMAN, M. A. Global markets for processed potato products. In: Vreugdenhil, D. (ed.) **Potato biology and biotechnology advances and perspectives**. Elsevier, Oxford, p. 27–44, 2007.

LI, S.; DUAN, Y.; GUO, T.; ZHANG, P.; HE, P.; JOHNSTON, A.; SHCHERBAKOV, A. Potassium management in potato production in Northwest region of China. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 174, 2015.

LIU, D. H.; WANG, L.; CUI, X. M.; GUO, L. P.; JIN, H.; ZHU, X. Y.; YANG, Y. Study on dynamic change law of N, P and K in *Panax notoginseng* plant soils with different interval year. **China Journal of Chinese Materia Medica**, [S. l.], v. 39, n. 4, p.572-579, 2014.

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, 1997, p. 221-229. (Boletim Técnico, 100).

MEENA, V. S.; MAURYA, B. R.; VERM, J. P. Does a rhizospheric microorganism enhance K<sup>+</sup>availability in agricultural soils? **Microbiological Research**, M'Sila, v. 169, n. 5-6, v. 169, p. 337–347, 2014.

MISGINA, N. A. Effect of Phosphorus and Potassium Fertilizer Rates on Yield and Yield Component of Potato (*Solanum tuberosum* L.) at K/Awlaelo, Tigray, Ethiopia. **Food Science and Quality Management**, Massachusetts, v. 48, p. 60-69, 2016.

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

NIEVES-CORDONES, M.; ALEMÁN, F.; MARTÍNEZ, V.; RUBIO, F. K<sup>+</sup> uptake in plant roots. The systems involved their regulation and parallels in other organisms. **Journal of Plant Physiology**, [S. l.], v. 171, p. 688–695, 2014.

ODEGARD, I. Y. R.; VOET, E. V. D. The future of food — Scenarios and the effect on natural resource use in agriculture in 2050. **Ecological Economics**, [S. l.], v. 97, p.51–59, 2014.

PAULETTI, V.; MENARIN, E. Época de aplicação, fontes e doses de potássio na cultura da batata. **Scientia Agraria**, Curitiba, v. 5, n. 1-2, p. 15-20, 2004.

PERRENOUD, S. **Potassium and Plant Health**. 2 ed. Berne: International Potash Institute, 1990. 363 p.

PERVEZ, M. A., AYYUB, M. I. C. M., SHABEEN, M. R., NOOR, M. A. Determination of Physiomorphological Characteristics of Potato Crop Regulated by Potassium Management. **Pakistan Journal of Agricultural Sciences**, [S. l.], v.50, n.4, p.611-615, 2013.

SARDANS, J.; PEÑUELAS, J. Potassium: a neglected nutrient in global change. **Global Ecology and Biogeography**, [S. l.], v. 24, p. 261–275, 2015.

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

QIU, S.; XIE, J.; ZHAO, S.; XU, X.; HOU, Y.; WANG, X.; ZHOU, W.; HE, P.; JOHNSTON, A. M.; CHRISTIE, P.; JIN, J. Long-term effects of potassium fertilization

on yield, efficiency, and soil fertility status in a rain-fed maize system in northeast China. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 163, p.1–9, 2014.

ROSOLEM, C. A.; CALONEGO, J. C. Phosphorus and potassium budget in the soil–plant system in crop rotations under no-till. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 126, p. 127–133, 2013.

SALISBURY, F.B.; ROSS, C.W. Carbon dioxide fixation and carbohydrate synthesis. In: SALISBURY, F.B.; ROSS, C.W. (Ed.). *Plant physiology*, Waterbury, n.4, p. 225–248, 1992.

SHABALA, S.; POTTOSIN, I. Regulation of potassium transport in plants under hostile conditions: implications for abiotic and biotic stress tolerance. **Physiologia Plantarum**, [S. l.], v. 151, p. 257–279, 2014.

SILVA, H. R. F.; FONTES, P. C. R. Adubação potássica e seu efeito residual sobre a produtividade e a qualidade de tubérculos de batata. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v. 51, n. 7, p. 842-848, 2016.

WU, L. Q.; MA, W. Q.; ZHANG, C. C.; WU, L.; ZHANG, W. F.; JIANG, R. F.; ZHANG, F. S.; CUI, Z. L.; CHEN, X. P. Current potassium-management status and grain-yield response of Chinese maize to potassium application. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, Chile, v. 176, p. 441–449, 2013.

ZANGENEH, M.; OMID, M.; AKRAM, A. A comparative study on energy use and cost analysis of potato production under different farming technologies in Hamadan province of Iran. **Energy**, [S. l.], v. 35, p. 2927–2933, 2010.

ZARZECK, K.; GUGAŁ, M.; MYSTKOWSK, I.; SIKORSK, A.; BARANOWSK, A. The effect of agrotechnical factors on the potassium content and its removal by potato tubers. **Journal of Ecological Engineering**, [S. l.], v. 16, n. 4, p. 180–184, 2015.

ZELELEW, D. Z.; LAL, S.; KIDANE, T. T.; GHEBRESLASSI, B. M. Effect of Potassium Levels on Growth and Productivity of Potato Varieties. **American Journal of Plant Sciences**, [S. l.], v. 7, p. 1629-1638, 2016.

ZÖRB, C. SENBAYRAM, M.; PEITER, E. Potassium in agriculture – Status and perspectives. **Journal of Plant Physiology**, [S. l.], v. 171, n. 9, 656–669, 2014.

## CAPÍTULO 4

### Níveis de fertilizante na cultura da batata e sistema integrado de diagnose e recomendação (DRIS)

#### RESUMO

A adubação tem impacto direto sobre produtividade e a busca por métodos que auxiliem no manejo nutricional ganham destaque por colaborar no sucesso dos cultivos, especialmente, aqueles que relacionam os teores foliares com a produtividade. Neste sentido, objetivou-se avaliar a produtividade de tubérculos de batata submetidas a níveis de adubação NPK e, a partir das produtividades e análise foliar, estabelecer índices do Sistema Integrado de Diagnose e Recomendação (DRIS). Foram realizados três experimentos, sendo um para cada nutriente (nitrogênio, fósforo e potássio), com as cultivares Ágata e Atlantic em Unaí-MG e com a cultivar Ágata em Mucugê-BA. As doses utilizadas dos nutrientes foram: 0, 30, 70, 120 e 280 kg ha<sup>-1</sup> de N; 0, 150, 300, 600 e 900 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e 0, 70, 110, 220 e 450 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O. Aos 35 dias após o plantio (DAP) foram amostradas folhas de cada parcela para análise foliar. Ao final dos experimentos (112 e 115 DAP- Ágata e Atlantic em Unaí-MG e 106 DAP- Ágata em Mucugê-BA), os tubérculos foram colhidos e calculada a produtividade da área útil das parcelas. Ágata e Atlantic responderam de forma similar quanto à influência positiva do K. Ágata respondeu em melhor balanço nutricional sob adubação com P em Mucugê-MG, ao passo que a adubação com K foi mais decisiva para o balanço entre os nutrientes nas plantas da mesma cultivar em Unaí-MG. Nos experimentos as diferenças consistentes estão relacionadas à textura do solo e à quantidade de nutrientes no estoque do solo desses locais, os quais apresentam efeito de concentração e dinâmica dos nutrientes diferente. Estes resultados enfatizam a extrema necessidade de se considerar aspectos do solo e a capacidade de absorção e translocação de nutrientes pelas cultivares antes de investir em doses de fertilizantes, pois além da economia e aumento da receita geral, o manejo deve ser orientado para evitar desperdícios.

**Palavra-chave:** *Solanum tuberosum* L.; adubação, balanço nutricional

#### ABSTRACT

### Levels of fertilizer in potato and integrated system of diagnosis and recommendation (DRIS)

Fertilization has a direct impact on productivity and the search for methods that help in nutritional management are highlighted for collaborating on the success of crops, especially those that relate foliar contents to productivity. Therefore, the objective of this study was to evaluate the productivity of potato tubers submitted to NPK fertilization levels and, from the productivity and foliar analysis, to establish indexes of the Integrated Diagnosis and Recommendation System (DRIS). Three experiments were carried out, one for each nutrient (nitrogen, phosphorus and potassium), with the Ágata and Atlantic cultivars in Unaí-MG and with the Ágata cultivar in Mucugê-BA. The nutrient doses used were: 0, 30, 70, 120 and 280 kg ha<sup>-1</sup> of N; 0, 150, 300, 600 and 900



kg ha<sup>-1</sup> of P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> and 0, 70, 110, 220 and 450 kg ha<sup>-1</sup> of K<sub>2</sub>O. 35 days after planting (DAP) leaves were sampled from each plot for leaf analysis. At the end of the experiments (112 and 115 DAP- Agate and Atlantic in Unaí-MG and 106 DAP- Ágata in Mucugê-BA), the tubers were harvested and the productivity of the plot area was calculated. Agate and Atlantic responded similarly to the positive influence of K. Agatha responded a better nutritional balance under P fertilization in Mucugê-MG, while fertilization with K was more decisive for the balance between nutrients in the plants of the same cultivar in Unaí-MG. In the experiments, the consistent differences are related to the soil texture and the amount of nutrients in the soil stock of these sites, which have a different concentration effect and dynamic nutrients. These results emphasize the extreme need to consider aspects of soil and nutrient uptake and translocation capacity of the cultivars before investing in doses of fertilizers, since besides the economy and increase of the general revenue, the management must be oriented to avoid waste.

**Keywords:** *Solanum tuberosum* L.; fertilization, nutrition balance

## 1 INTRODUÇÃO

A batata (*Solanum tuberosum*) é um alimento versátil, pobre em gorduras, rico em carboidratos e considerado uma boa fonte de vitaminas C, B1, B3 e B6, minerais como potássio, fósforo, magnésio e ferro e com teor proteico semelhante aos dos cereais (LUTALADIO; CASTALDI, 2009).

Apesar do sistema radicular da batateira ser relativamente pouco desenvolvido e superficial, as plantas apresentam alta exigência em nutrientes (CHOUDHARY et al., 2010), com capacidade de conversão dessa absorção em elevadas produtividades.

A aplicação dos fertilizantes NPK aumenta o tamanho dos tubérculos e reduz a proporção de tubérculos não comercializáveis, sendo importante o estudo da quantidade e forma de distribuição destes elementos essenciais para auxiliar no controle da poluição ambiental (UMAR et al., 2016).

Por outro lado, o desequilíbrio entre os nutrientes no ambiente resulta em menores níveis de absorção de alguns elementos e, por consequência, em plantas de menor qualidade (SHAH et al., 2016) e mais sensíveis às condições estressantes. Hemmati e Mansoori (2016) observaram que o manejo nutricional tem efeito significativo na redução de doenças. Portanto, observa-se que a adoção de técnicas e manejos adequados de adubação favorece o sucesso dos cultivos, redução de custos e garantia de sustentabilidade.

Dentre os mecanismos disponíveis para otimizar a eficiência da recomendação de fertilizantes em áreas de cultivo de alta produtividade, pode-se citar a adoção de práticas que quantifiquem a disponibilidade de nutrientes durante o ciclo da cultura através de análise foliar. Tal análise configura o acesso às informações do estado nutricional da planta por um baixo custo (GOTT *et. al.*, 2014) e pode servir de comparação com análises de outras lavouras, traçando um direcionamento de como o manejo nutricional pode ser melhorado.

Os resultados de análises químicas de plantas podem ser interpretados por diversos métodos. No entanto, aqueles capazes de proporcionar definição de faixas de suficiência ou de níveis críticos de nutrientes em tecidos vegetais, para regiões específicas e sem a necessidade de ensaios de calibração, têm se demonstrado promissores (CAMACHO *et. al.*, 2012).

O Sistema Integrado de Diagnose e Recomendação (DRIS) é uma das ferramentas desenvolvidas para diagnóstico nutricional aplicado, principalmente, em cereais e oleaginosas, com expansão para outras culturas, devido as informações que agregam ao manejo nutricional.

A diagnose realizada pelo DRIS, considerada como referência, está embasada em relações entre todos os nutrientes encontrados nas folhas de plantas de alta produtividade. As relações adequadas são chamadas de normas e as relações entre nutrientes são comparadas entre si e com as normas, determinando-se os nutrientes deficientes, adequados ou em níveis de consumo de luxo (MALAVOLTA, 2006; SOUZA *et. al.*, 2013).

Os valores dos índices DRIS indicam qual nutriente é mais limitante e a ordem de limitação desses nutrientes (FAQUIN, 2002). Índices positivos e negativos relacionam-se ao excesso e deficiência, respectivamente, enquanto DRIS iguais ou próximos a zero referem-se ao equilíbrio nutricional da população em análise (WADT *et al.*, 2012). O método também revela antagonismo entre os nutrientes e permite maior flexibilidade no momento da coleta das amostras (GOPALASUNDARAM *et. al.*, 2012).

A utilização de métodos como o DRIS possibilita estabelecer padrões nutricionais regionais, particularmente importante devido a maior acurácia nos resultados quando comparado a teores críticos generalizados (DIAS *et. al.*, 2013). A obtenção de padrões regionais pode contribuir para o uso racional de insumos e o aumento da produtividade nas lavouras (PARTELLI *et. al.*, 2014), e também para a adoção de manejos com

menores desperdícios e economicamente viáveis, sendo, portanto, mais eficientes (SANTOS *et. al.*, 2013).

Com base no exposto, objetivou-se avaliar a produtividade de tubérculos de batata das cultivares Ágata e Atlantic submetidas a níveis de adubação NPK e estabelecer índices do Sistema Integrado de Diagnóstico e Recomendação (DRIS) para a cultura.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

Os cultivos de Ágata e Atlantic foram realizados em Unaí- MG de maio a agosto e de junho a setembro de 2014, respectivamente. Já em Mucugê-BA, o cultivo de Ágata foi feito de setembro a dezembro de 2014.

Unaí- MG situa-se a 16° 21' 27" de latitude S e 46° 54' 22" de longitude W. A região possui clima Tropical Aw e altitude aproximada de 640 metros. A temperatura máxima e mínima durante o período do experimento variou entre 32° a 40°C e 9° a 14°C, respectivamente. O solo da área apresenta textura argilosa, sendo Latossolo Vermelho distrófico. Já a região de Mucugê-BA situa-se a 13°00'19" de latitude S e 41°22'15" de longitude W. A região possui clima semi-úmido e altitude de 986 metros. A temperatura máxima e mínima durante o período do experimento variou entre 25° a 29°C e 12° a 16°C, respectivamente. O solo da área apresenta textura média, sendo Latossolo Vermelho- Amarelo (EMBRAPA, 2013).

Antes do plantio realizou-se uma amostragem de solo na camada de 0-20 cm seguida por sua caracterização química, de acordo com o método descrito pela Embrapa (2013). Os valores encontrados encontram-se na Tabela 8.

TABELA 8. Caracterização química dos solos das áreas dos experimentos antes do plantio e adição de fertilizantes. Uberlândia- MG, 2017.

Características do solo	Mucugê-BA (Ágata)	Unaí-MG (Ágata)	Unaí-MG (Atlantic)
pH agua	5,7	5,2	5,3
P (mg dm <sup>-3</sup> )	11,7	14,5	17,0
K (mg dm <sup>-3</sup> )	84	84,4	89
Ca (cmolc dm <sup>-3</sup> )	1,3	2,9	3,2
Mg (cmolc dm <sup>-3</sup> )	0,4	1,1	0,9
H+Al (cmolc dm <sup>-3</sup> )	1,8	3,5	3,6
CTC (cmolc dm <sup>-3</sup> )	3,7	7,7	7,9
V (%)	51,9	54,6	54,4

Para cada cultivar e localidade foram realizados três experimentos com o intuito de avaliar o efeito de dose para cada um dos seguintes macronutrientes: nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K). O delineamento experimental utilizado foi por blocos ao acaso, com cinco doses e quatro repetições, totalizando 20 parcelas para cada um dos nutrientes estudados.

Cada parcela constituiu de 6 linhas com 6 metros de comprimento e espaçadas de 0,8 m (entre as linhas) e 0,30 m (entre as plantas), totalizando 28.8 m<sup>2</sup> de por parcela. As avaliações foram realizadas nas duas linhas centrais, na área útil da parcela, totalizando 8 m<sup>2</sup>.

As cinco doses utilizadas dos nutrientes foram: 0, 30, 70, 120 e 280 kg ha<sup>-1</sup> de N; 0, 150, 300, 600 e 900 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e 0, 70, 110, 220 e 450 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O. Em cada experimento utilizou-se as doses padrão para os nutrientes N, P e K fixada em 120 kg ha<sup>-1</sup> de N, 480 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e 220 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O, segundo as recomendações da Comissão de Fertilidade dos Solos de Minas Gerais (CFSEMG, 1999). As fontes de N, P e K utilizadas foram ureia, superfosfato triplo e cloreto de potássio, respectivamente. Foram aplicados no momento do plantio os micronutrientes: Zinco: 0.2%, Magnésio: 2%, Cálcio: 11%, Enxofre: 12%, Boro: 0.08%, Cobre: 0.08% e Manganês: 0.2%.

Após o preparo do solo, que constituiu de aração, gradagem e abertura dos sulcos, as doses estudadas de cada nutriente (N, P e K) foram distribuídas manualmente no sulco de plantio, sendo incorporadas com auxílio de enxada. Posteriormente, realizou-se a distribuição das batatas-semente também de forma manual no sulco de plantio.

Do total de N aplicado, 60% foi distribuído no plantio e os demais 40% em cobertura 27 dias após o plantio (DAP), momento em que foi realizada a amontoa. De acordo com o monitoramento de pragas, doenças e plantas infestantes, realizou-se quando necessários, a aplicação de produtos fitossanitários com materiais registrados para a cultura da batata e em doses recomendadas pelos fabricantes.

Em cada cultivar e localidade, 35 dias após o plantio (DAP) coletou-se vinte folhas completas (limbo + pecíolo) do terceiro trifólio completamente desenvolvido de cada parcela (CFSEMG, 1999). As folhas foram acondicionadas em sacos de papel e destinadas ao laboratório de análise e quantificação de nutrientes.

As amostras foram lavadas segundo a metodologia de Bataglia (1983), secas em estufa com circulação forçada de ar ( $65^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ ), e após a secagem, foram moídos e determinados os teores foliares dos macronutrientes (nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e enxofre) e micronutrientes (boro, cobre, ferro, manganês e zinco) (EMBRAPA, 2013).

As plantas utilizadas nos experimentos receberam suplementação hídrica por sistema de pivô central com fornecimento de água suficiente para o pleno desenvolvimento da cultura (450 a 550 mm) em todo o período de cultivo.

De acordo com o monitoramento de pragas, doenças e plantas infestantes foram realizados todos os cuidados fitossanitários, quando necessários, com produtos registrados para a cultura da batata e em doses recomendadas pelos fabricantes.

Ao final dos experimentos (112 e 115 DAP- Ágata e Atlantic em Unaí-MG e 106 DAP- Agata em Mucugê-BA), os tubérculos contidos na área útil das parcelas (desprezando 0,5 m de cada extremidade da parcela) foram colhidos manualmente, classificados e pesados em balança eletrônica. Os valores obtidos foram transformados em  $\text{kg ha}^{-1}$ .

A partir dos dados obtidos pela análise foliar dos macros e micronutrientes e dos dados de produtividade realizaram-se os cálculos para o estabelecimento das normas do Sistema Integrado de Diagnóstico e Recomendação (DRIS). Os resultados de produtividade de todas as parcelas para cada tratamento foram considerados como resultado de uma população. O conjunto de populações foi analisado e, então, segregado em dois grupos de populações: de alta e baixa produtividade. As produtividades de 44, 35 e  $53,0 \text{ t ha}^{-1}$  foram consideradas referências para Ágata- Unaí-MG, Atlantic- Unaí-MG e Ágata- Mucugê-BA, respectivamente; E, com base nestes valores, separou-se as populações.

Para obtenção das planilhas de produtividade dos experimentos, bem como dos índices DRIS e o Balanço Nutricional (IBN), utilizou-se o software Excel (*Microsoft*) e os cálculos propostos seguiram o método de Beaufils (1973) (Equações 1, 2, 3 e 4).

$$\text{se: } \frac{Y}{X_a} < \frac{Y}{X_n}$$

$$\text{então: } f\left(\frac{X}{Y}\right) = \left[1 - \left(\frac{Y}{X_n} / \frac{Y}{X_a}\right)\right] \times \left(100 \times \frac{k}{CV}\right)$$

(1)

$$\text{se: } \frac{Y}{X_a} = \frac{Y}{X_n}$$

$$\text{então: } f\left(\frac{X}{Y}\right) = 0 \text{ (zero)}$$

(2)

$$\text{se: } \frac{Y}{X_a} \geq \frac{Y}{X_n}$$

$$\text{então: } f\left(\frac{X}{Y}\right) = \left[\left(\frac{Y}{X_a} / \frac{Y}{X_n}\right) - 1\right] \times \left(100 \times \frac{k}{CV}\right)$$

(3)

onde:  $f(Y/X)$  = função calculada da relação nutrientes  $Y$  e  $X$ ;  $Y/X_a$  = relação de nutrientes da amostra;  $Y/X_n$  = relação de nutrientes da norma;  $s$  = desvio padrão da relação  $Y/X_n$ ;  $CV$  = coeficiente de variação (%) da relação  $Y/X_n$ ;  $k$  = constante de sensibilidade.

$$I_y = \frac{\sum_{i=1}^m f(Y/X_i) - \sum_{j=1}^n f(X_j/Y)}{m+n}$$

(4)

onde:  $I_y$ : índice DRIS para o nutriente  $Y$ ;  $Y$ : nutriente para cálculo do índice;  $X$ : outro nutriente;  $m$ : número de funções cujo nutriente  $Y$  encontra-se no denominador da função;  $n$ : número de funções cujo nutriente  $Y$  encontra-se no numerador da função;

Para os índices encontrados, utilizou-se as formulas do DRIS que revelam números (índices relativos) negativos, nulos ou positivos para os nutrientes, os quais indicam deficiência, equilíbrio e excesso, respectivamente (FAQUIN, 2002). O IBN foi obtido pela soma em módulo dos índices DRIS. Quanto maior o valor do IBN, maior a intensidade de desequilíbrio entre os nutrientes.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### Ágata cultivada em Unaí-MG

O grupo de alta produtividade relacionou-se às populações que receberam no sulco de plantio as doses de 0, 30, 70, 120 e 280 kg ha<sup>-1</sup> de N, 600 e 900 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e 0, 70, 110, 200 e 450 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O (Tabela 8).

No grupo de alta produtividade, o nutriente mais limitante foi o B, com aplicação da maior dose de N (kg ha<sup>-1</sup>). Observou-se que na ausência de N e em todas as suas doses houve limitação deste micronutriente, sendo que em doses maiores a limitação foi mais acentuada. Por outro lado, este mesmo nutriente apresentou o maior índice de excesso neste grupo na ausência de aplicação de K (Tabela 9).

A limitação de B na ausência de N e seu excesso na ausência de K, aumentando a limitação com doses crescentes de N e K está relacionada com o desenvolvimento das plantas. Dose maior, especialmente de N, promoveu crescimento vegetativo exuberante, o que proporcionou a diluição do B. Isso mostra que altas doses de N e K requerem suprimento de B em maiores quantidades (Tabela 9). Freiburger *et. al.* (2013) em estudos com cedro também observaram que o aumento das doses de N reduziu os teores de B.

O B é componente estrutural da parede celular das plantas. Os danos estruturais nos vasos do xilema causados pela baixa disponibilidade de B podem limitar o transporte de água das raízes para a parte aérea, alterando em última instância a fotossíntese. Aplicações foliares para corrigir deficiências de B, como a do presente trabalho, devem ser realizadas de maneira adequada, uma vez que as alterações das propriedades da superfície da folha podem reduzir ainda mais a absorção do nutriente após aplicação foliar (WIMMER; EICHERT, 2013).

Segundo Gupta e Solanki (2013), um suprimento contínuo de B é importante para o crescimento das plantas. No entanto, micronutrientes como o B possuem faixa estreita entre deficiência e toxicidade, o que demanda o acompanhamento dos teores para evitar quedas na produtividade.

É importante estar atento às dinâmicas em que os nutrientes estão envolvidos para entender e direcionar os manejos nutricionais de forma racional e eficiente. Os nutrientes que apresentam deficiência podem ter sido absorvidos por plantas, lixiviados, perdidos para a atmosfera ou transformados em formas não-lábeis (CHEN *et. al.*, 2013).





A dosagem de 120 kg ha<sup>-1</sup> de N representou a melhor opção entre as variações de N (Tabela 9). A suplementação com K em doses crescentes melhora o aspecto de limitação do K e do P nas plantas. A interação K x N foi sinérgica, indicando que a adubação nitrogenada requer aumento na dose de K. Da mesma forma ocorreu na relação entre P e K.

A quantidade de N determina a expressão da quantidade de enzimas presentes nas plantas, o que leva a modificações na estruturação dos vegetais. Doses elevadas de N reduzem a biossíntese de lignina, e como consequência, levam a uma menor resistência à hospedagem de patógenos (KUIAI *et. al.*, 2016). Plantas suscetíveis a patógenos são potenciais riscos de quedas em produtividade (MAITY *et. al.*, 2016). No experimento, doses de 120 e 280 kg ha<sup>-1</sup> expressaram alta produtividade, sendo 120 kg ha<sup>-1</sup> com melhor resposta em produtividade e balanço entre os nutrientes.

Em doses elevadas de P não houve limitação dos nutrientes N, P, K e Zn. Com relação às doses de N avaliadas, não houve limitação de Cu e Fe (Tabela 9). A não limitação de Fe está relacionada ao alto teor de Fe presente nos latossolos, devido às argilas não-sesquioxídicas (hematita, goethita e gibsitita). Não observou-se limitação de N nas doses de K, visto a relação entre os nutrientes ser sinérgica, requerendo maior suprimento de N quando aplicados maiores doses de K.

No grupo de alta produtividade, entre os macronutrientes, o Ca foi o mais limitante para produção, com maior índice na dose de 200 kg ha<sup>-1</sup> K<sub>2</sub>O em sulco de plantio, seguido por P e K, na ausência de aplicação da adubação com o K. Portanto, observou-se que a adubação com K foi a que mais afetou o grupo de alta produtividade dentre os arranjos de adubação testados (Tabela 9).

Apesar do K ser um cátion monovalente apresenta, portanto, menor força de atração pela fração coloidal do solo, podendo ser favorecido na retenção e no complexo de troca no solo através do aumento da sua concentração, deslocando cátions com maior raio iônico (MATOS *et. al.*, 2013). Assim, é preciso ter cuidado com o excesso de adubação com K, pois, por ter maior concentração na solução do solo, ele reduz a absorção e distribuição de NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup> e Mg<sup>2+</sup> e pode gerar desequilíbrio entre esses elementos essenciais (MARSHNER, 2012). É importante considerar também o equilíbrio de bases entre os cátions em relação a CTC (Ca/T, Mg/T e K/T), priorizando uma relação de 45:15:5, respectivamente.

Com relação a essa dinâmica de excesso de K, Anjos et al. (2015) observaram que as altas concentrações de K promoveram a percolação de Ca e Mg para as camadas inferiores do solo, limitando a sua disponibilidade para as plantas.

Por outro lado, a adubação nitrogenada também interfere na dinâmica dos nutrientes catiônicos do solo. Porém, neste caso, favorecem a formação de pares iônicos entre o nitrato e os cátions  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$  e  $\text{Al}^{3+}$ , aumentando a absorção destes (CARNEVAL *et. al.*, 2016).

Sob alto teor de K, Gott et al. (2014) observaram interferência na absorção do Mg devido ao efeito antagonico entre os dois nutrientes, o que gerou desbalanço de Mg. É relevante destacar que a menor absorção de Ca e Mg, em detrimento da maior concentração de K, torna as plantas suscetíveis às doenças bacterianas (MALVI, 2011), evidenciando a necessidade de manter o balanço nutricional.

Com relação aos micronutrientes no grupo de alta produtividade, além do B, o Zn e Cu apresentaram alto índice de limitação em condições de adubação com 280 e 70 kg  $\text{ha}^{-1}$  de N e ausência de aplicação de K, respectivamente (Tabela 9).

Apesar das limitações, em geral, a adubação potássica promoveu altos rendimentos de tubérculos e, considerando balanço nutricional e a produtividade, observou-se que as populações que obtiveram menores índice de balanço nutricional (IBN) apresentaram melhores produtividades (Tabela 9).

A população que apresentou o melhor IBN na população de alta produtividade foi a que recebeu 200 kg  $\text{ha}^{-1}$   $\text{K}_2\text{O}$ . Apesar de ter sido a população mais limitante em Ca, o balanço entre os demais nutrientes não determinou quedas drásticas em produtividade, o que evidencia a importância em se avaliar o sistema como um todo e os nutrientes em conjunto para determinação de uma decisão de manejo, tanto para eventual correção na cultura em desenvolvimento, quanto para decisões futuras.

A ausência de fertilizante potássico e dose máxima testada de fertilizante fosfatado no sulco de plantio afetaram negativamente o balanço entre os nutrientes (elevado IBN). Apesar disso, não refletiu de forma direta na produtividade, ou seja, de forma geral as plantas conseguiram se sobressair e garantir boa produtividade (Tabela 9).

A garantia de altas produtividades do experimento em condições de limitações pronunciadas de alguns elementos também está relacionada ao alto nível tecnológico da área do experimento, na qual foram realizados acompanhamentos de pragas e doenças, com aplicações de defensivos para assegurar bom retorno do cultivo.

Muitas vezes podem ocorrer interações complexas que não chegam a afetar a produtividade significativamente, mas pode-se observar pelos cálculos que os altos índices de limitação são mais propensos a quedas de produtividade caso ocorram situações atípicas no campo, a exemplo de uma incidência mais pronunciada de agentes bióticos ou abióticos.

O melhor balanço entre os nutrientes contribui por promover resistência a estresses, e, essencialmente, por reduzir a aplicação de defensivos, fortalecer as plantas e permitir melhores condições para expressão do potencial genético das cultivares. Além disso, vale ressaltar que os desbalanços podem promover alterações nos constituintes dos tubérculos e influenciar a qualidade dos produtos comerciais.

No grupo de baixa produtividade, os elementos essenciais N, K, S, Mn e Zn não manifestaram índices de limitação à produtividade. O nutriente mais limitante foi o P, seguido do Ca, em populações adubadas com 150 e 300 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (Tabela 9). Neste mesmo grupo a dose de 150 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, foi a que promoveu maior desbalanço entre os nutrientes. Nesta dose, observou-se o maior desequilíbrio tanto com o excesso de N e K, quanto em limitação de P e Fe.

Em comparação com os dois grupos, observou-se que os nutrientes no grupo de baixa produtividade apresentaram maior índice de desbalanço, o que evidencia a influência das relações entre os nutrientes na sua absorção, efeito nas plantas e, por conseguinte, na produtividade obtida (Tabela 9). Portanto, para uma determinada produção de acordo com os nutrientes no solo, a relação entre os nutrientes nos tecidos vegetais é tão importante quanto a quantidade de nutrientes exigida pelas cultivares de batata.

#### **Atlantic cultivada em Unaí-MG**

O grupo de alta produtividade relacionou-se às populações que receberam no sulco de plantio as doses de 70, 120 e 280 kg ha<sup>-1</sup> de N; 300, 600 e 900 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e 0, 70, 110 e 200 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O (Tabela 10).

Tanto no grupo de alta quanto no de baixa produtividade, o maior desbalanço entre os nutrientes se relacionaram à aplicação de fertilizante nitrogenado. Doses elevadas afetaram negativamente o balanço no grupo de alta produtividade, enquanto a ausência de aplicação de N levou a um desbalanço mais acentuado nesta cultivar e local estudado. O efeito negativo causado pelo excesso de adubação nitrogenada pode ser corrigido pelo aumento da dose de K.

A adubação com 120 kg ha<sup>-1</sup> de N refletiu na maior produtividade tanto da cultivar Ágata quanto de Atlantic em Unaí-MG. A dose de 110 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O também proporcionou uma das maiores produtividades nas duas cultivares (Tabela 10). Apesar da diferença na conversão fotossintética das duas cultivares, as duas doses citadas atenderam às necessidades e geraram rendimentos significativos. No entanto, não se pode afirmar que a combinação entre as duas doses tenderia ao mesmo resultado, uma vez que tais respostas também dependem da correlação com os demais nutrientes, sendo necessário avaliar a relação entre eles para a garantia do resultado.

A cultivar Atlantic respondeu melhor à adubação com P quando comparado à Ágata em Unaí-MG. Além disso, a Atlantic foi mais sensível a ausência de fertilização com K e P, configurando em baixos rendimentos e configurando, portanto, o grupo de baixa produtividade (Tabela 10).



Os nutrientes apresentaram alta relação entre eles tanto de forma sinérgica como antagônica, sendo as concentrações fatores determinantes para facilitar ou dificultar as interações. O equilíbrio entre os nutrientes é fundamental para atender as necessidades das plantas e ao mesmo tempo um desafio, haja vista as distintas exigências entre cultivares de uma mesma espécie.

Para exemplificar as dinâmicas, o K apresenta importante ligação na absorção e translocação de N, o que determina que N e K estejam presentes em proporções específicas para que ocorra um nível ótimo na síntese de proteínas (RAMAKRISHNA *et. al.*, 2009). Carneval *et. al.* (2016) observaram que doses maiores de N e P proporcionaram máxima eficiência de uso de K.

Já os teores de N e P são afetados conjuntamente por propriedades intrínsecas das plantas, pelos fatores meteorológicos e pedológicos. A relação entre N e P, junto aos fatores climáticos e a alguns dados biogeográficos precisam estar bem definidos para obtenção das respostas produtivas (XU *et. al.*, 2015).

É notório que o rendimento da cultura depende em grande parte da disponibilidade e acessibilidade do N no solo. Além dos pontos supracitados, para um rendimento ótimo, o N do solo deve estar disponível nos períodos críticos de desenvolvimento das culturas. Ademais, observou-se na literatura que suprimento extra de N junto a aplicação de Mg aumentaram a produtividade, fato atribuído a absorção de N induzida por Mg (GRZEBISZ, 2013).

Queiroz *et. al.*, (2014) observaram que IBN baixos indicaram plantas bem nutridas e com maiores produtividades. No entanto, para a cultivar Atlantic, a menor produtividade observada no grupo de alta produtividade obteve o segundo melhor IBN. Isso revela que há outros fatores de ordem não nutricional que devem ser considerados (LANA *et. al.*, 2010), sendo o DRIS uma interessante ferramenta a ser utilizada para a tomada de decisões. Essa ferramenta, apesar de não definir recomendações mágicas e definitivas, revela detalhes que salientam a necessidade de se conhecer o sistema de cultivo como um todo.

O nutriente mais limitante do grupo de alta produtividade foi o Cu na dose de 280 kg ha<sup>-1</sup> de N e o nutriente com maior índice de excesso foi o Mn também nesta mesma dose. Nas variações do fertilizante nitrogenado não houve limitação de P e K, mas o aumento nas doses de N ocasionaram aumento da insuficiência do Zn (Tabela 10).

O Cu muitas vezes entra no sistema agrícola através de aplicação de produtos fitossanitários. Esse elemento essencial se liga às frações orgânicas e óxidos dos solos, sendo sua liberação para as plantas favorecida em solos ácidos (NACHTIGALL *et. al.*, 2007). Este fato revela a possibilidade do Cu estar fixado nos solos dos experimentos, sendo necessárias aplicações foliares para o suprimento.

Com relação a adubação fosfatada, o aumento da dose reduz a limitação de N e de P, porém aumenta a limitação de S, B, Cu e Mn. Não há limitação de K, Ca e Mg quando a suplementação de P é crescente (Tabela 10).

A aplicação de K favoreceu a absorção de Fe, Mn e Zn, ao passo que o N e Cu não apresentaram limitação com a aplicação deste nutriente (Tabela 10). Os elementos essenciais Fe e Mn ficam mais solúveis em pH ácido, como aconteceu no caso do experimento, e isso pode ter facilitado a disponibilidade de absorção dos mesmos Barbosa *et. al.* (2006).

Ainda no grupo de alta produtividade, os macronutrientes mais limitantes foram o Mg na população adubada com 120 kg ha<sup>-1</sup> de N, N com aplicação de 300 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e o S com aplicação de 900 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (Tabela 10). É interessante destacar que o aumento das dosagens de adubação fosfatada ocasionou redução na limitação do N e aumento na limitação de S. Uma vez que todos eles são absorvidos na forma aniônica, há uma possível relação entre os nutrientes na solução do solo que influencia a sua absorção.

No grupo de baixa produtividade, na população que não recebeu adubação fosfatada o nutriente mais limitante foi o P e o que obteve maior índice de excesso foi o S. Não houve limitação de K em populações para este grupo (Tabela 10). Doses baixas de N aumentaram a limitação de P e Mg. Enquanto doses altas de K aumentaram a limitação de B e Mg e o excesso de Cu e Mn.

Entre os manejos de adubação do grupo de baixa produtividade, apenas na dose de 450 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O não houve limitação de Mn. Nesta mesma dose, o único que apresentou limitação foi o B (Tabela 10).

### **Ágata cultivada em Mucugê-BA**

O grupo de alta produtividade correspondeu às populações que receberam no sulco de plantio as doses de 70, 120 e 280 kg ha<sup>-1</sup> de N; 150, 300, 600 e 900 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e 110 e 200 kg ha<sup>-1</sup> K<sub>2</sub>O (Tabela 11).

No grupo de alta produtividade, em plantas adubadas com  $70 \text{ kg ha}^{-1}$  de N o nutriente mais limitante foi o Mg e o mais excessivo foi o N, em aplicação de  $280 \text{ kg ha}^{-1}$  de N (Tabela 11).

Em populações com manejos de adubação nitrogenada observou-se que houve aumento dos índices de N, com índices em excesso em doses elevadas ( $120$  e  $280 \text{ kg ha}^{-1}$ ), sendo o Ca e o Mg limitantes (Tabela 11).

Com relação ao fornecimento de P, apenas na dose de  $300 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{P}_2\text{O}_5$  não houve limitação do P nas plantas (Tabela 11). O aumento da fertilização com o P aumentou gradativamente o índice de K e Ca, reduziu a disponibilidade de Mg e aumentou a limitação de Zn. Já o aumento da dose de fertilizante potássico, reduziu a limitação de N, P, Mn e aumentou a limitação de K e B.

Ao contrário da cultivar Ágata, e, em concordância com a cultivar Atlantic, ambas cultivadas em Unaí MG, neste experimento não houve relação direta entre melhores IBN's e maiores produtividades.

Comparando os IBN's e os índices de limitação e excesso das populações que receberam  $600 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{P}_2\text{O}_5$  (melhor produtividade e médio IBN) e  $900 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{P}_2\text{O}_5$  (melhor IBN e média produtividade), observou-se que os principais fatores de diferença foram o maior excesso de Mg e o excesso de B presente na dose de  $600 \text{ ha}^{-1}$  de  $\text{P}_2\text{O}_5$ , ainda que apresentasse ligeira limitação de N.





Essa é uma possível justificativa para a interação entre o que houve de limitação e excesso de uma população e outra cultivadas em um mesmo local e com o mesmo manejo. De fato, ainda que não seja este o fator determinante para o resultado do balanço nutriente/produktividade, o método possibilita levantar hipóteses a respeito das relações entre os nutrientes, ajudando a compreender melhor em quais deles poderia ser interessante investir em cultivos subsequentes. Isso permite propor mudanças no manejo nutricional e assim, promover novas descobertas e decisões que permitam entender e evoluir no conhecimento do sistema nutriente-solo-planta.

Observou-se que em cada experimento tanto as interações, quanto os vários aspectos em que as plantas estão inseridas, alteram a dinâmica entre os nutrientes, podendo gerar resultados surpreendentes e úteis para manejos a longo prazo. Além disso, ferramentas como o DRIS podem auxiliar e trazer benefícios à tecnologia de fertilizantes e à ciência do solo.

De acordo com Scucuglia e Creste (2014), o DRIS pode ser um meio eficiente e barato para generalizar concentrações ótimas de nutrientes mesmo em bancos de dados e populações pequenas. Para manejos futuros, a ordem de grandeza dos índices orientará a escolha dos nutrientes que precisam ser reajustados, visando o aumento da produção (TERRA *et. al.*, 2003).

No grupo de baixa produtividade o Mg foi o nutriente mais limitante em locais de ausência de fertilizante nitrogenado e  $30 \text{ kg ha}^{-1}$  de N (Tabela 11).

O N aumentou e favoreceu a absorção de Mg, indicando que N e Mg foram sinérgicos. Também o P e o Mg demonstraram efeito positivo. Estes nutrientes estão relacionados à formação de energia e à formação da molécula de clorofila (TAIZ; ZEIGUER, 2013), sendo a relação entre eles favorável ao aparato fotossintético vegetal.

O Mg é um importante contribuinte para a saúde das plantas, uma vez que se relaciona com mecanismo específico de defesa contra as doenças, especialmente em doenças bacterianas. Dessa forma, a gestão da nutrição vegetal tendo o Mg em equilíbrio com outros minerais é uma ferramenta importante para o controle de doenças (HUBER; JONES, 2013).

Com relação aos micronutrientes, o B foi o mais limitante tanto no grupo de alta quanto de baixa produtividade nas aplicações de  $200$  e  $110 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{K}_2\text{O}$  e ausência de adubo fosfatado, respectivamente. No grupo de baixa produtividade não houve limitação quanto ao Zn (Tabela 11).

As cultivares de batata apresentaram particularidades quanto à eficiência de conversão fotossintética e necessidade de insumos. Além disso, a época de plantio, o tipo de solo, o macro e microclima influenciaram o metabolismo das plantas. Todos estes fatores em interação determinaram respostas distintas quanto à produtividade das populações.

Considerando a produtividade de corte e a divisão entre as populações de alta e baixa produtividade do presente estudo (35 t ha<sup>-1</sup> para Atlantic em Unai, 44 t ha<sup>-1</sup> para Ágata em Unai e 53 t ha<sup>-1</sup> para Ágata em Mucugê-BA), observou-se 17% de eficiência em produtividade da cultivar Ágata na chapada diamantina comparada a Unai-MG e 20,5% de eficiência produtiva de Ágata comparada a Atlantic em Unai-MG.

De acordo com a Tabela 12, pode-se estabelecer as ordens de insuficiência nas áreas de alta e baixa produtividade, as quais apresentaram, respectivamente, em **Ágata-Unai-MG**, a seguinte ordem: Cu > P > B > Ca > Fe > Mn > N > Zn > Mg > K > S e P > Ca > Cu > B > Fe > Mg > N = K = S = Mn = Zn; **em Atlantic- Unai-MG**: Mg > K > N > Fe > Cu > B > S > P > Mn > Ca > Zn e P > B > Mg > Cu > N > S > Mn > Fe > Ca > Zn > K e **em Ágata- Mucugê-BA**: Mg > Ca > B > S > Cu > N > Fe > Zn > P > Mn > K e B > Cu > Mg > Fe > P > N > Mn > Ca > K > S > Zn.

TABELA 12. Índice de insuficiência de macro e micronutrientes em lavouras de alta e baixa produtividade de tubérculos de batata cultivar Ágata em Unai-MG; Atlantic em Unai-MG e Ágata em Mucugê-BA, Uberlândia- MG, 2017.

Ágata-Unai-MG				Atlantic-Unai-MG				Ágata- Mucugê-BA			
Alta produtividade		Baixa produtividade		Alta produtividade		Baixa produtividade		Alta produtividade		Baixa produtividade	
Cu	-9,95	P	-32,42	Mg	-10,20	P	-22,00	Mg	-17,62	B	-17,35
P	-8,30	Ca	-15,24	K	-9,51	B	-20,06	Ca	-12,15	Cu	-13,99
B	-7,20	Cu	-10,14	N	-7,59	Mg	-16,73	B	-7,96	Mg	-13,75
Ca	-6,84	B	-5,62	Fe	-7,31	Cu	-14,42	S	-7,72	Fe	-10,85
Fe	-5,88	Fe	-4,07	Cu	-7,20	N	-11,68	Cu	-6,46	P	-9,72
Mn	-5,76	Mg	-3,48	B	-6,77	S	-11,34	N	-6,17	N	-7,55
N	-5,30	N	0,00	S	-5,13	Mn	-10,63	Fe	-5,56	Mn	-7,04
Zn	-4,78	K	0,00	P	-4,85	Fe	-9,67	Zn	-5,11	Ca	-6,90
Mg	-4,56	S	0,00	Mn	-4,67	Ca	-5,12	P	-4,67	K	-6,35
K	-3,40	Mn	0,00	Ca	-3,91	Zn	-1,46	Mn	-3,57	S	-1,52
S	-3,09	Zn	0,00	Zn	-2,57	K	0,00	K	-2,05	Zn	0,00

A absorção e a utilização de nutrientes são processos complexos, nos quais todos os nutrientes interagem e se conectam durante todo o processo de desenvolvimento da

planta em uma série de reações químicas. A estequiometria entre os nutrientes envolvidos também está sendo estudada e gera informações importantes para explicar a absorção e a distribuição de nutrientes nas plantas (WANG *et. al.*, 2014).

Apesar das várias descobertas promovidas pelo estudo, ainda há uma infinidade de detalhes que precisam ser elucidados para o entendimento completo da dinâmica de absorção e translocação de um elemento essencial dentro do vegetal. Todas essas informações permitem aumentar a eficiência de uso dos nutrientes e melhorar a produtividade das plantas de acordo com o nível econômico e climático (NIEVES-CORDONES *et. al.*, 2014).

#### 4 CONCLUSÕES

As cultivares de batata Ágata e Atlantic responderam de forma similar quanto à influência positiva do K.

Ágata apresenta melhor balanço nutricional junto à adubação com P em Mucugê-MG, ao passo que a adubação com K é mais decisiva para o balanço entre os nutrientes em plantas cultivadas em Unaí-MG. Nestes experimentos, as diferenças significativas estão relacionadas à textura do solo e à quantidade de nutrientes estocada no solo destes locais, os quais apresentam efeito de concentração e dinâmica de nutrientes diferente.

Esses resultados enfatizam a extrema necessidade de se considerar os aspectos do solo e a capacidade de absorção e translocação de nutrientes pela cultura antes de se investir em doses de fertilizantes, uma vez que o manejo deve ser orientado a evitar desperdícios e aumentar a receita geral.

#### REFERÊNCIAS

ANJOS, D.C.; HERNANDEZ, F.F.F.; COSTA, J.M.C.; CABALLERO, S.S.U.; MOREIRA, V.O.G. Fertilidade do solo, crescimento e qualidade de frutos do mamoeiro Tainung sob fertirrigação com potássio. **Revista Ciência Agronômica**, v. 46, n. 4, p. 774-785, 2015.

BATAGLIA, O. C.; FURLANI, A. M. C.; TEIXEIRA, J. P. F.; FURLANI, P. R.; GALLO, J. R. Métodos de análise química de plantas. Campinas: Instituto Agronômico, 1983, 48p. (Boletim Técnico, 78).

BEAUFILS, E.R. Diagnosis and recommendation integrated system (DRIS): a general scheme for experimentation and calibration based on principles developed from research in plant nutrition. Pietermaritzburg: University of Natal, 1973. 132p. (Soil science bulletin, 1).

CAMACHO, M.A.; SILVEIRA, M.V.S.; CAMARGO, R.A. & NATALE, W. Faixas normais de nutrientes pelos métodos ChM, DRIS e CND e nível crítico pelo método de distribuição normal reduzida para laranjeira-pera. **R. Bras. Ci. Solo**, v.36, p.193-200, 2012.

CARNEVAL, N.H.S.; MARCHETTI, M.E.; VIEIRA, M.C.; CARNEVALI, T.O.; RAMOS, D.D. Eficiência nutricional de mudas de *Stryphnodendron polyphyllum* em função de nitrogênio e fósforo. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 26, n. 2, p. 449-461, 2016.

CFSEMG - Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais. Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais - 5ª aproximação. Viçosa, 1999. 359p.

CHEN, P-Y; LEE, Y-I.; CHEN, B-C.; JUANG, K-W. Effects of calcium on rhizotoxicity and the accumulation and translocation of copper by grapevines. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 73, p. 375- 382, 2013.

CHOUHDARY, A.K.; RAHI, S.; SINGH, A.D.; YADAV, S. Effect of vermicompost and biofertilizers on productivity and profitability in potato in North-Western Himalayas. **Curr. Adv. Agric. Sci.**, v.2, p. 18–21, 2010.

DIAS, J.R.M.; WADT, P.G.S.; TUCCI, C.A.F.; SANTOS, J.Z.L.; SILVA, S.V. Normas DRIS multivariadas para avaliação do estado nutricional de laranjeira 'Pera' no estado do Amazonas. **Revista Ciência Agronômica**, v. 44, n. 2, p. 251-259, 2013.

EMBRAPA, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 3 ed. Brasília, (DF): Embrapa, 2013, 353 p.

FAQUIN, V. Diagnose do estado nutricional das plantas. 2002. 77 f. Curso de Pós-Graduação; "Lato Sensu" à distância. (Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas no Agronegócio) - Fundação de Apoio ao Ensino, Pesquisa e Extensão, Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2002.

FREIBERGER, M.B. GUERRINI, I.A.; GALETTI, G.; FERNANDES, D.M.; CORRÊA, G.C. Crescimento inicial e nutrição de cedro (*cedrela fissilis* vell.) em função de doses de nitrogênio. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.37, n.3, p.385-392, 2013.

GOTT, R.M.; AQUINO, L.A.; CARVALHO, A.M.X.; SANTOS, L.P.D.; NUNES, P.H.M.P.; COELHO, B.S. Índices diagnósticos para interpretação de análise foliar do milho. **R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental**, v.18, n.11, p.1110–1115, 2014.

GOPALASUNDARAM, P.; BHASKARAN, A.; RAKKIYAPPAN, P. Integrated Nutrient Management in Sugarcane. **Sugar Tech**, v. 14, n.1, p.3–20, 2012.

GUPTA, U.; SOLANKI, H. Impact of boron deficiency on plant growth. **Int. J. Bioassays**, v.2, n.7, p.1048-1050, 2013.

GRZEBISZ, W. Crop response to magnesium fertilization as affected by nitrogen supply. **Plant Soil**, v. 368, p.23–39, 2013.

HEMMATI, A.A.; MANSOORI, B. Sufficient application of NPK fertilizers: A practical and efficient strategy in the management of *Verticillium* wilt of potato var. **J. Crop Prot.**, v.5, n.3, p. 343-348, 2016.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística IBGE. Estatística da Produção Agrícola. 72 p. 2016. Acesso em: [ftp://ftp.ibge.gov.br/Producao\\_Agricola/Fasciculo\\_Indicadores\\_IBGE/estProdAgr\\_201601.pdf](ftp://ftp.ibge.gov.br/Producao_Agricola/Fasciculo_Indicadores_IBGE/estProdAgr_201601.pdf)

KUAI, J.; SUN, Y.; ZHOU, M.; ZHANG, P.; ZUO, Q.; WU, J.; ZHOU, G. The effect of nitrogen application and planting density on the radiation use efficiency and the stem lignin metabolism in rapeseed (*Brassica napus* L.). **Field Crops Research**, v. 199, p. 89–98, 2016.

LANA, R.M.Q.; OLIVEIRA, S.A.; LANA, A.M.Q.; FARIA, M.V. Levantamento do estado nutricional de plantas de *Coffea arabica* L. pelo DRIS, na região do alto paranaíba – Minas Gerais. **R. Bras. Ci. Solo**, v.34, p.147-1156, 2010.

LUTALADIO, N.; CASTALDI, L. Potato: The hidden treasure. **Journal of Food Composition and Analysis**, v.22, p. 491–493, 2009.

MAITY, A.; SHARMA, J.; SARKAR, A.; MORE, A.K.; PAL, R.K. Nutrient imbalance indices are closely related with susceptibility of pomegranate to bacterial blight disease. **Scientia Horticulturae**, v. 211, p. 79–86, 2016.

MALAVOLTA, E. Manual de nutrição mineral de plantas. São Paulo: Editora Agronômica Ceres, 2006. 638 p.

MATOS, A. T. de; GARIGLIO, H. A. de A.; LO MONACO, P. A. V. Deslocamento miscível de cátions provenientes da vinhaça em colunas de solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, n. 7, p. 743-749, 2013.

MARSCHNER, P. Marschner's mineral nutrition of higher plants. 3. Ed. Londres, Academic Press, 2012. p.651.

NACHTIGALL, G.R.; NOGUEIROL, R.C.; ALLEONI, L.R.F. Formas de cobre em solos de vinhedos em função do pH e da adição de cama-de-frango. **Pesq. agropec. bras.**, Brasília, v.42, n.3, p.427-434, 2007.

NIEVES-CORDONES, M.; ALEMÁN, F.; MARTÍNEZ, V.; RUBIO, F. K<sup>+</sup> up take in plant roots. The systems involved their regulation and parallels in other organisms. **Journal of Plant Physiology**, v. 171, p. 688–695, 2014.

PARTELLI, F.L.; DIAS, J.R.M.; VIEIRA, H.D.; WADT, P.G.S.; PAIVA JÚNIOR, E. Avaliação nutricional de feijoeiro irrigado pelos métodos cnd, dris e faixas de suficiência. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 38, p.858-866, 2014.

QUEIROZ, A.A.; LUZ, J.M.Q.; OLIVEIRA, R.C.; FIGUEIREDO, F.C. Produtividade e estabelecimento de índices DRIS para tubérculos de batata cultivar Ágata1. **Rev. Ciênc. Agron.**, v.45, n.2, 2014.

RAMAKRISHNA, A.; BAILEY, J.S.; KIRCHHOF, G. A preliminary diagnosis and recommendation integrated system (DRIS) model for diagnosing the nutrient status of sweet potato (*Ipomoea batatas*). **Plant Soil**, v. 316, p.107–116, 2009.

SANTOS, E.F.; DONHA, R.M.A.; ARAÚJO, C.M.M.; LAVRES JUNIOR, J.; CAMACHO, M.A. Faixas normais de nutrientes em cana-de-açúcar pelos métodos CHM, DRIS e CND e nível crítico pela distribuição normal reduzida. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 37, p. 1651-1658, 2013.

SHAH, S.A; MOHAMMAD, W.; SHAHZADI, S.; ELAHI, R.; ALI, A.; BASIR, A.; HAROON, A. The effect of foliar application of urea, humic acid and micronutrients on potato crop. **Iran Agricultural Research**, v. 35, n.1, p. 89-94, 2016.

SOUZA, H.A.; ROZANE, D.E.; AMORIM, D.A.; NATALE, W. Normas preliminares dris e faixas de Suficiência para goiabeira ‘Paluma’. **Rev. Bras. Frutic.**, Jaboticabal - SP, v. 35, n. 1, p. 282-291, 2013.

TAIZ L, Zeiger E (2013). Assimilação de Nutrientes. In: Taiz, L.; Zeiger, E. *Fisiologia Vegetal*. Porto Alegre: Artmed P. 918.

UMAR, I.A.; YUSUF, M.A.; AHMED, M.; M.U.; MOHAMMED, ADAMU, G.K. Soil NPK requirements for Irish Potatoes Under Fadama Irrigation Management in Rugu Rugu Tudun Wada Local Government Area of Kano State, Nigeria. **International Journal of Agricultural and Environmental Sciences**, v.1, n.1, p. 1-7, 2016.

XU, S.J.; FAN, X-Y.; WANG, L-L.; ZHANG, X-F.; AN, L-Z. The patterns of nitrogen and phosphorus stoichiometry across communities along altitudinal gradients in Qilian Mountains, China. **Biochemical Systematics and Ecology**, v. 62 p.58-65, 2015.

WADT, P.G.S.; DIAS, J.R.M.; PEREZ, D.V. & LEMOS, C.O. Interpretação de índices DRIS para a cultura do cupuaçu. **R. Bras. Ci. Solo**, v.36, p.125-135, 2012.

WANG, Z.; LU, J.; YANG, H.; ZHANG, X.; LUO, C.; ZHAO, Y. Resorption of nitrogen, phosphorus and potassium from leaves of lucerne stands of different ages. **Plant Soil**, v. 383, p.301–312, 2014.

WIMMER, M.A.; EICHERT, T. Review: Mechanisms for boron deficiency-mediated changes in plant water relations. **Plant Science**, v. 203– 204, p.25– 32, 2013.