

LUIZ OTÁVIO DUARTE SILVA

**INFLUÊNCIA DE DOSES E MODOS DE APLICAÇÃO DE FÓSFORO E
DETERMINAÇÃO DA CURVA DE ACÚMULO DE NUTRIENTES NA
CULTURA DO REPOLHO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa – *Campus* Rio Paranaíba, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia – Produção Vegetal, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

RIO PARANAÍBA
MINAS GERAIS - BRASIL
2016

**Ficha catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e
Classificação da Biblioteca UFV - Campus de Rio Paranaíba**

S586i

Silva, Luiz Otávio Duarte, 1991-

Influência de doses e modos de aplicação de fósforo e determinação da curva de acúmulo de nutrientes na cultura do repolho. / Luiz Otávio Duarte Silva – Rio Paranaíba, MG, 2016. 41 p.; 29cm.


Orientador: Dr. Leonardo Angelo de Aquino.

Coorientadores: Dra. Maria Elisa de Sena Fernandes; Dr. Marcelo Rodrigues dos Reis.

Dissertação (Mestrado em Agronomia-Produção Vegetal) - Universidade Federal de Viçosa.

1. Aplicação localizada de P. 2. *Brassica oleracea* var.
3. *Capitata*, extração de nutrientes. I. Universidade Federal de Viçosa. II. Título.

CDD 22. ed. 635


Cristlene Silva de Sousa
Bibliotecária/Documentalista
Crb6 2539 - Matr. 11590-8
UFV

LUIZ OTÁVIO DUARTE SILVA

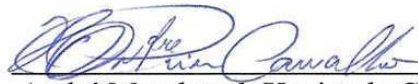
**INFLUÊNCIA DE DOSES E MODOS DE APLICAÇÃO DE FÓSFORO E
DETERMINAÇÃO DA CURVA DE ACÚMULO DE NUTRIENTES NA
CULTURA DO REPOLHO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa – *Campus* Rio Paranaíba, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia – Produção Vegetal, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.


APROVADA: 16 de fevereiro de 2016.



Arthur Bernardes Cecílio Filho



André Mundstock Xavier de Carvalho



Leonardo Angelo de Aquino
(Orientador)

Aos meus queridos pais, José e Eri;

Ao meu irmão, Luiz Carlos.

Dedico.

AGRADECIMENTOS

A Deus por me conceder o dom da vida, saúde, determinação, felicidade, discernimento, paciência, amparo nas decisões e momentos difíceis e por sempre iluminar meus caminhos. À Nossa Senhora Aparecida por me conceder paz quando precisei.

Aos meus pais, José e Erli, pelo amor, carinho, confiança, exemplo e apoio constante, fazendo com que meus estudos fossem a sua prioridade.

Ao meu irmão, Luiz Carlos, pelo apoio e companheirismo, além da importante ajuda na realização deste trabalho.

Aos meus amigos e à toda minha família (em especial meu primo Lucas) pelo incentivo e compreensão, principalmente pelas ocasiões em que não pude estar presente.

À Universidade Federal de Viçosa – *Campus* Rio Paranaíba (UFV-CRP) e ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Produção Vegetal), pela oportunidade de realização do curso de Mestrado e pela contribuição à minha formação acadêmica.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do estado de Minas Gerais (FAPEMIG) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo auxílio financeiro.

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

Ao Prof. Leonardo pela orientação, amizade, confiança, paciência, conselhos e por me despertar um novo olhar profissional.

Ao Prof. André Mundstock pela disponibilidade em participar da banca examinadora de defesa. À Prof^a. Fabrícia Mendes e ao Prof. Willian Macedo pelo auxílio em análises.

Ao Prof. Arthur pela disponibilidade em participar da banca examinadora de defesa. Ao Prof. Roberto Novais pelas correções E aconselhamentos.

Ao Thiago Picinatti (diretor técnico), Marco Aurélio e Vitor (encarregados de produção) do grupo agrícola HF Fênix pela amizade e apoio durante a realização dos experimentos. Agradeço também ao Índio Sobral e aos demais colaboradores do grupo que ajudaram na implantação e na colheita dos experimentos.

À Junia Clemente pela amizade, orientações, ensinamentos e ajuda constante em tudo que precisei.

Ao Ilídio Caixeta pelo companheirismo, troca de ideias e pela inestimável ajuda durante os experimentos. Ao Felipe Augusto e Marcelo Senoski, pela amizade e ajuda.

Ao Luiz Paulo Dornelas pela amizade, companheirismo e ajuda.

Aos integrantes do grupo de pesquisa Soluções Inteligentes em Nutrição de Plantas (SINP) (Maria Elisa, Paulo Otávio, Guilherme Anthony, Vitor Pimenta, Luiz Dianin e Priscila Aquino) pela amizade e ajuda.

Ao Lucas do trator e ao Bruno Rocha, Paulo Henrique e Danilo pela ajuda durante as pulverizações dos experimentos.

Aos motoristas da UFV-CRP, Sebastião e Célio, e ao Hélber do setor de transportes da UFV-CRP pela colaboração.

Aos técnicos de laboratório da UFV-CRP e às secretárias do Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Produção Vegetal) pelo auxílio.

À Flávia Alves pela amizade, companheirismo e por um conselho que mudou toda a minha trajetória dentro do curso de mestrado.

À Amanda Bontempo e Gabriella Carneiro pela amizade, conselhos, companheirismo e ajuda profissional mútua.

Aos colegas de mestrado pela amizade e troca de experiências e de conhecimentos.

Ao Prof. Luís César pela amizade e auxílio com a bolsa de monitoria nível II.

A todos que, direta ou indiretamente, tiveram a boa vontade de contribuir para a realização deste trabalho.

Meus sinceros agradecimentos!

BIOGRAFIA

LUIZ OTÁVIO DUARTE SILVA, filho de José Lopes da Silva e Erli Aparecida Duarte Silva, nasceu no dia 02 de abril de 1991 na cidade de São Gotardo-MG.

Iniciou sua jornada escolar na Escola Municipal “Quilombo do Ambrósio” na zona rural do município de Ibiá-MG em 1997 e concluiu o ensino médio na Escola Estadual “Coronel Oscar Prados” em São Gotardo-MG no ano de 2008. Ingressou no curso de Agronomia da Universidade Federal de Viçosa – *Campus* de Rio Paranaíba (UFV-CRP) em março de 2009. Desde o segundo período da graduação desenvolveu atividades de pesquisa, com participação no Grupo de Estudos em Manejo do Solo, no Grupo de Manejo Integrado de Pragas e no Grupo de Estudos e Pesquisas em Plantas Forrageiras (GEPFOR). Foi bolsista de iniciação científica por duas vezes: em 2011 pela Fapemig, com o projeto “Desenvolvimento de um plano de amostragem para *Liriomyza trifolii* (Burgess) (Diptera: Agromyzidae) na batateira (*Solanum tuberosum*)”, e de 2012 a 2014 pela Indústria de Rações Patense Ltda, com o projeto “Irrigação de pastagem por aspersão em malha com aplicação de água residuária de indústria”. Foi monitor nível I e II da disciplina AGR 382 – Hidráulica na Agricultura e realizou estágios técnicos por duas vezes nas regiões de São Gotardo-MG e de Lucas do Rio Verde-MT. Em março de 2014 graduou-se Engenheiro Agrônomo e iniciou o curso de Mestrado em Agronomia (Produção Vegetal) na área de nutrição de hortaliças, com submissão à defesa em 16 de fevereiro de 2016.

ÍNDICE

RESUMO	vii
ABSTRACT	ix
INTRODUÇÃO GERAL	1
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	2
CAPÍTULO I - INFLUÊNCIA DE DOSES E MODOS DE APLICAÇÃO DE FÓSFORO NA CULTURA DO REPOLHO	4
1. Resumo	4
2. Abstract.....	4
3. Introdução.....	5
4. Material e Métodos	6
5. Resultados e Discussão	10
6. Conclusões.....	17
7. Referências Bibliográficas.....	18
CAPÍTULO II - CURVA DE ACÚMULO DE MATÉRIA SECA E DE NUTRIENTES PELA CULTURA DO REPOLHO	21
1. Resumo	21
2. Abstract.....	21
3. Introdução.....	22
4. Material e Métodos	23
5. Resultados e Discussão	26
6. Conclusões.....	37
7. Referências Bibliográficas.....	38
CONCLUSÕES GERAIS	41

RESUMO

SILVA, Luiz Otávio Duarte, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, fevereiro de 2016. **Influência de doses e modos de aplicação de fósforo e determinação da curva de acúmulo de nutrientes na cultura do repolho.** Orientador: Leonardo Angelo de Aquino. Coorientadores: Maria Elisa de Sena Fernandes e Marcelo Rodrigues dos Reis.

O repolho é uma das principais hortaliças cultivadas no Brasil. Apesar disso, pesquisas sobre recomendações de fertilizantes para a cultura são escassas. Embora o fósforo (P) seja um dos nutrientes que as hortaliças mais respondem, a eficiência da adubação fosfatada nesse grupo de culturas é baixa em virtude dos fertilizantes fosfatados serem comumente aplicados em área total e incorporados no solo, o que agrava a fixação de P. Uma saída para esse problema é aplicação localizada de P, prática utilizada em cultivos extensivos e pouco estudada no caso das hortaliças. Outro aspecto importante da cultura do repolho é que as cultivares utilizadas atualmente têm alto potencial produtivo e podem apresentar diferenças na absorção e utilização de nutrientes, fato não considerado nas recomendações oficiais de fertilizantes e que tem contribuído para os agricultores aplicarem doses maiores que as recomendadas. Objetivou-se, com este trabalho, avaliar a produtividade do repolho e a eficiência da adubação fosfatada na cultura em função de doses e modos de aplicação de P no solo e determinar as curvas de acúmulo de matéria seca (MS) e de nutrientes (N, P, K, Ca, Mg, S, Cu, Fe, Mn e Zn) por cultivares de repolho em duas épocas de cultivo. Com relação ao P foram conduzidos experimentos em dois locais de cultivo (solo de menor disponibilidade de P e outro de maior disponibilidade, ambos de textura muito argilosa). Em cada local foram instalados dois experimentos: um com aplicação a lanço de P, nas doses de 0, 200, 400, 800 e 1600 kg ha⁻¹ de P₂O₅, e outro com aplicação localizada do fertilizante fosfatado, nas doses de 0, 80, 160, 320 e 640 kg ha⁻¹ de P₂O₅, combinadas ou não com fosfatagem (aplicação a lanço de 200 kg ha⁻¹ de P₂O₅). Em áreas de cultivo comerciais determinaram-se as curvas de acúmulo de MS e nutrientes, com a utilização das cultivares ‘Astrus Plus’ e ‘Green Valley’, no verão-outono, e ‘Astrus Plus’ e ‘Fênix’, no outono-inverno. Após o transplante, as plantas foram amostradas em intervalos de 10 dias até a colheita. A aplicação localizada de P é mais eficiente que a aplicação a lanço no fornecimento do nutriente e para a produtividade do repolho. O acúmulo de matéria seca e de nutrientes é variável em função da época de cultivo e da cultivar, com a ocorrência das maiores taxas de acúmulo nos 10 últimos dias do ciclo. N, P, K, Fe e Zn foram particionados preferencialmente para as folhas internas (cabeça) e atenção

especial deve ser dada à reposição desses nutrientes via adubação para evitar empobrecimento do solo com colheitas sucessivas.

ABSTRACT

SILVA, Luiz Otávio Duarte, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, february of 2016. **Influence of doses and application methods of phosphorus and determination of accumulation curve of nutrients for cabbage crop.** Adviser: Leonardo Angelo de Aquino. Co-advisers: Maria Elisa de Sena Fernandes and Marcelo Rodrigues dos Reis.

Cabbage is one of the main vegetable cultivated in Brazil. Nevertheless, researches about fertilizer recommendations for the crop are scarce. Vegetables are very responsive to Phosphorus (P) fertilization; however its efficiency in this crop group is low, once phosphate fertilizers are commonly applied in total area and incorporated into the soil, which increases its fixation. The furrow application of P may be a solution for this problem, which is a practice used for the extensive crops, but it's little studied for vegetables. Another important aspect of cabbage crop is that the cultivars currently used present high yield potential and may differ regarding nutrients absorption and utilization, which was not considered in the official fertilizer recommendations and has made farmers apply over doses. This study aimed to determine the yield of cabbage and the efficiency of phosphate fertilization based on doses and application methods in the soil and determine accumulation curves of dry matter (DM) and nutrients (N, P, K, Ca, Mg, S, Cu, Fe, Mn, and Zn) for cabbage cultivars during two occasions. Regarding P, it was conducted in two cultivation areas (one of them with lower availability of P and another one with higher availability, both presenting clay texture). In each location two experiments were performed: one with P broadcasting, using doses of 0, 200, 400, 800 and 1600 kg ha⁻¹ of P₂O₅, and another one using furrow application, at the doses of 0, 80, 160, 320 e 640 kg ha⁻¹ de P₂O₅, combined or not with phosphating (application of 200 kg ha⁻¹ of P₂O₅ by broadcasting). It was determined the DM and nutrients accumulation curves for the cultivars 'Astrus Plus' and 'Green Valley' during summer, and 'Astrus Plus' and 'Fenix' during winter. It was determined the accumulation curves of DM and nutrients for the cultivars 'Astrus Plus' and 'Green Valley' (summer-autumn), and 'Astrus Plus' and 'Fenix' (autumn-winter). After transplant, the plants were sampled in each 10 days until harvest. P application is more efficient than broadcasting application in order to supply nutrient and increase its productivity. Nutrients and dry matter accumulation is variable with cultivation time and cultivar, with higher accumulation rates in the 10 last days of the cycle. N, P, K, Fe and Zn were partitioned primarily to the inner leaves (head) and a special attention should be given to

the replacement of these nutrients via fertilization in order to avoid impoverishment of the soil due to over-harvesting.

INTRODUÇÃO GERAL

O repolho é a principal espécie comercial da família *Brassicaceae* e uma das principais hortaliças cultivadas no Brasil (Anuário Brasileiro de Hortaliças, 2015). Isso se deve ao seu elevado valor nutricional (Correa et al., 2013) e à adaptação dos híbridos às diversas condições climáticas (Filgueira, 2008). Além disso, por ser menos sensível na pós-colheita em comparação com outras hortaliças folhosas, como a alface, o cultivo do repolho tem crescido no Brasil. Isso se deve sobretudo ao aumento do cultivo por grandes produtores nos últimos anos, em especial na Região Integrada de Desenvolvimento do Distrito Federal e seu entorno no estado de Goiás, no Alto Paranaíba-MG e na Chapada Diamantina-BA. Nessas regiões destaca-se o alto nível tecnológico empregado pelos agricultores, com a utilização de cultivares híbridas, maior população de plantas e maior uso de insumos, o que proporciona produtividades que alcançam mais de 100 Mg ha⁻¹.

O fósforo (P) é um dos nutrientes que as hortaliças mais respondem (Filgueira, 2008). No caso do repolho, o P proporciona incremento no crescimento vegetativo e na produtividade (Avalhães et al., 2009). Por essa razão, os agricultores têm utilizado altas doses de fertilizantes fosfatados. Em lavouras de alta produtividade, o P tem sido aplicado em dose única no transplante das mudas a lanço e incorporado, em doses que variam de 600 a 900 kg ha⁻¹ de P₂O₅. Entretanto, esse modo de aplicação tende a reduzir a eficiência da adubação fosfatada (Sousa et al., 2010), em função do aumento do contato do P com os colóides do solo, o que aumenta a fixação do nutriente e reduz a recuperação pela planta. Uma saída para esse problema é a aplicação localizada de P, prática utilizada em cultivos extensivos (Büll et al., 2004) e ainda pouco estudada no caso das hortaliças, o que está relacionado à conveniência da aplicação a lanço e também à falta de implementos que possibilitem a aplicação localizada de fertilizantes nesse grupo de culturas. Na cultura do alho, Büll et al. (2004) verificaram que em solo argiloso a produção de bulbos foi influenciada pela localização do fertilizante fosfatado. Em trabalho com a cultura da cebola, Sharangi & Sahu (2009) verificaram que a aplicação do fertilizante fosfatado a 5,0 cm de distância da linha de plantio proporcionou produtividades maiores e com o uso de doses menores quando comparada à distância de 7,5 cm.

Na cultura do repolho, além da questão relacionada à aplicação do P, as doses de nutrientes praticadas pelos agricultores têm sido maiores que as recomendadas pela literatura. Uma das razões para isso é que as recomendações oficiais de fertilizantes

contidas em publicações como o “Boletim 100” (RAIJ et al., 1997) e a “5ª Aproximação” (CFSEMG, 1999) apresentam limitações, como o potencial produtivo almejado baixo, não consideram a variação da demanda com a produtividade de forma contínua e não consideram diferenças que podem existir entre cultivares e entre épocas de cultivo para uma mesma cultivar.

Para melhoria na eficiência de aplicação dos nutrientes é importante sincronizar a demanda da planta com o suprimento dos mesmos durante o ciclo da cultura (Moreira et al., 2011). Para tal, as curvas de acúmulo de nutrientes podem ser uma importante ferramenta a ser utilizada e são básicas para otimizar a produção e reduzir os impactos ambientais causados pelo excesso de fertilizantes (Cortez et al., 2013).

Curvas de acúmulo de nutrientes podem ser utilizadas conjuntamente com a capacidade de troca catiônica para definir a necessidade de parcelamento de nutrientes, em especial para aqueles exigidos em maior quantidade e móveis no solo. Além do parcelamento, as curvas de acúmulo permitem conhecer a partição de nutrientes na planta entre as partes comercial (cabeça do repolho) e não comercial. A proporção de nutrientes na parte comercial, também conhecido como índice de colheita, é informação importante para o manejo racional dos nutrientes. Nutrientes com alto índice de colheita, em especial para os demandados em maiores quantidades, necessitam de maior atenção para evitar o empobrecimento do solo ao longo de colheitas sucessivas.

Dessa forma, objetivou-se com este trabalho determinar a influência de doses e modos de aplicação do P sobre as características agronômicas do repolho e obter a curva de acúmulo de nutrientes em condições de alta produtividade.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Anuário Brasileiro de Hortaliças.** Santa Cruz do Sul: Editora Gazeta Santa Cruz, 68 p., 2015.
- AVALHÃES, C. C.; PRADO, R. M.; ROMUALDO, L. M.; ROZANE, D. E.; CORREIA, M. A. R. Omissão de macronutrientes no crescimento e no estado nutricional de plantas de repolho cultivado em solução nutritiva. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 25, n. 5, p. 21-28, 2009.
- BÜLL, L. T., COSTA, M. C. G., NOVELLO, A., FERNANDES, D. M., BÔAS, V., & LYRA, R. Doses and forms of application of phosphorus in vernalized garlic. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 61, n. 5, p. 516-521, 2004.

- CITAK, S.; SÖNMEZ, S. Influence of organic and conventional growing conditions on the nutrient contents of white head cabbage (*Brassica oleracea* var. *capitata*) during two successive seasons. **Journal of agricultural and food chemistry**, v. 58, n. 3, p. 1788-1793, 2010.
- COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais**. 5. ed. Lavras, 1999. 359 p.
- CORREA, C. V.; CARDOSO, A. I. I.; CLAUDIO, M. D. T. R. Produção de repolho em função de doses e fontes de potássio em cobertura. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 34, n. 5, p. 2129-2138, 2013.
- CORTEZ, J. W. M.; CECÍLIO-FILHO, A. B.; ROSA, M. O.; NASCIMENTO, C. S. Growth of Potato Plants of the ‘Asterix’ Cultivar and Accumulation of Nutrients. **Journal of Agricultural Science**, v. 5, n. 7, p. p217, 2013.
- FILGUEIRA, F. A. R. Novo Manual de Olericultura: agrotecnologia moderna na produção de hortaliças. 3 ed. Viçosa: UFV. 421 p, 2008.
- MOREIRA, M. A.; VIDIGAL, S. M.; SEDIYAMA, M. A. N. & SANTOS, M. Crescimento e produção de repolho em função de doses de nitrogênio. **Horticultura Brasileira**, v. 29, n. 1, p. 117-121, 2011.
- RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. & FURLANI, A.M.C. **Recomendações de adubação e calagem para o estado de São Paulo**. 2.ed. Campinas, Instituto Agronômico de Campinas, 1996. p.60-61. (Boletim Técnico 100)
- SHARANGI, A. B.; SAHU, P. K. Effect of placement and dose of phosphatic fertilizers on onion. **Journal of plant nutrition**, v. 32, n. 11, p. 1901-1913, 2009.
- SOUSA, D. M. G.; REIN, T. A.; GOEDERT, W. J.; LOBATO, E.; NUNES, R. S. **Fósforo**. In: PROCHNOW, L. I.; CASARIN, V.; STIPP, S. R. Boas práticas para uso eficiente de fertilizantes: nutrientes. Piracicaba: International Plant Nutrition Institute, v. 2, p. 67- 132, 2010.

CAPÍTULO I

INFLUÊNCIA DE DOSES E MODOS DE APLICAÇÃO DE FÓSFORO NA CULTURA DO REPOLHO

1. Resumo

A eficiência da adubação fosfatada pode ser reduzida pela incorporação do fertilizante fosfatado ao solo com enxada rotativa, método que é comumente adotado no cultivo de hortaliças. Objetivou-se, com este trabalho, avaliar a produtividade do repolho e a eficiência da adubação fosfatada na cultura em função de doses e modos de aplicação de P no solo. Foram conduzidos quatro experimentos (dois com aplicação a lanço e dois com aplicação localizada do fertilizante fosfatado), em dois locais de cultivo (solo de menor disponibilidade de P e outro de maior disponibilidade, ambos de textura muito argilosa). No experimento com aplicação de P a lanço, foram testadas as doses de 0, 200, 400, 800 e 1600 kg ha⁻¹ de P₂O₅. No experimento com aplicação localizada de P foram testadas as doses de 0, 80, 160, 320 e 640 kg ha⁻¹ de P₂O₅ combinadas com a presença ou ausência de fosfatagem (aplicação a lanço de 200 kg ha⁻¹ de P₂O₅). A aplicação localizada de P é mais eficiente que a aplicação a lanço no fornecimento do nutriente e para a produtividade do repolho.

Palavras-chave: aplicação localizada de P, *Brassica oleracea* var. *capitata*, eficiência de recuperação, resposta de hortaliças a P

2. Abstract

Influence of doses and application methods of phosphorus in cabbage crop

The efficiency of phosphate fertilization may be reduced by incorporating fertilizers to the soil with rotary tiller, which is a method commonly adopted for vegetables cultivation. This study aimed to evaluate the yield of cabbage and the efficiency of phosphate fertilization based on doses and soil application methods. Four experiments were conducted (two using broadcasting application and two using furrow application) in two cultivations areas (one of them with lower availability of P and another one with higher availability, both presenting clay texture). The doses of 0, 200, 400, 800 and 1600 kg ha⁻¹ of P₂O₅ were applied by broadcasting, and the doses of 0, 80, 160, 320 and

640 kg ha⁻¹ of P₂O₅ were tested at furrow combined with the presence or absence of phosphating (application of 200 kg ha⁻¹ of P₂O₅ by broadcasting). Furrow application of P is more efficient than broadcasting application to supply nutrients and increase cabbage productivity.

Keywords: furrow application of P, *Brassica oleracea* var. *capitata*, recovery efficiency, vegetables response to P

3. Introdução

Embora o acúmulo de P pela planta seja baixo, elevadas doses de adubos fosfatados são aplicadas. Estas se devem em parte ao baixo teor natural de P na maioria dos solos brasileiros e à sua alta fixação pelos oxidróxidos de Fe e de Al, o que o torna indisponível para as plantas (Novais et al., 2007; Raij, 2011). Em culturas olerícolas a fixação de P é agravada pela modalidade de aplicação dos fertilizantes fosfatados, comumente em área total e seguida por incorporação no solo até 15 a 20 cm. Essa forma de aplicação aumenta o contato entre o nutriente e o solo e, por conseguinte, a fixação (Büll et al., 2004), o que diminui a eficiência da adubação fosfatada (Sousa et al., 2010).

Aumentar a eficiência nas adubações fosfatadas é importante para reduzir as grandes quantidades aplicadas de P no solo (Miyazawa et al., 2011) e os custos de produção, haja vista que o Brasil importa cerca de 50% dos fertilizantes fosfatados que utiliza (Saab & Paula, 2008). Além disso, para a produção dos fertilizantes fosfatados comercializados, destaca-se que o consumo de energia para a síntese é alto e as matérias-primas básicas vêm de fontes não renováveis.

Devido ao caráter fixador de P dos solos tropicais, a adequada disponibilidade para a planta é garantida por meio do aumento da dose ou redução do volume de solo adubado (localização) para a mesma quantidade adicionada (Büll et al., 2004). Para minimizar a eutrofização e o aumento do custo de produção, opta-se pela redução do volume de solo adubado (Sharangi & Sahu, 2009), que é mais eficiente que a aplicação em área total (fosfatagem), em especial para fontes mais solúveis de P (Franzini et al., 2009). Estas, em virtude da disponibilização rápida de P, têm seu uso justificado em culturas de ciclo mais curto (Chien et al., 2010).

Com isso, estudos que comparam a adubação fosfatada em área total e a localizada têm sido frequentes em culturas extensivas (Resende et al., 2006; Carneiro et al., 2008; Oliveira Júnior, 2008; Santos et al., 2008; Franzini et al., 2009; Nunes et al.,

2011; Barbosa et al., 2015). No entanto, apesar das altas doses de fertilizantes fosfatados aplicados nos cultivos de hortaliças, pouco tem sido estudado sobre o modo de aplicação do P nesses cultivos (Büll et al., 2004).

No repolho, a adubação fosfatada aumenta a produtividade, mesmo em solos ricos em P (Cecílio Filho et al., 2013). Embora esses autores tenham testado doses de até 720 kg ha^{-1} de P_2O_5 em solo com $\text{P}_{\text{resina}} = 93 \text{ mg dm}^{-3}$ de P, eles obtiveram produtividade máxima de $67,5 \text{ Mg ha}^{-1}$ na dose de 430 kg ha^{-1} de P_2O_5 . Entretanto, Deenik et al. (2006) testaram doses entre 0 e 198 kg ha^{-1} de P em solo com 351 mg dm^{-3} de P e verificaram que até a dose de 50 kg ha^{-1} de P as plantas de repolho responderam positivamente, com diminuição das respostas acima dessa dose. Dessa forma, os estudos com adubação fosfatada são controversos e há carência de informação para solos tropicais com baixa disponibilidade de P. Ademais, o repolho é capaz de mobilizar e absorver P do solo por mecanismos adicionais, como a exsudação do ácido orgânico citrato (Dechassa & Schenk, 2004), o que pode tornar menos expressiva a resposta ao P, comparativamente a outras hortaliças.

Em recomendações oficiais, a disponibilidade de P no solo é o principal critério para a determinação das doses de fertilizantes fosfatados a serem aplicadas, as quais são distintas entre as publicações disponíveis. As doses variam de 50 a 400 kg ha^{-1} de P_2O_5 na “5ª Aproximação” (Ribeiro et al., 1999) e de 200 a 600 kg ha^{-1} de P_2O_5 V no “Boletim Técnico 100” (Raj et al., 1997).

O modo de aplicação pode influenciar a dose recomendada de P para o repolho. Assim, objetivou-se com este trabalho avaliar a produtividade do repolho e a eficiência da adubação fosfatada na cultura em função de doses e modos de aplicação de P no solo.

4. Material e Métodos

Foram conduzidos quatro experimentos (dois com aplicação a lanço e dois com aplicação localizada do fertilizante fosfatado) em dois locais de cultivo (solo de menor disponibilidade de P – local A – e outro de maior disponibilidade – local B) no município de Rio Paranaíba-MG. Os experimentos foram instalados em 20/12/14 e 24/01/15 e colhidos em 06/03/15 e 17/04/15, nos locais A e B, respectivamente. Os solos das duas áreas são classificados como Latossolo Vermelho-Amarelo de textura muito argilosa, cujos atributos químicos são apresentados na Tabela 1. Os locais de cultivo estão a 1100 m de altitude e clima predominante Cwa, segundo a classificação

de Köppen-Geiger, que é caracterizado por uma estação seca e um período chuvoso bem definido que ocorre entre outubro e março.

Tabela 1. Análise química do solo, para a camada de 0-20 cm, nos locais de cultivo de menor (A) e de maior disponibilidade de fósforo (B). Rio Paranaíba-MG, 2014/2015

Local	pH	P-rem	P	K ⁺	S	Ca ⁺²	Mg ⁺²	Al ⁺³	H+Al	M. O.	V	m
	H ₂ O ¹	(mg L ⁻¹)	-(mg dm ⁻³)-			----- (cmol _c dm ⁻³) -----				g kg ⁻¹	--(%)--	
A	5,2	14,8	1,6	59	10	2,6	0,6	0,3	6,8	32	33	8,5
B	5,3	10,7	4,6	86	25	2,4	0,5	0,3	6,1	24	34	9,3

¹Relação 1:2,5; extrator Mehlich 1; extrator fosfato monocalcico em ácido acético; extrator KCl 1 mol L⁻¹; extrator acetato de cálcio 0,5 mol L⁻¹/pH 7,0

A cultivar de repolho utilizada foi a ‘Astrus Plus’, híbrido F1 que possui características como boa compacidade e cabeças com tamanho médio a grande, formato levemente achatado e massa que varia de 1,4 a 2,2 kg. Esta é a cultivar mais utilizada pelos agricultores da região do Alto Paranaíba-MG em função de poder ser cultivada durante o ano todo. As mudas foram produzidas em bandejas de isopor de 200 células, sob ambiente protegido, com o uso de substrato agrícola à base de fibra de coco e vermiculita.

No experimento com aplicação de P a lanço, foram testadas as doses de 0, 200, 400, 800 e 1600 kg ha⁻¹ de P₂O₅, no delineamento em blocos casualizados com quatro repetições. As parcelas foram compostas de cinco fileiras com 10 m de comprimento, em espaçamento de 40 cm entre fileiras e 35 cm entre plantas, totalizando-se 20 m². Foram consideradas úteis as três fileiras centrais, menos 1,5 m de cada extremidade.

No experimento com aplicação localizada de P foram testadas as doses de 0, 80, 160, 320 e 640 kg ha⁻¹ de P₂O₅ combinadas com a presença ou ausência de fosfatagem (aplicação a lanço de 200 kg ha⁻¹ de P₂O₅). Utilizou-se o delineamento em blocos casualizados, no esquema em parcelas subdivididas, em que a fosfatagem foi atribuída às parcelas e as doses de P às subparcelas, com quatro repetições. As subparcelas foram compostas de cinco fileiras com 10 m de comprimento, em espaçamento de 40 cm entre fileiras e 35 cm entre plantas, totalizando-se 20 m². Foram consideradas como úteis as três fileiras centrais, excetuando-se 1,5 m de cada extremidade.

No local de cultivo A (menor disponibilidade de P) foram aplicadas 1,5 Mg ha⁻¹ de calcário (PRNT 85%, 37% de CaO e 14% de MgO) e 0,7 Mg ha⁻¹ de gesso agrícola, e no local de cultivo B (maior disponibilidade de P), 1,6 Mg ha⁻¹ de calcário (PRNT

80%, 42% de CaO e 10,9% de MgO). O preparo do solo consistiu de uma subsolagem, duas gradagens e uma passada de enxada rotativa com marcação das covas. No caso de fosfatagem, a incorporação do fertilizante fosfatado foi realizada com a operação de enxada rotativa. No experimento com aplicação localizada de P, após operação com enxada rotativa, foram abertos os sulcos com 10 cm de profundidade. Em seguida foi depositado o fertilizante fosfatado e o sulco fechado. Sobre esse foram marcadas as covas no espaçamento de 35 cm. As adubações nitrogenada e potássica totais consistiram de 270 e 300 kg ha⁻¹ de N e K₂O, respectivamente (Aquino et al., 2009).

As mudas foram transplantadas com 35 dias após a semeadura. Por ocasião do transplante foram aplicados nos dois experimentos 30 kg ha⁻¹ de N (via nitrato de amônio), 60 kg ha⁻¹ de K₂O (via cloreto de potássio), 1,5 kg ha⁻¹ de B (via ácido bórico) e 5 kg ha⁻¹ de Zn (via sulfato de zinco), os quais foram aplicados a lanço e incorporados com a operação de enxada rotativa. A fonte de P utilizada nos experimentos foi o superfosfato simples (20 % de P₂O₅). Foram realizadas três adubações de cobertura, aos 10, 25 e 40 dias após o transplante (DAT) das mudas. Em cada aplicação foram distribuídos 80 kg ha⁻¹ de N e 80 kg ha⁻¹ de K₂O com o uso do formulado 20-00-20.

Em pré-plantio foi aplicado oxyfluorfen para auxílio no manejo de plantas daninhas. Inibidores de ACCase foram aplicados em pós-plantio para controle de *Poaceae* e demais plantas daninhas foram controladas por arranquio manual. O manejo de pragas foi realizado quando constatada a presença de pragas e com produtos recomendados para a cultura. As irrigações, quando necessárias, foram feitas por aspersão convencional, de acordo com dados coletados em estações meteorológicas instaladas próximas aos experimentos.

No início da fase de formação das cabeças, determinou-se o teor de P (g kg⁻¹) na folha mais nova expandida para caracterizar o estado nutricional de P. Coletaram-se 10 folhas em cada parcela, as quais foram secas, após a lavagem para remoção das impurezas, em estufa com ventilação forçada de ar a 70°C por 72 h. Depois disso, as amostras foram trituradas em moinho tipo Wiley equipado com peneira de 1,27 mm e submetidas à análise de P, conforme método descrito em Malavolta et al. (1997).

Quando as plantas apresentavam cabeças bem formadas e com firmeza exigida pelo consumidor, procedeu-se à colheita e foram avaliadas as seguintes variáveis:

- 1) Produtividade (Mg ha⁻¹): obtida pelo peso fresco das cabeças de repolho.
- 2) Eficiência agrônômica (EA): razão entre o ganho de produtividade e a dose de P₂O₅ aplicada, calculada pela seguinte equação:

$$EA = P_{CAAd} - P_{SAAd} / Q_{Ap}, \text{ em que:}$$

EA = Eficiência Agronômica (kg kg^{-1});

P_{CAAd} = Produtividade na parcela com adubação (kg ha^{-1});

P_{SAAd} = Produtividade na parcela não adubada (kg ha^{-1});

Q_{Ap} = Quantidade de nutriente aplicada no solo (kg ha^{-1}).

3) Eficiência de recuperação (ER): mede a porcentagem de P recuperado pela planta a partir do P aplicado via fertilizante, calculada com a seguinte equação (Fageria, 2009):

$$ER_P = (Q_{Ad} - Q_{NAAd}) / Q_{Ap} \times 100, \text{ em que:}$$

ER_P = Eficiência de recuperação pela planta do fósforo aplicado via fertilizante (%);

Q_{Ad} = Quantidade do nutriente absorvida pela planta na parcela adubada (kg ha^{-1});

Q_{NAAd} = Quantidade do nutriente absorvida pela planta na parcela não adubada (kg ha^{-1});

Q_{Ap} = Quantidade do nutriente aplicada no solo (kg ha^{-1}).

4) Extração e exportação de P (kg ha^{-1}): o P exportado equivaleu ao P acumulado na cabeça, que foi obtido pelo produto entre a matéria seca (MS) da cabeça e o respectivo teor de P nessa parte da planta. Calculou-se o acúmulo de P nas folhas externas pelo produto entre a MS e o teor de P dessa parte da planta. O P extraído pela parte aérea foi obtido pela soma do P acumulado nas folhas externas e na cabeça.

5) P-disponível no solo (mg dm^{-3}): em cada parcela foram coletadas 15 amostras simples de solo na linha e 15 na entrelinha de cultivo na profundidade de 15 cm para determinar o teor de P disponível pelos extratores Mehlich-1 (Tedesco et al., 1995) e Mehlich-3 (Mehlich, 1984).

Os dados dos experimentos com a aplicação a lanço do P foram submetidos à análise de variância e de regressão. Definiu-se as melhores doses (máxima eficiência econômica) como aquelas que permitiram o alcance de 95% da máxima produtividade estimada pelos modelos ajustados. Os dos experimentos com aplicação localizada de P combinadas ou não com fosfatagem tiveram os graus de liberdade dos fatores em estudo desdobrados e realizada análise de regressão para doses de P, e a fosfatagem, dentro de cada dose aplicada no sulco, comparada pelo teste F. Quando necessário, os dados foram transformados para atender as pressuposições da análise de variância.

5. Resultados e Discussão

Com a aplicação do P a lanço estimaram-se as doses de 252 e 284 kg ha⁻¹ de P₂O₅ para obtenção da máxima produtividade econômica. Essas corresponderam a 119,7 e de 127,2 Mg ha⁻¹, nos locais A e B, respectivamente (Figura 1a). Com a aplicação localizada de P sem fosfatagem, as melhores doses foram 183 e 146 kg ha⁻¹ de P₂O₅, que possibilitaram produtividade de 108,4 e de 120,6 Mg ha⁻¹, nos locais A e B, respectivamente (Figura 1b). A maior disponibilidade de P no local B em relação ao local A proporcionou maior produtividade, independente do modo de aplicação. Apesar das produtividades semelhantes entre os modos de aplicação, na aplicação localizada foram utilizadas doses menores, o que pode ser atribuído à saturação parcial dos sítios de adsorção de P, a qual proporcionou aumento na disponibilidade de P no solo próximo às raízes das plantas.

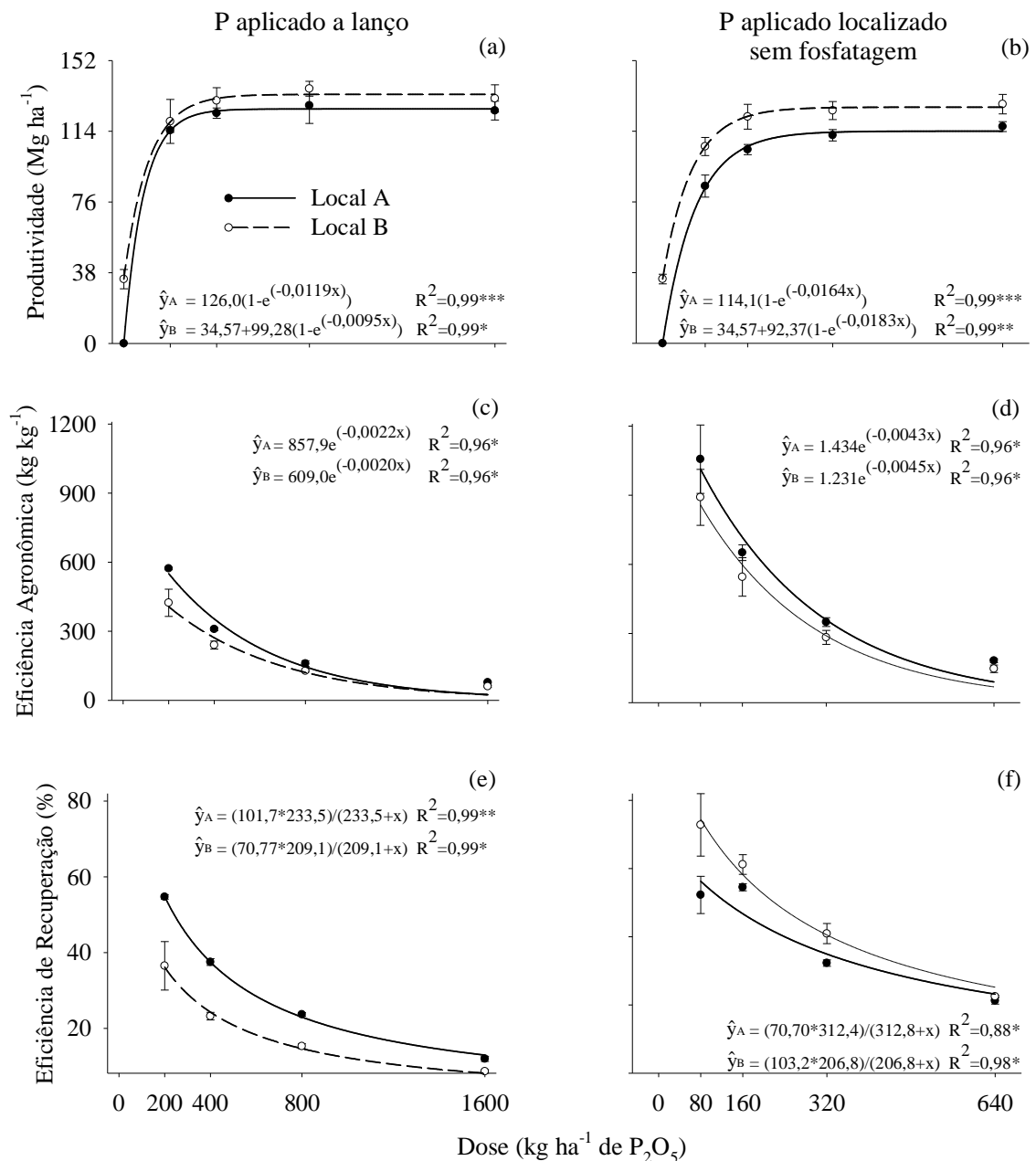


Figura 1. Produtividade de cabeças de repolho, eficiência agronômica e eficiência de recuperação de P em função de doses e modos de aplicação de P, em solo com menor (local A) e maior disponibilidade de P (local B). ***, ** e * significativos a 0,1, 1 e 5%, respectivamente, pelo teste t. Região do Alto Paranaíba-MG, 2015

A fosfatagem proporcionou incremento significativo na produtividade de cabeças apenas no local A, solo com menor teor de P (Tabela 2). Isso porque, com o crescimento do sistema radicular, o P presente na região de localização pode não ter conseguido suprir toda a necessidade das plantas e houve busca pelo P externo à essa região (Novais & Smith, 1999), o qual foi garantido pela fosfatagem, dada a baixa disponibilidade de P no solo do local A.

A produtividade média no local A foi de 115,4 Mg ha⁻¹, enquanto no local B foi de 132,1 Mg ha⁻¹ (Tabela 2). Assim, tais produtividades estão acima das 56,5 Mg ha⁻¹ encontradas por Moreira et al. (2011) e das 44,5 e 30,0 Mg ha⁻¹ verificadas por Correa et al. (2013), o que pode estar relacionado ao uso de cultivares diferentes da utilizada no presente trabalho. Entretanto, Cecílio Filho et al. (2011) com o uso da cultivar ‘Astrus Plus’ obtiveram produtividade 72,7 Mg ha⁻¹, o que pode ser atribuído à menor população de plantas utilizadas pelos autores.

Tabela 2. Produtividade, eficiência agrônômica (EA), eficiência de recuperação (ER), teor de P na folha diagnóstica, extração e exportação de P para a aplicação localizada de P na ausência e na presença de fosfatagem (Fosf). Região do Alto Paranaíba, 2015

Variável	Fosf	Dose									
		0	80	160	320	640	0	80	160	320	640
		Local A					Local B				
Produtividade (Mg ha ⁻¹)	Sem	0,0b	84,5b	104,1b	111,8a	116,5a	34,5b	105,8b	121,8a	125,1b	128,5a
	Com	119,6a	113,7a	114,0a	117,2a	117,7a	119,3a	129,1a	127,5a	139,2a	132,5a
EA (kg kg ⁻¹)	Sem	-	1056,2a	650,8a	349,5a	182,0a	-	890,7a	545,4a	283,1a	146,9a
	Com	-	406,1b	316,7b	225,4b	140,2b	-	337,6b	258,3b	201,3b	116,6b
ER (%)	Sem	-	52,3a	54,5a	32,3a	21,3a	-	72,8a	61,2a	40,9a	22,5a
	Com	-	38,3b	32,3b	25,1b	16,7a	-	39,2b	31,4b	25,3b	20,8a
Teor foliar de P (g kg ⁻¹)	Sem	1,9b	2,9b	4,9b	5,9a	6,4a	4,4a	6,0a	6,9a	7,2a	7,4a
	Com	4,3a	5,1a	5,8a	6,4a	6,6a	6,7a	7,3a	7,1a	7,7a	8,2a
Extração de P (kg ha ⁻¹)	Sem	1,5b	19,7b	39,5b	46,6b	60,8a	17,2b	42,8b	60,1a	74,5a	80,1b
	Com	49,2a	48,2a	52,3a	58,5a	62,8a	49,2a	65,3a	66,6a	74,7a	93,6a
Exportação de P (kg ha ⁻¹)	Sem	0,0b	17,3b	34,0b	40,3b	49,9a	14,6b	37,5b	52,0a	64,7a	68,4b
	Com	43,7a	42,7a	45,3a	49,5a	53,3a	43,5a	56,0a	57,2a	65,0a	78,5a

Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste F a 5% de probabilidade. Local A: solo com menor disponibilidade de P; Local B: solo com maior disponibilidade de P.

A EA foi reduzida com o incremento das doses nos dois modos de aplicação testados (Figura 1c, d). Além disso, os valores obtidos foram maiores no local A que no local B, o que pode ser atribuído à menor disponibilidade de P no primeiro local. Para o P aplicado a lanço, a EA para obtenção de 95% da máxima produtividade foi de 493 e de 345 kg kg⁻¹ nos locais A e B, respectivamente (Figura 1c). Para o P aplicado em linha na ausência de fosfatagem, foram encontrados 654 kg kg⁻¹ no local A e 637 kg kg⁻¹ no local B para as melhores doses (Figura 1d). A fosfatagem reduziu a EA para o P aplicado localizado, em especial no local B, solo de maior fertilidade (Tabela 2). A maior EA com a adubação localizada de P e com máximas produtividades semelhantes

à adubação a lanço demonstram a maior eficiência da aplicação localizada em comparação à aplicação a lanço.

A ER foi reduzida com o aumento das doses de P_2O_5 (Figura 1e, f). A ER para obtenção de 95% da máxima produtividade foi de 48,9 e de 30,0% nos locais A e B, respectivamente (Figura 1e). Para o P aplicado em linha na ausência de fosfatagem, as ER foram de 44,6 e de 60,4% nos locais A e B, respectivamente (Figura 1f). Com a fosfatagem, a ER diminuiu de forma significativa e variou de 38,3 a 16,7% no local A e de 39,2 a 20,8% no local B (Tabela 2). A ER reflete a percentagem do nutriente aplicado que a planta absorveu e, dessa forma, a eficiência do modo de aplicação do fertilizante.

Houve incremento do teor de P na folha diagnóstica em função do aumento das doses e da disponibilidade de P no solo (Figura 2a,b). Para o P aplicado a lanço, os teores de P foram de 4,7 e 6,9 $g\ kg^{-1}$ nos locais A e B, respectivamente, para a obtenção de 95% da máxima produtividade (Figura 2a). Para o P aplicado localizado e sem fosfatagem, o teor de P no local A foi de 4,0 $g\ kg^{-1}$ e, no local B, de 6,8 $g\ kg^{-1}$ (Figura 2b). A fosfatagem incrementou significativamente o teor de P na folha diagnóstica apenas no local A. Com isso, para o P aplicado localizado e na presença de fosfatagem, os teores variaram de 5,1 a 6,6 $g\ kg^{-1}$ de P no local A, e de 7,3 a 8,2 $g\ kg^{-1}$ de P no local B (Tabela 2). Os teores de P na folha obtidos neste trabalho são maiores que aos encontrados por Cecílio Filho et al. (2013). Esses autores mensuraram 4,3 $g\ kg^{-1}$ de P para o híbrido 'Fuyutoyo', com adubação de 720 $kg\ ha^{-1}$ de P_2O_5 em solo com P_{resina} de 93,0 $mg\ dm^{-3}$. Além disso, tais teores estão acima das 3,0 $g\ kg^{-1}$ de P consideradas adequadas por Malavolta et al. (1997), mas estão dentro da faixa de 4,0 a 7,0 $g\ kg$ recomendada por Trani & Rajj (1997).

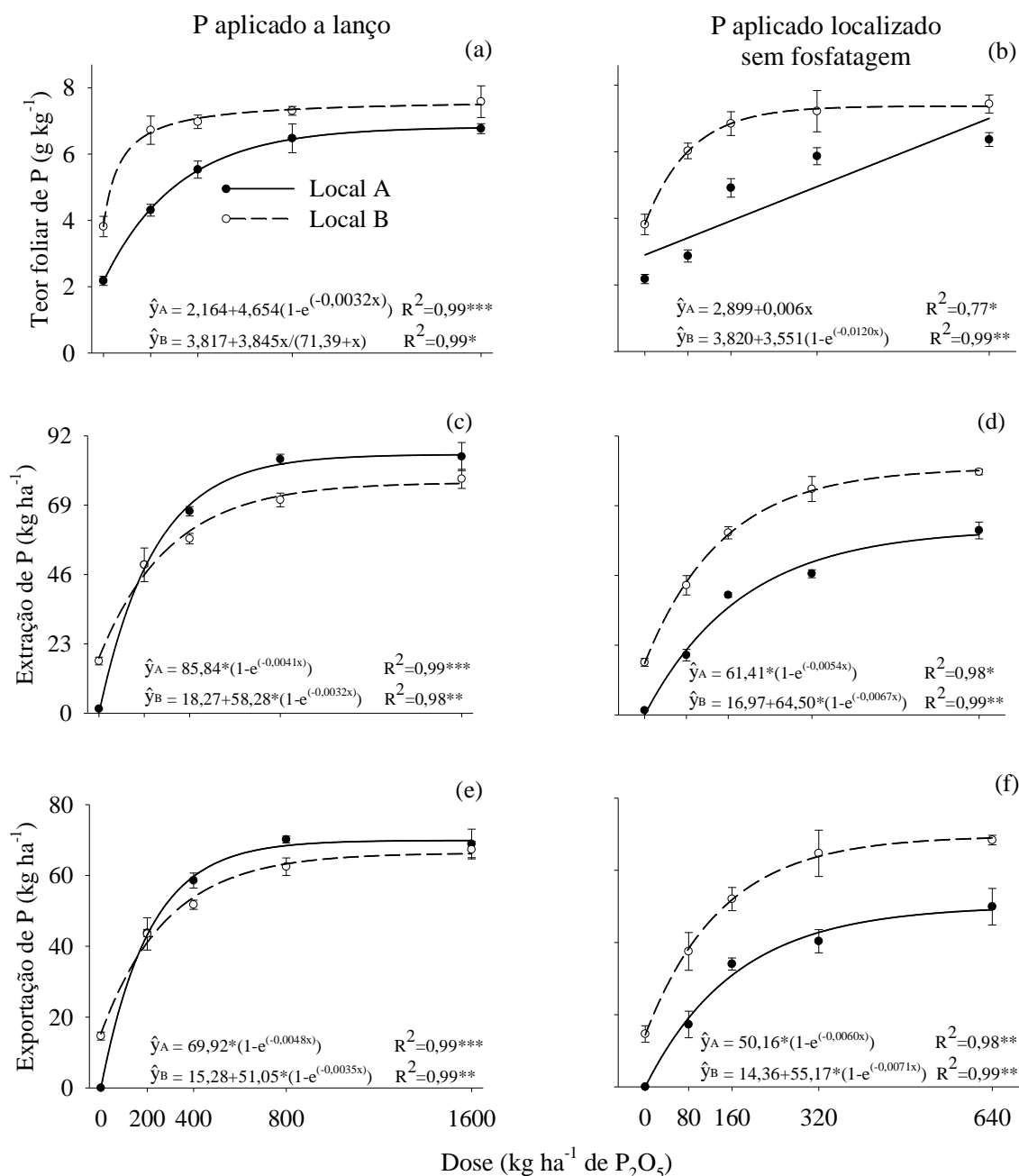


Figura 2. Teor de P na folha diagnóstica, extração e exportação em função de doses e modos de aplicação de P. ***, ** e * significativos a 0,1, 1 e 5%, respectivamente, pelo teste t. A: solo com menor disponibilidade de P; B: solo com maior disponibilidade de P. Região do Alto Paranaíba-MG, 2015

A extração e a exportação de P apresentaram divergência em relação aos locais de cultivo e modos de aplicação, com maiores valores no local A, para o P aplicado a lanço, e no local B, para o P aplicado localizado. Para o P aplicado a lanço, na produtividade correspondente à 95% da máxima, as extrações foram de 55 e 53 kg ha^{-1} nos locais A e B, respectivamente (Figura 2c). Para o P aplicado localizado sem fosfatagem, os valores de extração foram de 39 e 57 kg ha^{-1} nos locais A e B,

respectivamente (Figura 2d). Tais resultados evidenciam uma ampla faixa de “consumo de luxo”, isso porque os valores de extração na melhor dose estão bem abaixo dos encontrados nas doses de máxima produtividade, para ambos os modos de aplicação. Para o P aplicado localizado com fosfatagem houve aumento das extrações e exportações de P em ambos os locais (Tabela 2). A exportação de P superou os 80% do que foi extraído (Figura 2e,f), o que evidencia a importância da reposição de P para que não ocorra empobrecimento do solo com as colheitas.

A extração de P do presente trabalho diverge da encontrada por Cecílio Filho et al. (2013), que em solo com alta disponibilidade de P ($P_{\text{resina}} = 93,0 \text{ mg dm}^{-3}$) adubado com 360 kg ha^{-1} de P_2O_5 obtiveram extração de 24 kg ha^{-1} de P para a produtividade de $90,4 \text{ Mg ha}^{-1}$. Correa et al. (2013), em solo com $P_{\text{resina}} = 17,0 \text{ mg dm}^{-3}$ e adubação de 420 kg ha^{-1} de P_2O_5 , constataram extração semelhante (22 kg ha^{-1} de P), mesmo com produtividade menor ($44,5 \text{ Mg ha}^{-1}$). Muito provavelmente o elevado potencial produtivo da cultivar utilizada associado à maior população de plantas foram fatores preponderantes para a obtenção de maior produtividade e, por consequência, maior extração de P encontrada no presente trabalho.

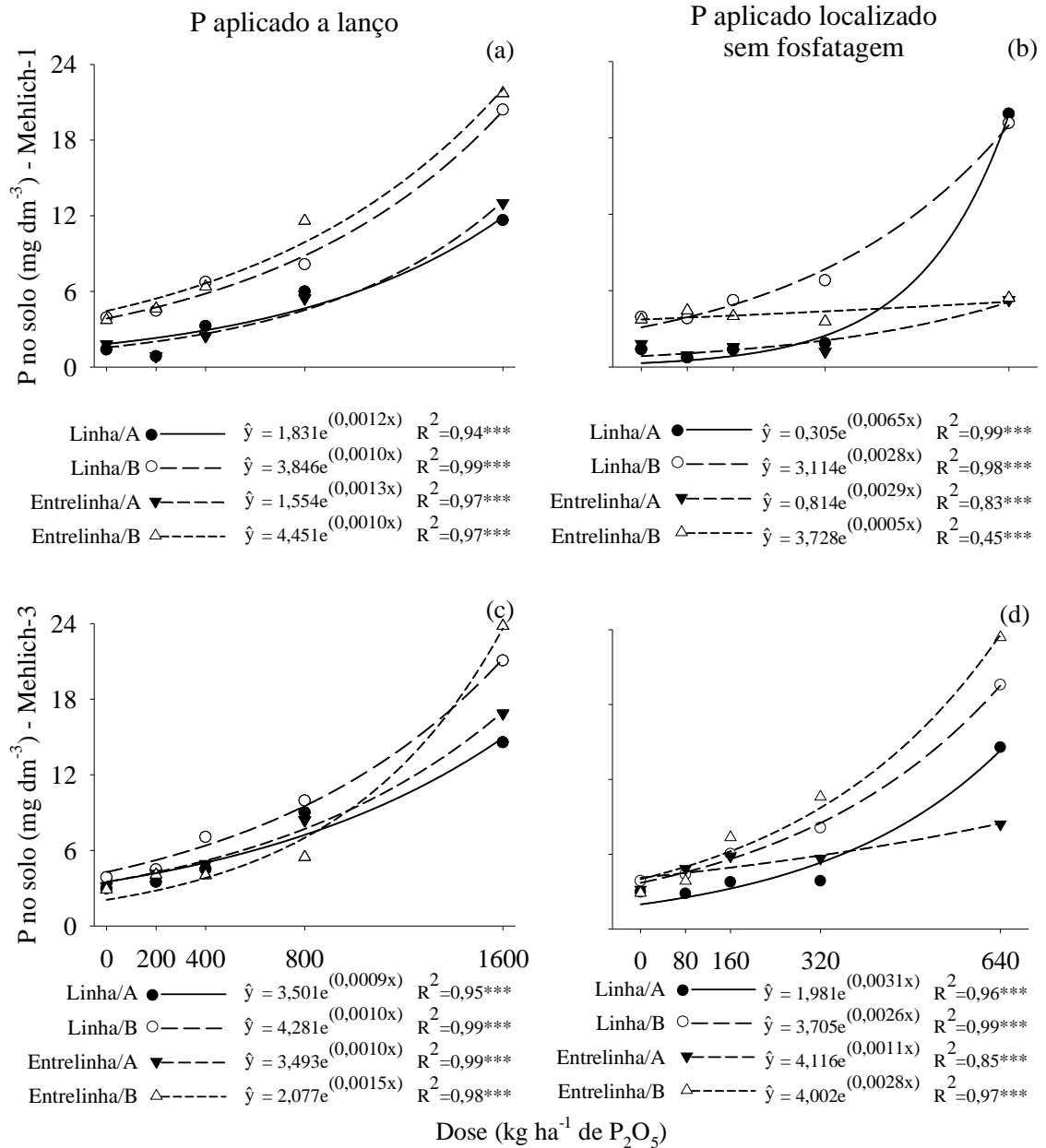


Figura 3. Teor de P no solo por ocasião da colheita, nas linhas e entrelinhas de cultivo, pelos extratores Mehlich-1 e Mehlich-3. *** significativo a 0,1% pelo teste t. A: solo com menor disponibilidade de P; B: solo com maior disponibilidade de P. Região do Alto Paranaíba-MG, 2015

Os teores de P no solo, para a aplicação a lanço, foram maiores nas entrelinhas que nas linhas para os dois extratores utilizados (Figura 3a,c), o que evidencia que o P absorvido pelas plantas foi o que estava mais próximo às raízes, dado que é um nutriente transportado por difusão (Costa et al., 2006). Para o P aplicado localizado, nas linhas de cultivo os teores de P aumentaram consideravelmente em função das doses (Figura 3b,d), enquanto nas entrelinhas houve ligeiro aumento, com exceção do local B para o extrator Mehlich-1 (Figura 3b). De forma geral, observou-se que os teores

máximos atingidos nas linhas de cultivo ficaram próximos entre os modos de aplicação, embora a dose máxima na aplicação a lanço tenha sido bem maior que a utilizada na aplicação localizada. Com exceção das entrelinhas de cultivo do local A, a fosfatagem incrementou significativamente os teores de P no solo (Tabela 3).

Tabela 3. Teor de P no solo por ocasião da colheita, nas linhas e entrelinhas de cultivo, pelos extratores Mehlich-1 (M1) e Mehlich-3 (M3) para a aplicação localizada de P na ausência e na presença de fosfatagem. Região do Alto Paranaíba-MG, 2015

Extrator	Linha/ Entrelinha	Fosf.	Dose									
			0	80	160	320	640	0	80	160	320	640
			Local A					Local B				
M1	Linha	Sem	1,4a	0,7b	1,4b	1,9b	19,9a	3,9a	3,8b	5,2b	6,8b	19,2b
		Com	0,9b	2,9a	2,9a	9,6a	11,4b	4,5b	5,4a	6,6a	11,6a	32,2a
	Entrelinha	Sem	1,8a	0,9b	1,6a	1,2a	5,3b	3,7b	4,4a	4,0b	3,6b	5,4b
		Com	0,8b	1,9a	1,7a	1,3a	5,9a	4,6a	4,7a	5,6a	4,8a	6,0a
M3	Linha	Sem	3,9b	2,9b	3,8b	3,9b	14,6a	3,9b	4,4a	6,0a	8,1a	19,6a
		Com	4,5a	4,8a	6,5a	9,4a	13,1a	4,5a	3,8b	4,1b	6,3b	12,8b
	Entrelinha	Sem	3,2b	4,8b	5,8a	5,7a	8,4b	2,9b	3,9b	7,3a	10,6a	23,4a
		Com	4,1a	5,5a	5,3b	5,4a	9,3a	4,1a	4,5a	5,5b	4,2b	5,7b

Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste F a 5% de probabilidade.

Assim, pode-se inferir que apenas o P presente na linha de cultivo influenciou a produtividade, o qual é mais eficientemente garantido pela aplicação localizada. Resultados semelhantes têm sido observados em outras culturas. Na cultura da soja, Barbosa et al. (2015) obtiveram a produtividade máxima com o P aplicado localizado. Na cultura do milho, Franzini et al. (2009) verificaram que a produção de MS foi superior com a aplicação localizada de P. Tais resultados evidenciam que minimizar a fixação por meio da localização do P é fundamental para maior eficiência das adubações fosfatadas.

6. Conclusões

A aplicação localizada de P é mais eficiente que a aplicação a lanço no fornecimento do nutriente e para a produtividade do repolho.

7. Referências Bibliográficas

- Aquino LA, Puiatti M, Lélis MM, Pereira PRG, Pereira FHF. Produção de biomassa, teor e exportação de macronutrientes em plantas de repolho em função de doses de nitrogênio e de espaçamentos. *Ciênc Agrotec.* 2005;33:1295-300.
- Barbosa NC, Arruda EM, Brod E, Pereira HS. Distribuição vertical do fósforo no solo em função dos modos de aplicação. *Biosci J.* 2015;31:87-95.
- Büll LT, Costa MCG, Novello A, Fernandes DM, Bôas V, Lyra R. Doses and forms of application of phosphorus in vernalized garlic. *Sci Agric.* 2004;61:516-21.
- Carneiro LF, Furtini Neto AE, Resende AVD, Curi N, Santos JZL, Lago FJD. Fontes, doses e modos de aplicação de fósforo na interação fósforo-zinco em milho. *Ciênc Agrotec.* 2008;32:1133-41.
- Cecílio Filho AB, Cavarianni RL, Castro JCC, Cortez JWM. Cabbage growth and production in relation to plant density and nitrogen. *Agrociencia.* 2011;45:573-82.
- Cecílio Filho AB, Silva GS, Cortez JWM. Phosphorus fertilization of 'Fuyutoyo' cabbages in phosphorus-rich Eustrustox soil. *Chilean J Agric Res.* 2013;73:288-92.
- Chien SH, Prochnow LI, Tu S, Snyder CS. Agronomic and environmental aspects of phosphate fertilizers varying in source and solubility: an update review. *Nutr Cycl Agroecosyst.* 2011;89:229-55.
- Correa CV, Cardoso AII, Claudio MDTR. Produção de repolho em função de doses e fontes de potássio em cobertura. *Sem Ciênc Agr.* 2013;34:2129-38.
- Costa JP, Barros NF, Albuquerque AW, Filho GM, Santos JR. Fluxo difusivo de fósforo em função de doses e da umidade do solo. *R Bras Eng Agríc Ambiental.* 2006;10:828-35.
- Dechassa N, Schenk MK. Exudation of organic anions by roots of cabbage, carrot, and potato as influenced by environmental factors and plant age. *J. Plant Nutr. Soil Sci.*, 2004;167:623-29.
- Deenik J, Hamasaki R, Shimabuku R, Nakamoto S, Uchida R. Phosphorus fertilizer management for head cabbage. *Soil Crop Manag.* 2006;1-6.
- Fageria NK. The use of nutrients in crop plants. Florida: Taylor & Francis Group; 2009. 430 p.
- Filgueira FAR. Novo Manual de Olericultura: agrotecnologia moderna na produção de hortaliças. Viçosa: UFV; 2007. 421 p.

- Franzini VI, Muraoka T, Coraspe-León HM, Mendes FL. Eficiência de fosfato natural reativo aplicado em misturas com superfosfato triplo em milho e soja. *Pesq Agropec Bras.* 2009;44:1092-9.
- Malavolta E, Vitti GC, Oliveira SA. Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações. Piracicaba: POTAFOS; 1997. 319 p.
- Mehlich A. Mehlich 3 soil test extractant: A modification of Mehlich 2 extractant. *Commun Soil Sci Plant Anal.* 1984;15:1409-16.
- Miyazawa K, Takeda M, Murayama T, Watanabe K. Combining pre-transplanting phosphorus application and green manure incorporation: a trial for reducing fertilizer input. *Soil Sci Plant Nutr.* 2011;57:128-37.
- Moreira MA, Vidigal SM, Sedyama MAN, Santos MR. Crescimento e produção de repolho em função de doses de nitrogênio. *Hortic Bras.* 2011;29:117-21.
- Novais RF, Smyth TJ. Aplicação localizada do fertilizante fosfatado. In: _____. Fósforo em solo e planta em condições tropicais. Viçosa: UFV; 1999. p. 271-88.
- Novais RF, Smyth TJ, Nunes FN. Fósforo. In: Novais RF, Alvarez VH, Barros NF, Fontes RLF, Cantarutti RB, Neves JCL, editores. *Fertilidade do solo*. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo; 2007. p. 471-550.
- Nunes RS, Sousa DMG, Goedert WJ, Vivaldi LJ. Distribuição de fósforo no solo em razão do sistema de cultivo e manejo da adubação fosfatada. *R Bras Ci Solo.* 2011;35:877-88.
- Oliveira Júnior A, Prochnow LI, Klepker D. Eficiência agrônômica de fosfato natural reativo na cultura da soja. *Pesq Agropec Bras.* 2008;43:623-31.
- Raij B. van, Cantarella H, Quaggio JA, Furlani AMC, editores. *Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo*. 2ª ed. Campinas: IAC; 1997. 285p. (Boletim Técnico, 100).
- Raij B. van. *Fertilidade do solo e manejo de nutrientes*. Piracicaba: International Plant Nutrition Institute; 2011. 420 p.
- Resende AV, Furtini Neto AEF, Alves VMC, Muniz JA, Curi N, Faquin V, Carneiro LF. Fontes e modos de aplicação de fósforo para o milho em solo cultivado da região do Cerrado. *R Bras Ci Solo.* 2006;30:453-66.
- Ribeiro AC, Guimarães PTG, Alvarez VH, editores. *Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação*. Viçosa: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais; 1999. 359 p.

- Santos JZL, Furtini Neto AE, Resende AD, Curi N, Carneiro LF, Costa SDA. Frações de fósforo em solo adubado com fosfatos em diferentes modos de aplicação e cultivado com milho. *R Bras Ci Solo*. 2008;32:705-14.
- Saab AA, Paula RDA. O mercado de fertilizantes no Brasil: diagnósticos e propostas de políticas. *R Polit Agric*. 2008;17;5-24.
- Sharangi AB, Sahu PK. Effect of placement and dose of phosphatic fertilizers on onion. *J Plant Nutr*. 2009;32;1901-13.
- Sousa DMG, Rein TA, Goedert WJ, Lobato E, Nunes RS. Fósforo. In: Prochnow LI, Casarin V, Stipp SR, editores. Boas práticas para uso eficiente de fertilizantes: nutrientes. Piracicaba: International Plant Nutrition Institute; 2010. p. 67- 132.
- Tedesco MJ, Gianello C, Bissani CA, Bohnen H, Volkweiss SJ. Análise de solo, plantas e outros materiais. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul; 1995. 174p.
- Trani PE, Raij BV. Hortaliças. In: Raij BV, Cantarella, H, Quaggio JA, Furlani AMC. Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo. Campinas: IAC; 1997. p. 157-164.

CAPÍTULO II

CURVA DE ACÚMULO DE MATÉRIA SECA E DE NUTRIENTES PELA CULTURA DO REPOLHO

1. Resumo

As cultivares de repolho utilizadas atualmente têm alto potencial produtivo e podem apresentar diferenças na absorção e utilização de nutrientes. Dessa forma, pesquisas com a quantificação do crescimento das plantas e da acumulação de nutrientes são básicas para melhorar a eficiência de fertilização do solo e otimizar a produção. Objetivou-se, com este trabalho, determinar as curvas de acúmulo de matéria seca (MS) e de nutrientes (N, P, K, Ca, Mg, S, Cu, Fe, Mn e Zn) por cultivares de repolho em duas épocas de cultivo. No verão-outono foram utilizadas as cultivares ‘Astrus Plus’ e ‘Green Valley’, e no outono-inverno, ‘Astrus Plus’ e ‘Fênix’. As plantas foram amostradas, após o transplante, em intervalos de 10 dias até a colheita. O repolho apresenta duas fases de acúmulo de MS, uma inicial com menor taxa de acúmulo e a segunda com elevado acúmulo de MS a partir de 30 dias de transplante com alcance de 9.673 a 12.995 kg ha⁻¹ de MS. O acúmulo de MS e de nutrientes é variável em função da época de cultivo e cultivar. N, P, K, Fe e Zn foram particionados preferencialmente para as folhas internas (cabeça) e atenção especial deve ser dada à reposição desses nutrientes via adubação para evitar empobrecimento do solo com colheitas sucessivas.

Palavras-chave: *Brassica oleracea* var. *capitata*, extração de nutrientes, índice de colheita

2. Abstract

Accumulation curve of dry matter and nutrients in cabbage

The cultivars of cabbage currently cultivated present high yield potential and can present differences regarding absorption and use of nutrients. Therefore, researches quantifying plants growth and nutrients accumulation are basic in order to improve soil fertilization efficiency and optimize yields. This study aimed to determine the accumulation curve of dry matter and nutrients (N, P, K, Ca, Mg, S, Cu, Fe, Mn and Zn) for cabbage cultivars during two cultivations time. The cultivars ‘Astrus Plus’ and

'Green Valley' were cultivated during summer-autumn, and 'Astrus Plus' and 'Fênix' during autumn-winter. The plants were sampled, after transplanting, in each 10 days until harvest. The cabbage presented two phases of dry matter accumulation, an initial one with lower accumulation rate and a second one with high accumulation, from 30 days of transplant, reaching 9.673 to 12.995 kg ha⁻¹ of dry matter. The accumulation of dry matter and nutrients is variable due to cultivation time and cultivars used. N, P, K, Fe, and Zn were partitioned preferably to internal leaves (head) and a special attention should be given to the replacement of these nutrients via fertilization in order to avoid the soil impoverishment due to over-harvesting.

Keywords: *Brassica oleracea* var. *capitata*, nutrients extraction, harvest index

3. Introdução

As recomendações para correção da fertilidade do solo e adubação da cultura do repolho são escassas (Cecílio Filho et al., 2013). Com isso, as doses de adubação recomendadas geralmente subestimam a demanda de nutrientes relacionada à alta produtividade e padrões comerciais das cultivares modernas de repolho (Aquino et al., 2005).

Há discordância entre as recomendações de nutrientes da literatura e o praticado pelos agricultores, que tendem a aplicar doses maiores de nutrientes. Em razão disso, o atual manejo de adubação não costuma fornecer nutrientes em equilíbrio com a demanda da cultura, o que resulta em desperdício de fertilizantes e baixa eficiência de recuperação (Zhang et al., 2010). Ademais, as brássicas apresentam diferenças de acúmulo em função de épocas de cultivo e da variabilidade genotípica (Kopsell et al., 2005).

Devido ao ciclo curto da maioria das olerícolas, a demanda por nutrientes é concentrada num curto período de tempo. Isto torna importante o conhecimento acerca das características de absorção e acúmulo de nutrientes nas diferentes fases de desenvolvimento (Castoldi et al., 2009). Para tanto, deve-se determinar as curvas de absorção de nutrientes, as quais permitem conhecer as épocas em que os nutrientes são mais exigidos, planejar métodos mais racionais de cultivo e otimizar a recomendação da dose e da época de aplicação dos fertilizantes (Bender et al., 2015).

As curvas de absorção contemplam a proporção do nutriente que está no órgão comercial em relação ao total acumulado. Essa relação, também conhecida como índice

de colheita é importante para fins de fluxo de nutrientes no solo. Nutrientes mais acumulados no órgão comercial podem levar ao empobrecimento do solo, em especial quando as adubações são inferiores as quantidades exportadas e o nutriente é demandado em grande quantidade (Aquino et al., 2015). Com isso, pesquisas com a quantificação do crescimento das plantas e do acúmulo de nutrientes são básicas para melhorar a eficiência de fertilização do solo, otimizar a produção e reduzir os impactos ambientais causados pelo excesso de fertilizantes (Cortez et al., 2013)

Contudo, sabe-se que a curva de absorção de nutrientes indica a necessidade da planta e não a dose a ser aplicada, que é variável de acordo com a eficiência de recuperação dos nutrientes pela cultura, que, por sua vez, varia segundo o tipo de solo, condições climáticas, manejo cultural e fonte utilizada (Castoldi et al., 2009).

As cultivares utilizadas atualmente têm alto potencial produtivo e podem apresentar diferenças na absorção e utilização de nutrientes, o que leva à necessidade de se determinar a demanda de nutrientes de diferentes cultivares existentes nas regiões de cultivo. Assim, objetivou-se com este trabalho determinar a curva de acúmulo de matéria seca (MS) e de nutrientes (N, P, K, Ca, Mg, S, Cu, Fe, Mn e Zn) por cultivares de repolho.

4. Material e Métodos

As curvas de acúmulo de nutrientes foram determinadas em duas épocas de cultivo, a primeira durante o verão-outono e a segunda no outono-inverno, em duas áreas comerciais de cultivo de repolho no município de Rio Paranaíba-MG. As áreas de cultivo se encontram a 1.100 m de altitude e em ambiente com clima predominante Cwa, segundo a classificação de Köppen-Geiger. Os dados climáticos registrados durante o período experimental são apresentados na Figura 1. Os solos das duas áreas são classificados como Latossolo Vermelho-Amarelo de textura muito argilosa, cujos atributos químicos são apresentados na Tabela 1.

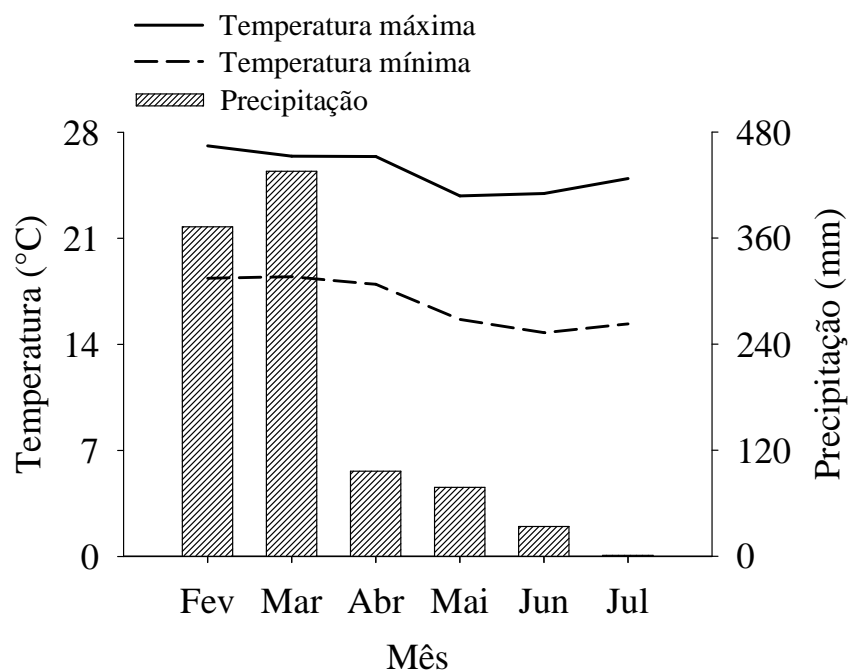


Figura 1. Temperatura máxima, temperatura mínima e precipitação durante o período experimental. Região do Alto Paranaíba-MG (2015)

Tabela 1. Análise química do solo das áreas experimentais, na camada de 0-20 cm. Rio Paranaíba-MG, 2015

Atributo químico	Unidade	Extrator/Método	Local	
			Verão-Outono	Outono-Inverno
pH	-	CaCl ₂	5,6	5,9
P-rem	mg L ⁻¹	CaCl ₂	13,4	7,4
Fósforo (P)	mg dm ⁻³	Mehlich-1	33,3	24,3
Potássio (K ⁺)	mg dm ⁻³	Mehlich-1	86,0	97,8
Cálcio (Ca ⁺²)	cmol _c dm ⁻³	KCl	3,9	4,9
Magnésio (Mg ⁺²)	cmol _c dm ⁻³	KCl	1,0	1,5
Enxofre (S)	mg dm ⁻³	Fosfato de Cálcio	10,0	17,0
Boro (B)	mg dm ⁻³	Água Quente	1,5	1,1
Cobre (Cu)	mg dm ⁻³	DTPA	2,6	2,3
Ferro (Fe)	mg dm ⁻³	DTPA	26,0	52
Manganês (Mn)	mg dm ⁻³	DTPA	1,5	3,2
Zinco (Zn)	mg dm ⁻³	DTPA	7,5	6,7
Alumínio (Al ⁺³)	cmol _c dm ⁻³	KCl	0,0	0,0
H + Al	cmol _c dm ⁻³	Solução Tampão SMP	3,1	2,6
Mat.orgânica (M.O.)	g dm ⁻³	-	38,0	29,0
Soma de bases (SB)	cmol _c dm ⁻³	-	5,1	6,7
C.T.C. (T)	cmol _c dm ⁻³	-	8,3	9,3
Saturação por bases (V)	%	-	62,0	71,7

P, K - Mehlich-1; Ca, Mg, Al - KCl 1 mol L⁻¹; S-SO₄ - Fosfato monobásico de Ca 0,01 mol L⁻¹; B - água quente; Cu, Fe, Mn, Zn - DTPA pH 7,3; H + Al - Solução Tampão SMP a pH 7,5; Mat. orgânica - Walkley-Black

O preparo do solo das áreas consistiu de uma subsolagem, uma gradagem e uma passada de enxada rotativa com marcação das covas no espaçamento de 0,35 m x 0,38 m, o que fez a população de 75.188 plantas ha⁻¹. No verão-outono as adubações nitrogenada, fosfatada e potássica consistiram de 150 kg ha⁻¹ de N, 850 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 160 kg ha⁻¹ de K₂O, respectivamente. No outono-inverno, foram aplicados 210 kg ha⁻¹ de N, 700 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 320 kg ha⁻¹ de K₂O. Todos os fertilizantes foram aplicados a lanço e incorporados no plantio, inclusive os fosfatados, conforme adotado pelos agricultores na região do Alto Paranaíba-MG.

No verão-outono, as mudas das cultivares ‘Astrus Plus’ e ‘Green Valley’ foram transplantadas para o campo em 13/02/15 e a colheita em 23/04/15. A cultivar ‘Astrus Plus’ possui características como boa compacidade, boa aceitação no mercado e cabeças com tamanho médio a grande, formato levemente achatado e peso que varia de 1,4 a 2,2 kg. Esta é a cultivar mais utilizada pelos agricultores da região do Alto Paranaíba-MG, em função de poder ser cultivada durante o ano todo. A cultivar ‘Green Valley’ apresenta folhagem vigorosa e cabeças de tamanho médio, formato globular achatado e peso que varia de 2,0 a 2,5 kg.

No outono-inverno, as mudas das cultivares ‘Astrus Plus’ e ‘Fênix’ foram transplantadas para a área de cultivo em 01/05/15 e as colheitas ocorreram nos dias 10/07/15 (cultivar ‘Fênix’) e 20/07/15 (cultivar ‘Astrus Plus’). A cultivar ‘Fênix’ apresenta cabeças medianas de formato semiachatado e peso médio de 2,5 a 3,0 kg, com época de cultivo preferencial no inverno.

Todas as cultivares tiveram as mudas produzidas em bandejas de isopor de 200 células, sob ambiente protegido, com uso de substrato agrícola à base de fibra de coco e vermiculita, com transplante aos 35 dias após a semeadura.

Para o manejo das plantas daninhas foi realizada a aplicação em pré-plantio do herbicida oxyfluorfen e ao longo do ciclo, quando necessário, procedeu-se a capinas manuais. O manejo fitossanitário dos experimentos seguiu o estabelecido para o restante da área comercial, em que as tomadas de decisão foram feitas com base no monitoramento de pragas e doenças. Quando necessário, os cultivos foram irrigados por pivô central, com a lâmina calculada a partir de dados coletados em estações meteorológicas instaladas próximas aos experimentos.

As plantas foram amostradas, após o transplante, em intervalos de 10 dias até a colheita. Em cada época de coleta, amostraram-se 12 plantas, em quatro repetições com três plantas cada, as quais foram cortadas rente à superfície do solo. Quando as plantas apresentavam cabeças bem formadas e com a compacidade necessária para o comércio,

procedeu-se à colheita, a qual ocorreu aos 70 dias após o transplante (DAT), no cultivo de verão-outono, e aos 70 e 80 DAT para as cultivares ‘Fênix’ e ‘Astrus Plus’, no cultivo de inverno, respectivamente. Nessa ocasião, as plantas foram divididas em parte comercial (cabeça) e parte não comercial (folhas externas+caule).

Após cada coleta, as amostras foram lavadas para remoção das impurezas e levadas para a secagem em estufa com ventilação forçada de ar a 70°C por 72 h. Depois disso, as amostras foram trituradas em moinho tipo Wiley equipado com peneira de 1,27 mm, para determinação dos teores de nutrientes (N, P, K, Ca, Mg, S, Cu, Fe, Mn e Zn), conforme métodos descritos por Malavolta et al. (1997).

Os dados obtidos foram submetidos à análise com o uso de estatística descritiva. As curvas e equações de acúmulo de matéria seca (MS) e de nutrientes foram ajustadas com auxílio do software Sigma Plot Versão 10.0. Os índices de colheita de MS e de nutrientes foram dados pela porcentagem acumulada nas cabeças em relação ao total acumulado na planta inteira.

5. Resultados e Discussão

Curva de acúmulo, exportação e índice de colheita de matéria seca e de macronutrientes

Houve, de modo geral, duas fases distintas de acúmulo de MS (Figura 2). A primeira (até os 30 DAT) compreendeu o período inicial do desenvolvimento da cultura, no qual as taxas de crescimento foram menores, com 27,9 e 31,4 kg ha⁻¹ dia⁻¹, para as cultivares ‘Astrus Plus’ e ‘Green Valley’ no verão-outono, e 41,2 e 42,0 kg ha⁻¹ dia⁻¹, para ‘Astrus Plus’ e ‘Fênix’ no outono-inverno. Isso pode ser atribuído ao estresse causado pelo transplante, ou ainda, por um crescimento inicial lento característico das brássicas. Tal fato também foi verificado por Ubelhor et al. (2014), para o repolho branco, e por Castoldi et al. (2009) e Gondim et al. (2011), que observaram pequeno acúmulo de MS, cerca de 17% e 20% do total, respectivamente, até os 30 DAT em couve-flor.

A segunda fase se iniciou aproximadamente aos 30 DAT (Figura 2). Houve maior crescimento da parte aérea, o qual foi mais acentuado nos 10 últimos dias de ciclo para todas as cultivares. Durante esse período, registraram-se as maiores taxas de acúmulo de MS, que foram de 476,1 kg ha⁻¹ dia⁻¹ no verão-outono e 362,7 kg ha⁻¹ dia⁻¹ no outono-inverno para a cultivar ‘Astrus Plus’, e de 387,7 e 494,2 kg ha⁻¹ dia⁻¹ para as cultivares ‘Green Valley’ e ‘Fênix’, respectivamente. Comparativamente, dos 60 aos 70

DAT para a cultivar ‘Astrus Plus’ no outono-inverno e dos 50 aos 60 DAT para as demais cultivares, as taxas de acúmulo foram de 263,9, 238,8, 250,6 e 305,8 kg ha⁻¹ dia⁻¹, para ‘Astrus Plus’ no verão-outono, ‘Green Valley’, ‘Astrus Plus’ no outono-inverno e ‘Fênix’. A maior taxa de acúmulo de MS durante esse período pode estar relacionado à intensa divisão celular durante a etapa final da formação das cabeças.

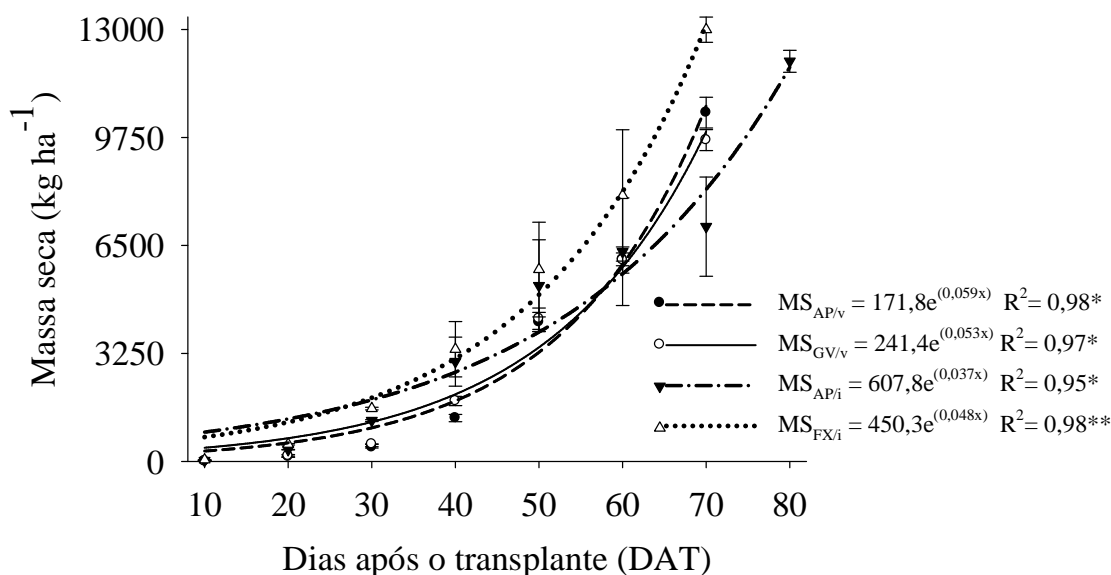


Figura 2. Curva de acúmulo de matéria seca no verão-outono, para as cultivares ‘Astrus Plus’ (AP/v) e ‘Green Valley’ (GV/v), e no outono-inverno, para ‘Astrus Plus’ (AP/i) e ‘Fênix’ (FX/i), na região do Alto Paranaíba-MG (2015)

A produção de MS na parte aérea teve seu ápice na colheita, com 9.673 a 10.499 kg ha⁻¹ no verão-outono e 12.043 a 12.995 kg ha⁻¹ no outono-inverno (Tabela 2). Esses valores são superiores aos 8.308 kg ha⁻¹ encontrados por Aquino et al. (2009) e aos 6.156 e 3.563 kg ha⁻¹ encontrados por Correa et al. (2013), o que pode ser atribuído ao uso de híbridos diferentes. Entretanto, para a cultivar ‘Astrus Plus’, Cecílio Filho et al. (2011) obtiveram 6.438 kg ha⁻¹, o que pode estar relacionado à menor população de plantas utilizada pelos autores. Além disso, a maior produção de MS do presente trabalho também pode ser atribuída às maiores produtividades obtidas (124,5, 152,3, 106,7 e 142,8 Mg ha⁻¹ para a cultivar ‘Astrus Plus’ no verão-outono e no outono-inverno, ‘Green Valley’ e ‘Fênix’, respectivamente).

No outono-inverno as produtividades foram maiores que no verão-outono, o que pode estar ligado à ocorrência de temperaturas mais amenas (Figura 1), as quais possibilitam maior crescimento das brássicas. De acordo com May et al. (2007), para a couve-flor a faixa ótima de temperatura é de 14 a 20 °C. Em repolho chinês (*B. rapa*

var. *chinensis*), Kalisz et al. (2012) obtiveram maior produtividade com temperaturas médias entre 16,7°C e 20,0°C.

Houve pequena diferença para o índice de colheita de MS entre as cultivares e as épocas de cultivo (Tabela 2). Os índices de colheita observados variaram de 67% a 73% no verão-outono e de 69% a 75% no outono-inverno. Tais valores são superiores aos 57% encontrados por Cecílio Filho (2011) para a cultivar ‘Astrus Plus’, e aos 47% e 49% observados por Correa et al. (2013) para o híbrido Kenzan, o que pode ser explicado pela maior produtividade obtida no presente trabalho, além da maior população de plantas utilizada.

Com relação ao acúmulo de macronutrientes, as curvas de acúmulo de N praticamente acompanharam a curva de acúmulo de MS apenas no verão-outono (Figura 3a). Nessa época de cultivo a maior taxa de acúmulo foi verificada dos 60 aos 70 DAT, com 14,2 kg ha⁻¹ dia⁻¹ de N para a cultivar ‘Astrus Plus’ e 10,5 kg ha⁻¹ dia⁻¹ de N para ‘Green Valley’. No outono-inverno as taxas de acúmulo foram constantes, com 4,3 e 5,8 kg ha⁻¹ dia⁻¹ de N para ‘Astrus Plus’ e ‘Fênix’, respectivamente.

Para o P, as curvas de acúmulo praticamente acompanharam a curva de acúmulo de MS (Figura 3b). Para todas cultivares e épocas, as maiores taxas de acúmulo foram observadas nos 10 últimos dias do ciclo. Os valores encontrados no verão-outono foram de 3,8 e 2,7 kg ha⁻¹ dia⁻¹ de P, para ‘Astrus Plus’ e ‘Green Valley’, e no outono-inverno de 1,8 e 2,4 kg ha⁻¹ dia⁻¹ de P, para ‘Astrus Plus’ e ‘Fênix’, respectivamente.

A taxa de acúmulo de K foi contínuo ao longo do ciclo para todas as cultivares e épocas de cultivo (Figura 3c). Os valores observados foram de 10,7 e 8,8 kg ha⁻¹ dia⁻¹ de K no verão-outono para ‘Astrus Plus’ e ‘Green Valley’, respectivamente. No outono-inverno, para as cultivares ‘Astrus Plus’ e ‘Fênix’, as taxas foram de 6,8 e 5,8 kg ha⁻¹ dia⁻¹ de K, respectivamente.

Houve diferença no comportamento das curvas de acúmulo de Ca em função das épocas de cultivo (Figura 3d). No verão-outono elas praticamente acompanharam a curva de acúmulo de MS, enquanto no outono-inverno ocorreu uma queda na taxa de acúmulo após 40 DAT para a cultivar ‘Astrus Plus’ e após 50 DAT para a cultivar ‘Fênix’. No cultivo de verão-outono as maiores taxas de acúmulo foram verificadas entre 60 e 70 DAT, com 13,5 kg ha⁻¹ dia⁻¹ de Ca para a cultivar ‘Astrus Plus’ e 17,7 kg ha⁻¹ dia⁻¹ de Ca para ‘Green Valley’. No outono-inverno, os maiores valores de taxa de acúmulo foram observados dos 30 aos 40 DAT para a cultivar ‘Astrus Plus’ (5,6 kg ha⁻¹ dia⁻¹ de Ca), e dos 40 aos 50 DAT para a cultivar ‘Fênix’ (5,9 kg ha⁻¹ dia⁻¹ de Ca).

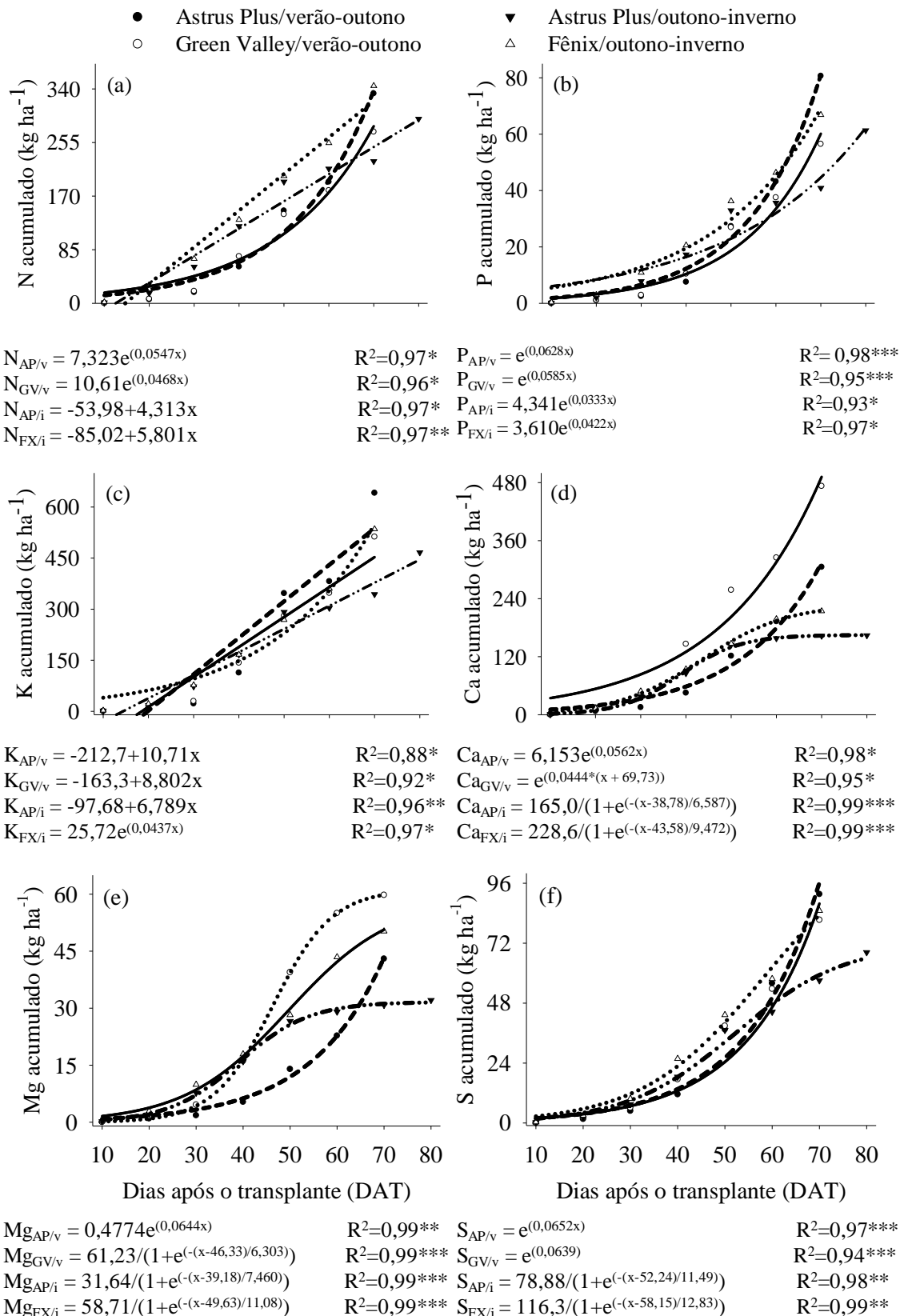


Figura 3. Curvas de acúmulo de nitrogênio (a), fósforo (b), potássio (c), cálcio (d), magnésio (e) e enxofre (f) no verão-outono, para as cultivares ‘Astrus Plus’ (AP/v) e ‘Green Valley’ (GV/v), e no outono-inverno, para ‘Astrus Plus’ (AP/i) e ‘Fênix’ (FX/i). ***, ** e * significativos a 0,1, 1 e 5%, respectivamente, pelo teste t. Região do Alto Paranaíba-MG (2015)

Para a cultivar ‘Astrus Plus’ no cultivo de verão, a curva de acúmulo de Mg teve comportamento semelhante ao da curva de acúmulo de MS, enquanto no outono-inverno houve redução da taxa de acúmulo a partir dos 40 DAT, fato que também foi verificado para as cultivares ‘Green Valley’ e ‘Fênix’ após 50 DAT (Figura 3e). Com isso, o período de maior taxa de acúmulo de Mg foi diferente entre as épocas e cultivares. Para a cultivar ‘Astrus Plus’, a maior taxa de acúmulo no verão-outono foi verificada dos 60 aos 70 DAT, com $2,1 \text{ kg ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ de Mg, enquanto no outono-inverno foi dos 30 aos 40 DAT, com $1,0 \text{ kg ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ de Mg. Para as cultivares ‘Green Valley’ e ‘Fênix’, a maior taxa de acúmulo foi constatada dos 40 aos 50 DAT, com 2,3 e $1,3 \text{ kg ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ de Mg, respectivamente.

No verão-outono as curvas de acúmulo de S praticamente acompanharam suas respectivas curvas de acúmulo de MS (Figura 3f). Com isso, a maior taxa de acúmulo foi verificada nos 10 últimos dias do ciclo tanto para ‘Astrus Plus’ quanto para ‘Green Valley’, com $4,6$ e $4,1 \text{ kg ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ de S, respectivamente. No outono-inverno o acúmulo foi crescente até os 60 DAT para ambas as cultivares, com as maiores taxas registradas dos 50 aos 60 DAT, que foram de $1,7 \text{ kg ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ de S para ‘Astrus Plus’ e $2,2 \text{ kg ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ de S para ‘Fênix’.

De modo geral ocorreu maior acúmulo de nutrientes próximo à colheita do repolho, diferentemente da couve-flor, em que praticamente todos os macronutrientes têm maior acúmulo no terço médio do ciclo (Castoldi et al., 2009; Takeishi et al., 2009). Na couve-flor, Takeishi et al. (2009) atribuem o aumento de nutrientes no terço médio ao aumento do número de folhas, da área foliar e da MS nesse período. Esse padrão é diferente no repolho (Figura 2) provavelmente porque a curva de absorção do mesmo foi determinada antes da emissão da inflorescência e em período de pleno crescimento vegetativo.

Com relação à quantidade de macronutrientes acumulada nas cabeças (exportação), para a cultivar ‘Astrus Plus’ a quantidade foi maior no verão-outono que no outono-inverno para todos os nutrientes (Tabela 2). Esse resultado corrobora com Citak & Sonmez (2010), que verificaram maior conteúdo de P, K e Mg nas cabeças no cultivo em época de maior temperatura.

Tabela 2. Quantidade de matéria seca e macronutrientes acumulada* nas cabeças e nas folhas externas e índice de colheita no verão-outono, para as cultivares ‘Astrus Plus’ e ‘Green Valley’, e no outono-inverno, para as cultivares ‘Astrus Plus’ e ‘Fênix’. Região do Alto Paranaíba-MG, 2015

Variável	Acumulado (kg ha ⁻¹)		Índice de colheita (%)	Acumulado (kg ha ⁻¹)		Índice de colheita (%)
	Cabeças	Folhas externas		Cabeças	Folhas externas	
Verão-outono						
	Astrus Plus			Green Valley		
Matéria seca	7.620 ± 490,8	2.879 ± 230,9	72 ± 2,1	6.528 ± 273,2	3.145 ± 145,3	68 ± 1,3
N	254 ± 8,3	79 ± 5,9	76 ± 1,7	188 ± 7,2	84 ± 4,6	69 ± 1,5
P	65 ± 5,9	14 ± 1,7	82 ± 1,1	42 ± 4,5	15 ± 1,0	74 ± 1,1
K	419 ± 50,7	210 ± 25,9	67 ± 3,9	356 ± 27,6	170 ± 5,8	68 ± 1,9
Ca	72 ± 6,4	234 ± 65,2	24 ± 4,4	350 ± 15,8	290 ± 3,0	55 ± 1,1
Mg	21 ± 1,8	20 ± 7,4	52 ± 7,8	60 ± 2,1	34 ± 0,6	63 ± 0,9
S	47 ± 2,5	45 ± 1,4	51 ± 1,4	38 ± 1,6	44 ± 5,2	46 ± 3,5
Outono-inverno						
	Astrus Plus			Fênix		
Matéria seca	9.024 ± 148,7	3.020 ± 270,9	73 ± 1,5	9.031 ± 216,8	3.964 ± 280,6	68 ± 1,4
N	223 ± 4,7	70 ± 1,5	76 ± 0,7	241 ± 4,0	104 ± 2,5	70 ± 0,8
P	49 ± 1,4	12 ± 0,6	80 ± 0,7	51 ± 2,3	16 ± 0,9	76 ± 1,2
K	335 ± 13,4	131 ± 1,4	72 ± 1,0	367 ± 27,2	161 ± 15,4	70 ± 2,9
Ca	48 ± 3,2	115 ± 8,8	30 ± 1,4	49 ± 3,2	157 ± 17,9	24 ± 1,7
Mg	17 ± 0,6	15 ± 0,7	54 ± 1,1	23 ± 0,3	28 ± 1,3	45 ± 1,1
S	39 ± 0,9	29 ± 2,1	57 ± 2,2	46 ± 2,3	39 ± 3,6	54 ± 3,1

*Média ± erro padrão.

O primeiro macronutriente em ordem de exportação para todas as cultivares foi o K (Tabela 2). Para a cultivar ‘Astrus Plus’, a exportação de K foi maior no verão-outono em comparação ao outono-inverno, com 419 e de 335 kg ha⁻¹ de K, respectivamente. Para as outras cultivares, os valores ficaram próximos, com 343 kg ha⁻¹ de K para ‘Green Valley’ e 367 kg ha⁻¹ de K para ‘Fênix’. Tais valores superam os 295 e 197 kg ha⁻¹ de K encontrados por Aquino et al. (2009) e Correa et al. (2013), respectivamente. As maiores extrações obtidas neste trabalho podem ser atribuídas à maior produtividade de MS, pois as doses aplicadas e os teores de K no solo foram próximos aos trabalhos citados. Há efeito significativo e positivo da população de plantas sobre a exportação de K (Aquino et al., 2009), o que pode ajudar a explicar a alta quantidade exportada de K no presente trabalho, uma vez que a população utilizada foi maior que as utilizadas em outras pesquisas.

Embora o K tenha sido o nutriente mais acumulado pelo repolho, fato que também constatado por Correa et al., 2013, os quais verificaram que apenas a adubação de plantio com 240 kg ha⁻¹ de K₂O foi suficiente para obter a produtividade máxima, sem diferenças significativas da adubação potássica em cobertura. Entretanto, conforme observado no presente trabalho, o K é demandado pela cultura de forma contínua ao longo do ciclo (Figura 3c). Com isso, em solos arenosos e em condições pluviométricas com chuvas de alta intensidade, como o K apresenta susceptibilidade à lixiviação, aplicar a dose total no plantio pode não ser boa prática. Ademais, tendo em vista os valores de extração (Tabela 2) e a produtividade obtida no presente trabalho, a dose de 240 kg ha⁻¹ de K₂O não é suficiente para suprir a demanda das cultivares que foram utilizadas. Maiores doses aplicadas sugerem necessidade de parcelamento das adubações para melhor recuperação do nutriente aplicado pela cultura.

Para o N, segundo macronutriente em ordem de exportação para todas as cultivares, a cultivar ‘Astrus Plus’ também apresentou maior exportação no verão-outono em comparação ao outono-inverno, 254 e 223 kg ha⁻¹ de N, respectivamente (Tabela 2). Para as demais cultivares, a exportação foi de 188 kg ha⁻¹ de N para ‘Green Valley’ e 241 kg ha⁻¹ de N para ‘Fênix’ (Tabela 2). Esses valores encontrados ficaram abaixo dos 279 kg ha⁻¹ de N observados por Aquino et al. (2009), o que pode ser explicado pelo maior teor de N, pois verificaram que existe resposta linear entre teor de N e N aplicado e, estes autores estimaram tal extração com a aplicação de 300 kg ha⁻¹ de N. Tais resultados corroboram com Sturm et al. (2010), que obtiveram acúmulo de 246 kg ha⁻¹ de N com adubação de 200 kg ha⁻¹ de N na cultura do repolho branco, e Yun & Ro (2009), que verificaram que a quantidade de N acumulada aumentou linearmente com as doses de composto nitrogenado.

Houve distinção entre as épocas de cultivo em relação ao terceiro nutriente mais exportado, que no verão-outono foi o Ca e no outono-inverno foi o P (Tabela 2). No verão-outono, foram exportados 72 kg ha⁻¹ de Ca pela cultivar ‘Astrus Plus’ e 182 kg ha⁻¹ de Ca pela cultivar ‘Green Valley’. No outono-inverno, observaram-se valores de exportação semelhantes entre as cultivares, com 48 e 49 kg ha⁻¹ de Ca, para ‘Astrus Plus’ e ‘Fênix’, respectivamente. Desse modo, a quantidade de Ca exportada pela cultivar ‘Green Valley’ foi superior à das demais cultivares, a qual é discrepante em relação à faixa de valores encontrados na literatura. Aquino et al. (2009) obtiveram exportação de 88 kg ha⁻¹ de Ca, enquanto Correa et al. (2013) verificaram extração de 35 kg ha⁻¹ de Ca, ambos com o uso do híbrido ‘Kenzan’ e teores de Ca no solo parecidos.

No verão-outono em relação ao outono-inverno, embora a produtividade tenha sido menor, a cultivar 'Astrus Plus' apresentou maior exportação de P (Tabela 2). Tal fato pode estar relacionado ao maior teor de P no solo e à maior dose utilizada no cultivo de verão-outono (33,3 mg dm⁻³ e 850 kg ha⁻¹ de P₂O₅, respectivamente) que permitiram maior acúmulo pelas plantas. Isso porque o repolho é capaz de mobilizar e absorver P do solo por mecanismos adicionais, como a exsudação do ácido orgânico citrato, o que aumenta a eficiência de recuperação de P (Dechassa & Schenk, 2004). Para as demais cultivares, a exportação de P ficou próxima, com 42 e 51 kg ha⁻¹ de P para 'Green Valley' e 'Fênix', respectivamente. Cecílio Filho et al. (2013) em solo com alta disponibilidade de P (P_{resina} = 93,0 mg dm⁻³) obtiveram 16 kg ha⁻¹ de P como exportação máxima, com a dose de 360 kg ha⁻¹ de P₂O₅, valor que é menor que os encontrados no presente trabalho. Tal observação pode estar associada ao híbrido utilizado ('Fuyutoyo') e à produtividade obtida pelos autores (69,6 Mg ha⁻¹). Essa diferença causada por híbridos e pela produtividade também pode explicar o fato da exportação obtida ter sido maior que os 28 kg ha⁻¹ de P obtidos por Aquino et al. (2009).

A quantidade exportada de S pela cultivar 'Astrus Plus' no verão-outono foi semelhante à da cultivar 'Fênix', com 47 e 46 kg ha⁻¹, respectivamente (Tabela 2). Também houve semelhança entre os valores de exportação das cultivares 'Green Valley' e 'Astrus Plus' no outono-inverno, com 38 e 39 kg ha⁻¹, respectivamente. Entretanto, todas as cultivares apresentaram exportação abaixo dos 50 kg ha⁻¹ de S encontrados por Aquino et al. (2009), o que pode estar relacionado à menor disponibilidade de S nos solos do presente trabalho.

O último macronutriente em ordem de exportação foi o Mg e, independente da época de cultivo, a cultivar 'Astrus Plus' exportou menos em comparação às outras cultivares (Tabela 2). A quantidade exportada de Mg para esta cultivar foi de 21 kg ha⁻¹ no verão-outono e de 17 kg ha⁻¹ no outono-inverno. Para a cultivar 'Green Valley', a exportação foi de 26 kg ha⁻¹ e, para a cultivar 'Fênix', foi de 23 kg ha⁻¹. As exportações foram maiores que as observadas por Correa et al. (2013) e provavelmente se devem à maior produção de MS do presente trabalho.

Os nutrientes com maiores índices de colheita foram P, N e K e, de forma geral, a cultivar 'Astrus Plus' apresentou índices de colheita maiores que as demais cultivares (Tabela 2). Os índices de colheita variaram de 74% a 82% para o P, de 69% a 76% para o N e de 65% a 72% para o K. Assim, maior atenção deve ser dada à reposição desses nutrientes para que não haja empobrecimento do solo com as colheitas (Bender et al.,

2015), isso porque são absorvidos em grandes quantidades e tem partição maior para as folhas que compõem a cabeça, o que resulta em alta taxa de exportação.

Curva de acúmulo, exportação e índice de colheita de micronutrientes

À exceção da cultivar ‘Fênix’, as demais cultivares apresentaram taxas de acúmulo de Cu praticamente constantes até os 10 últimos dias do ciclo, que foi a época em que houve aumento considerável na taxa (Figura 4a). Com isso, as taxas de acúmulo nesse período foram de 4,0, 9,7 e 4,3 g ha⁻¹ dia⁻¹ de Cu para ‘Astrus Plus’ no verão-outono e no outono-inverno e ‘Green Valley’, respectivamente. Para a cultivar ‘Fênix’, a maior taxa de acúmulo ocorreu dos 40 aos 50 DAT, com 29,8 g ha⁻¹ dia⁻¹ de Cu, valor considerado elevado e que se deve provavelmente à contaminação por pulverizações foliares com fungicidas cúpricos.

Houve uma queda na taxa de acúmulo de Fe foi maior após os 50 DAT para as cultivares ‘Green Valley’ e ‘Astrus Plus’ no outono-inverno, queda também observada para a cultivar ‘Fênix’ após os 60 DAT (Figura 4b). Dessa forma, a maior taxa de acúmulo foi verificada dos 40 aos 50 DAT, com 109,7 e 21,5 g ha⁻¹ dia⁻¹ de Fe, para ‘Green Valley’ e ‘Astrus Plus’ no outono-inverno, respectivamente. Para a cultivar Fênix, a maior taxa de acúmulo ocorreu dos 50 aos 60 DAT, com 45,6 g ha⁻¹ dia⁻¹ de Fe. A cultivar ‘Astrus Plus’ no verão-outono apresentou comportamento distinto em relação às demais cultivares, com acúmulo crescente de Fe ao longo do ciclo, especialmente nos 10 últimos dias do ciclo, em que a taxa de acúmulo foi de 125,9 g ha⁻¹ dia⁻¹ de Fe.

As curvas de acúmulo de Mn praticamente acompanharam as curvas de acúmulo de MS, com as maiores taxas de acúmulo verificadas nos 10 últimos dias do ciclo para todas as cultivares (Figura 4c). Dessa forma, no verão-outono foram encontrados 14,5 e 16,4 g ha⁻¹ dia⁻¹ de Mn para ‘Astrus Plus’ e ‘Green Valley’, respectivamente, e no outono-inverno, 7,9 e 39,8 g ha⁻¹ dia⁻¹ de Mn para ‘Astrus Plus’ e ‘Fênix’, respectivamente.

Por fim, para o Zn, as maiores taxas de acúmulo também ocorreram nos 10 últimos dias do ciclo para todas as cultivares (Figura 4d). No outono-inverno, para as cultivares ‘Astrus Plus’ e ‘Green Valley’, as taxas de acúmulo obtidas foram de 39,4 e 8,4 g ha⁻¹ dia⁻¹ de Zn, respectivamente. No outono-inverno, as taxas foram de 8,0 e 11,5 g ha⁻¹ dia⁻¹ de Fe para ‘Astrus Plus’ e ‘Fênix’, respectivamente.

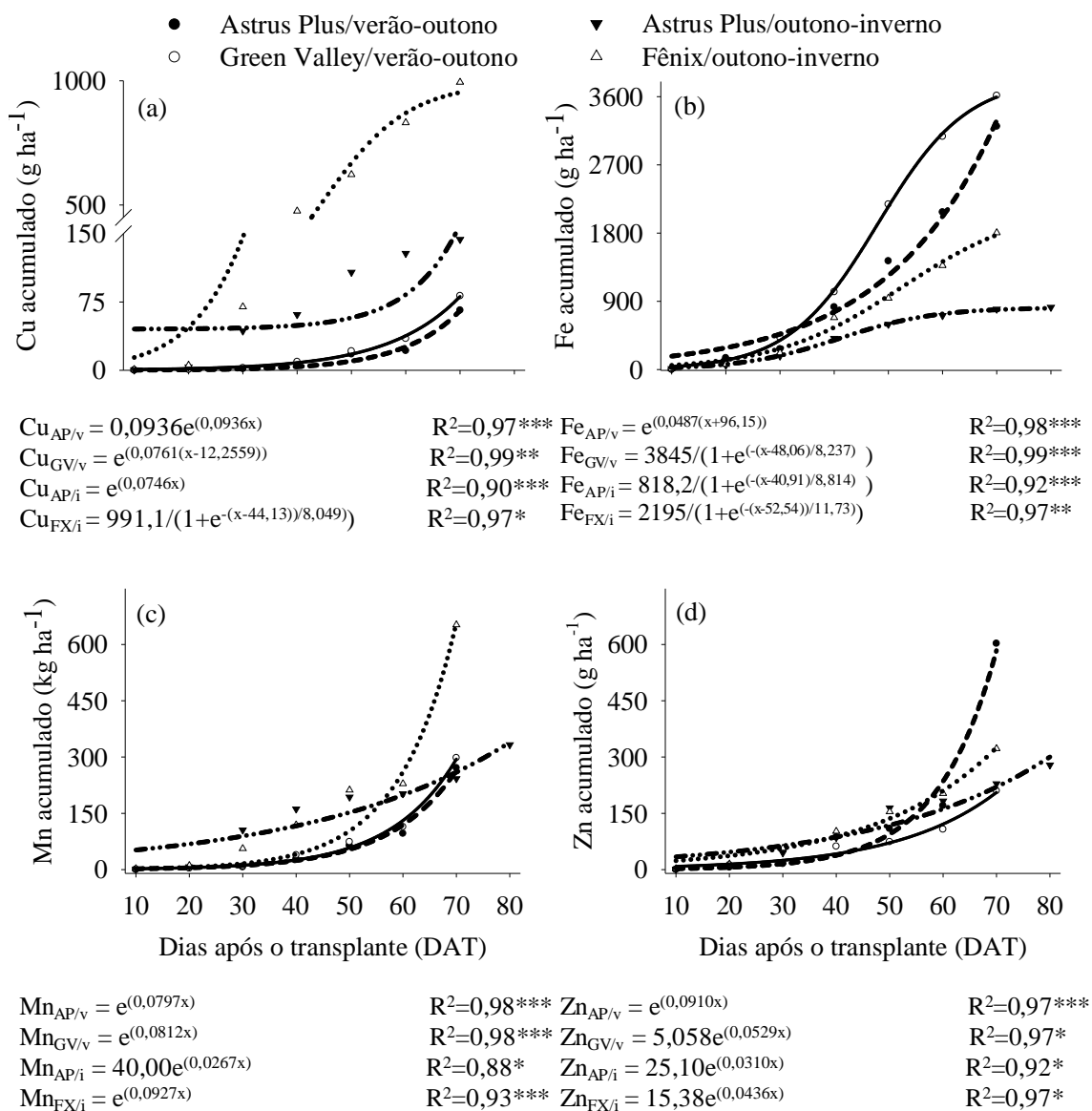


Figura 4. Curvas de acúmulo de cobre (a), ferro (b), manganês (c) e zinco (d) no verão-outono, para as cultivares ‘Astrus Plus’ (AP/v) e ‘Green Valley’ (GV/v), e no outono-inverno, para ‘Astrus Plus’ (AP/i) e ‘Fênix’ (FX/i). ***, ** e * significativos a 0,1, 1 e 5%, respectivamente, pelo teste t. Região do Alto Paranaíba-MG (2015)

Assim como observado para os macronutrientes, de forma geral, a maior taxa de acúmulo de micronutrientes ocorreu nos 10 últimos dias do ciclo, o que diverge em relação à couve-flor, onde o maior acúmulo ocorre no terço médio do ciclo da cultura (Castoldi et al., 2009; Takeishi et al., 2009).

No tocante à ordem de exportação de micronutrientes, o primeiro foi o Fe, com valores superiores no verão-outono em relação ao outono-inverno (Tabela 3), o que pode ser explicado pela maior precipitação durante essa primeira época de cultivo (Figura 1). Isso porque a maior pluviosidade proporcionou a manutenção constante do

solo na capacidade de campo, o que levou à uma possível deficiência de O₂. Com isso, ocorre redução do potencial redox do solo e, conseqüentemente, do Fe, que resulta em aumento na concentração desse nutriente nos tecidos da planta, em função do aumento de sua solubilidade quando na forma reduzida (Pezeshki, 2001). No verão-outono a exportação oscilou entre 1.674 e 2.106 g ha⁻¹ de Fe, enquanto no outono-inverno ficou entre 448 e 956 g ha⁻¹ de Fe, valores que são maiores que os 355 g ha⁻¹ de Fe extraídos no trabalho de Correa et al. (2013).

Tabela 3. Quantidade de micronutrientes acumulada* nas cabeças e nas folhas externas e índice de colheita no verão-outono, para as cultivares ‘Astrus Plus’ e ‘Green Valley’, e no outono-inverno, para as cultivares ‘Astrus Plus’ e ‘Fênix’. Região do Alto Paranaíba-MG, 2015

Nutriente	Acumulado (g ha ⁻¹)		Índice de colheita (%)	Acumulado (g ha ⁻¹)		Índice de colheita (%)
	Cabeças	Folhas externas		Cabeças	Folhas externas	
Verão-outono						
	Astrus Plus			Green Valley		
Cu	29 ± 2,7	40 ± 5,5	42 ± 4,6	26 ± 1,7	56 ± 11,8	32 ± 3,5
Fe	2.106 ± 145,2	1.104 ± 41,5	66 ± 2,1	1.674 ± 86,0	1.940 ± 238,7	47 ± 2,9
Mn	154 ± 11,1	118 ± 5,2	57 ± 1,3	109 ± 16,2	183 ± 34,6	37 ± 1,3
Zn	506 ± 89,2	97 ± 15,6	84 ± 3,3	113 ± 15,2	98 ± 10,1	54 ± 2,0
Outono-inverno						
	Astrus Plus			Fênix		
Cu	67 ± 3,2	326 ± 34,1	17 ± 1,9	64 ± 4,4	930 ± 66,9	7 ± 0,1
Fe	448 ± 25,8	373 ± 34,1	55 ± 3,4	956 ± 261,6	849 ± 132,6	52 ± 6,1
Mn	162 ± 5,1	171 ± 1,4	49 ± 0,9	195 ± 10,8	457 ± 21,6	30 ± 1,38
Zn	203 ± 7,9	72 ± 2,5	74 ± 1,2	213 ± 11,0	104 ± 10,9	67 ± 3,4

*Média ± erro padrão.

Com exceção da cultivar ‘Green Valley’, o Zn foi o segundo micronutriente em ordem de exportação (Tabela 3). Entretanto, a cultivar ‘Astrus Plus’ no verão-outono apresentou maior exportação de Zn que as demais. No verão-outono a exportação foi de 506 e 205 g ha⁻¹ de Zn para as cultivares ‘Astrus Plus’ e ‘Green Valley’, respectivamente. No outono-inverno, a exportação de Zn foi semelhante entre as cultivares, com 206 g ha⁻¹ de Zn para ‘Astrus Plus’ e 213 g ha⁻¹ de Zn para ‘Fênix’. Contudo, todos os valores encontram-se acima da extração de 122 g ha⁻¹ de Zn obtida por Correa et al. (2013).

Para o Mn, terceiro micronutriente em ordem de exportação, verificou-se que houve pequena variação da quantidade exportada para a cultivar ‘Astrus Plus’ em função das épocas de cultivo, com 154 e 162 g ha⁻¹ de Mn no verão-outono e no outono-inverno, respectivamente (Tabela 3). A cultivar ‘Fênix’ foi superior a todas as cultivares em relação à exportação, com 195 g ha⁻¹ de Mn, enquanto a cultivar ‘Green Valley’ foi inferior, com 115 g ha⁻¹ de Mn. Correa et al. (2013) encontraram extração de 127 g ha⁻¹ de Mn, o que se deve à menor produção de MS em comparação com o presente trabalho.

O Cu foi o último micronutriente em ordem de exportação, com os maiores valores obtidos no outono-inverno (Tabela 3). Tal fato pode estar relacionado à maior precipitação durante o verão-outono (Figura 1), a qual permitiu que o solo permanecesse na capacidade de campo de forma contínua. Dessa forma, houve uma possível redução do potencial redox, que proporciona a redução de SO₄²⁻ a HS⁻ e a precipitação de Cd e Cu na forma de minerais de sulfureto, os quais exibem uma solubilidade baixa (Pan et al., 2016). Com isso, no outono-inverno a exportação foi de 64 e 67 g ha⁻¹ de Cu para as cultivares ‘Astrus Plus’ e ‘Fênix’, respectivamente. No verão-outono, para as cultivares ‘Astrus Plus’ e ‘Green Valley’, foram encontrados 29 e 26 g ha⁻¹ de Cu, respectivamente, os quais são maiores que os 16 g ha⁻¹ de Cu extraídos no trabalho de Correa et al. (2013).

Assim como ocorreu para os macronutrientes, a cultivar ‘Astrus Plus’ apresentou os maiores índices de colheita para todos os micronutrientes (Tabela 3). Os valores oscilaram, entre as cultivares e épocas de cultivo, de 54% a 84% para o Zn, de 46% a 66% para o Fe, de 30% a 57% para o Mn e de 6% a 44% para o Cu. Desse modo, em relação aos micronutrientes, maior atenção deve ser dada aos teores de Fe e Zn no solo, pois apresentam maior partição para as folhas que compõe a cabeça.

6. Conclusões

O acúmulo de matéria seca e de nutrientes é variável com a época de cultivo e com a cultivar.

As maiores taxas de acúmulo de matéria seca e de nutrientes ocorrem nos 10 últimos dias do ciclo.

As adubações com N, P, K, Fe e Zn devem receber maior atenção, em razão de apresentarem os maiores índices de colheita.

7. Referências Bibliográficas

- AQUINO, L.A., J.M. CLEMENTE, L.O.D. SILVA, L.P.D. SANTOS, & T.F. OLIVEIRA. 2015. Avanços da pesquisa para o manejo eficiente de nutrientes em hortaliças. In: VISOTTO, L. E., F.L FERNANDES, A. CARVALHO FILHO, E.A. LOPES, L.A. AQUINO, M.E.S.FERNANDES, P.I.V.G. GOD., R.A.A. RUAS, J.M. SOUSA JÚNIOR (Org.). **Avanços Tecnológicos Aplicados à Pesquisa na Produção Vegetal**. UFV-CRP, Rio Paranaíba 1:295-320.
- AQUINO, L.A., M. PUIATTI, M.M. LÉLIS, P.R.G. PEREIRA, & F.H.F. PEREIRA. 2009. Produção de biomassa, teor e exportação de macronutrientes em plantas de repolho em função de doses de nitrogênio e de espaçamentos. **Ciênc. Agrotec.** 33:1295-1300. doi:10.1590/S1413-70542009000500014
- AQUINO, L.A., M. PUIATTI, P.R.G. PEREIRA, F.H.F. PEREIRA, I.R. LADEIRA, & M.R.S. CASTRO. 2005. Efeito de espaçamentos e doses de nitrogênio sobre as características qualitativas da produção do repolho. **Hortic. Bras.**, 23:100-104. doi:10.1590/S0102-05362005000100021
- BENDER, R.R., J.W. HAEGELE, & F.E. BELOW. 2015. Nutrient Uptake, Partitioning, and Remobilization in Modern Soybean Varieties. **Agron. J.** 107:563-573. doi:10.2134/agronj14.0435
- CASTOLDI, R., H.C.D.O. CHARLO, P.F. VARGAS, & L.T. BRAZ. 2009. Crescimento, acúmulo de nutrientes e produtividade da cultura da couve-flor. **Hortic. Bras.** 27:438-446. doi:10.1590/S0102-05362009000400007
- CECÍLIO FILHO, A.B., R.L. CAVARIANNI, J.C.C. CASTRO, & J.W.M. CORTEZ. 2011. Cabbage growth and production in relation to plant density and nitrogen. **Agrociencia** 45:573-582.
- CECÍLIO FILHO, A.B., G.S. SILVA, & J.W.M. CORTEZ. 2013. Phosphorus fertilization of 'Fuyutoyo' cabbages in phosphorus-rich Eustrtox soil. **Chilean J. Agric. Res.** 73:288-292. doi:10.4067/S0718-58392013000300012
- CITAK, S., & S. SONMEZ. 2010. Influence of organic and conventional growing conditions on the nutrient contents of white head cabbage (*Brassica oleracea* var. *capitata*) during two successive seasons. **J. Agric. Food Chem.** 58:1788-1793. doi: 10.1021/jf903416a
- CORREA, C.V.; A.I.I. CARDOSO, & M.D.T.R. CLAUDIO. 2013. Produção de repolho em função de doses e fontes de potássio em cobertura. **Semin., Ciênc. Agrár.** 34:2129-2138. doi:10.5433/1679-0359.2013v34n5p2129

- CORTEZ, J.W.M.; A.B. CECÍLIO FILHO, M.O. ROSA, & C.S. NASCIMENTO. 2013. Growth of Potato Plants of the 'Asterix' Cultivar and Accumulation of Nutrients. **J. Agric. Sci.** 5:217-226. doi:10.5539/jas.v5n7p217
- DECHASSA, N., & M.K. SCHENK. 2004. Exudation of organic anions by roots of cabbage, carrot, and potato as influenced by environmental factors and plant age. **J. Plant Nutr. Soil Sci.** 167:623-629. doi:10.1002/jpln.200420424
- GONDIM, A.R.O., R.M. PRADO, M.A.R. CORREIA, A.U. ALVES, A.B. CECÍLIO FILHO, & L.S. POLITI. 2011. Curva de crescimento e acúmulo de matéria seca em couve-flor cultivada em substrato. **Biosci. J.** 27:88-94.
- KALISZ, A., J. KOSTRZEWA, A. SEKARA, A. GRABOWSKA, & S. CEBULA. 2012. Yield and Nutritional Quality of Several Non-heading Chinese Cabbage (*Brassica rapa* var. *chinensis*) Cultivars with Different Growing Period and Its Modelling. **J. Hort. Sci. Technol.** 30:650-656. doi:10.7235/hort.2012.12108
- KOPSELL, D.E., D.A. KOPSELL, M.G. LEFSRUD, & J. CURRAN-CELENTANO. 2005. Variability in elemental accumulations among leafy *Brassica oleracea* cultivars and selections. **J. Plant Nutr.** 27:1813-1826. doi:10.1081/PLN-200026431
- MALAVOLTA, E., G.C. VITTI, & S.A. OLIVEIRA. 1997. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2. ed. rev. atual. POTAFOS, Piracicaba. 319 p.
- MAY, A., S.W. TIVELLI, P.F. VARGAS, A.G. SAMRA, L.V. SACCONI, & M.Q. PINHEIRO. 2007. **Boletim Técnico IAC** 200:1-36.
- PAN, Y., L.T. BONTEN, G.F. KOOPMANS, J. SONG, Y. LUO, E.J. TEMMINGHOFF, & R.N. COMANS. 2016. Solubility of trace metals in two contaminated paddy soils exposed to alternating flooding and drainage. *Geoderma*. 261:59-69. doi:10.1016/j.geoderma.2015.07.011
- PEZESHKI, S.R. Wetland plant responses to soil flooding. 2001. **Environ. Exp. Bot.** 46:299-312. doi:10.1016/S0098-8472(01)00107-1
- ŠTURM, M., N. KACJAN-MARŠIČ, V. ZUPANC, B. BRAČIČ-ŽELEZNIK, S. LOJEN, & M. PINTAR. 2010. Effect of different fertilization and irrigation practices on yield, nitrogen uptake and fertiliser use efficiency of white cabbage (*Brassica oleracea* var. *capitata* L.). **Sci. Hortic.** 125:103-109. doi:10.1016/j.scienta.2010.03.017
- TAKEISHI, J., A.B. CECÍLIO FILHO, & P.R. OLIVEIRA. Crescimento e acúmulo de nutrientes em couve-flor 'Verona'. **Biosci. J.** 25:1-10.

- ÜBELHÖR, A.; S. GRUBER, & W. CLAUPEIN. 2014. Influence of tillage intensity and nitrogen placement on nitrogen uptake and yield in strip-tilled white cabbage (*Brassica oleracea* convar. *capitata* var. *alba*). **Soil Tillage Res.** 144:156-163. doi:10.1016/j.still.2014.07.015
- YUN, S. I; H.M. RO. 2009. Natural ¹⁵N abundance of plant and soil inorganic-N as evidence for over-fertilization with compost. **Soil Biol. Biochem.** 41:1541-1547. doi:10.1016/j.soilbio.2009.04.014
- ZHANG, F., J. NIU, W. ZHANG, X. CHEN, C. LI, L. YUAN, & J. XIE. 2010. Potassium nutrition of crops under varied regimes of nitrogen supply. **Plant Soil** 335:21-34. doi:10.1007/s11104-010-0323-4

CONCLUSÕES GERAIS

A aplicação localizada de P é mais eficiente que a aplicação a lanço no fornecimento do nutriente e para a produtividade do repolho.

O acúmulo de matéria seca e de nutrientes é variável com a época de cultivo e com a cultivar.

As maiores taxas de acúmulo de matéria seca e de nutrientes ocorrem nos 10 últimos dias do ciclo.

As adubações com N, P, K, Fe e Zn devem receber maior atenção, em razão de apresentarem os maiores índices de colheita.