

MÁRIO LÚCIO PEREIRA CUNHA

**DEMANDA DE NUTRIENTES E DIAGNOSE DO ESTADO  
NUTRICIONAL DA CULTURA DO ALHO**

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

2014

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

C972d

Cunha, Mário Lúcio Pereira, 1989-

Demanda de nutrientes e diagnose do estado nutricional da cultura do alho / Mário Lúcio Pereira Cunha – Rio Paranaíba, MG, 2014.

49 p. ; 29cm.

Orientador: DSc. Leonardo Angelo de Aquino.

Coorientadores: Dsc. André Mundstock Xavier de Cavalho;  
Dsc. Maria Elisa de Sena Fernandes.

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

1. Composição nutricional. 2. DRIS. 3. CND.

I. Universidade Federal de Viçosa. II. Título.

CDD 22. ed. 635.26

MÁRIO LÚCIO PEREIRA CUNHA

**DEMANDA DE NUTRIENTES E DIAGNOSE DO ESTADO  
NUTRICIONAL DA CULTURA DO ALHO**

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: 29 de agosto de 2014




Prof. André Mundstock Xavier de Carvalho

(Coorientador)



Prof. Roberto Ferreira Novais



Prof. Leonardo Angelo de Aquino

(Orientador)

## **DEDICATÓRIA**

Aos meus pais, Maria Magda Pereira Cunha e Sebastião Braz da Cunha, esteio inabalável da minha vida.

À minha namorada Marcela Moreira de Deus, pela parceria, pelo amor e por compartilhar meus sonhos.

À minha irmã Ana Gabriela Pereira Cunha, minha maior referência de conhecimento, foco e dedicação.

Ao meu irmão Fernando Antônio Pereira Cunha, a pessoa mais incrível que conheci em minha vida.

## AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Viçosa – *Campus* Rio Paranaíba pela oportunidade de cursar o Programa de Pós-graduação em Agronomia – Produção Vegetal.

À FAPEMIG e ao CNPq pelo auxílio financeiro concedido.

À FUNARBE – Fundação Arthur Bernardes pela bolsa de produtividade em pesquisa de Excelência.

A todos os meus familiares, que me apoiaram em diversas etapas da minha formação pessoal e profissional.

Ao professor Leonardo Angelo de Aquino, minha mais importante referência profissional.

Ao professor André Mundstock Xavier de Carvalho, por dispor de seu tempo em incontáveis conversas, conselhos e discussões.

A todos os professores da Universidade Federal de Viçosa – *Campus* Rio Paranaíba, que contribuíram para a minha formação profissional.

A todos os meus amigos, em especial ao Vladenir Carossa, Petterson Coelho, Fernando Moreira e Helbert Braz, que tornaram toda a jornada mais fácil de ser trilhada.

Aos membros do Grupo Soluções Inteligentes em Nutrição de Plantas, que compartilharam comigo tanto os momentos de trabalho quanto os de lazer.

Aos produtores rurais, que permitiram a coleta das amostras em suas propriedades.

A todos que contribuíram de alguma forma para a conclusão desse processo.

**Meus Sinceros Agradecimentos!**

## SUMÁRIO

RESUMO .....	V
ABSTRACT .....	VII
INTRODUÇÃO GERAL .....	1
REFERÊNCIAS .....	4
<b>CAPÍTULO I – DEMANDA DE NUTRIENTES PELA CULTURA ALHO .....</b>	<b>7</b>
RESUMO .....	7
1 - INTRODUÇÃO .....	7
2 - MATERIAL E MÉTODOS .....	9
3 - RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	11
4 - CONCLUSÕES .....	20
5 – REFERÊNCIAS .....	20
<b>CAPÍTULO II – DIAGNOSE DO ESTADO NUTRICIONAL DA CULTURA DO ALHO .....</b>	<b>23</b>
RESUMO .....	23
1 - INTRODUÇÃO .....	23
2 - MATERIAL E MÉTODOS .....	24
3 - RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	28
4 - CONCLUSÕES .....	38
5 – REFERÊNCIAS .....	38
CONCLUSÕES GERAIS .....	41

## RESUMO

CUNHA, Mário Lúcio Pereira, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, Setembro de 2014. **Demanda de nutrientes e diagnose do estado nutricional da cultura do alho.** Orientador: Leonardo Angelo de Aquino. Coorientadores: André Mundstock Xavier de Carvalho e Maria Elisa de Sena Fernandes.

Dentre os fatores que influenciam a produtividade da cultura do alho, a fertilização promove as alterações mais significativas. No entanto, os principais métodos empregados no manejo da fertilização do alho ainda são as tabelas de recomendação de fertilizantes e às faixas de suficiência para a diagnose foliar. Esses métodos encontram-se defasados pois, o primeiro baseia-se em fronteiras políticas e não em condições edafoclimáticas regionais, e o segundo está sujeito aos efeitos de diluição e acúmulo de nutrientes nos tecidos. Para a elaboração de sistemas de recomendação de fertilizantes e corretivos que contenham maior base científica são necessárias diversas informações, destacando a demanda de nutrientes. No caso da diagnose foliar, busca-se substituir os métodos univariados, como as faixas de suficiência, por métodos bivariados ou multivariados, com destaque para o DRIS (Sistema Integrado de Diagnose e Recomendação) e CND (Diagnose da Composição Nutricional), respectivamente. Dessa forma, buscou-se construir modelos que explicassem a demanda de nutrientes pelo alho em função da produtividade de bulbos, bem como elaborar normas para diagnose foliar por meio dos métodos DRIS e CND, visando fomentar a criação de sistemas mais modernos para a recomendação e ajuste dos programas de fertilização. O trabalho foi conduzido na região do Alto Paranaíba – MG durante as safras de 2012 e 2013. Amostras de folhas e de bulbos foram coletadas em 142 talhões comerciais de alho. Todos os talhões encontravam-se cultivados com a variedade “Ito”, e em sua grande maioria foram estabelecidos em Latossolos Vermelho-Amarelo de textura argilosa ou muito argilosa. A produtividade das lavouras amostradas variou de 9,1 à 24,2 t ha<sup>-1</sup>, com média de 17,3 t ha<sup>-1</sup>. O índice de colheita e o teor de matéria seca médios foram 72,1 e 38,2%, respectivamente. Modelos lineares ou de incrementos decrescentes foram ajustados para todas as correlações entre produtividade de bulbos e acúmulo total de nutrientes ou acúmulo de nutrientes nos bulbos. O primeiro tipo de modelo permite explicar o comportamento daqueles nutrientes que se encontravam dentro da zona de deficiência, enquanto o segundo tipo explica o comportamento daqueles que se encontravam na transição entre a zona de deficiência e zona adequada. Não foi possível ajustar modelos significativos para o acúmulo de Cu e Fe nos bulbos e para o acúmulo

total de Cu, Fe, Mn e Zn. Para esses casos, analisou-se o acúmulo desses nutrientes em cinco classes de produtividade. O acúmulo médio de nutrientes pela cultura foi de 206,5 kg ha<sup>-1</sup> de N; 29,4 de P; 123,0 de K; 59,8 de Ca; 10,4 de Mg; 45,4 de S; 179,4 g ha<sup>-1</sup> de B; 134,7 de Cu; 1442,1 de Fe; 85,0 de B; 118,7 de Mn; 308,5 de Zn. Os índices de colheita médios para os nutrientes acumulados seguiram a ordem de: P (75,9%) > S (72,0%) > N (71,4%) > Zn (69,0%) > K (56,0%) > B (47,5%) > Ca (44,4%) > Fe (43,1%) > Mn (41,9%) > Mg (41,4%) > Cu (26,1%). O Cu e o K foram os nutrientes com maior número de talhões diagnosticados como limitante por falta (LF) e limitante por excesso (LE), respectivamente. O método DRIS apresentou maior tendência para diagnósticos LF, enquanto o CND tendeu mais aos diagnósticos LE. As faixas de suficiência produzidas por ambos os métodos apresentaram intervalos mais estreitos do que aqueles sugeridos pela literatura. Além disso, todas as faixas produzidas pelo método CND proporcionaram intervalos mais estreitos que as suas respectivas pelo método DRIS. O método CND apresentou maior capacidade que o DRIS para distinguir em produtividade as lavouras pertencentes a diagnósticos distintos. Quanto aos critérios de avaliação, o estado nutricional possui capacidade consideravelmente maior que as faixas de suficiência para distinguir seus diagnósticos em produtividade.

## ABSTRACT

CUNHA, Mário Lúcio Pereira, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa (Federal University of Viçosa, Viçosa City, Brazil) September, 2014. **Demand for nutrients and diagnosis of the nutritional status of garlic crop.** Advisor: Leonardo Angelo de Aquino. Co-Advisors: André Mundstock Xavier de Carvalho and Maria Elisa de Sena Fernandes.

Among the factors influencing the garlic crop productivity, fertilization promotes the most significant changes. However, the main methods employed to garlic fertilization management are still fertilizer recommendation tables and the ranges of sufficiency for foliar diagnosis. Such methods are outdated because the first one is based on political limits rather than on regional edaphoclimatic conditions; and the second one is subjected to dilution effects and nutrient accumulation in tissues. For preparation of the recommendation systems of fertilizers and correctives, some information with most scientific basis are needed, highlighting the demand for nutrients. In foliar diagnosis, the univariate methods must be replaced, such as the ranges of sufficiency, using bivariate or multivariate methods, with emphasis on the DRIS (Diagnosis and Recommendation Integrated System) and CND (Compositional Nutrient Diagnosis), respectively. Thus, models were constructed that could explain the garlic's nutrients demand according to the bulb yield, as well as to develop standards for foliar diagnosis using DRIS and CND methods, aiming to foster the creation of more modern systems for the recommendation and adjustment of fertilization programs. This study was carried out in the region of Alto Paranaíba, Minas Gerais State, Brazil, during the harvests of 2012 and 2013. Samples of leaves and bulbs were collected from 142 commercial plots of garlic. All plots were cultivated with the garlic variety "Ito" and mostly of them were established in Oxisols Red Yellow clayey or strong clay. The sampled crops productivity ranged from 9.1 to 24.2 t ha<sup>-1</sup> with an average of 17.3 t ha<sup>-1</sup>. The harvest index and average dry matter content were 72.1 and 38.2%, respectively. Linear models or decreasing increments were adjusted for all correlations between bulb yield and the nutrient total accumulation or nutrient accumulation in the bulbs. The first type of model explains the behavior of those nutrients that were in deficiency area, while the second type explains the behavior of those nutrients that were in transition between the deficiency and appropriate area. It was not possible to set significant models for the accumulation of Cu and Fe in the bulbs and the total accumulation of Cu, Fe, Mn, and Zn. For these cases, accumulation of these nutrients was analyzed in five productivity classes. Average nutrient accumulation by the crop was 206.5 kg N ha<sup>-1</sup>; 29.4 P; 123.0 K; 59.8

Ca; 10.4 Mg; 45.4 S; 179.4 g B ha<sup>-1</sup>; 134.7 Cu; 1442.1 Fe; 85.0 B; 118.7 Mn; 308.5 Zn. The average harvest indices for nutrient accumulation followed the order: P (75.9%)>S(72.0%)>N(71.4%)>Zn(69.0%)>K(56, 0%)>B (47.5%)>Ca (44.4%)>Fe (43.1%)>Mn (41.9%)>Mg (41.4%)>Cu (26.1%). Cu and K were the nutrients with greater number of plots diagnosed as limiting by fault (LF) and limiting by excess (LE), respectively. The DRIS method showed greater tendency to LF diagnostic, while the CND method tended to LE diagnostic. The ranges of sufficiency produced by both methods showed narrower intervals than those ones suggested by literature. Additionally, all ranges produced by CND method yielded narrower intervals than their respective ranges by DRIS method. The CND method showed better performance than the DRIS method to distinguish crops in relation to productivity belonging to different diagnoses. Regarding evaluation criteria, nutritional status has considerably greater ability than the ranges of sufficiency to distinguish their diagnoses related to productivity.

## INTRODUÇÃO GERAL

O cultivo do alho (*Allium sativum* L.) destaca-se economicamente e socialmente na cadeia produtiva de olerícolas da região Sul e do Cerrado brasileiro. Anualmente, são gerados dez postos de trabalho (quatro diretos e seis indiretos) por hectare cultivado. Com uma área plantada em torno de 11.000 ha, aproximadamente 110.000 empregos originam-se da cadeia produtiva do alho no país (ANAPA, 2014).

No Brasil o cultivo do alho ocorre em duas regiões distintas. A primeira, no Sul do país, caracteriza-se por pequenos e médios produtores e por abastecer o comércio nacional entre os meses de dezembro e julho. A segunda, no Cerrado brasileiro, é responsável por 75% da produção nacional, caracterizando-se por grandes e médios produtores e por disponibilizar o produto no mercado entre setembro e novembro (Lucini, 2004).

A produção brasileira encontra-se aquém das quantidades consumidas pelo mercado nacional. O alho do Brasil abastece apenas uma parcela que gira em torno de 33% do mercado do produto no país. Desta forma, faz-se necessário importar grandes quantidades de alho para suprir a demanda nacional (ANAPA, 2014).

Considerando este amplo mercado potencial, o aumento da produtividade das lavouras nacionais caracteriza-se como fator decisivo para uma maior participação do alho brasileiro no mercado nacional. Enquanto países como China e Estados Unidos apresentaram em 2010 produtividades médias de 23,6 e 18,4 t ha<sup>-1</sup> respectivamente, o Brasil atingiu marcas de apenas 11,1 t ha<sup>-1</sup> (FAOSTAT, 2014). Neste contexto, a fertilização promove as alterações mais significativas na produtividade do alho (Lipinski e Heras, 1997) e pode aumentar a competitividade da cultura no Brasil.

Atualmente, os principais instrumentos utilizados no manejo de fertilizantes em sistemas agrícolas são as tabelas de recomendação. Essas podem ser inexatas, pois têm seu desenvolvimento baseado em fronteiras políticas e não em condições edafoclimáticas regionais. Além disso, as informações das tabelas de recomendação não possibilitam aos profissionais incorporarem novos conhecimentos e adaptações advindas de pesquisas ou experiências em campo (Tomé Júnior, 2004).

As tabelas oficiais utilizadas para a cultura do alho na região do Cerrado são as publicadas por Souza et al. (1999) em “Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais – 5ª Aproximação” e por Trani et al. (1997) em “Boletim técnico 100 – Recomendações de adubação e calagem para o estado de São Paulo”.

Nota-se que, além dos problemas inerentes à utilização de tabelas, essas publicações são antigas, podendo não condizer com as condições de cultivo atuais.

Trabalhos que empregaram doses crescentes de N (Resende et al., 2000; Backes et al., 2008; Macedo et al., 2009; Fernandes et al., 2010; Fernandes et al., 2011), de P (Büll et al., 2004; Büll et al., 2008) e de K (Büll et al., 2001; Trani et al., 2008) demonstraram acréscimos expressivos na produtividade do alho. Nesses trabalhos, as doses de máxima eficiência produtiva encontradas foram superiores às aquelas recomendadas pelas tabelas oficiais. Dessa forma, é lícito considerar a desatualização das recomendações oficiais contidas nas tabelas de adubação. Portanto, novos instrumentos para a recomendação de fertilizantes para a cultura do alho são necessários para elevar as produtividades e incorporar os novos conhecimentos gerados pela pesquisa e pelos agricultores.

Santos et al. (2008) sugerem a substituição das tabelas de recomendação por sistemas de cálculo que contenham maior base científica. Nesse mérito, destacam-se os sistemas de balanço nutricional, em que a modelagem da recomendação de fertilizantes é realizada em função da demanda de nutrientes pelas plantas e do suprimento de nutrientes pelo solo. Esses sistemas sobressaem frente às tabelas de recomendação por considerarem as variações nas estimativas de produtividade e nos atributos do solo de forma contínua e não como classes.

Um dos maiores empecilhos à elaboração desses modelos é a falta de informações referentes à demanda de nutrientes pelas plantas. Para a cultura do alho alguns trabalhos, como os desenvolvidos por Resende et al. (1999), Andrioli et al. (2008) e Souza et al. (2011), determinaram as quantidades de nutrientes extraídas pela cultura. No entanto, como foi ressaltado por Setiyono et al. (2010), trabalhos desse gênero são ajustados para condições experimentais específicas, limitando muito sua aplicabilidade para condições mais amplas de ambiente e de manejo. Além disso, esses trabalhos consideraram produtividades muito aquém daquelas obtidas por grande parte dos produtores, cabendo também questionamentos quanto à adequação para as condições atuais.

A análise foliar permite, dentre outras finalidades, acompanhar, avaliar e ajustar os programas de fertilização agrícola (Coelho et al., 2002). A utilização de folhas na avaliação do estado nutricional das plantas baseia-se na premissa da existência de relações entre os teores foliares, a absorção de nutrientes do solo e a produtividade das plantas (Fageria et al., 2009).

Devido à sua facilidade de interpretação, o método da Faixa de Suficiência é o mais utilizado na avaliação dos valores obtidos nas análises foliares (Wadt et al., 2013). Nessa metodologia os teores nutricionais são comparados individualmente com valores de referência, sendo necessárias condições edafoclimáticas muito semelhantes entre as lavouras avaliadas e os locais onde se realizaram os experimentos de calibração (Serra et al., 2010).

O método Sistema Integrado de Diagnose e Recomendação (DRIS) (Beaufils, 1973) foi desenvolvido para contornar diversas das limitações inerentes às Faixas de Suficiência. O cálculo de Índices DRIS é efetuado por meio do quociente entre um nutriente e cada um dos demais. A principal vantagem consiste na maior constância dos quocientes entre os nutrientes, em lavouras com o mesmo estado nutricional, comparativamente aos teores individuais. Além disso, espera-se menor influência dos fatores idade e conteúdo de água nas relações duais entre nutrientes.

Outro método alternativo às Faixas de Suficiência é a Diagnose da Composição Nutricional (CND) (Parent & Dafir, 1992). Nesse método o equilíbrio de um nutriente é calculado em função de todos os outros e não de forma dual como no DRIS. Sendo assim, o método considera todas as possíveis interações entre os nutrientes, o que permite diagnóstico mais exato. Além disso, o CND possui todas as vantagens inerentes ao DRIS e apresenta maior facilidade na execução dos cálculos.

Atualmente somente existem normas criadas pelos métodos da faixa de suficiência e do nível crítico para a avaliação nutricional da cultura do alho. Além das limitações apresentadas pelo caráter univariado de ambos os métodos (onde os teores são comparados individualmente), essas publicações possuem mais de 15 anos, sendo as mais recentes as faixas propostas por Trani e Rajj (1997) e os níveis críticos estabelecidos por Malavolta et al. (1997).

Nos últimos anos, alguns trabalhos buscaram atualizar as normas para a avaliação do estado nutricional das plantas de alho em relação ao N (Lima, 2005; Fernandes, 2008). Os valores de referência produzidos basearam-se, além dos teores nutricionais, nos teores de clorofila na folha. No entanto, as tentativas de se aprimorar a diagnose nutricional do alho limitaram-se somente ao N.

Dessa forma, buscou-se fomentar a criação de sistemas com maior base de dados para a recomendação de fertilizantes e corretivos para cultura do alho, por meio da construção de modelos que expliquem a demanda de nutrientes pela cultura em função da produtividade de bulbos. Além disso, objetivou-se desenvolver normas, por meio de

métodos mais modernos, para a realização do ajuste fino desses programas de adubação, por meio da diagnose foliar.

## REFERÊNCIAS

ANAPA. **Alho Brasileiro**. Disponível em: <[http://www.anapa.com.br/simples/?page\\_id=5](http://www.anapa.com.br/simples/?page_id=5)>. Acesso em: 13 mar. 2014.

ANDRIOLI F.F.; PRADO, R.M.; ANDRIOLI I.; SAES L.P. Curva de crescimento e marcha de absorção de nutrientes pela cultura do alho sob condições de campo. **Scientia Agraria**; v. 9, p. 385-393, 2008.

BACKES, C.; LIMA, C.P.; GODOY, L.J.G.; BÔAS, R.L.V.; IMAIZUMI, I. Coloração verde nas folhas da cultura do alho vernalizado em resposta a adubação nitrogenada. **Bragantia**, v. 67, p. 491-498, 2008.

BEAUFILS, E.R. **Diagnosis and Recommendation Integrated System (DRIS): a general scheme for experimentation and calibration based on principles developed from research in plant nutrition**. Pietermaritzburg, South Africa, University of Natal, 1973. 132p. (Soil Science Bulletin, n.1).

BÜLL, L.T.; BÔAS, R.L.V.; FERNANDES, D.M.; BERTANI, R.M.A. Fertilização potássica na cultura do alho vernalizado. **Scientia Agricola**, v. 58, p. 157-163, 2001.

BÜLL, L.T.; COSTA, M.C.G.; FERNANDES, D.M.; BÔAS, R.L.V. Doses and forms of application of phosphorus in vernalized garlic. **Scientia Agricola**, v. 61, p. 516-521, 2004.

BÜLL, L.T.; NOVELLO, A.; CORRÊA, J.C.; BÔAS, R.L.V. Doses de fósforo e zinco na cultura do alho em condições de casa de vegetação. **Bragantia**, v. 67, p. 941-949, 2008.

COELHO, A.M.; FRANÇA, G.E.; PITTA, G.V.E.; ALVES, V.M.C. Cultivo do milho: Diagnose foliar do estado nutricional da planta. **Comunicado Técnico 45**, 5 p., 2002.

FAGERIA, N.K.; BARBOSA FILHO, M.P.; MOREIRA, A.; GUIMARÃES, C.M. Foliar fertilization of crop plants. **Journal of Plant Nutrition**. v. 32 p. 1044-1064, 2009.

FAOSTAT. **Value of Agricultural Production**, 2012. Disponível em: <<http://faostat.fao.org/site/567/DesktopDefault.aspx?>>. Acesso em: 13 mar. 2014.

FERNANDES, L.J.C. **Resposta a nitrogênio por plantas de alho (*Allium sativum* L.) livres de vírus**. 2008. 84 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrônômicas da Unesp, Botucatu.

FERNANDES, L.J.C.; BÔAS, R.L.V.; BACKES, C.; LIMA, C.P.; BÜLL, L.T.; Contribuição das concentrações de nitrogênio em bulbilhos de alho tratados com dose de N em cobertura. **Horticultura Brasileira**, v. 29, p. 26-31, 2011.

FERNANDES, L.J.C.; BÜLL, L.T.; CORRÊA, J.C.; PAVAN, M.A.; IMAIZUMI, I. Respostas de plantas de alho livre de vírus ao nitrogênio em ambiente protegido. **Horticultura Brasileira**, v. 28, p. 97-101, 2010.

LIMA C.P. **Medidor de clorofila na avaliação nitrogenada na cultura do alho vernalizado**. 2005. 108 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrônômicas da Unesp, Botucatu.

LIPINSKI, V.M.& HERAS, S.G. Manejo de la fertilización y el abonado en cultivos de ajo de Mendoza. **50 temas sobre producción de ajo** v. 3, p. 120-130, 1997.

LUCINI, M. **Manual prático de produção: Alho**. Curitiba: Bayer CropScience, 2004. p. 135.

MACEDO, F.S.; SOUZA, R.J.; CARVALHO, J.G.; SANTOS, B.R.; LEITE, L.V.R. Produtividade de alho vernalizado em função de doses de nitrogênio e molibdênio. **Bragantia**, v.68, n.3, p.657-663, 2009.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. Avaliação do estado nutricional. In: MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. de. **Avaliação do estado nutricional da plantas: princípios e aplicações**. 2.ed., Piracicaba, Potafos, 1997. p.115-230.

PARENT, L.E.; DAFIR, M. A theoretical concept of compositional nutrient diagnosis. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, v. 117, p. 239-242, 1992.

RESENDE F.V.; FAQUIN V.; SOUZA R.J.; SILVA V.S. Acúmulo de matéria seca e exigências nutricionais de plantas de alho provenientes de cultura de tecidos e de propagação convencional. **Horticultura Brasileira**; v. 17, p. 220-226, 1999.

RESENDE, F.V.; OLIVEIRA, P.S.R.; SOUZA, R.J. Crescimento, produção e absorção de nitrogênio do alho proveniente de cultura de tecidos, cultivado com doses elevadas de nitrogênio. **Horticultura Brasileira**, v. 18, p. 31-36, 2000.

SANTOS, F.C.; NEVES, J.C.L.; NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H.; SEDIYAMA, C.S. Modelagem da recomendação de corretivos e fertilizantes para a cultura da soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 1661-1674, 2008.

SERRA, A.P.; MARCHETTI, M.E.; VITORINO, A.C.T.; NOVELINO, J.O.; CAMACHO, M.A. Desenvolvimento de normas DRIS e CND e avaliação do estado nutricional da cultura do algodoeiro. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.34, p.97-104, 2010.

SETIYONO T.D.; WALTERS D.T.; CASSMAN K.G.; WITT C.; DOBERMANN A. Estimating maize nutrient uptake requirements. **Field Crops Research**; v. 118, p. 158-168, 2010.

SOUZA R.J., PAULA M.B.; FILHO A.B.C. Alho. In: RIBEIRO A.C., GUIMARÃES P.T.G.; ALVARES V.H. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais - 5ª aproximação**. Viçosa: UFV, 1999. p. 349.

SOUZA R.J.; MACÊDO F.S.; CARVALHO J.G.; SANTOS B.R.; LEITE L.V.R. Absorção de nutrientes em alho vernalizado proveniente de cultura de meristemas cultivado sob doses de nitrogênio. **Horticultura Brasileira**; v. 29, p. 498-503, 2011.

TOMÉ JUNIOR, J.B. **Uma nova abordagem nas recomendações de adubação**. 2004. 141 p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

TRANI P.E., TAVARES P.E.T.; SIQUEIRA W.J. Hortaliças – Alho. In: RAIJ B., CANTARELLA H. QUAGGIO J.A.; FURLANI A.M.C. **Recomendação de adubação e calagem para o Estado de São Paulo – Boletim 100**. Campinas: Instituto Agrônomo, 1997. p. 107.

TRANI P.E.; RAIJ, B. Hortaliças. In: RAIJ B.; CANTARELLA H.; QUAGGIO J.A.; FURLANI A.M.C. **Recomendação de adubação e calagem para o Estado de São Paulo – Boletim 100**. 2. ed. Campinas: Instituto Agrônomo, 1997. p. 107.

TRANI, P.E.; CAMARGO, M.S.; FOLTRAN, D.E.; HIROCE, R.; ARRUDA, F.B.; SAWAZAKI, H.E. Produtividade e pseudoperfilhamento do alho influenciados pelo nitrogênio, potássio e cobertura morta. **Horticultura Brasileira**, v. 26, p. 330-334. 2008.

WADT, P.G.S.; ANGHINONI, I.; GUINDANI, A.S.T.L.; LIMA, A.S.T.; PUGA, A.P.; SILVA, G.S.; PRADO, R.M. Padrões nutricionais para lavouras arrozeiras irrigadas por inundação pelos métodos da CND e chance matemática. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, p. 145-156, 2013.

## CAPÍTULO I – DEMANDA DE NUTRIENTES PELA CULTURA ALHO

### RESUMO

Atualmente existe tendência de substituição das tabelas de recomendação de fertilizantes por sistemas de cálculo que contenham maior base científica. No entanto há carência de informações para o suprimento desses sistemas, principalmente quanto à demanda de nutrientes pela a maioria das culturas. Nesse sentido, buscou-se elaborar modelos para relacionar a demanda de nutrientes pela cultura do alho a partir da produtividade de bulbos. O trabalho foi conduzido na região do Alto Paranaíba – MG durante as safras de 2012 e 2013. Foram amostrados 142 talhões comerciais de alho, cultivados com a variedade “Ito” e em sua grande maioria estabelecidos em Latossolos Vermelho-Amarelo. A produtividade das lavouras amostradas variou de 9,1 à 24,2 t ha<sup>-1</sup>, com média de 17,3 t ha<sup>-1</sup>. Os índices de colheita e teor de água médios foram 72,1% e 38,2% respectivamente. Somente modelos lineares ou de incrementos decrescentes foram ajustados para todas as correlações entre produtividade de bulbos e acúmulo total de nutrientes ou acúmulo de nutrientes nos bulbos. O primeiro tipo de modelo permitiu explicar o comportamento daqueles nutrientes que se encontravam dentro da zona de deficiência, enquanto o segundo tipo explicou o comportamento daqueles que encontravam-se na transição entre a zona de deficiência e zona adequada. Não foi possível ajustar modelos significativos para o acúmulo de Cu e Fe nos bulbos e para o acúmulo total de Cu, Fe, Mn e Zn. Para esses casos, analisou-se o acúmulo desses nutrientes em cinco diferentes classes de produtividade. O acúmulo médio de nutrientes pela cultura foi de 206,5 kg ha<sup>-1</sup> de N; 29,4 de P; 123,0 de K; 59,8 de Ca; 10,4 de Mg; 45,4 de S; 179,4 g ha<sup>-1</sup> de B; 134,7 de Cu; 1442,1 de Fe; 85,0 de B; 118,7 de Mn; 308,5 de Zn. Os índices de colheita médios para os nutrientes acumulados seguiram a ordem de: P (75,9%) > S (72,0%) > N (71,4%) > Zn (69,0%) > K (56,0%) > B (47,5%) > Ca (44,4%) > Fe (43,1%) > Mn (41,9%) > Mg (41,4%) > Cu (26,1%).

### 1 - INTRODUÇÃO

Atualmente os principais instrumentos utilizados no manejo de fertilizantes em sistemas agrícolas são as tabelas de recomendação. Essas ferramentas podem ser muito inexatas, pois têm seu desenvolvimento baseado em fronteiras políticas e não em condições edafoclimáticas regionais. Além disso, as informações das tabelas de recomendação não possibilitam aos profissionais incorporarem novos conhecimentos e adaptações advindas de pesquisas ou experiências em campo (Tomé Júnior, 2004).

As tabelas oficiais utilizadas para a cultura do alho na região do Cerrado são as publicadas por Souza et al. (1999) em “Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais – 5ª Aproximação” e por Trani et al. (1997) em “Boletim técnico 100 – Recomendações de adubação e calagem para o estado de São Paulo”. Nota-se que, além dos problemas inerentes à utilização de tabelas, essas publicações são antigas, podendo não condizer com as condições de cultivo atuais.

Trabalhos que empregaram doses crescentes de N (Resende et al., 2000; Backes et al., 2008; Macedo et al., 2009; Fernandes et al., 2010; Fernandes et al., 2011), P (Büll et al., 2004; Büll et al., 2008) e K (Büll et al., 2001; Trani et al., 2008) demonstraram acréscimos significativos na produtividade do alho. Nestes trabalhos as doses de máxima eficiência produtiva encontradas foram superiores àquelas recomendadas pelas tabelas oficiais. Dessa forma, é lícito considerar a desatualização das recomendações oficiais contidas nas tabelas de adubação. Portanto, novos instrumentos para a recomendação de fertilizantes para a cultura do alho são necessários para elevar as produtividades e incorporar os novos conhecimentos gerados pela pesquisa e pelos agricultores.

Santos et al. (2008) sugerem a substituição das tabelas de recomendação por sistemas de cálculo que contenham maior base científica. Nesse mérito, destacam-se os sistemas de balanço nutricional, onde a modelagem da recomendação de fertilizantes é realizada em função da demanda de nutrientes pelas plantas e do suprimento de nutrientes pelo solo. Esses sistemas sobressaem frente às tabelas de recomendação por considerarem as variações nas estimativas de produtividade e nos atributos do solo de forma contínua e não como classes.

Um dos maiores empecilhos à elaboração desses modelos, é a falta de informações referentes à demanda de nutrientes pelas plantas. Para a cultura do alho alguns trabalhos, como os desenvolvidos por Resende et al. (1999), Andrioli et al. (2008) e Souza et al. (2011), determinaram a quantidade de nutrientes removida pela cultura. No entanto, como foi ressaltado por Setiyono et al. (2010), trabalhos desse gênero são ajustados para condições experimentais específicas, limitando muito sua aplicabilidade para condições mais amplas de ambiente e de manejo. Além disso, esses trabalhos consideraram produtividades muito aquém daquelas obtidas por grande parte dos produtores, cabendo também questionamentos quanto à adequação para as condições atuais.

Nesse sentido, têm-se optado por realizar esse tipo de trabalho em áreas com padrão comercial de cultivo, buscando obter amostras com níveis de produtividade

equivalentes aos atingidos pelos produtores, e visando contemplar o máximo de variabilidade possível. Partindo desses princípios, Witt et al. (1999) para o arroz, Liu et al. (2006) para o trigo e milho, e Setiyono et al. (2010) para o milho, obtiveram sucesso na construção de modelos mais robustos e abrangentes que explicassem a demanda de nutrientes por essas culturas para diferentes produtividade.

Sendo assim, buscou-se elaborar modelos que correlacionem a demanda de nutrientes pela cultura do alho em função da produtividade de bulbos, visando fomentar a criação de sistemas de cálculo de recomendação de fertilizantes e corretivos que possuam uma maior base científica.

## **2 - MATERIAL E MÉTODOS**

Este trabalho foi conduzido na região do Alto Paranaíba – MG durante os anos de 2012 e 2013. O clima regional é classificado como Cwa, segundo o sistema de Köppen-Geiger, e a altitude das áreas variou entre 900 e 1200 m. Os talhões sob o cultivo de alho avaliados possuíam em sua grande maioria, solos classificados como Latossolo Vermelho-Amarelo, havendo também menor parcela como Latossolo Vermelho e Latossolo Amarelo (Embrapa, 2013).

O banco de dados do trabalho foi formado por 142 talhões comerciais, onde realizou-se as amostragens no fim do ciclo da cultura do alho. Em cada talhão foram coletadas 15 plantas sequenciais em quatro pontos distintos, resultando em uma amostra composta formada por 60 plantas. Em cada uma dessas, foram avaliadas a produtividade, a matéria seca de bulbos e folhas e o teor de nutrientes nos bulbos e folhas. Ademais, calculou-se o índice de colheita, o teor de água nos bulbos e o acúmulo dos nutrientes nos bulbos e folhas.

Todos os talhões avaliados foram cultivados com a variedade de alho “Ito”, pertencente ao grupo nobre, de ciclo tardio e coloração roxa. Os bulbilhos foram submetidos ao processo de vernalização antes do plantio, com temperaturas entre 2 e 5°C por um período de 45 a 60. Todas as áreas encontravam-se sob irrigação por pivô central, exceto dois talhões que foram irrigados por aspersão convencional. As médias e desvios-padrão das adubações foram:  $222 \pm 30$  kg ha<sup>-1</sup> de N;  $371 \pm 39$  de P e  $417 \pm 62$  de K. Para a recomendação de calagem dominou-se o método de saturação por bases, utilizando 80 ou 85% para os valores de saturação esperada.

Para determinar a produtividade de cada talhão, realizou-se a pesagem dos 60 bulbos coletados, após serem submetidos a secagem natural por 30 dias, extrapolando o valor obtido para um hectare. A matéria seca de bulbos e folhas foi avaliada pela secagem do material coletado em estufa ventilada à 70°C por 72h, seguido pela pesagem. As

amostras secas foram trituradas em moinho tipo Wiley e destinadas à análise química, para a determinação dos teores nutricionais dos bulbos e folhas.

O índice de colheita foi calculado pela razão entre a matéria seca de bulbos e a matéria seca total (bulbos + folhas). O cálculo do teor de água nos bulbos se deu pelo quociente entre a massa dos bulbos após a secagem ao ar e após a secagem em estufa. O acúmulo de nutrientes nos bulbos e folhas foi obtido pelo produto entre o teor nutricional e o acúmulo de matéria seca nos respectivos órgãos.

As análises químicas dos tecidos vegetais foram realizadas conforme as metodologias descritas por Silva (2009). Para a determinação do N foi realizada a digestão sulfúrica, seguido pela destilação de Kjeldahl. Os demais nutrientes foram submetidos à digestão nitro-perclórica e analisados por espectrofotometria (P e B), fotometria de chama (K), turbidimetria (S) e espectrofotometria de absorção atômica (Ca, Mg, Cu, Fe, Mn e Zn).

Todos os dados foram submetidos à análise de *outliers*, orientada pelo método dos resíduos padronizados. Os resultados com valores discrepantes associados à fatores não explicáveis foram eliminados. Após a eliminação, realizou-se a análise descritiva das variáveis, por meio da média, desvio padrão, valor máximo e valor mínimo. Além disso, modelos matemáticos foram construídos à partir da correlação com a produtividade das variáveis acúmulo de nutrientes nas folhas e bulbos e índice de colheita.

Não foi possível ajustar um modelo significativo para a correlação entre a produtividade e o índice de colheita. Dessa forma, optou-se por analisar a distribuição dos dados de cada uma das variáveis isoladamente, a fim de obter-se o valor esperado de cada uma, estimando-se, assim, o índice de colheita para a produtividade média da região.

Os critérios para o ajuste de modelos para as correlações entre a produtividade e o acúmulo de nutrientes nas folhas ou bulbos seguiu, em ordem decrescente de prioridade, os seguintes critérios: a explicação biológica dos dados, a significância dos modelos, a significância dos parâmetros do modelo e o coeficiente de determinação. Por meio desses critérios apenas dois tipos distintos de modelos, linear (1) e de incrementos decrescentes (2), foram ajustados aos dados.

$$y = a + bx \quad (1)$$

$$y = a (1 - \exp(-bx)) \quad (2)$$

Para os elementos em que não foi possível ajustar modelos significativos para a correlação entre o acúmulo e a produtividade, analisaram-se a média e o erro-padrão da média em cinco classes de produtividade (<14; 14 a 16; 16 a 18; 18 a 20 e >20 t ha<sup>-1</sup>).

As classes foram comparadas por meio da sobreposição das barras de erro, sendo consideradas distintas aquelas em que os intervalos de acúmulo de nutrientes, delimitados pelo erro padrão da média, não se sobrepuseram.

### 3 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

A produtividade de bulbos de alho variou de 9,1 à 24,2 t ha<sup>-1</sup>, com média de 17,3 t ha<sup>-1</sup> (Tabela 1). A produtividade média de alho no Brasil foi de 10,6 t ha<sup>-1</sup> no ano de 2012 (FAO, 2014), nota-se que a região do Alto Paranaíba-MG apresenta produtividade acima de outras regiões produtoras no país. Nessa região o cultivo do alho é realizado por grandes e médios produtores com amplo acesso à tecnologia, o que explica a maior produtividade média (ANAPA, 2014).

Tabela 1 – Produtividade; matéria seca total (MST); índice de colheita; teor de água no bulbo; acúmulo total e acúmulo nos bulbos de N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn e Zn da cultura do alho

Parâmetro	Unidade	n	Média	s	Mínimo	Máximo
Produtividade	t ha <sup>-1</sup>	142	17,3	2,7	9,1	24,2
MST	kg ha <sup>-1</sup>	140	9125,5	1360,7	4524,3	11998,2
Índice de colheita	kg kg <sup>-1</sup>	140	72,1	4,9	57,6	84,4
Teor de água no bulbo	%	125	38,2	1,5	35,1	41,8
Acúmulo de N nos bulbos	kg ha <sup>-1</sup>	136	148,4	32,3	76,8	239,7
Acúmulo de P nos bulbos	kg ha <sup>-1</sup>	137	22,4	3,6	11,3	30,7
Acúmulo de K nos bulbos	kg ha <sup>-1</sup>	136	66,7	14,4	37,3	113,1
Acúmulo de Ca nos bulbos	kg ha <sup>-1</sup>	137	26,2	6,8	14,5	46,2
Acúmulo de Mg nos bulbos	kg ha <sup>-1</sup>	131	4,2	0,8	2,2	6,8
Acúmulo de S nos bulbos	kg ha <sup>-1</sup>	134	32,9	7,2	13,5	57,9
Acúmulo de B nos bulbos	g ha <sup>-1</sup>	141	85,0	21,2	32,2	145,1
Acúmulo de Cu nos bulbos	g ha <sup>-1</sup>	129	32,4	13,0	3,3	65,2
Acúmulo de Fe nos bulbos	g ha <sup>-1</sup>	78	534,2	165,1	14,3	786,1
Acúmulo de Mn nos bulbos	g ha <sup>-1</sup>	118	46,9	13,9	16,0	86,2
Acúmulo de Zn nos bulbos	g ha <sup>-1</sup>	111	204,2	40,3	105,3	296,6
Acúmulo total de N	kg ha <sup>-1</sup>	134	206,5	34,9	107,7	291,9
Acúmulo total de P	kg ha <sup>-1</sup>	137	29,4	3,8	17,1	37,4
Acúmulo total de K	kg ha <sup>-1</sup>	128	123,0	21,0	67,4	167,0
Acúmulo total de Ca	kg ha <sup>-1</sup>	131	59,8	12,6	32,1	92,3
Acúmulo total de Mg	kg ha <sup>-1</sup>	125	10,4	1,9	6,3	14,4
Acúmulo total de S	kg ha <sup>-1</sup>	139	45,4	8,0	21,8	68,3
Acúmulo total de B	g ha <sup>-1</sup>	138	179,4	34,0	103,9	254,6
Acúmulo total de Cu	g ha <sup>-1</sup>	68	134,7	62,2	49,1	306,4
Acúmulo total de Fe	g ha <sup>-1</sup>	83	1442,1	309,0	794,4	1995,9
Acúmulo total de Mn	g ha <sup>-1</sup>	84	118,7	35,4	57,0	187,3
Acúmulo total de Zn	g ha <sup>-1</sup>	111	308,5	79,5	137,8	534,4

n = número de observações; s = desvio padrão.

Não foi observada correlação entre o índice de colheita e a produtividade de bulbos (Figura 1). No entanto, analisando cada uma dessas variáveis isoladamente, notou-se para ambas forte tendência para a distribuição normal dos dados. Sendo assim, a partir do princípio de que o primeiro momento de uma distribuição normal é a média aritmética (Montgomery & Runger, 2012), assumiu-se que para a média de

produtividade do trabalho (17,3 t ha<sup>-1</sup>) o índice de colheita foi de 72,1%. O índice de colheita permite a estimativa da matéria seca da parte aérea, a partir da produtividade de bulbos. Essa estimativa é importante para cálculo da quantidade de nutrientes alocados na parte aérea.

O teor médio de água nos bulbos foi de 38,2%, com um coeficiente de variação de 3,9% (Tabela 1). O conhecimento dessa variável é de alta relevância no manejo nutricional, pois permite estimar a matéria seca de bulbos à partir de uma produtividade estimada. Diferentemente da maioria das culturas graníferas, a comercialização do alho não é feita com base em um valor padrão de umidade do produto. No entanto, a baixa variabilidade obtida no teor de água dos talhões amostrados, confere alta confiabilidade na utilização dessa variável para a cultura do alho.

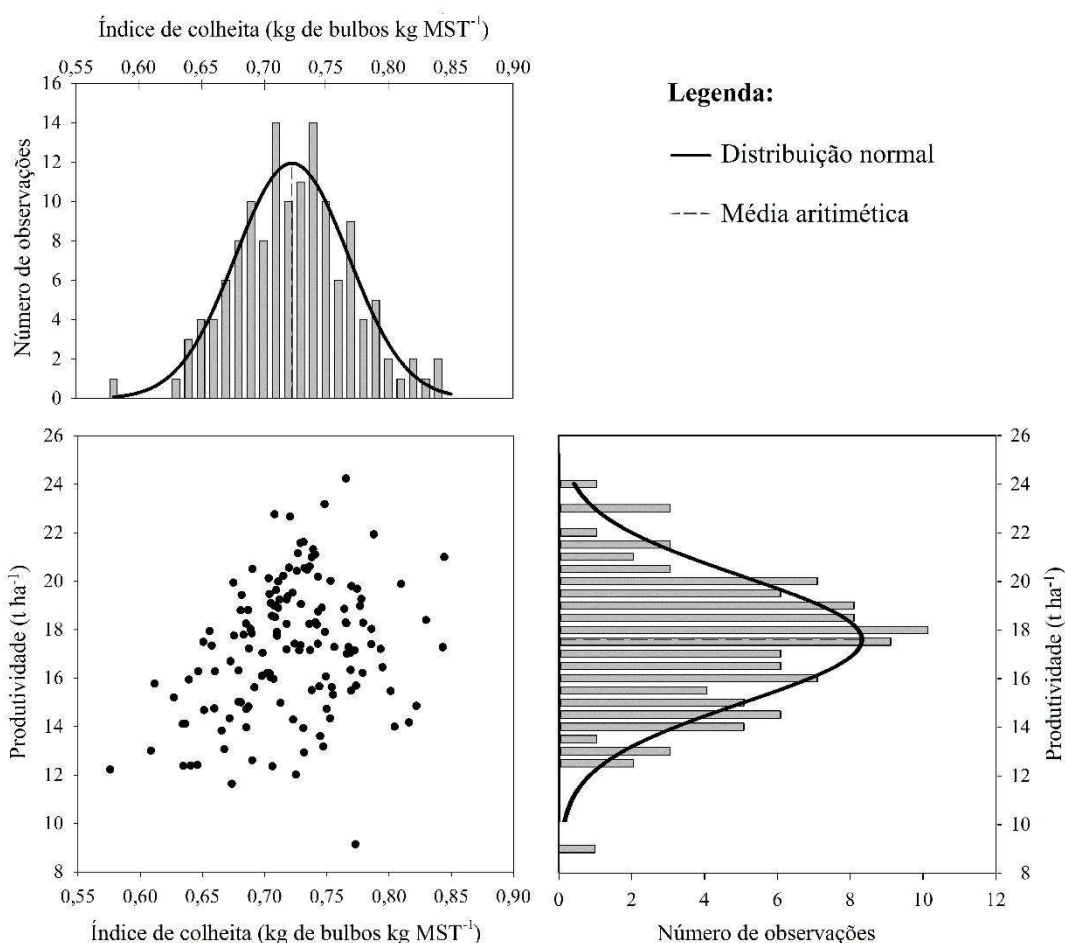


Figura 1 – Correlação entre a produtividade e o índice de colheita da cultura do alho.

A ordem de acúmulo médio de nutrientes, tanto total como somente pelos bulbos, seguiu: N > K > Ca > S > P > Mg > Fe > Zn > B > Cu > Mn (Tabela 1). Resende et al. (1999) e Andriolli et al. (2008) obtiveram sequências bastante

semelhantes, exceto pelos nutrientes com menores acúmulos. O primeiro encontrou que o Cu, e não o Mn, é o nutriente menos extraído pelo alho. A sequência de Andriolli et al. (2008) diferiu quanto aos três nutrientes menos acumulados, seguindo a ordem de Mn > B > Cu. A absorção desses três micronutrientes é fortemente influenciada por características edafoclimáticas, como por exemplo: o teor de água para o B (Mattiello et al., 2009), a matéria orgânica para o Cu (Abreu et al., 2007) e as condições de oxirredução para o Mn (Souza, 2001). Dessa forma, sugere-se que as variações observadas entre os três trabalhos devam-se, principalmente, às diferenças entre os ambientes de cultivo.

O índice de colheita médio dos nutrientes seguiu em ordem decrescente: P > S > N > Zn > K > B > Ca > Fe > Mn > Mg > Cu (Tabela 2). O conhecimento dessa informação é relevante para o manejo da reposição dos nutrientes exportados pela cultura. Quando durante a colheita do alho removem-se também as folhas da área de cultivo, deve-se atentar para a reposição dos elementos com baixo índice de colheita. Nesse sentido, destaca-se o B, Ca, Fe, Mn, Mg e Cu, onde mais de 50% dos seus acúmulos encontram-se nas folhas.

Tabela 2 –Índice de colheita de N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn e Zn da cultura do alho

Nutriente	n	Média	s	-----%-----	
				Mínimo	Máximo
N	132	71,4	8,3	54,0	94,1
P	133	75,9	6,8	58,8	92,1
K	123	56,0	8,3	38,3	85,5
Ca	131	44,4	8,3	26,4	66,5
Mg	117	41,4	6,5	26,9	54,5
S	133	72,0	9,6	45,8	94,2
B	138	47,5	8,7	24,4	67,9
Cu	58	26,1	10,7	11,6	56,1
Fe	57	43,1	11,3	21,8	73,6
Mn	83	41,9	14,7	14,8	74,2
Zn	111	69,0	14,8	22,5	93,8

n = número de observações

Os modelos ajustados para a correlação entre a produtividade e o acúmulo de nutrientes não exibiram coeficientes de determinação ( $R^2$ ) elevados (valores entre 0,22 e 0,60). No entanto, todos eles, bem como os seus parâmetros, apresentaram-se altamente significativos ( $p < 0,001$ ) (Figuras 3, 4 e 5).

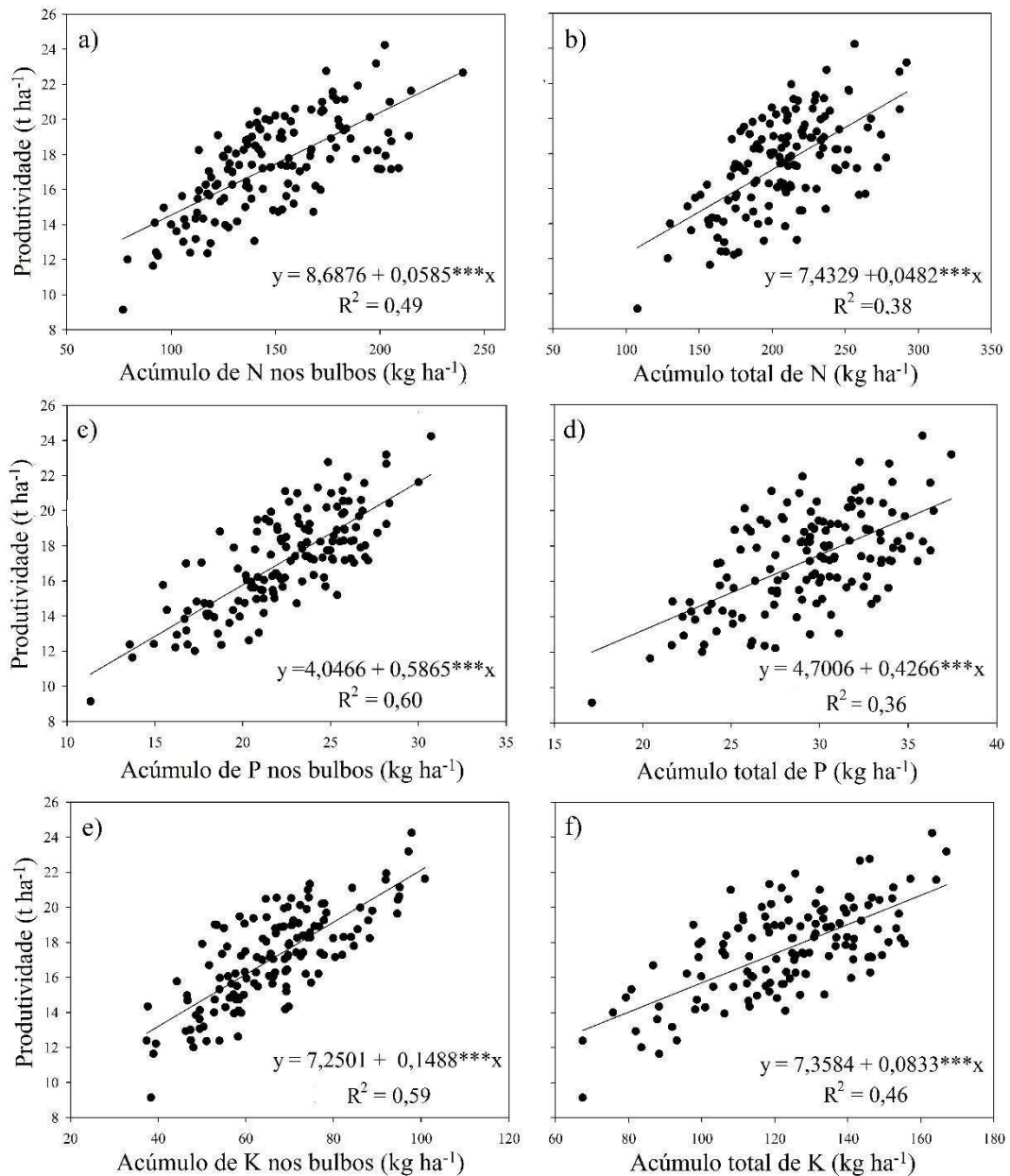
Somente modelos lineares ou de incrementos decrescentes foram ajustados para todas as correlações do trabalho (Figura 3, 4 e 5). A escolha desses permitiu, além de obter adequados ajustes estatísticos, realizar a explicação biológica dos dados. A

produtividade das culturas (ou o crescimento vegetal) em função do acúmulo de nutrientes, apresenta inicialmente um estágio linear seguido por um hiperbólico que culmina em um platô (Witt et al., 1999; Taiz e Zeiger, 2013). Sendo assim, a utilização dos dois tipos de modelos permite explicar as correlações que se enquadrem em um dos dois estágios.

No modelo apresentado por Taiz e Zeiger (2013) que explica a correlação entre o crescimento vegetal e a concentração de um nutrientes no tecido vegetal, é possível distinguir três zonas. A primeira, conhecida por zona de deficiência, caracteriza-se por uma função em que o aumento da disponibilidade de nutrientes correlaciona-se positivamente e linearmente com o aumento da produtividade. Na segunda, a zona adequada, o acúmulo de nutrientes nos tecidos não mais aumenta a produtividade, observando somente incrementos na concentração dos elementos. Por fim, a zona tóxica consiste em um estágio em que o acúmulo do nutriente encontra-se tão elevado, que observam-se reduções no crescimento vegetal devido à fitotoxidez.

Nos últimos anos, diversos trabalhos visaram obter as funções que explicam essas correlações para várias culturas como, por exemplo: Witt et al. (1999) para o arroz, Liu et al. (2006) para o trigo e milho, e Setiyono et al. (2010) para o milho. Para essa finalidade, esses pesquisadores utilizaram da ferramenta QUEFTS (Quantitative Evaluation of the Fertility of Tropical Soils), desenvolvida inicialmente por Janssen et al. (1990) e modificada por Witt et al. (1999). É importante ressaltar que, diferentemente do apresentado por Taiz e Zeiger (2013), os autores creditaram maior importância para a região transitória entre a primeira e a segunda zona de acúmulo de nutrientes, não sendo tratada como apenas uma curta e rápida zona de transição. Estabeleceu-se portanto que, desconsiderando a zona de toxidez que ocorre sob teores de nutrientes muito elevadas, o modelo de crescimento vegetal em função do acúmulo de nutrientes, segue um modelo linear-parabólico-platô (Witt et al., 1999). Dessa forma, entre a primeira e segunda região existe uma que se comporta parabolicamente, ou seja, observam-se incrementos decrescentes no crescimento vegetal com o aumento da concentração de nutrientes.

Para os nutrientes N, P e K, observou-se comportamento linear positivo entre a produtividade da cultura e o acúmulo de nutrientes, tanto no total (bulbos+folhas) como nos bulbos (Figura 2). Esse comportamento indica que as concentrações desses nutrientes no tecido vegetal ainda encontram-se dentro da zona de deficiência, ou seja, o aumento no acúmulo desses elementos irá aumentar diretamente a produtividade de bulbos.



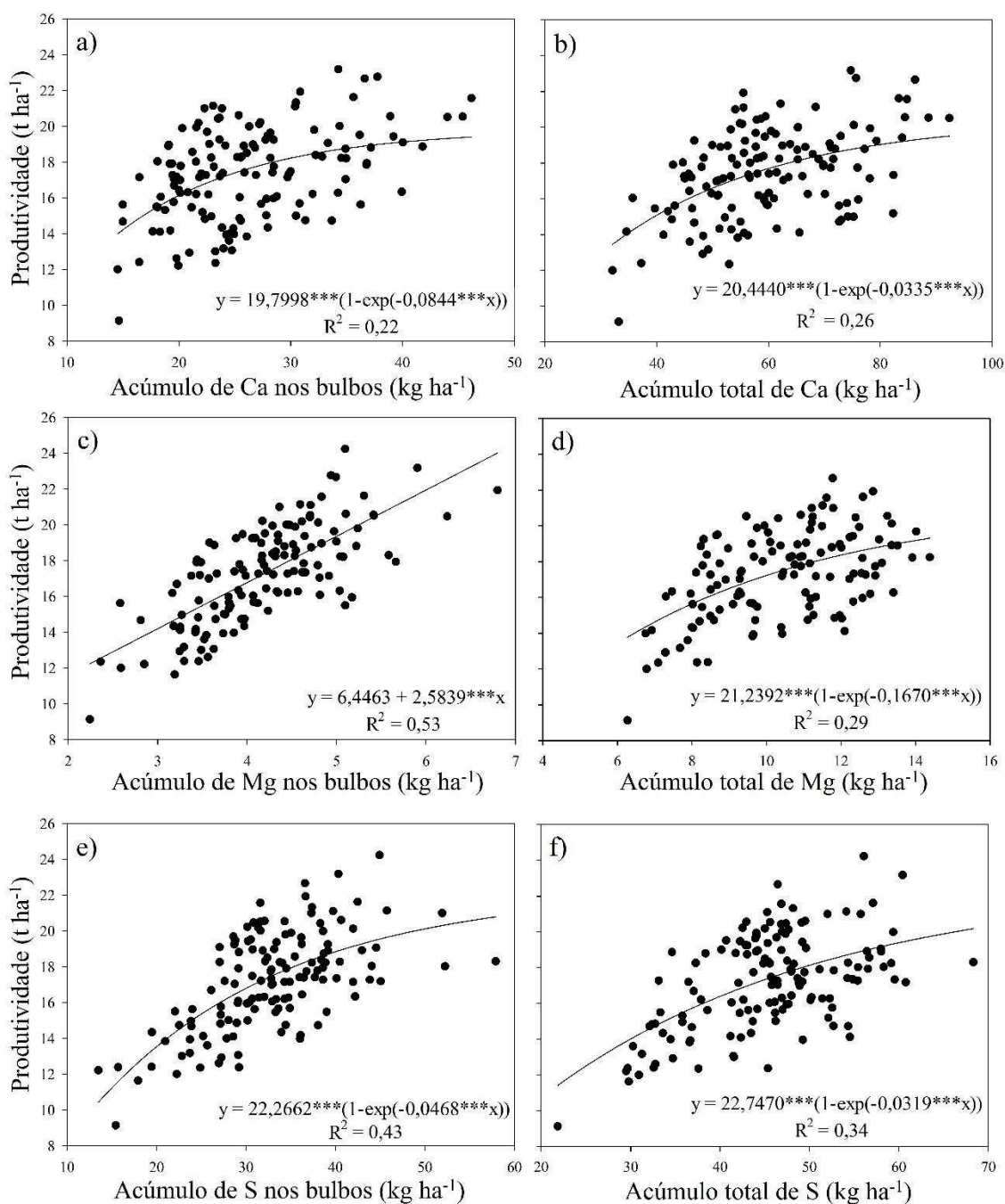
\*\*\* significativo a nível de 0,001

Figura 2 – Correlação entre a produtividade e o acúmulo total e acúmulo nos bulbos de N (a; b), P (c; d) e K (e; f).

Os modelos ajustados indicaram que para aumentar a produtividade da cultura em 1 t ha<sup>-1</sup>, dentro do intervalo de cada função, o alho irá acumular mais 20,7 kg ha<sup>-1</sup> de N; 2,3 kg ha<sup>-1</sup> de P e 12,0 kg ha<sup>-1</sup> de K. Para os bulbos, haverão acréscimos médios de 17,1 kg ha<sup>-1</sup> de N; 1,7 kg ha<sup>-1</sup> de P e 6,7 kg ha<sup>-1</sup> de K.

À partir dos modelos ajustados, têm-se que 205 kg ha<sup>-1</sup> de N; 30 de P e 120 de K são as quantidades desses elementos necessárias para se atingir a produtividade média obtida no trabalho (17,3 t ha<sup>-1</sup>).

O comportamento observado Ca, Mg e S diferiu em relação aquele para N, P e K. Com exceção do acúmulo de Mg nos bulbos, notou-se o comportamento parabólico assumido pelos modelos com melhor ajuste (Figura 3). Esses resultados indicam que as concentrações de Ca, Mg e S e de Ca e S nos bulbos, excederam os teores limites da zona de deficiência. Dessa forma, esperam-se incrementos decrescentes na produtividade para o aumento do fornecimento desses elementos.



\*\*\* significativo a nível de 0,001

Figura 3 – Correlação entre a produtividade e o acúmulo total e acúmulo nos bulbos de Ca (a; b), Mg (c; d) e S (e; f).

O acúmulo total de Ca e de Mg acima da zona de deficiência deve-se, provavelmente, pelas elevadas doses de calcário empregadas na região. A maioria dos talhões estudados teve sua saturação por bases elevada para 80 ou 85% (dados não apresentados). Acredita-se que as quantidades desses elementos nos solos foram mais do que suficientes para as necessidades do alho. Com isso, espera-se que, de fato, os modelos para Ca e Mg aproximem-se mais da zona adequada do que da zona de deficiência.

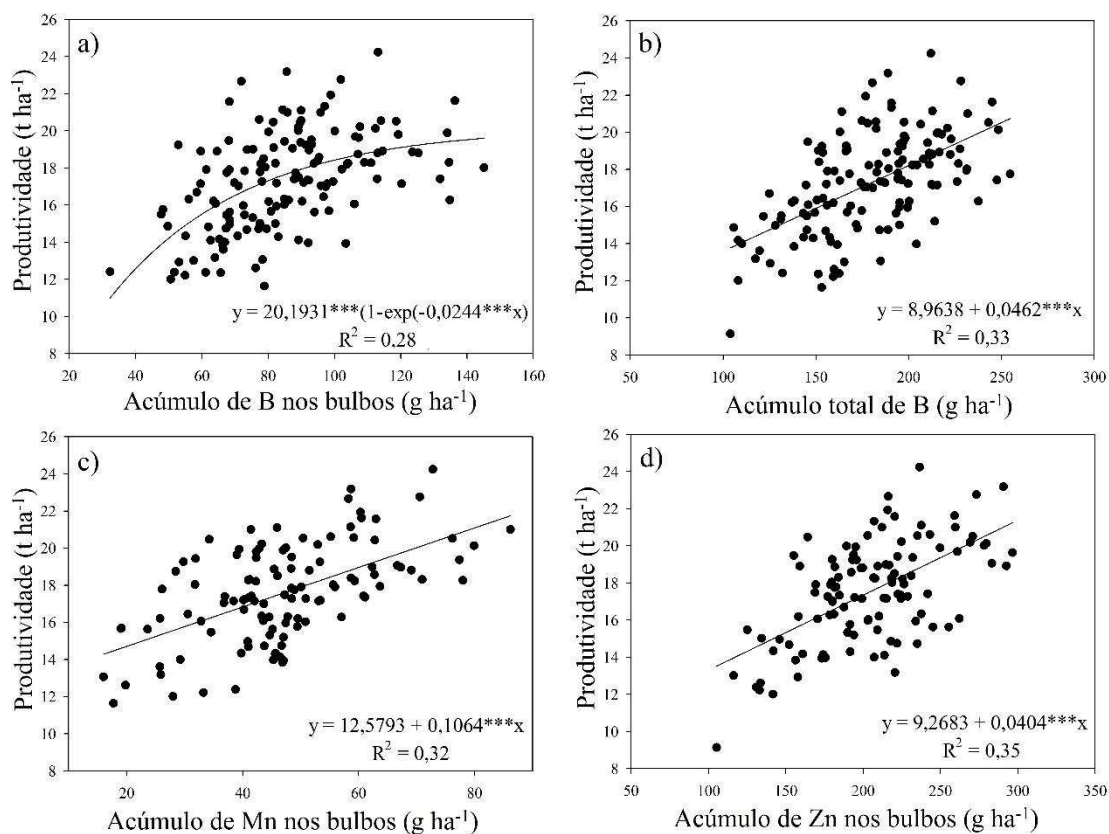
O fornecimento de S para os talhões deu-se pela aplicação de superfosfato simples (12% de S). A dose média de superfosfato simples empregada nos talhões foi de 1250 kg ha<sup>-1</sup>, com média de 150 kg ha<sup>-1</sup> de S (dados não apresentados). Segundo o modelo ajustado para o acúmulo total do nutriente (Figura 3e), o alho extrai 44,8 kg ha<sup>-1</sup> de S para a produtividade média do trabalho (17,3 t ha<sup>-1</sup>). Logo, o suprimento médio de S via fertilizante excedeu em mais de três vezes a necessidade média da cultura.

Em estudos sobre a fertilização com S, obteve-se para as taxas de recuperação do nutriente fornecido via fertilizante valores de: 0,40 para a cana-de açúcar (Freire, 2001); 0,45 para a banana (Oliveira et al., 2005); 0,50 para o algodão (Possamai, 2003); 0,50 para a soja (Santos et al., 2008); e 0,59 para o abacaxi (Silva et al., 2009). Partindo desses valores, calcula-se que para a quantidade média de S aplicada, no mínimo 60 kg ha<sup>-1</sup> seriam absorvidos pelas plantas de alho. Sendo assim, a disponibilidade de S para o alho excedeu à necessidade média da cultura (44,8 kg ha<sup>-1</sup>).

Não foi possível ajustar modelos significativos para a correlação entre a produtividade e o acúmulo da maioria dos micronutrientes. Apenas para o acúmulo total de B, Mn e Zn e para o acúmulo de B nos bulbos obteve-se sucesso no ajuste desses modelos (Figura 4).

A relação entre o acúmulo de B nos bulbos e a produtividade da cultura assumiu tendência parabólica. Diferentemente, o acúmulo total do nutriente relacionou-se de forma linear e positiva com a produtividade da cultura, com acréscimos de 21,6 g ha<sup>-1</sup> por tonelada produzida (dentro do intervalo do modelo). Esses resultados indicam que para altas produtividades, as necessidades de B do alho são maiores para a formação de bulbos do que para a formação de folhas.

Para os micronutrientes Mn e Zn, obteve-se para o aumento de 1 t ha<sup>-1</sup> na produtividade, dentro do intervalo da função, o acúmulo nos bulbos de 9,4 g ha<sup>-1</sup> e 24,8 g ha<sup>-1</sup>, respectivamente. Sendo assim, para a média de produtividade do trabalho (17,3 t ha<sup>-1</sup>), são necessários o acúmulo nos bulbos de 44 g ha<sup>-1</sup> de Mn e 199 g ha<sup>-1</sup> de Zn.



\*\*\* significativo a nível de 0,001

Figura 4 – Correlação entre a produtividade e o acúmulo total de B (a) e acúmulo nos bulbos de B (b), Mn (c) e Zn (d).

Para os micronutrientes em que não foi possível ajustar modelos, analisou-se o acúmulo médio e o erro-padrão da média desses, em cinco classes de produtividade (<14; 14 a 16; 16 a 18; 18 a 20 e >20 t ha<sup>-1</sup>). As classes foram comparadas por meio da sobreposição das barras de erro e consideradas distintas aquelas em que os intervalos de acúmulo de nutrientes delimitados pelo erro padrão da média não se sobrepuseram (Figura 5).

A análise do acúmulo de Cu nos bulbos permitiu a distinção de dois grupos distintos. Todas as classes com produtividade superior à 14 t ha<sup>-1</sup> foram consideradas semelhantes segundo o critério da sobreposição das barras de erro. Sendo assim, para produtividades menores que 14 t ha<sup>-1</sup> a média de acúmulo de Cu nos bulbos foi de 22 g ha<sup>-1</sup>, enquanto para produtividades maiores que 14 t ha<sup>-1</sup> o acúmulo foi de 34 g ha<sup>-1</sup>.

Para o total de Cu acumulado, observou-se que as duas primeiras classes de produtividade distinguiram da terceira e quarta classe, que foram semelhantes. A última classe (> 20 t ha<sup>-1</sup>) não diferiu de nenhuma outra. Sendo assim, optou-se por separar as cinco classes em três grupos distintos. Para o primeiro, com produtividades inferiores à 16 t ha<sup>-1</sup>, o acúmulo médio foi de 119 g ha<sup>-1</sup>; para o segundo, com produtividade entre

16 e 20 t ha<sup>-1</sup>, o acúmulo médio apresentado foi de 153 g ha<sup>-1</sup>; e para o último grupo, com produtividades superiores à 20 t ha<sup>-1</sup>, o acúmulo médio foi de 128 g ha<sup>-1</sup>.

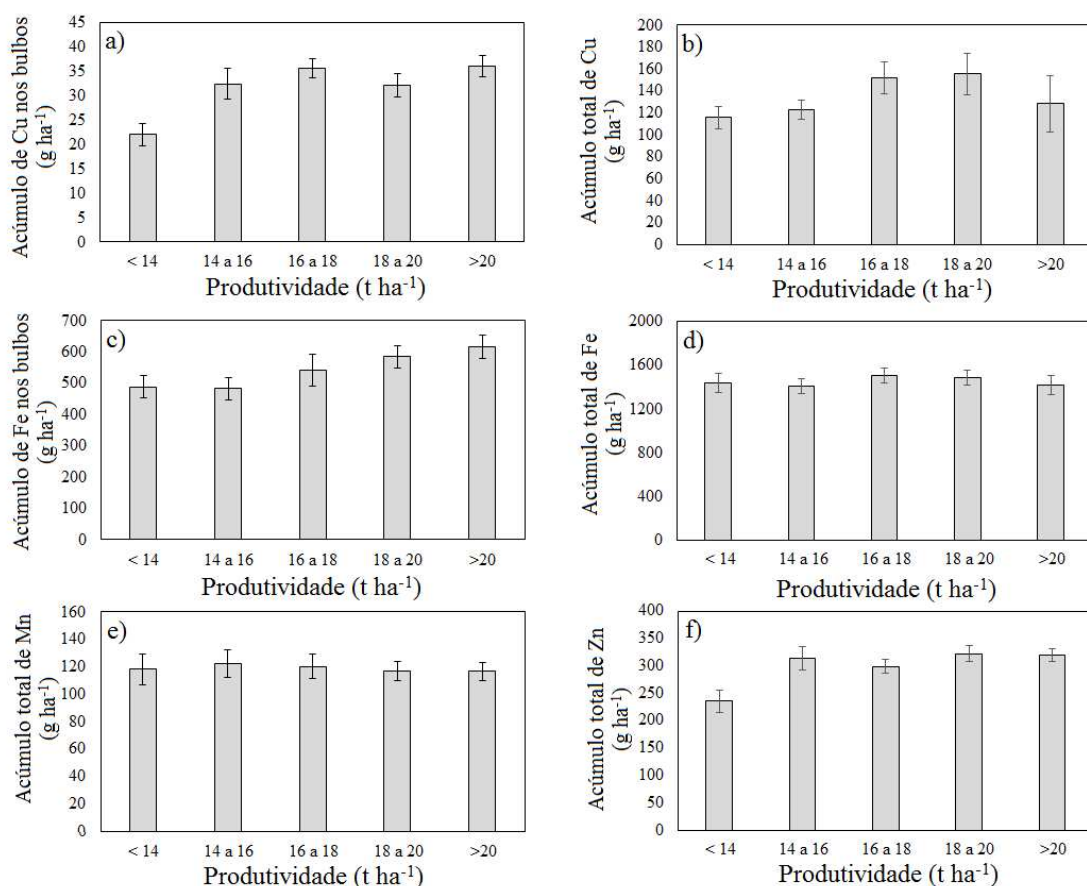


Figura 5 – Média e erro padrão da média do acúmulo de Cu (a) e Fe (c) nos bulbos e acúmulo total de Cu (b), Fe (d), Mn (e) e Zn (f) em função de cinco classes produtividade do alho.

O acúmulo de Fe nos bulbos demonstrou distinção entre as classes de produtividade inferiores à 16 t ha<sup>-1</sup> e as classes com produtividade superior à 18 t ha<sup>-1</sup>, observando uma transição (sem diferenças para as demais classes) na classe de 16 a 18 t ha<sup>-1</sup>. Dessa forma, utilizaram-se esses três grupos como critérios de separação para o acúmulo de Fe nos bulbos. O primeiro grupo (produtividade inferior à 16 t ha<sup>-1</sup>) acumulou em média 485 g ha<sup>-1</sup>; o segundo (produtividade entre 16 e 18 t ha<sup>-1</sup>) 542 g ha<sup>-1</sup>; e o último (produtividade superior à 18 t ha<sup>-1</sup>) 600 g ha<sup>-1</sup>.

Tanto para o acúmulo total de Fe quanto para o acúmulo total de Mn, não se observaram distinções entre as classes de produtividade. Dessa forma, assumiu-se que as extrações médias totais, independente da produtividade, foram de 1452 g ha<sup>-1</sup> de Fe e 119 g ha<sup>-1</sup> de Mn.

A análise de classes para o acúmulo total de Zn permitiu distinguir dois grupos distintos. No primeiro grupo, com produtividade inferior à 14 t ha<sup>-1</sup>, o acúmulo médio de Zn foi de 237 g ha<sup>-1</sup>. No segundo, com produtividade superior à 14 t ha<sup>-1</sup>, a média de acúmulo foi de 315 g ha<sup>-1</sup> de Zn.

#### 4 - CONCLUSÕES

1. Os modelos permitem estimar a absorção de nutrientes pela cultura do alho de acordo com a produtividade de bulbos;
2. A ordem de extração de nutrientes pela cultura do alho segue a sequência: N > K > Ca > S > P > Mg > Fe > Zn > B > Cu > Mn;
3. O índice de colheita de nutrientes da cultura do alho segue a sequência: P > S > N > Zn > K > B > Ca > Fe > Mn > Mg > Cu.

#### 5 – REFERÊNCIAS

ABREU C.A.; LOPES A.S. SANTOS G.C.G. In: NOVAIS R.F.; ALVAREZ V.H.; BARROS N.F.; FONTES R.L.; CANTARUTTI R.B.; NEVES J.C.L. **Fertilidade do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. cap. 11, p. 646-724.

ANAPA. **Alho Brasileiro**. Disponível em: <[http://www.anapa.com.br/simples/?page\\_id=5](http://www.anapa.com.br/simples/?page_id=5)>. Acesso em: 13 mar. 2014.

ANDRIOLI F.F.; PRADO, R.M.; ANDRIOLI I.; SAES L.P. Curva de crescimento e marcha de absorção de nutrientes pela cultura do alho sob condições de campo. **Scientia Agraria**; v. 9, p. 385-393, 2008.

BACKES, C.; LIMA, C.P.; GODOY, L.J.G.; BÔAS, R.L.V.; IMAIZUMI, I. Coloração verde nas folhas da cultura do alho vernalizado em resposta a adubação nitrogenada. **Bragantia**, v. 67, p. 491-498, 2008.

BÜLL, L.T.; BÔAS, R.L.V.; FERNANDES, D.M.; BERTANI, R.M.A. Fertilização potássica na cultura do alho vernalizado. **Scientia Agricola**, v. 58, p. 157-163, 2001.

BÜLL, L.T.; COSTA, M.C.G.; FERNANDES, D.M.; BÔAS, R.L.V. Doses and forms of application of phosphorus in vernalized garlic. **Scientia Agricola**, v. 61, p. 516-521, 2004.

BÜLL, L.T.; NOVELLO, A.; CORRÊA, J.C.; BÔAS, R.L.V. Doses de fósforo e zinco na cultura do alho em condições de casa de vegetação. **Bragantia**, v. 67, p. 941-949, 2008.

EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília: Embrapa, 2013. p. 353.

FAOSTAT. **Value of Agricultural Production**, 2012. Disponível em: <<http://faostat.fao.org/site/567/DesktopDefault.aspx?>>. Acesso em: 13 mar. 2014.

FERNANDES, L.J.C.; BÔAS, R.L.V.; BACKES, C.; LIMA, C.P.; BÜLL, L.T.; Contribuição das concentrações de nitrogênio em bulbilhos de alho tratados com dose de N em cobertura. **Horticultura Brasileira**, v. 29, p. 26-31, 2011.

FERNANDES, L.J.C.; BÜLL, L.T.; CORRÊA, J.C.; PAVAN, M.A.; IMAIZUMI, I. Respostas de plantas de alho livre de vírus ao nitrogênio em ambiente protegido. **Horticultura Brasileira**, v. 28, p. 97-101, 2010.

FREIRE J.F. **Sistema para cálculo do balanço nutricional e recomendação de corretivos e fertilizantes para cana-de-açúcar**. 2001. 156 p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

LIU M.; YU Z.; LIU Y.; KONJIN N.T. Fertilizer requirements for wheat and maize in China: the QUEFTS approach. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**; v. 74, p. 245-258, 2006.

MACEDO, F.S.; SOUZA, R.J.; CARVALHO, J.G.; SANTOS, B.R.; LEITE, L.V.R. Produtividade de alho vernalizado em função de doses de nitrogênio e molibdênio. **Bragantia**, v.68, n.3, p.657-663, 2009.

MATIELLO E.M.; RUIZ H.A.; SILVA I.R.; BARROS N.F.; NEVES J.C.L.; BEHLING M. Transporte de boro no solo e sua absorção por eucalipto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**; v. 33, p. 1281-1290, 2009.

MONTGOMERY D.C.; RUNGER G.C. **Estatística aplicada e probabilidade para engenheiros**. 5. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2012. p. 476.

OLIVEIRA F.H.T.; NOVAIS R.F.; ALVAREZ V., V.H.; CANTARUTTI R.B. Desenvolvimento de um sistema para recomendação de adubação para a cultura da bananeira. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, p. 131-143, 2005.

POSSAMAI J.M. **Sistema de recomendação de corretivos e fertilizantes para a cultura do algodoeiro**. 2003. 103 p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

RESENDE F.V.; FAQUIN V.; SOUZA R.J.; SILVA V.S. Acúmulo de matéria seca e exigências nutricionais de plantas de alho provenientes de cultura de tecidos e de propagação convencional. **Horticultura Brasileira**; v. 17, p. 220-226, 1999.

RESENDE, F.V.; OLIVEIRA, P.S.R.; SOUZA, R.J. Crescimento, produção e absorção de nitrogênio do alho proveniente de cultura de tecidos, cultivado com doses elevadas de nitrogênio. **Horticultura Brasileira**, v. 18, p. 31-36, 2000.

RUIZ H.A.; MIRANDA J.; CONCEIÇÃO J.C.S. Contribuição dos mecanismos de fluxo de massa e de difusão para o suprimento de K, Ca e Mg a plantas de arroz. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**; v. 23, p. 1015-1018, 1999.

SANTOS, F.C.; NEVES, J.C.L.; NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H.; SEDIYAMA, C.S. Modelagem da recomendação de corretivos e fertilizantes para a cultura da soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 1661-1674, 2008.

SETIYONO T.D.; WALTERS D.T.; CASSMAN K.G.; WITT C.; DOBERMANN A. Estimating maize nutrient uptake requirements. **Field Crops Research**; v. 118, p. 158-168, 2010.

SILVA A.P.; ALVAREZ V. V.H.; SOUZA A.P.; NEVES J.C.L.; NOVAIS R.F.; DANTAS. J.P. Sistema de recomendação de fertilizantes e corretivos para a cultura do abacaxi – Fertcalc-Abacaxi. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, p. 1269-1280, 2009.

SILVA, F.C. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Brasília: Embrapa, 2009. p. 627.

SOUZA R.J., PAULA M.B.; FILHO A.B.C. Alho. In: RIBEIRO A.C., GUIMARÃES P.T.G.; ALVARES V.H. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais - 5ª aproximação**. Viçosa: UFV, 1999. p. 349.

SOUZA R.J.; MACÊDO F.S.; CARVALHO J.G.; SANTOS B.R.; LEITE L.V.R. Absorção de nutrientes em alho vernalizado proveniente de cultura de meristemas cultivado sob doses de nitrogênio. **Horticultura Brasileira**; v. 29, p. 498-503, 2011.

SOUZA R.O. **Oxirredução em solos alagados afetada por resíduos vegetais**. 2001. 164 p. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

TAIZ L.; ZEIGER E. **Fisiologia vegetal**. 5. ed. Porto Alegre: Artmed, 2013. cap. 5, p. 108-130.

TOMÉ JUNIOR, J.B. **Uma nova abordagem nas recomendações de adubação**. 2004. 141 p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

TRANI P.E., TAVARES P.E.T.; SIQUEIRA W.J. Hortaliças – Alho. In: RAIJ B., CANTARELLA H. QUAGGIO J.A.; FURLANI A.M.C. **Recomendação de adubação e calagem para o Estado de São Paulo – Boletim 100**. Campinas: Instituto Agrônomo, 1997. p. 107.

TRANI, P.E.; CAMARGO, M.S.; FOLTRAN, D.E.; HIROCE, R.; ARRUDA, F.B.; SAWAZAKI, H.E. Produtividade e pseudoperfilhamento do alho influenciados pelo nitrogênio, potássio e cobertura morta. **Horticultura Brasileira**, v. 26, p. 330-334. 2008.

WITT C.; DOBERMANN A.; ABDULRACHMAN S.; GINES H.C.; GUANGHUO W.; NAGARAJAN R.; SATAWATANANONT S. SON T.T.; TAN P.S.; TIEM L.V.; SIMBAHAN G.C.; OLK D.C. Internal nutrient efficiencies of irrigated lowland rice in tropical and subtropical Asia. **Field Crops Research**; v. 63, p. 113-138, 1999.

## **CAPÍTULO II – DIAGNOSE DO ESTADO NUTRICIONAL DA CULTURA DO ALHO**

### **RESUMO**

Atualmente existem normas pelos métodos da faixa de suficiência e do nível crítico para a avaliação nutricional da cultura do alho. No entanto, esses métodos univariados produzem diagnósticos muito suscetíveis à efeitos de diluição e acúmulo de nutrientes. Sendo assim, buscou-se estabelecer normas bivariadas e multivariadas para a cultura do alho, por meio dos métodos Sistema Integrado de Diagnóstico e Recomendação (DRIS) e Diagnose da Composição Nutricional (CND), respectivamente. Como critério para o estabelecimento dos métodos utilizou-se do estado nutricional e da faixa de suficiência, realizando também a comparação dos diagnósticos produzidos. O trabalho foi conduzido na região do Alto Paranaíba – MG durante as safras de 2012 e 2013. Foram amostrados 99 talhões comerciais de alho, cultivados com a variedade “Ito” e, em sua grande maioria, estabelecidos em Latossolos Vermelho-Amarelo. O Cu e o K foram os nutrientes com maior número de talhões diagnosticados como limitante por falta (LF) e limitante por excesso (LE), respectivamente. O método DRIS apresentou maior tendência para diagnósticos LF, enquanto o CND tendeu mais aos diagnósticos LE. As faixas de suficiência produzidas por ambos os métodos apresentaram intervalos mais estreitos do que aqueles sugeridos pela literatura. Além disso, todas as faixas produzidas pelo método CND proporcionaram intervalos mais estreitos que as suas respectivas pelo método DRIS. O método CND apresentou maior capacidade que o DRIS para distinguir em produtividade as lavouras pertencentes à diagnósticos distintos. Quanto aos critérios de avaliação, o estado nutricional possui maior capacidade que as faixas de suficiência para distinguir seus diagnósticos em produtividade.

### **1 - INTRODUÇÃO**

A análise foliar permite, dentre outras finalidades, acompanhar, avaliar e ajustar os programas de fertilização agrícola (Coelho et al., 2002). A utilização das folhas na avaliação do estado nutricional das plantas baseia-se na premissa da existência de relações entre os teores foliares, a absorção de nutrientes e a produtividade das plantas (Fageria et al., 2009).

Devido à sua fácil interpretação, o método da Faixa de Suficiência é o mais utilizado na avaliação dos valores obtidos nas análises foliares (Wadt et al., 2013).

Nesse método os teores nutricionais são comparados individualmente com valores de referência, sendo necessárias condições edafoclimáticas muito semelhantes entre as lavouras avaliadas e os locais onde se realizaram os experimentos de calibração (Serra et al., 2010a).

O método Sistema Integrado de Diagnóstico e Recomendação (DRIS) (Beaufils, 1973) foi desenvolvido para contornar diversas limitações inerentes às Faixas de Suficiência. Nesse método, procede-se o cálculo de Índices DRIS por meio do quociente entre um nutriente e cada um dos demais. A principal vantagem consiste na maior constância dos quocientes entre os nutrientes, em lavoura com o mesmo estado nutricional, comparativamente aos teores individuais.

Outro método alternativo às Faixas de Suficiência é a Diagnóstico da Composição Nutricional (CND) (Parent & Dafir, 1992). Nesse método o equilíbrio de um nutriente é calculado em função de todos os outros e não de forma dual como no DRIS. Sendo assim, o método considera todas as possíveis interações entre os nutrientes, permitindo um diagnóstico mais exato. Além disso, o CND possui todas as vantagens inerentes ao DRIS e apresenta maior facilidade na execução dos cálculos.

Atualmente, existem normas criadas pelos métodos da faixa de suficiência e do nível crítico para a avaliação nutricional da cultura do alho. Além das limitações apresentadas pelo caráter univariado de ambos os métodos (onde os teores são comparados individualmente), essas publicações possuem mais de 15 anos, sendo as mais recentes as faixas propostas por Trani e Rajj (1997) e os níveis críticos estabelecidos por Malavolta et al. (1997).

Nos últimos anos, alguns trabalhos buscaram reestabelecer as normas para a avaliação do estado nutricional das plantas de alho em relação ao N (Lima, 2005; Fernandes, 2008). Os valores de referência produzidos basearam-se, além dos teores nutricionais, no índice SPAD. No entanto, as tentativas de se aprimorar a diagnose nutricional do alho se limitaram somente no N.

Dessa forma, acredita-se que a elaboração e utilização de metodologias mais modernas para a diagnose foliar da cultura do alho permitam gerar diagnósticos nutricionais mais exatos e, conseqüentemente, recomendações de fertilizantes e corretivos mais adequadas.

## **2 - MATERIAL E MÉTODOS**

Este trabalho foi conduzido na região do Alto Paranaíba – MG durante os anos de 2012 e 2013. O clima regional é classificado como Cwa, segundo o sistema de Köppen-

Geiger, e a altitude das áreas variou entre 900 e 1200 m. Os solos sob o cultivo de alho foram classificados, em sua grande maioria, como Latossolo Vermelho-Amarelo, havendo também menor parcela como Latossolo Vermelho e Latossolo Amarelo (Embrapa, 2013).

As normas para o diagnóstico nutricional da cultura do alho foram construídas por meio dos métodos Sistema Integrado de Diagnose e Recomendação (DRIS) (Beaufils, 1973) e Diagnose da Composição Nutricional (CND) (Parent & Dafir, 1992), utilizando-se para ambos dos critério do Estado Nutricional (EN) (Silva, 2001) e das faixas de suficiência (FS).

O banco de dados para a aplicação dos métodos foi formado por 99 talhões comerciais, onde realizou-se a amostragem de folhas e bulbos. A coleta da folha índice ocorreu após o início da diferenciação dos bulbilhos, amostrando-se 15 folhas em quatro pontos distintos, resultando em 60 amostras simples por talhão. Tomou-se como folha índice do alho aquela mais jovem e completamente expandida no início da bulbificação (Trani e Raij, 1997; Rosen et al., 2008). A coleta de bulbos foi realizada para determinar a produtividade de cada área. Coletou-se para esse fim 15 plantas sequenciais em quatro pontos diferentes por talhão, formando uma amostra composta de 60 bulbos.

Após a coleta, as folhas foram levadas à estufa ventilada com temperatura de 70° C por 72 horas, seguindo pela moagem e análises laboratoriais. As análises químicas dos tecidos vegetais foram realizadas conforme métodos descritos por Silva (2009). Para a determinação do N foi realizada a digestão sulfúrica, seguido pela destilação-titulação de Kjeldahl. Os demais nutrientes foram submetidos à digestão nitro-perclórica e analisados por espectrofotometria (P e B), fotometria de chama (K), turbidimetria (S) e espectrofotometria de absorção atômica (Ca, Mg, Cu, Fe, Mn e Zn).

Os bulbos coletados foram submetidos a um processo de secagem à temperatura ambiente por 30 dias. Após esse procedimento, realizou-se a pesagem do material, e extrapolaram-se os valores obtidos para a população equivalente em um hectare.

Para a aplicação de ambos os métodos, os talhões foram classificados e agrupados em subpopulações de alta e baixa produtividade. Os talhões de alta e baixa produtividade foram aqueles que apresentarem, respectivamente, produtividade superiores e inferiores à 18500 kg ha<sup>-1</sup>.

Para os cálculos do método DRIS, primeiramente estabeleceram-se os quocientes entre o teor de cada nutriente e os teores dos demais. A média e o desvio padrão dos quocientes da subpopulação de alta produtividade compuseram as normas DRIS. Na sequência, as relações duais de todos os talhões foram transformadas em variáveis normais reduzidas [Z(A/N)], por meio dos valores das normas DRIS, sendo os

valores aproximados a números inteiros pelo fator de ajuste “c” igual a 10. A média aritmética das variáveis normais reduzidas das relações diretas [Z(A/N)] e indiretas [Z(N/A)] de cada nutriente foi definida como índice DRIS ( $I_A$ ) desse elemento (Alvarez V. & Leite, 1999).

$$Z(A/N) = [(A/N) - (a/n)] (c/s)$$

$$I_A = \frac{z(\frac{A}{B}) + z(\frac{A}{C}) + \dots + z(\frac{A}{N}) + z(\frac{B}{A}) + z(\frac{C}{A}) + \dots + z(\frac{N}{A})}{2(n-1)}$$

Em que,

Z (A/N) = variável normal reduzida para a relação dual entre os teores de nutrientes da amostra;

A/N = relação dual entre os teores de nutrientes da amostra;

a/n = relação dual entre os teores de nutriente na subpopulação de alta produtividade;

c = fator de ajuste;

s = desvio padrão da relação dual entre os teores de nutrientes na subpopulação de alta produtividade;

n = número de nutrientes envolvidos.

No método CND, os teores dos nutrientes de cada talhão foram ajustados para a mesma unidade ( $\text{dag kg}^{-1}$ ). Em seguida, calculou-se o teor dos componentes da matéria seca, exceto os macro e micronutrientes (R). Após a obtenção destes resultados, foi calculada a média geométrica entre os teores dos constituintes da matéria seca (G), para posterior correção do teor de cada nutriente, resultando na variável multinutriente ( $V_i$ ).

$$R = 100 - \sum x_i$$

$$G = [(\prod x_i) \cdot R]^{1/(n+1)}$$

$$V_i = \ln (x_i/G)$$

Em que,

$x_i$  = teores dos nutrientes nas folhas;

n = número de nutrientes em avaliação.

A média e o desvio padrão das variáveis multinutrientes da subpopulação de alta produtividade compuseram as normas CND. Por meio dessas calculou-se, para cada nutriente e em cada talhão, o índice da variável multinutriente ( $I_{Vi}$ ) por meio das normas CND.

$$I_{Vi} = (V_i - v_i) / s_i$$

Em que,

$I_{Vi}$  = Índice da variável multinutriente;

$V_i$  = variável multinutriente da amostra;

$v_i$  = média das variáveis multinutriente da subpopulação de alta produtividade;

$s_i$  = desvio padrão das variáveis multinutriente da subpopulação de alta produtividade;

Avaliou-se a normalidade dos índices calculados pelos dois métodos através do teste de Shapiro-Wilk, ao nível de 0,05. Quando os índices não atenderam os critérios de normalidade do teste, realizou-se a transformação dos dados por meio do logaritmo neperiano.

Em ambos os métodos, o somatório do módulo dos índices DRIS ou índices das variáveis multinutrientes de todos os nutrientes resultou no Índice de Equilíbrio Nutricional (IEN). O quociente entre o IEN e o número de nutrientes envolvidos ( $n$ ) resultou no Índice de Equilíbrio Nutricional Médio ( $IEN_m$ ).

Os resultados obtidos nos métodos DRIS e CND foram avaliados por meio do critério do estado nutricional (EN). Para isso, os índices DRIS ( $I_A$ ) ou índices da variável multinutriente ( $I_{Vi}$ ) de cada nutriente foram relacionados aos seus respectivos índice de equilíbrio nutricional médio ( $IEN_m$ ), classificando-os como deficientes, equilibrados ou excessivos (Tabela 1). Os diagnósticos de EN obtidos pelos dois métodos foram comparados para cada nutriente.

Tabela 1 – Estado nutricional e potencial de resposta à adubação baseados nos Índice DRIS ( $I_A$ ), Índice da Variável Multinutriente ( $I_{Vi}$ ) e Índice de Equilíbrio Nutricional Médio ( $IEN_m$ )

<b>Critério de interpretação para o <math>I_A</math> e <math>I_{Vi}</math></b>	<b>Estado Nutricional</b>
$I_A$ ou $I_{Vi} < 0$ e $ I_A$ ou $I_{Vi}  > IEN_m$	LF
$ I_A$ ou $I_{Vi}  \leq IEN_m$	NL
$I_A$ ou $I_{Vi} > 0$ e $ I_A$ ou $I_{Vi}  > IEN_m$	LE

LF: limitante por falta; NL: não limitante; LE: limitante por excesso, conforme Silva (2001).

Partindo do princípio de que valores nulos de índices DRIS ( $I_A$ ) ou índice da variável multinutriente ( $I_{vi}$ ) condizem com condições de equilíbrio nutricional, estimaram-se os teores ótimos de nutrientes por meio da construção de modelos lineares de correlação entre os teores e os índices DRIS ou CND na subpopulação de alta produtividade. Após a obtenção dos definiram-se as faixas de suficiência por meio da amplitude de desvio-padrão de  $-6,66 s$  a  $+6,66 s$  para o índice DRIS e  $-0,66 s$  e  $+0,66 s$  para o índice da variável multinutriente ( $I_{vi}$ ). Os intervalos das faixas DRIS e CND foram comparadas entre si e entre as faixas da literatura.

Por fim, estudou-se a capacidade dos métodos DRIS e CND, por meio do critério do estado nutricional (EN) e da faixa de suficiência, em distinguir em produtividade os diagnósticos de deficiência e toxidez em relação ao equilíbrio nutricional. Para isso, primeiramente estabeleceram-se, para as faixas de suficiência, nomenclaturas de interpretação equivalentes àquelas determinadas para o critério do estado nutricional. Dessa forma, tomaram-se como não limitante (NL) os talhões em que os teores se encontrassem dentro das faixas estabelecidas e como limitante por falta (LF) ou limitante por excesso (LE) aqueles em que os teores estivessem menores ou maiores que o intervalo da faixa, respectivamente.

Após obter os diagnósticos produzidos pelos dois métodos e pelos dois critérios, as lavouras com as mesmas classificações foram agrupadas, formando os grupos NL, LF e LE. Dentro de cada método e critério, comparou-se a média de produtividade do grupo NL com a média dos grupos LF e LE individualmente, por meio do teste t ao nível de 5%. Finalmente, o número de distinções em produtividade e a capacidade de distinção individual para cada nutriente de todos os métodos e critérios foram comparadas entre si.

### **3 - RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Dos 99 talhões amostrados, 25 apresentaram produtividade superior à  $18500 \text{ kg ha}^{-1}$ , formando a subpopulação de alta produtividade. Os demais 74 talhões foram agrupados na subpopulação de baixa produtividade.

As relações duais entre os nutrientes foram transformadas por meio do logaritmo neperiano, visando atender à premissa de normalidade do método DRIS (Alvarez V. & Leite, 1999). Antes da transformação, apenas 59,1% dos quocientes entre os nutrientes apresentaram normalidade, por meio do teste de Shapiro-Wilk. Após a transformação dos dados, 92,7% dessas relações distribuíram-se normalmente, não eliminado somente

os desvios das relações N/P, N/S, P/N, P/B, Ca/Cu, S/N, B/P e Cu/Ca. Sendo assim, optou-se por desenvolver as normas do método DRIS (média e desvio-padrão) sobre as relações transformadas (Tabela 2).

Tabela 2 – Média e desvio padrão (s) das relações duais (ln-transformadas) entre os teores de nutrientes da folha índice de alho, na subpopulação de alta produtividade <sup>(1)</sup>

Variável	Média	s	p-valor <sup>(2)</sup>	Variável	Média	s	p-valor <sup>(2)</sup>
N/P	2,0611	0,2211	0,03	S/B	-1,5379	0,2485	0,36
N/K	0,3081	0,1409	0,95	S/Cu	-0,7293	0,6060	0,59
N/Ca	1,8375	0,1732	0,79	S/Fe	-2,7874	0,4139	0,56
N/Mg	3,0222	0,1295	0,49	S/Mn	-1,2885	0,5288	0,58
N/S	1,6615	0,2239	0,03	S/Zn	-1,8371	0,3773	0,40
N/B	0,1236	0,1539	0,37	B/N	-0,1236	0,1539	0,37
N/Cu	0,9322	0,6131	0,24	B/P	1,9375	0,2453	0,04
N/Fe	-1,1259	0,2853	0,67	B/K	0,1845	0,1337	0,13
N/Mn	0,3730	0,4979	0,25	B/Ca	1,7139	0,2115	0,97
N/Zn	-0,1756	0,2799	0,64	B/Mg	2,8986	0,1651	0,09
P/N	-2,0611	0,2211	0,03	B/S	1,5379	0,2485	0,36
P/K	-1,7530	0,2655	0,39	B/Cu	0,8086	0,6331	0,14
P/Ca	-0,2236	0,1661	0,70	B/Fe	-1,2495	0,3314	0,60
P/Mg	0,9612	0,1768	0,77	B/Mn	0,2494	0,4749	0,30
P/S	-0,3996	0,2940	0,42	B/Zn	-0,2992	0,3150	0,61
P/B	-1,9375	0,2453	0,04	Cu/N	-0,9322	0,6131	0,24
P/Cu	-1,1289	0,6041	0,17	Cu/P	1,1289	0,6041	0,17
P/Fe	-3,1870	0,3087	0,40	Cu/K	-0,6241	0,6426	0,13
P/Mn	-1,6881	0,4958	0,97	Cu/Ca	0,9053	0,5774	0,03
P/Zn	-2,2367	0,1849	0,17	Cu/Mg	2,0901	0,6094	0,14
K/N	-0,3081	0,1409	0,95	Cu/S	0,7293	0,6060	0,59
K/P	1,7530	0,2655	0,39	Cu/B	-0,8086	0,6331	0,14
K/Ca	1,5294	0,2349	0,33	Cu/Fe	-2,0581	0,6607	0,69
K/Mg	2,7141	0,1826	0,18	Cu/Mn	-0,5592	0,5978	0,49
K/S	1,3534	0,2382	0,78	Cu/Zn	-1,1078	0,6807	0,31
K/B	-0,1845	0,1337	0,13	Fe/N	1,1259	0,2853	0,67
K/Cu	0,6241	0,6426	0,13	Fe/P	3,1870	0,3087	0,40
K/Fe	-1,4340	0,3185	0,27	Fe/K	1,4340	0,3185	0,27
K/Mn	0,0649	0,5110	0,18	Fe/Ca	2,9634	0,2769	0,14
K/Zn	-0,4837	0,3434	0,51	Fe/Mg	4,1482	0,2722	0,39
Ca/N	-1,8375	0,1732	0,79	Fe/S	2,7874	0,4139	0,56
Ca/P	0,2236	0,1661	0,70	Fe/B	1,2495	0,3314	0,60
Ca/K	-1,5294	0,2349	0,33	Fe/Cu	2,0581	0,6607	0,69
Ca/Mg	1,1848	0,1284	0,50	Fe/Mn	1,4989	0,5512	0,54
Ca/S	-0,1760	0,2941	0,82	Fe/Zn	0,9503	0,3715	0,25
Ca/B	-1,7139	0,2115	0,97	Mn/N	-0,3730	0,4979	0,25
Ca/Cu	-0,9053	0,5774	0,03	Mn/P	1,6881	0,4958	0,97
Ca/Fe	-2,9634	0,2769	0,14	Mn/K	-0,0649	0,5110	0,18
Ca/Mn	-1,4645	0,4892	0,55	Mn/Ca	1,4645	0,4892	0,55
Ca/Zn	-2,0131	0,2055	0,18	Mn/Mg	2,6493	0,4471	0,35
Mg/N	-3,0222	0,1295	0,49	Mn/S	1,2885	0,5288	0,58
Mg/P	-0,9612	0,1768	0,77	Mn/B	-0,2494	0,4749	0,30
Mg/K	-2,7141	0,1826	0,18	Mn/Cu	0,5592	0,5978	0,49
Mg/Ca	-1,1848	0,1284	0,50	Mn/Fe	-1,4989	0,5512	0,54
Mg/S	-1,3608	0,2663	0,05	Mn/Zn	-0,5486	0,5315	0,82
Mg/B	-2,8986	0,1651	0,09	Zn/N	0,1756	0,2799	0,64
Mg/Cu	-2,0901	0,6094	0,14	Zn/P	2,2367	0,1849	0,17
Mg/Fe	-4,1482	0,2722	0,39	Zn/K	0,4837	0,3434	0,51
Mg/Mn	-2,6493	0,4471	0,35	Zn/Ca	2,0131	0,2055	0,18
Mg/Zn	-3,1979	0,2370	0,09	Zn/Mg	3,1979	0,2370	0,09
S/N	-1,6615	0,2239	0,03	Zn/S	1,8371	0,3773	0,40
S/P	0,3996	0,2940	0,42	Zn/B	0,2992	0,3150	0,61
S/K	-1,3534	0,2382	0,78	Zn/Cu	1,1078	0,6807	0,31
S/Ca	0,1760	0,2941	0,82	Zn/Fe	-0,9503	0,3715	0,25
S/Mg	1,3608	0,2663	0,05	Zn/Mn	0,5486	0,5315	0,82

<sup>(1)</sup> Produtividade maior que 18500 kg ha<sup>-1</sup>, com 25 talhões. <sup>(2)</sup> Probabilidade para rejeição da hipótese de distribuição normal dos dados pelo teste de Shapiro-Wilk.

Kurihara (2004), Urano et al. (2006) e Serra et al. (2010a) também reduziram os desvios da normalidade por meio da transformação por logaritmo neperiano. Após esse procedimento os autores obtiveram, respectivamente, 86,4%, 94,5% e 95,5% das

relações bivariadas sob distribuição normal. Mesmo que os 92,7% de relações normais desse trabalho encontraram-se próximo do obtido em outras pesquisas, utilizou-se a média entre as relações diretas e inversas para minimizar os efeitos daquelas que desviaram da distribuição (Alvarez V. & Leite, 1999).

As variáveis multinutriente (Vn) de todos os nutrientes apresentaram normalidade segundo o teste de Shapiro-Wilk. Dessa forma, não foi realizada a transformação dos dados, desenvolvendo as normas do método CND (média e desvio-padrão) com base nos valores originais (Tabela 3). Nesse ponto, a utilização do CND para os dados desse trabalho pode apresentar vantagens, pois, diferentemente do DRIS nenhuma de suas normas agrediu o pressuposto de normalidade do método.

Tabela 3 – Média e desvio padrão (s) das variáveis multinutriente (Vn) e média geométrica dos constituintes da matéria seca (G) da folha índice de alho, na subpopulação de alta produtividade <sup>(1)</sup> pelo método CND

Variável	Média	s	p-valor <sup>(2)</sup>
VN	3,3788	0,1309	0,10
VP	1,3177	0,1606	0,81
VK	3,0707	0,1826	0,34
VCa	1,5413	0,1260	0,83
VMg	0,3565	0,1042	0,30
VS	1,7173	0,2294	0,43
VB	-3,6526	0,1609	0,36
VCu	-4,4611	0,5349	0,27
VFe	-2,4031	0,2719	0,29
VMn	-3,9019	0,4155	0,17
VZn	-3,3534	0,2478	0,23
G	0,1514	0,0127	n

<sup>(1)</sup> Produtividade maior que 18500 kg ha<sup>-1</sup>, com 25 talhões; <sup>(2)</sup> Probabilidade para rejeição da hipótese de distribuição normal dos dados pelo teste de Shapiro-Wilk; CND – Diagnose da Composição Nutricional.

O Cu foi o nutriente com maior porcentagem de talhões diagnosticados como limitante por falta (LF), ultrapassando 50% no método DRIS e 40% no CND (Tabela 4). No caso da limitação por excesso (LE), o K apresentou maior número de talhões nessa classificação, com 55,4% do total para o DRIS e 58,1% para o CND.

O excesso de K observado em mais da metade dos talhões por ambos os métodos, deve-se às elevadas doses aplicadas nas áreas avaliadas, com média de 410 kg ha<sup>-1</sup> de K, enquanto que a extração é de aproximadamente 120 kg ha<sup>-1</sup> (dados não apresentados). Assim, há excesso no suprimento de K para o balanço desse nutriente no sistema solo-planta. Considerando que ocorrem interações na absorção dos íons K<sup>+</sup>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup> e Mg<sup>2+</sup> (Marschner, 2012), pode-se estar promovendo um desequilíbrio no solo devido às elevadíssimas doses de K empregadas.

Os micronutrientes com maior percentagem de talhões diagnosticados como LF foram Cu > Mn > Fe. Diferentemente, o B e o Zn enquadraram-se dentre os nutrientes com maior número de diagnósticos LE. Esse resultado reflete o foco dado pelas pesquisas somente nas necessidades de B e Zn do alho, bem como a importância que essas têm sobre a recomendação de fertilizantes. Nas publicações oficiais de Trani et al. (1997) para o estado de São Paulo, dentre os micronutrientes, somente há critérios para as recomendações de B e Zn. Na publicação de Souza et al. (1999), para Minas Gerais, considera-se apenas o fornecimento do B.

Tabela 4 - Frequência de talhões em cada classe segundo os critérios do estado nutricional (EN), na subpopulação de baixa produtividade<sup>(1)</sup>, pelos métodos DRIS e CND

Nutriente	Método	Estado Nutricional		
		LF	NL	LE
N	DRIS	8,11	56,76	35,14
	CND	6,76	43,24	50,00
P	DRIS	37,84	47,30	14,86
	CND	36,49	44,59	18,92
K	DRIS	1,35	43,24	55,41
	CND	0,00	41,89	58,11
Ca	DRIS	6,76	81,08	12,16
	CND	10,81	67,57	21,62
Mg	DRIS	5,41	81,08	13,51
	CND	4,05	56,76	39,19
S	DRIS	18,92	66,22	14,86
	CND	12,16	74,32	13,51
B	DRIS	13,51	62,16	24,32
	CND	8,11	55,41	36,49
Cu	DRIS	51,35	36,49	12,16
	CND	40,54	50,00	9,46
Fe	DRIS	31,08	60,81	8,11
	CND	21,62	70,27	8,11
Mn	DRIS	47,30	39,19	13,51
	CND	39,19	48,65	12,16
Zn	DRIS	18,92	55,41	25,68
	CND	12,16	64,86	22,97

<sup>(1)</sup> Produtividade menor que 18500 kg ha<sup>-1</sup>, com 74 talhões. LF: limitante por falta; NL: não limitante; LE: limitante por excesso, conforme Silva (2001). DRIS – Sistema Integrado de Diagnóstico e Recomendação; CND – Diagnóstico da Composição Nutricional

Dentre os macronutrientes, somente o P apresentou-se com grande percentagem de talhões diagnosticados como LF. Esse resultado é inesperado, tendo em vista que em média os talhões avaliados receberam 390 kg ha<sup>-1</sup> de P (dados não apresentados) e a extração média de P foi 30 kg ha<sup>-1</sup> (capítulo 1). Dessa forma, questiona-se se a forma de aplicação do P na cultura do alho está sendo realizada de forma eficiente. Nas áreas de

cultivo o fertilizante fosfatado foi aplicado à lanço e incorporado em aproximadamente 20 cm de profundidade. Essa modalidade de aplicação favorece a adsorção dos íons P nos oxidróxidos de Fe e de Al, levando a formação de P-não lábil. Leite et al. (2009) demonstraram que a localização de uma maior porcentagem do fósforo na cova de plantio do eucalipto pode aumentar em mais de 20 vezes a eficiência do P aplicado (kg de matéria seca produzida por kg de P aplicado).

Possamai (2003) propôs modelos para o algodoeiro em que a aplicação do P localizado permite aumentar a taxa de recuperação do nutriente pelas plantas entre 1,8 e 6,7 vezes, para solos arenosos e muito argilosos, respectivamente. Considerando que todos os talhões trabalhados foram classificados como muito argilosos, calcula-se que as doses de P poderiam ser reduzidas em até 85%, caso a aplicação fosse realizada de forma localizada e a recuperação de P pelo alho se assemelhasse a do algodoeiro.

Comparando os resultados dos dois métodos, observa-se que o DRIS apresentou maior tendência para diagnósticos LF (evidente para os micronutrientes Cu, Fe e Mn), enquanto o CND dirigiu-se mais para os diagnósticos LE (principalmente quanto ao N, Ca, Mg e B). Não foram observadas essas tendências nos trabalhos de Urano et al. (2006) e Serra et al. (2010a), não podendo portanto atribuir esses comportamentos como característicos dos métodos DRIS e CND.

A concordância entre os diagnósticos obtidos pelos métodos DRIS e CND variaram entre os nutrientes (Tabela 5). A média de concordância para todos os nutrientes foi de 86,6%, tendo como o menor valor o Mg (70,3%) e como o maior o P (94,6%). Resultado semelhante foi obtido por Serra et al. (2010a) para a cultura do algodão, com média de 87,4 %. Diferentemente, Urano et al. (2006) obtiveram 94,0% dos diagnósticos concordantes entre DRIS e CND. Dessa forma, pode-se inferir que diferentes condições edafoclimáticas e diferentes culturas podem aproximar ou afastar os diagnósticos produzidos pelos dois métodos.

Tabela 5 – Frequência de talhões com diagnose concordante pelos métodos DRIS e CND, por meio dos critérios do estado nutricional (EN)

	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	-----%-----										
Concordância	81,1	94,6	90,5	86,5	70,3	91,9	82,4	86,5	87,8	90,5	90,5

DRIS – Sistema Integrado de Diagnose e Recomendação; CND – Diagnose da Composição Nutricional

O ajuste de modelos lineares entre os índices DRIS ou índices da variável multinutriente (Ivi) e os teores nutricionais foram altamente significativos ( $p < 0,01$ ) para todos os nutrientes (Tabela 6).

Os coeficientes de determinação ( $R^2$ ) dos modelos lineares variaram no método DRIS entre 0,61 e 0,92 e no método CND entre 0,52 e 0,93. Para ambos os métodos o menor  $R^2$  correspondeu ao Mg e o maior ao Mn. É importante ressaltar que mesmo para aqueles nutrientes em que o  $R^2$  dos modelos ajustados apresentaram-se baixos, os ajustes lineares foram altamente significativos ( $p < 0,01$ ).

Kurihara (2004), Urano et al. (2007) e Kurihara et al. (2013) também obtiveram baixos coeficientes de determinação, com valores mínimos de 0,48, 0,49 e 0,35, respectivamente. Da mesma forma, todos os autores ajustaram modelos altamente significativos para suas relações, e obtiveram sucesso na construção das faixas de suficiência.

Apesar de apresentarem-se bastante próximas, todas as faixas de suficiência geradas pelo método CND proporcionaram intervalos mais estreitos que as do método DRIS. Em ambos, as faixas distinguiram-se muito daquelas apresentadas por Trani e Raij (1997), principalmente quanto à redução dos intervalos adequados (Tabela 6).

Tanto a semelhança das faixas entre os métodos DRIS e CND, quanto a redução da amplitude dos teores adequados em relação às normas oficiais, foram observados também por Kurihara (2004), Urano et al. (2007), Serra et al. (2010b), Camacho (2012) e Kurihara et al. (2013). A obtenção de menores amplitudes nas faixas adequadas é altamente desejável pois, aumenta-se o poder de distinção entre lavouras equilibradas e desequilibradas.

Resultados como os dos trabalhos supracitados serviram de inspiração para outros nos quais a obtenção de faixas de suficiência com pequena amplitude tornou-se o objetivo principal para a utilização dos métodos DRIS e CND. No entanto, questiona-se se essa seria a melhor forma de interpretação dos teores nutricionais por meio dos dois métodos.

A utilização desses métodos por meio de faixas de suficiência retira os caracteres bivariado (DRIS) ou multivariado (CND) de interpretação de teores de nutrientes. Com isso, perdem-se os benefícios dessas formas de avaliação, como por exemplo: a hierarquização dos nutrientes quanto à ordem de limitação nutricional, a formação de um índice de equilíbrio nutricional médio (IBNm), a consideração de interações entre nutrientes e a minimização dos efeitos de diluição ou acúmulo de nutrientes na matéria seca das folhas (Baldock & Schulte, 1996).

Tabela 6 - Modelo estatístico e faixa de suficiência obtidos pelos métodos DRIS e CND, por meio da correlação entre o teor de nutrientes e Índices DRIS e CND, na subpopulação de alta produtividade<sup>(1)</sup>

Nutriente	Método	Modelo estatístico	Intervalo	R <sup>2</sup>	Faixa de suficiência
					g dm <sup>3</sup>
N	DRIS	44,53 + 0,75**I <sub>N</sub>	-6,9 ≤ I <sub>N</sub> ≤ 17,1	0,61	39,5 - 49,6
	CND	44,53 + 3,97**I <sub>N</sub>	-1,8 ≤ I <sub>N</sub> ≤ 3,0	0,61	41,9 - 47,2
	Literatura <sup>(2)</sup>	-	-	-	35,0 - 50,0
P	DRIS	5,71 + 0,13**I <sub>P</sub>	-13,5 ≤ I <sub>P</sub> ≤ 11,1	0,77	4,8 - 6,6
	CND	5,71 + 0,81**I <sub>P</sub>	-1,8 ≤ I <sub>P</sub> ≤ 2,0	0,78	5,2 - 6,3
	Literatura	-	-	-	3,0 - 5,0
K	DRIS	33,02 + 0,76**I <sub>K</sub>	-14,4 ≤ I <sub>K</sub> ≤ 9,8	0,84	27,9 - 38,1
	CND	33,02 + 5,01**I <sub>K</sub>	-2,3 ≤ I <sub>K</sub> ≤ 1,6	0,77	29,7 - 36,4
	Literatura	-	-	-	35,0 - 50,0
Ca	DRIS	7,12 + 0,17**I <sub>Ca</sub>	-11,3 ≤ I <sub>Ca</sub> ≤ 12,8	0,71	6,0 - 8,2
	CND	7,12 + 0,87**I <sub>Ca</sub>	-1,8 ≤ I <sub>Ca</sub> ≤ 2,1	0,65	6,5 - 7,7
	Literatura	-	-	-	6,0 - 12,0
Mg	DRIS	2,17 + 0,05**I <sub>Mg</sub>	-9,6 ≤ I <sub>Mg</sub> ≤ 9,8	0,62	1,8 - 2,5
	CND	2,17 + 0,19**I <sub>Mg</sub>	-2,7 ≤ I <sub>Mg</sub> ≤ 1,9	0,52	2,0 - 2,3
	Literatura	-	-	-	2,0 - 4,0
S	DRIS	8,57 + 0,21**I <sub>S</sub>	-12,4 ≤ I <sub>S</sub> ≤ 14,4	0,87	7,2 - 9,9
	CND	8,57 + 1,60**I <sub>S</sub>	-1,5 ≤ I <sub>S</sub> ≤ 2,0	0,86	7,5 - 9,6
	Literatura	-	-	-	-
					mg dm <sup>3</sup>
B	DRIS	39,52 + 0,85**I <sub>B</sub>	-11,1 ≤ I <sub>B</sub> ≤ 18,9	0,75	33,8 - 45,2
	CND	39,52 + 5,23**I <sub>B</sub>	-1,8 ≤ I <sub>B</sub> ≤ 2,9	0,73	36,0 - 43,0
	Literatura	-	-	-	30,0 - 60,0
Cu	DRIS	20,71 + 1,41**I <sub>Cu</sub>	-13,9 ≤ I <sub>Cu</sub> ≤ 21,3	0,91	11,3 - 30,1
	CND	20,71 + 13,21**I <sub>Cu</sub>	-1,5 ≤ I <sub>Cu</sub> ≤ 2,3	0,91	11,9 - 29,6
	Literatura	-	-	-	5,0 - 10,0
Fe	DRIS	141,83 + 4,81**I <sub>Fe</sub>	-19,7 ≤ I <sub>Fe</sub> ≤ 22,0	0,91	109,6 - 174,1
	CND	141,83 + 39,51**I <sub>Fe</sub>	-2,3 ≤ I <sub>Fe</sub> ≤ 2,7	0,91	115,4 - 168,3
	Literatura	-	-	-	50,0 - 100,0
Mn	DRIS	33,86 + 1,80**I <sub>Mn</sub>	-16,5 ≤ I <sub>Mn</sub> ≤ 17,7	0,92	21,8 - 45,9
	CND	33,86 + 16,13**I <sub>Mn</sub>	-1,9 ≤ I <sub>Mn</sub> ≤ 2,0	0,93	23,1 - 44,6
	Literatura	-	-	-	30,0 - 100,0
Zn	DRIS	54,49 + 1,74**I <sub>Zn</sub>	-13,3 ≤ I <sub>Zn</sub> ≤ 16,7	0,91	42,8 - 66,2
	CND	54,49 + 13,91**I <sub>Zn</sub>	-1,7 ≤ I <sub>Zn</sub> ≤ 2,1	0,89	45,2 - 63,8
	Literatura	-	-	-	30,0 - 100,0

<sup>(1)</sup> Produtividade maior que 18500 kg ha<sup>-1</sup>, com 25 talhões; <sup>(2)</sup> Trani e Raij (1997); DRIS – Sistema Integrado de Diagnóstico e Recomendação; CND – Diagnóstico da Composição Nutricional

Dessa forma, ponderando sobre essa possível limitação, compararam-se os diagnósticos produzidos pelos métodos DRIS e CND por meio dos critérios de equilíbrio nutricional (EN) e das faixas de suficiências. Para isso, assumiu-se que os desequilíbrios diagnosticado tanto pelo excesso quanto pela deficiência de nutrientes implicariam em variações na produtividade do alho. Estudou-se portanto a produtividade média de cada classe produzida pelos diagnósticos dos métodos DRIS e CND, por meio dos critérios de avaliação do EN e da faixa de suficiência.

Inicialmente, ressalta-se a maior capacidade de distinção que os métodos CND e DRIS possuem quando são utilizados por meio do critério da EN, e não pela faixa de suficiência. Por meio da EN, o DRIS e o CND distinguiram em produtividade nove e dez classes, respectivamente, enquanto pelas faixas de suficiência essa distinção caiu para seis e cinco classes, respectivamente (Tabela 7).

Esse resultado pode ser um reflexo dos possíveis efeitos de diluição e acúmulo de nutrientes que não foram minimizados pelas faixas de suficiência (Baldock & Schulte, 1996). Possivelmente, as áreas que produziram maior ou menor matéria seca na folha índice, foram diagnosticadas equivocadamente como deficientes ou excessivas, prejudicando a distinção das classes.

Primeiramente destaca-se que todos os quatro conjuntos de métodos e critérios demonstraram reduções na média de produtividade dos talhões classificados como LF para o Cu (Tabela 7). Esse resultado, juntamente com a demonstração do Cu como o elemento com o maior número de talhões deficientes (Tabela 4), posiciona o nutriente como o fator mais limitante à nutrição adequada do alho nos talhões diagnosticados.

Para o N, a utilização do critério de EN, tanto pelo DRIS como pelo CND, indicou reduções na produtividade da cultura pelo excesso do elemento (classe LE). Nenhuma das duas faixas de suficiência elaboradas distinguiram as classes em produtividade para o elemento (Tabela 7).

Comportamento semelhante foi observado para o Ca, em que somente com a utilização do critério de EN observaram-se as distinções entre as classes em produtividade (Tabela 7). No entanto, os talhões classificados como LF para o Ca apresentaram produtividade maior do que aqueles classificados como NL. Esse resultado pode ser um indício dos efeitos negativos advindos das elevadas doses de calcário empregadas no cultivo de alho na região do Alto Paranaíba – MG. Os critérios de calagem adotados na maioria dos talhões avaliados visaram elevar a saturação por bases 85% (dados não apresentados).

Para o Mg, somente o método CND por meio do critério do EN distinguiu a produtividade entre as diferentes classes (Tabela 7). Esse diagnóstico indicou comportamento semelhante ao observado para o Ca, em que a classe LF apresentou maior produtividade que a classe NL. Mais uma vez, o resultado obtido pode ser um indício das altas doses de calcário empregadas na região.

Todos os métodos convergiram em demonstrar maiores produtividades nos talhões classificados como LF para o K (Tabela 7). É importante lembrar que tanto o DRIS quanto o CND diagnosticaram o K como o elemento com o maior número de talhões classificados como LF (Tabela 4). Evidencia-se portanto que o K é o nutriente aplicado em maior excesso na cultura do alho na região do Alto Paranaíba – MG. Como explicitado anteriormente, as elevadas doses desse elemento podem estar desequilibrando a nutrição da cultura e reduzindo a produtividade. Por fim, assim como ocorreu para o Mg, o método CND por meio da EN apresentou o maior poder de distinção, demonstrando também reduções na produtividade média dos talhões classificados como LE (Tabela 7).

Os resultados encontrados para o P apresentaram-se diferentes daqueles até agora destacados. A utilização de ambos os métodos por meio do critério do EN não distinguiram em produtividade nenhuma das classes (Tabela 7). No entanto, as duas faixas de suficiência demonstraram que teores abaixo dos seus limites inferiores (4,8 para o DRIS e 5,2 para o CND), promovem reduções na produtividade da cultura. Dessa forma, pode-se assumir que teores foliares de P inferiores à 5,2 g kg<sup>-1</sup> implicam em limitações para a produtividade da cultura do alho.

Da mesma forma, somente por meio da utilização das faixas de suficiência como critérios de avaliação nutricional pelo DRIS e CND, obteve-se distinção entre as classes de limitação nutricional para o Fe (Tabela 7). Reduções na produtividade média das classes LF foram observadas tanto pelo método DRIS quanto pelo CND.

Todos os métodos e critérios identificaram acréscimos na produtividade da classe LE em relação à classe NL para o elemento S (Tabela 7). Tal resultado demonstraria um indício da necessidade em se aumentar o fornecimento de S para a cultura na região. No entanto, o método DRIS por meio do critério do EN distinguiu também a classe LF como mais produtiva do que a NL. Além disso, observou-se que mesmo não havendo diferenças estatísticas para todos os outros métodos e critérios, houve tendência geral de maiores produtividades na classe LF em relação à NL. Esse comportamento indicou uma contradição nos diagnósticos dos métodos pois, tanto em lavouras com elevado ou baixo acúmulo de S expressaram-se altas produtividades. Sendo assim, ou os conjuntos de métodos e critérios não foram eficientes em diagnosticar as plantas para o S, ou o nutriente não se encontrava como limitante à produtividade do alho.

Os diagnósticos obtidos para as classes do Mn seguiram-se semelhantes aos observados pelo S, exceto por somente com a utilização do critério do EN observou-se distinção em produtividade pelas diferentes classes (Tabela 7). Nesses casos, tanto os agrupamentos LF como LE apresentaram produtividades superiores à classe NL. Da mesma forma que para o S, o diagnóstico apresentado para o Mn não permite formar conclusões para a situação nutricional para o elemento, ou referente à eficiência dos métodos.

Os diagnósticos obtidos para o B diferiram entre todos os métodos e critérios. Primeiramente, o método DRIS por meio do EN indicou redução na produtividade da classe LE. Por outro lado, a aplicação do DRIS por meio da faixa de suficiência demonstrou que teores menores que 33,8 mg kg<sup>-1</sup> reduzem a produtividade do alho. Pelo método CND, ao utilizar o critério do EN, observou-se que a classe LF possuía

produtividade maior que a classe NL. Por fim, o CND interpretado pela faixa de suficiência não distinguiu nenhuma das classes. Dessa forma, há a necessidade de pesquisas específicas para estudar os resultados obtidos por esses métodos e critérios, visando indicar qual está produzindo o diagnóstico mais adequado (Tabela 7).

O Zn foi o único elemento em que nenhum dos quatro métodos/critérios distinguiu em produtividade as classes de estado nutricional (Tabela 7). Dessa forma, pode-se concluir que o nutriente não se encontra como limitante à produtividade do alho na região do Alto Paranaíba-MG.

Tabela 7 – Número de lavouras (n) e produtividade média dos talhões de alho presentes em cada classe, segundo os critério do estado nutricional (EN) e da faixa de suficiência, e comparação individual das médias de produtividade das classes limitante por falta (LF) e limitante por excesso (LE) com a classe não limitante (NL), pelo teste t

	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
DRIS – EN											
n LF	8	34	7	9	5	23	14	45	30	44	20
n NL	61	49	44	78	81	57	63	38	58	37	55
n LE	30	16	48	12	13	19	22	16	11	18	24
Prod LF (kg ha <sup>-1</sup> )	16525	16127	20007*	18005*	16033	17297*	16419	15644*	16541	17008*	17202
Prod NL (kg ha <sup>-1</sup> )	17108	16856	16634	16585	16695	15914	17015	17398	16542	15880	16408
Prod LE (kg ha <sup>-1</sup> )	15856*	17328	16240	16320	16850	18240*	15897*	17898	17808	17532*	16876
DRIS – Faixas de suficiência											
n LF	14	39	9	12	6	25	18	47	33	45	25
n NL	50	46	50	76	77	60	62	41	57	41	56
n LE	35	14	40	11	16	14	19	11	9	13	18
Prod LF (kg ha <sup>-1</sup> )	17449	15452*	19485*	16532	16200	17144	15572*	15522*	15778*	16889	16413
Prod NL (kg ha <sup>-1</sup> )	16952	17638	16128	16697	16657	16158	17096	17664	17051	16276	16681
Prod LE (kg ha <sup>-1</sup> )	15989	16965	16743	16743	16982	18103*	16383	17979	17657	17248	17059
CND – EN											
n LF	8	34	5	16	7	16	11	36	21	36	13
n NL	48	43	45	59	58	65	57	50	67	47	64
n LE	43	22	49	24	34	18	31	13	11	16	22
Prod LF (kg ha <sup>-1</sup> )	17192	16202	21066*	18335*	18552*	17309	18212*	15385*	16521	17286*	16974
Prod NL (kg ha <sup>-1</sup> )	17249	16649	16919	16164	16755	16061	16781	17201	16553	15854	16532
Prod LE (kg ha <sup>-1</sup> )	15953*	17488	16017*	16853	16172	18366*	15957	18276	17773	17754*	16946
CND – Faixas de suficiência											
n LF	17	49	10	30	29	31	29	49	38	51	34
n NL	26	31	36	49	40	48	38	39	49	34	42
n LE	56	19	53	20	30	20	32	11	12	14	23
Prod LF (kg ha <sup>-1</sup> )	17177	15754*	19461*	16338	16752	16842	16615	15503*	16016*	16768	16429
Prod NL (kg ha <sup>-1</sup> )	17237	17549	16536	16865	16500	16045	17154	17796	17053	16273	16688
Prod LE (kg ha <sup>-1</sup> )	16274	17660	16256	16750	16857	17961*	16181	17979	17272	17360	17045

\* significativo a nível de 0,05 de probabilidade

Por fim, o teste utilizado para a comparação dos métodos e critérios de diagnose foliar não apresenta resultados definitivos sobre a adequação de cada um desses. Isso, principalmente por não necessariamente os desequilíbrios nutricionais implicarem em reduções na produtividade. No entanto, mesmo com essas restrições metodológicas, algumas tendências como a maior capacidade de distinção do critério do EN e do método CND puderam ser identificadas para a cultura do alho.

Dessa forma, sugere-se que pesquisas de longo prazo realizadas especificamente para comparar a adequação e eficiência desses métodos e critérios devem ser realizadas, visando fornecer informações mais exatas quanto à melhor forma de se interpretar a diagnose foliar.

#### **4 - CONCLUSÕES**

1. O Cu é o nutriente mais limitante por falta e o K o mais limitante por excesso nas lavouras diagnosticadas;
2. O método DRIS possui maior tendência para diagnósticos de limitação por falta enquanto o método CND para diagnósticos de limitação por excesso;
3. Ambos os métodos reduziram os intervalos das faixas de suficiência em relação às de referência da literatura;
4. Todas as faixas produzidas pelo método CND são mais estreitas que àquelas produzidas pelo método DRIS;
5. O método CND e o critério do estado nutricional apresentam maior capacidade de distinção das classes diagnosticadas em relação à produtividade.

#### **5 – REFERÊNCIAS**

ALVAREZ V., V.H.; LEITE, R. A. Fundamentos estatísticos das fórmulas usadas para cálculo dos índices DRIS. Boletim Informativo da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, 24(1) : 20-25, 1999.

BALDOCK, J.O.; SCHULTE, E.E. Plant analysis with standardized scores combines DRIS and sufficiency range approaches for corn. Agronomy Journal, v.88, p.448-456, 1996.

BEAUFILS, E.R. Diagnosis and Recommendation Integrated System (DRIS): a general scheme for experimentation and calibration based on principles develop from research in plant nutrition. Pietermaritzburg, South Africa, University of Natal, 1973. 132p. (Soil Science Bulletin, n.1).

CAMACHO, M.A.; SILVEIRA, M.V.; CAMARGO, R.A.; NATALE, W. Faixas normais de nutrientes pelos métodos ChM, DRIS e CND e nível crítico pelo método de

- distribuição normal reduzida para laranja-pera. *Revista Brasileira de Ciências do Solo*, v.46, p.193-200, 2012.
- COELHO, A.M.; FRANÇA, G.E.; PITTA, G.V.E.; ALVES, V.M.C. Cultivo do milho: Diagnóstico foliar do estado nutricional da planta. *Comunicado Técnico* 45, 5 p., 2002.
- EMBRAPA. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Brasília: Embrapa, 2013. p. 353.
- FAGERIA, N.K.; BARBOSA FILHO, M.P.; MOREIRA, A.; GUIMARÃES, C.M. Foliar fertilization of crop plants. *Journal of Plant Nutrition*. v. 32 p. 1044-1064, 2009.
- FERNANDES, L.J.C. Resposta a nitrogênio por plantas de alho (*Allium sativum* L.) livres de vírus. 2008. 84 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrônomicas da Unesp, Botucatu.
- KURIHARA, C.H. Demanda de nutrientes pela soja e diagnóstico do seu estado nutricional. 2004. 101 p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.
- KURIHARA, C.H.; ALVAREZ V., V.H.; NEVES, J.C.L.; NOVAIS, R.F.; STAUT, L.A. Faixas de suficiência para teores foliares de nutrientes em algodão e em soja, definidas em função de índices DRIS. *Revista Ceres*, v. 60, p. 412-419, 2013.
- LEITE, P.B.; ALVAREZ V., V.H.; BARROS, N.F.; NEVES, J.C.L.; GUARÇONI M., A.; JÚNIOR, L.A.Z. Níveis críticos de fósforo, para eucalipto, em casa de vegetação, em função da sua localização no solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 33, p. 1311-1322, 2009.
- LIMA C.P. Medidor de clorofila na avaliação nitrogenada na cultura do alho vernalizado. 2005. 108 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrônomicas da Unesp, Botucatu.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. Avaliação do estado nutricional. In: MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. de. Avaliação do estado nutricional da plantas: princípios e aplicações. 2.ed., Piracicaba, Potafos, 1997. p.115-230.
- MARSCHNER, P. Marschner's mineral nutrition of higher plants. 3. ed. Londres, Academic Press, 2012. p. 651.
- PARENT, L.E.; DAFIR, M. A theoretical concept of compositional nutrient diagnosis. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, v. 117, p. 239-242, 1992.
- POSSAMAI, J.M. Sistema de recomendação de corretivos e fertilizantes para a cultura do algodoeiro. 2003. 103 p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.
- ROSEN, C.; BECKER, R.; FRITZ, V.; HUTCHISON, B.; PERCICH, J.; TONG, C.; WRIGHT, J. Growing garlic in minnesota. University of Minnesota. 2008. 22 p.
- SERRA, A.P.; MARCHETTI, M.E.; VITORINO, A.C.T.; NOVELINO, J.O.; CAMACHO, M.A. Desenvolvimento de normas DRIS e CND e avaliação do estado nutricional da cultura do algodoeiro. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.34, p.97-104, 2010a.

SERRA, A.P.; MARCHETTI, M.E.; VITORINO, A.C.T.; NOVELINO, J.O.; CAMACHO, M.A. Determinação de faixas normais de nutrientes no algodoeiro pelos métodos ChM, CND e DRIS. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 34, p. 105-113, 2010b.

SILVA, C.G.C. Diagnose nutricional do eucalipto pelo DRIS, M-DRIS e CND. 2001. 132 p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

SILVA, F.C. Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes. Brasília: Embrapa, 2009. p. 627.

SOUZA R.J., PAULA M.B.; FILHO A.B.C. Alho. In: RIBEIRO A.C., GUIMARÃES P.T.G.; ALVARES V.H. Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais - 5ª aproximação. Viçosa: UFV, 1999. p. 349.

TRANI P.E., TAVARES P.E.T.; SIQUEIRA W.J. Hortaliças – Alho. In: RAIJ B., CANTARELLA H. QUAGGIO J.A.; FURLANI A.M.C. Recomendação de adubação e calagem para o Estado de São Paulo – Boletim 100. Campinas: Instituto Agrônômico, 1997. p. 107.

TRANI P.E.; RAIJ, B. Hortaliças. In: RAIJ B.; CANTARELLA H.; QUAGGIO J.A.; FURLANI A.M.C. Recomendação de adubação e calagem para o Estado de São Paulo – Boletim 100. 2. ed. Campinas: Instituto Agrônômico, 1997. p. 107.

URANO, E.O.M.; KURIHARA, C.H.; MAEDA, S.; VITORINO, A.C.T.; GONÇALVES, M.C.; MARCHETTI, M.E. Avaliação do estado nutricional da soja. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.4, p.1421-1428, 2006.

WADT, P.G.S.; ANGHINONI, I.; GUINDANI, A.S.T.L.; LIMA, A.S.T.; PUGA, A.P.; SILVA, G.S.; PRADO, R.M. Padrões nutricionais para lavouras arrozais irrigadas por inundação pelos métodos da CND e chance matemática. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 37, p. 145-156, 2013.

## CONCLUSÕES GERAIS

1. Os modelos propostos permitem estimar a absorção de nutrientes pela cultura do alho de acordo com a produtividade de bulbos;
2. A ordem de extração de nutrientes pela cultura do alho segue a sequência:  $N > K > Ca > S > P > Mg > Fe > Zn > B > Cu > Mn$ ;
3. O índice de colheita de nutrientes da cultura do alho segue a sequência:  $P > S > N > Zn > K > B > Ca > Fe > Mn > Mg > Cu$ .
4. O Cu é o nutriente mais limitante por falta e o K o mais limitante por excesso nas lavouras diagnosticadas;
5. O método DRIS possui maior tendência para diagnósticos de limitação por falta enquanto o método CND para diagnósticos de limitação por excesso;
6. Os métodos DRIS e CND reduziram os intervalos das faixas de suficiência em relação às de referência da literatura;
7. Todas as faixas produzidas pelo método CND são mais estreitas que àquelas produzidas pelo método DRIS;
8. O método CND e o critério do estado nutricional apresentam maior capacidade de distinção das classes diagnosticadas em relação à produtividade.