LUCIEL RAUNI DEZORDI

MODELAGEM DA DEMANDA NUTRICIONAL E ÍNDICES DIAGNÓSTICOS FOLIARES PARA A CULTURA DA CENOURA

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

LUCIEL RAUNI DEZORDI

MODELAGEM DA DEMANDA NUTRICIONAL E ÍNDICES DIAGNÓSTICOS FOLIARES PARA A CULTURA DA CENOURA

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: 17 de novembro de 2014.

André Mundstock Xavier de Carvalho Coorientador	Marcelo Rodrigues dos Reis Coorientador
Roberto Ferreira Novais	Leonardo Angelo de Aquino Orientador

Aos meus pais, Antônio Dezordi e Ledi Resse Dezordi.

Dedico

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Viçosa – *Campus* Rio Paranaíba e ao Programa de Pós-graduação em Agronomia – Produção Vegetal pela oportunidade de realizar o curso de mestrado.

Ao Professor Leonardo Angelo de Aquino, pela orientação, amizade e ensinamentos demonstrados ao longo do curso de mestrado.

Aos meus familiares, por sempre acreditarem em mim.

À Ana Cláudia, minha futura esposa, pelo carinho, cumplicidade e apoio durante a realização deste trabalho.

Aos mestres da UFV-CRP por todo o aprendizado a mim concedido, e pelo exemplar profissionalismo.

Aos integrantes do grupo de pesquisa Soluções Inteligentes em Nutrição de Plantas (SINP) pela colaboração nas atividades deste trabalho.

Aos técnicos da instituição, pelo auxílio prestado.

Ao CNPq pela concessão de bolsa de estudos durante o período de execução deste trabalho.

A Cooperativa Agropecuária do Alto Paranaíba (COOPADAP), pelo auxílio financeiro.

Aos grupos agrícolas e agricultores do Alto Paranaíba que permitiram a coleta de dados em suas áreas comerciais.

A equipe do Laboratório FERTILAB, pela parceria em realizar parte das análises.

A todos que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho.

Meus Sinceros Agradecimentos!

SUMÁRIO

RESUMO 1
ABSTRACT 3
1. INTRODUÇÃO GERAL 5
2. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 9
3. CAPÍTULO I – DEMANDA DE NUTRIENTES PELA CULTURA DA CENOURA 12
3.1 Resumo 12
3.2 Abstract 12
3.3 Introdução 13
3.4 Material e Métodos 14
3.5 Resultados e Discussão 15
3.6 Conclusões 24
3.7 Referências Bibliográficas 25
4 CAPÍTULO II – SISTEMA DE RECOMENDAÇÃO DE FERTILIZANTES PARA A CULTURA DA CENOURA – FERTICALC CENOURA 27
4.1 Resumo 27
4.2 Abstract 27
4.3 Introdução 28
4.4 Material e Métodos 29
4.4.1 Desenvolvimento do Sistema 29
4.4.2 Recomendação de Fertilizantes 36
4.4.3 Aplicação do Sistema 36
4.5 Resultados e Discussão 38
4.6 Considerações Finais 42
4.7 Referências Bibliográficas 43
5 CAPÍTULO III – MÉTODOS E ÍNDICES DIAGNÓSTICOS PARA INTERPRETAÇÃO DE ANÁLISES FOLIARES DA CENOURA 45
5.1 Resumo 45
5.2 Abstract 45
5.3 Introdução 46
5.4 Material e Métodos 48
5.5 Resultados e Discussão 51
5.6 Conclusões 62
5.7 Referências Bibliográficas 63
6 CONCLUSÕES GERAIS 67

RESUMO

DEZORDI, Luciel Rauni, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, novembro de 2014. **Modelagem da demanda nutricional e índices diagnósticos foliares para a cultura da cenoura.** Orientador: Leonardo Angelo de Aquino. Coorientadores: André Mundstock Xavier de Carvalho e Marcelo Rodrigues dos Reis.

A literatura existente para recomendação de fertilizantes e para diagnose do estado nutricional da cultura da cenoura está desatualizada por contemplar produtividades inferiores às obtidas atualmente no país. Objetivou-se, com este trabalho, estimar os atributos necessários para modelar a demanda nutricional das principais cultivares de cenoura; propor sistema de recomendação de fertilizantes para a cultura (FERTICALC Cenoura); e determinar valores de referência para interpretação de análises foliares da cenoura. Quantificou-se, em 210 talhões comerciais de cenoura localizados no Alto Paranaíba-MG, a produtividade de raízes e de folhas, o teor de matéria seca (MS) de raízes e os teores de nutrientes na raiz e na parte aérea. Para modelar a demanda nutricional estimou-se o coeficiente de utilização biológica (CUB) dos nutrientes e o índice de colheita (IC) de MS e de nutrientes na cultura. A modelagem foi gerada para ambas as épocas de cultivo de cenoura (inverno e verão). O sistema proposto para recomendar fertilizantes levou em consideração a demanda nutricional da cultura e o suprimento de nutrientes pelo solo. Para modelar o suprimento de nutrientes recorreu-se à literatura buscando trabalhos relacionados ao tema. Valores de referência (teores e faixas ótimas dos nutrientes nos tecidos) foram gerados para diagnose do estado nutricional por meio da análise da parte aérea amostrada no momento da colheita. Os valores de referências foram gerados pelos métodos Nível Crítico (NC), Faixa de Suficiência (FS), Sistema Integrado de Diagnose e Recomendação (DRIS) e Diagnose da Composição Nutricional (CND). O IC de MS e de nutrientes foi maior para as cultivares de inverno. Independente da época de cultivo, o N, P, K, Mg e B foram acumulados majoritariamente nas raízes. Foram insignificativas as diferenças na demanda nutricional de N, P, Ca, S, B, Cu e Zn entre os cultivos de inverno e verão para as produtividades médias obtidas em cada época (80 e 60 Mg ha^{-1}, respectivamente). O cultivo de verão acumulou maiores quantidades de Fe e menores quantidades de K, Mg e Mn quando comparado ao de inverno. O FERTICALC desenvolvido mostrou-se eficiente para recomendar fertilizantes para a cultura da cenoura. Os valores de referência foram concordantes

entre todos os métodos de diagnose avaliados. Contudo, distintos dos existentes na literatura, indicando que valores de referência regionalizados permitem melhor diagnóstico do estado nutricional. O Mn foi o nutriente mais limitante ao cultivo da cenoura, seguido do Mg, K e Ca.

Palavras chaves: *Daucus carota* L., balanço de nutrientes, recomendação de fertilizantes.

ABSTRACT

DEZORDI, Luciel Rauni, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa (Federal University of Viçosa City, Minas Gerais State, Brazil), november of 2014. **Modeling of nutritional demand and indexes of foliar diagnosis for carrot cultivation.** Adviser: Leonardo Angelo de Aquino. Co-advisers: André Mundstock Xavier de Carvalho and Marcelo Rodrigues dos Reis.

Literature for fertilizer recommendations and diagnosis of nutritional status of carrot cultivation is outdated because it includes productivity lower than the obtained ones in the country currently. This study aimed to estimate the necessary attributes for modeling nutritional demand of the main carrot cultivars; to propose fertilizer recommendation system for culture (FERTICALC Carrot); and to determine reference values for interpretation of carrot leaf analysis. Productivity of roots and leaves, root dry matter (DM) content, and nutrients levels in the root and shoot were quantified in 210 commercial stands of carrot located in Alto Paranaíba region, Minas Gerais State (MG), Brazil. To model the nutritional demand, the biological utilization coefficient (BUC) of nutrients and harvest index (HI) of DM and nutrients in the culture were estimated. The modeling was generated for both carrot cropping seasons (winter and summer). The proposed system for fertilizer recommendations took into consideration the crop nutritional demand and the nutrients supply by the soil. To model the nutrients supply, the literature was reviewed for finding related issue to the theme. Reference values (levels and optimum ranges of nutrients in the tissues) were generated for diagnosis of nutritional status by analyzing the sampled shoot at harvest time. The reference values were generated using the Critical Level (CL), Sufficiency Ranges (SR), Diagnosis and Recommendation Integrated System (DRIS) and Compositional Nutrient Diagnosis (CND) methods. The harvest index of DM and nutrients was higher for winter cultivars. Regardless of the growing season, the N, P, K, Mg, and B were mainly accumulated in roots. Differences in the nutritional demand of N, P, Ca, S, B, Cu, and Zn were insignificant among winter and summer crops for the average yields obtained in each season (80 and 60 Mg ha^{-1}, respectively). The summer crop accumulated greater amounts of Fe and minor amounts of K, Mg, and Mn when compared to the winter crop. The developed FERTICALC proved to be efficient for fertilizer recommendation for the carrot crop. The reference values were in accordance with all evaluated diagnostic methods. However, they were different from those results found in the literature indicating that

regionalized reference values allow better diagnosis of nutritional status. The Mn was the most limiting nutrient in carrot cultivation, followed by Mg, K, and Ca.

Keywords: *Daucus carota* L., balance of nutrients, fertilizer recommendations.

1. INTRODUÇÃO GERAL

A região do Alto Paranaíba - MG tem grande importância na produção nacional de cenoura. As técnicas adotadas para cultivo da espécie, o clima e o solo dessa região, entre outros fatores, propiciam a obtenção de elevadas produtividades. Estima-se que sejam cultivados anualmente nesta região oito mil hectares de cenoura e que sua produção representa mais de 37% do abastecimento nacional da cultura (Vilela e Borges, 2008). As produtividades obtidas na região do Alto Paranaíba (na ordem de 60 a 100 Mg ha^{-1} – segundo relatos de produtores) são muito superiores à média nacional que, em 2012, foi estimada em 28,9 Mg ha^{-1} (Embrapa Hortaliças, 2014). O sistema de produção atual permite que a cultura da cenoura seja cultivada durante todo o ano na região, o que aumenta a sua importância no Alto Paranaíba como cultura geradora de renda.

O manejo nutricional da cultura normalmente representa ponto crítico para o alcance de altas produtividades com custo benefício favorável à obtenção de lucros. No cultivo da cenoura, a fertilização pode contribuir significativamente com os custos de produção, e assim, o adequado manejo nutricional se faz necessário para o sucesso econômico do cultivo. As recomendações oficiais de fertilização vigentes para a cultura podem ser consideradas desatualizadas por recomendarem para expectativas de produtividade inferiores às obtidas atualmente em lavouras do Alto Paranaíba. As informações para recomendação de fertilizantes para o cultivo de cenoura são escassas quando se almejam produtividades superiores a 80 Mg ha^{-1} de raízes (Westerveld et al., 2004). Em Minas Gerais, por exemplo, a recomendação atual para fertilização da cultura da cenoura é indicada para alcançar produtividades da ordem de 35 a 40 Mg ha^{-1} (Comissão..., 1999).

Para alcançar alta produtividade é necessário programa criterioso para recomendação de fertilizantes, uma vez que nestas condições a demanda nutricional da cultura é elevada. Conhecer a demanda de nutrientes pela planta é essencial para otimizar o uso dos fertilizantes, e assim, obter a máxima produtividade (Cecílio e Peixoto, 2013). Neste contexto, a utilização de modelos de balanço nutricional ganha destaque por ser uma forma estratégica e eficiente de recomendar fertilizantes e corretivos (Haefele et al., 2003).

O sistema de balanço nutricional compreende modelos matemáticos que permitem estimar o requerimento de nutrientes pela cultura de acordo com a

produtividade esperada, assim como, o suprimento de nutrientes pelo solo em função dos resultados da análise química do solo (nutrientes disponíveis) e mineralização de resíduos culturais. Desta forma, a recomendação de adubação nestes modelos compreende a diferença entre a demanda da cultura e o suprimento dos nutrientes disponíveis no solo mais o advindo da mineralização dos resíduos culturais. Atualmente existem no Brasil sistemas de balanço nutricional para diversas culturas, como o abacaxi (Silva et al., 2009), a soja (Santos et al., 2008; Kurihara et al., 2013) e a banana (Oliveira et al., 2005), dentre outras culturas, entretanto, para a cultura da cenoura o sistema ainda não foi desenvolvido.

A qualidade das recomendações fornecidas por modelos de balanço nutricional depende de boas estimativas da demanda de nutrientes pelas culturas, assim como, do coeficiente de utilização biológica dos nutrientes (CUB) e partição de biomassa e nutrientes nos componentes da planta (Barros et al., 1995). O CUB expressa à matéria seca acumulada por unidade do nutriente absorvido (Fageria, 1998). Contudo, estas informações normalmente não se encontram disponíveis, e assim, são necessários estudos paralelos para determinar estes atributos para elaboração do modelo de balanço nutricional confiável. Essas variáveis ainda não foram determinadas para a cenoura, fato que dificulta ainda mais a realização de uma recomendação correta de fertilizantes para a cultura.

As recomendações de fertilizantes via balanço nutricional representam boa aproximação do manejo ideal, entretanto, um ajuste dos parâmetros que geraram os modelos é necessário. Este ajuste pode ser realizado através da diagnose foliar. A interpretação do resultado da análise química foliar permite identificar déficit ou excesso de determinado nutriente e, assim, verificar se houve desvios entre a recomendação do sistema e a fertilização ideal para a cultura. Desta forma, a diagnose foliar permite adequar os modelos de recomendação de fertilizantes de acordo com a demanda da cultura (Rozane et al., 2009).

Contudo, assim como as tabelas de recomendação de fertilizantes, os teores e as faixas ótimas encontradas na literatura sobre nutrientes em folhas de cenoura estão defasadas e não contemplam os cultivos de levadas produtividades. Outro problema relacionado à nutrição da cultura da cenoura está na definição de qual folha deve ser amostrada para realização de análises foliares. Segundo Malavolta et al. (1997), a amostragem de folhas na cultura da cenoura deve ser realizada quando a lavoura estiver com 40 dias, enquanto que para outros autores, a amostragem deve ser

realizada aos 60 dias após a semeadura ou no final do ciclo, durante a colheita (Hanlon e Hochmuth, 2009). A não definição do estádio de coleta das folhas índices (também chamadas de diagnósticas) traz alguns problemas, uma vez que o crescimento da cultura da cenoura é influenciado pelo genótipo e pela época de cultivo. Desta forma, o ideal é que a amostragem seja realizada em um estágio fenológico específico (Malavolta, 2006) para que, assim, independente da condição de cultivo se tenham amostragens foliares que possibilitem a comparação dos resultados.

A partir dos resultados de análise química de folhas pode ser feito o diagnóstico do estado nutricional da planta por diferentes métodos de interpretação. Dentre os métodos mais empregados pode-se citar o Nível Crítico, a Faixa de Suficiência, o Sistema Integrado de Diagnose e Recomendação (DRIS) e a Diagnose da Composição Nutricional (CND) (Malavolta et al., 1997; Urano et al., 2007).

Dentre estes métodos, o DRIS e o CND destacam-se, uma vez que são métodos bivariados e multivariados, respectivamente, enquanto os demais são univariados, ou seja, analisam cada nutriente separadamente. O DRIS foi desenvolvido por Beaufills (1973), e baseia-se na comparação de índices calculados em função das relações duais entre nutrientes. Como vantagens deste método pode-se citar a minimização dos efeitos de diluição ou concentração de nutrientes que ocorre devido ao acúmulo diferencial de matéria seca entre as amostras, pois se baseia na relação de equilíbrio entre nutrientes (Beaufills, 1973). Além disso, esse método permite a identificação de desequilíbrios nutricionais mesmo quando todos os nutrientes encontram-se acima do nível crítico (Baldock e Schulte, 1996).

O método da composição nutricional (CND - *Compositional Nutrient Diagnosis*) foi desenvolvido por Parent e Dafir (1992), e diferencia-se do método DRIS pelo fato de o teor de cada nutriente na amostra ser corrigido em função da média geométrica da composição nutricional. Desta forma, o CND baseia-se nas interações múltiplas que ocorrem entre todos os nutrientes em diagnose. A princípio, o método CND apresenta-se mais vantajoso em relação ao DRIS, pois considera a interação de todos os nutrientes simultaneamente e não apenas as interações duais (Parent e Dafir, 1992).

De acordo com o apresentado, observa-se escassez de trabalhos visando recomendações nutricionais para obtenção de altas produtividades na cultura da cenoura. Desta forma, o requerimento de nutrientes pela cultura da cenoura quando

se tem altas produtividades é inconsistente com as recomendações existentes. Objetivou-se, com este trabalho, desenvolver modelos para descrever a demanda nutricional da cultura da cenoura e estabelecer padrões de referência para diagnóstico do estado nutricional da cultura da cenoura por meio de análises foliares.

2. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BALDOCK, J.O.; SCHULTE, E.E. Plant analysis with standardized scores combines DRIS and sufficiency range approaches for corn. **Agronomy Journal**, v. 88, n. 3, p. 448-456, 1996.

BARROS, N.F.; NOVAIS, R.F.; TEIXEIRA, J.L.; FERNANDES, E.I. NUTRICALC 2.0 – Sistema para cálculo del balance nutricional y recomendación de fertilizantes para el cultivo del eucalipto. **Bosque**, v. 16, n. 1, p. 129-131, 1995.

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**. Pietermararitzburg: University of Natal, 1973. 132 p.

CECÍLIO, A.B.; PEIXOTO, F.C. Acúmulo e exportação de nutrientes em cenoura 'Forto'. **Revista Caatinga**, v. 26, n. 1, p. 64-70, 2013.

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

EMBRAPA Hortaliças. **Situação da produção de hortaliças no Brasil: 2000 – 2012**. Disponível em: <http://www.cnph.embrapa.br/paginas/hortalicas_em_numeros/hortalicas_em_numeros.htm>. Acessado em agosto de 2014.

FAGERIA, N.F. Otimização da eficiência nutricional na produção das culturas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 2, n. 1, p. 6-16, 1998.

HAEFELE, S.M.; WOPEREIS, M.C.S.; NDIAYE, M.K.; BARRO, S.E.; OULDISSELMOU, M. Internal nutrient efficiencies, fertilizer recovery rates and indigenous nutrient supply of irrigated lowland rice in Sahelian West Africa. **Field Crops Research**, v. 80, n. 1, p. 19-32, 2003.

HANLON, E.A.; HOCHMUTH, G.J. Carrot. **In**: RAY CAMPBELL, C. Reference sufficiency ranges for plant analysis in the southern region of the United States. **Southern Cooperative Series Bulletin**, n. 394, p. 63-64, 2009.

KURIHARA, C.H.; ALVAREZ V., V.H.; NEVES, J.C.L.; NOVAIS, R.F. Acúmulo de matéria seca e nutrientes em soja, como variável do potencial produtivo. **Revista Ceres**, v. 60, n. 5, p. 690-698, 2013.

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

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional das plantas**. Princípios e aplicações. 2ª ed. Piracicaba, SP: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1997, 319 p.

OLIVEIRA, F.H.T.; NOVAIS, R.F.; AVAREZ 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, n. 1, p. 131-143, 2005.

PARENT, L.E.; DAFIR, M. A theoretical concept of compositional nutrient diagnosis. **Journal of the American Society for Horticultural and Science**, v. 117, n. 2, p. 239-242, 1992.

ROZANE, D.E.; NATALE, W.; PRADO, R.M.; BARBOSA, J.C. Tamanho da amostra foliar para avaliação do estado nutricional de goiabeiras com e sem irrigação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 13, n. 3, p. 233-239, 2009.

SANTOS, F.C.; NEVES, J.C.L.; NOVAIS, R.F.; ALVAREZ, 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, n. 4, p. 1661-1674, 2008.

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, n. 5, p. 1269-1280, 2009.

URANO, E.O.M.; KURIHARA, C.H.; MAEDA, S.; VITORINO, A.C.T.; GONÇALVES, M.C.; MARCHETTI, M.E. Determinação de teores ótimos de nutrientes em soja pelos métodos chance matemática, Sistema Integrado de Diagnose e Recomendação e Diagnose da Composição Nutricional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, n. 1, p. 63-72, 2007.

VILELA, N.J.; BORGES, I.O. Retrospectiva e situação atual da cenoura no Brasil. **Circular Técnica** (EMBRAPA Hortaliças), n. 59, 10 p., 2008.

WESTERVELD, S.M.; MCKCOWN, A.W. SCOTT-DUPREE, C.D.; MCDONALD, M.R. Assessment of chlorophyll and nitrate meters as field tissue nitrogen test

for cabbage, onions and carrots. **Horticulture Technology**, v. 14, n. 2, p. 179-188, 2004.

3. CAPÍTULO I – DEMANDA DE NUTRIENTES PELA CULTURA DA CENOURA

3.1 Resumo

Objetivou-se, com este trabalho, estimar atributos necessários para modelar a demanda nutricional da cultura da cenoura. Amostraram-se 210 talhões de cenoura localizados no Alto Paranaíba – MG durante 2012 e 2013. Determinou-se o teor de matéria seca (MS) das raízes, o coeficiente de utilização biológica (CUB) dos nutrientes nas raízes e nas folhas e o índice de colheita (IC) de MS e de nutrientes na cultura. As informações foram agrupadas em dois grupos de cultivo: inverno e verão. O IC de MS e de nutrientes foi maior para as cultivares de inverno. Independente da época de cultivo, o N, P, K, Mg e B foram acumulados majoritariamente nas raízes. O P apresentou o maior IC, e o Cu, o menor. Foram insignificantes as diferenças na demanda nutricional de N, P, Ca, S, B, Cu e Zn entre os cultivos de inverno e verão para as produtividades médias obtidas em cada época. No cultivo de verão, a cenoura acumula maiores quantidades de Fe e menores de K, Mg e Mn quando comparado às de inverno. A modelagem da demanda nutricional da cultura da cenoura pode ser realizada em função da produtividade almejada e época de cultivo.

Palavras chave: Balanço de nutrientes, *Daucus carota* L., modelagem da demanda nutricional.

3.2 Abstract

Demand of nutrients by carrot cultivation

This study aimed to estimate the needed attributes for modeling the nutritional demand of the carrot cultivation. The sample consisted of 210 carrot stands located in Alto Paranaíba region, Minas Gerais State (MG), Brazil, during 2012 and 2013. Dry matter (DM) content of the roots, biological utilization coefficient (BUC) of nutrients in roots and leaves, and harvest index (HI) of DM and nutrients in the carrot cultivation were determined. Data were grouped into two cultivation groups - winter and summer. The harvest index of DM and nutrients was higher for winter cultivars. Regardless of the growing season, N, P, K, Mg, and B were mainly accumulated in roots. P had the highest HI and Cu had the lowest one. The differences were

insignificant in the nutritional demand of N, P, Ca, S, B, Cu, and Zn among winter and summer crops for the average yields obtained in each season. In summer culture, the carrots accumulate larger amounts for Fe and lesser amount for K, Mg, and Mn when compared to the winter culture. The modeling of the nutritional demand of the carrot cultivation can be performed depending on the desired productivity and cultivation season.

Keywords: Balance of nutrients, *Daucus carota* L., modeling of nutritional demand.

3.3 Introdução

Nos últimos anos houve evolução no cultivo da cenoura devido à introdução de novas técnicas no sistema produtivo, e como consequência, rápida evolução da produtividade foi alcançada. Além da introdução de novas cultivares, os manejos fitossanitário e nutricional evoluíram para proporcionar as altas produtividades. Entretanto, a evolução do manejo nutricional deu-se de forma empírica, sem maior embasamento científico. Este fato pode ser comprovado consultando-se a literatura sobre a recomendação de fertilizantes para a cultura da cenoura. Em Minas Gerais, por exemplo, a recomendação oficial foi publicada em 1999 e contempla produtividades de até 40 Mg ha^{-1} de raízes (Comissão..., 1999).

As recomendações oficiais vigentes para a cenoura (tabelas de recomendação) são antigas e consideram apenas a disponibilidade do nutriente no solo, sem levar em conta a produtividade esperada. Esta forma de recomendação pode ser considerada falha por não levar em conta outras variáveis que alteram a recomendação de nutrientes, como a produtividade almejada. Neste contexto, a utilização de modelos de balanço nutricional se destaca por ser uma forma estratégica de recomendar fertilizantes e corretivos por levar em consideração inúmeros fatores, em especial, a produtividade (Haefele et al., 2003). O sistema de balanço nutricional compreende modelos matemáticos que permitem estimar o requerimento de nutrientes pela cultura e o suprimento de nutrientes pelo solo, e assim, a recomendação compreende a diferença entre a demanda da cultura e o suprimento do solo (nutrientes disponíveis no solo mais os advindos da mineralização de resíduos culturais).

Embora seja eficiente, o método do balanço nutricional ainda não pode ser empregado na cultura da cenoura devido à falta de informações da demanda nutricional desta espécie para altas produtividades. Para estimar a demanda

nutricional da cultura é necessário conhecer alguns atributos, como o teor de matéria seca nas raízes (MS), o coeficiente de utilização biológica (CUB) dos nutrientes nos diferentes órgãos das plantas e o índice de colheita (IC) de matéria seca e de nutrientes. O CUB representa a razão entre o acúmulo de biomassa e o acúmulo de determinado nutriente (Fageria, 1998; Kurihara et al., 2013). O índice de colheita representa a percentagem da matéria seca ou do nutriente que se encontra no órgão colhido (raiz tuberosa na cultura da cenoura) em relação à totalidade de biomassa da planta.

Objetivou-se, com este trabalho, estimar o teor de matéria seca das raízes de cenoura, o coeficiente de utilização biológica dos nutrientes e o índice de colheita de matéria seca e dos nutrientes para possibilitar a modelagem da demanda nutricional da cultura da cenoura cultivada nos períodos de inverno e de verão.

3.4 Material e Métodos

Para determinar os atributos necessários para estimar a demanda nutricional da cultura da cenoura gerou-se um banco de dados com informações de 210 talhões comerciais localizados na região do Alto Paranaíba - MG. Para tal, amostragens foram realizadas durante os anos de 2012 e 2013 e abrangeram cultivos localizados nos municípios de Rio Paranaíba, São Gotardo e Campos Altos. Nesses, os cultivos de cenoura encontravam-se na altitude de aproximadamente 1100 m e em ambiente com clima predominante Cwa, segundo a classificação de Köppen-Geiger. Este clima é caracterizado por uma estação seca e um período chuvoso bem definido que ocorre entre outubro e março. Em relação ao tipo de solo, predominou os Latossolos Amarelos, Vermelhos e Vermelho-Amarelo de textura muito argilosa.

Nos talhões avaliados, determinou-se a produtividade de raízes, o teor de matéria seca nas raízes, o acúmulo de matéria seca de raízes e de folhas e os teores de nutrientes na planta. Amostras de folhas e de raízes coletadas na colheita foram secas em estufa com circulação forçada de ar a 70ºC por 72 h. Em seguida foram trituradas em moinho Willey equipado com peneira de 1,27 mm. Os teores de nutrientes foram determinados conforme métodos descritos em Malavolta et al. (1997).

A extração de nutrientes foi obtida pela soma do conteúdo de nutrientes nas raízes e nas folhas. Este, por sua vez, foi obtido pelo produto entre o acúmulo de

matéria seca e o teor do nutriente em cada parte da planta (raiz ou folha). O CUB foi calculado pela razão entre o acúmulo de MS e acúmulo de determinado nutriente em cada órgão da planta e expresso em kg kg^{-1} e kg g^{-1} para macro e micronutrientes, respectivamente. Calculou-se o índice de colheita pela razão entre o acúmulo de MS ou nutriente no órgão comercial (raiz) e o acúmulo total da cultura, o qual foi expresso em percentagem. As informações foram agrupadas em dois sistemas: cultivo de verão ou de inverno.

Os dados obtidos foram submetidos à análise de *outliers*, eliminando os valores destoantes em relação à média. Ferramentas de estatística descritiva foram empregadas para caracterizar o banco de dados e apresentar os atributos necessários para a modelagem da demanda nutricional da cultura da cenoura.

3.5 Resultados e Discussão

A análise dos atributos químicos dos solos de cultivo indicou que os mesmos apresentavam acidez corrigida (pH alto) e com adequados teores de macronutrientes (teores muito bom de P e K e teores bons de Ca, Mg e S) (Tabela 1). Em contrapartida, os solos apresentavam desequilíbrios quanto aos micronutrientes, uma vez que, em média, os teores Mn foram considerados baixos, os de B médios, os de Fe bons e os de Cu e Zn altos, segundo a classificação proposta pela Comissão... (1999).

Tabela 1. Média e desvio padrão dos principais atributos do solo na camada de 0 a 20 cm de profundidade nos talhões amostrados durante de 2012 e 2013

Atributo	Unidade	Extrator/ Método	Média	Desvio Padrão
pH	-	H_2O	6,3	0,3
Carbono orgânico	dag kg^{-1}	$K_2Cr_2O_7$/ Walkley-Black	2,0	0,3
P - rem	mg L^{-3}	-	10,6	3,2
Fósforo (P)	mg dm^{-3}	Mehlich-1	28,0	15,1
Potássio (K^+)	$mmol_c$ dm^{-3}	Mehlich-1	3,1	0,8
Cálcio (Ca^{2+})	$mmol_c$ dm^{-3}	KCl	33,9	5,8
Magnésio (Mg^{2+})	$mmol_c$ dm^{-3}	KCl	10,7	3,0
Enxofre (SO_4^{2-})	mg dm^{-3}	$Ca(H_2PO_4)_2.H_2O$ em AcOH	7,5	4,5
CTC (T)	$mmol_c$ dm^{-3}	-	82,3	8,2
Saturação por bases (V)	%	-	58,0	7,0
Boro (B)	mg dm^{-3}	Água quente	0,52	0,21
Cobre (Cu)	mg dm^{-3}	Mehlich-1	2,5	1,4
Ferro (Fe)	mg dm^{-3}	Mehlich-1	38,0	12,2
Manganês (Mn)	mg dm^{-3}	Mehlich-1	3,2	2,3
Zinco (Zn)	mg dm^{-3}	Mehlich-1	6,8	3,0
Saturação por Ca	%	-	41,2	4,9
Saturação por Mg	%	-	13,0	3,4
Saturação por K	%	-	3,8	1,1

Os solos apresentavam teores médios de carbono orgânico (2 dag kg^{-1}) e baixo P remanescente (10,6 mg L^{-1}). O teor de carbônio orgânico pode ser consequência do manejo adotado nas propriedades da região, onde a cenoura está dentro da rotação de culturas que compreende outras espécies olerícolas, como o alho, cebola e batata. Com isso, estes solos passam anualmente por intensos revolvimentos para condicionar o cultivo destas espécies e, consequentemente, a mineralização da matéria orgânica do solo é aumentada. Em relação ao P remanescente, o baixo valor indica que os solos são muito tamponados para este nutriente, ou seja, é necessária a adição de grande quantidade deste nutriente para aumentar pequena fração do teor de P disponível para a planta no solo (Bedin et al., 2003; Broggi et al., 2011).

No cultivo de inverno há maior número de cultivares (oito híbridos principais) que no cultivo de verão (dois híbridos principais) (Tabela 2). Este fato está relacionado às exigências climáticas da cenoura, que são mais bem contempladas no cultivo de inverno (temperaturas amenas, dias curtos e menor precipitação pluvial). A temperatura amena para as condições do verão na região do Alto Paranaíba – MG e as cultivares resistentes às doenças foliares permite o cultivo da cenoura nesta época. Entretanto, com menor importância e potencial produtivo que no cultivo de inverno.

Tabela 2. Número de talhões, área cultivada, produtividade total de raízes e ciclo dos mais frequentes híbridos de cenoura cultivados na região do Alto Paranaíba – MG

Cultivar	Nº talhões		Área		Produtividade Total		Ciclo	
	Nº	%	ha	%	Mg ha^{-1}	CV (%)	Dia	CV (%)
Baltimore	18	8,6	67,5	10,1	83,4	25,2	123	8,7
Belgrado	10	4,8	20,3	3,0	83,4	13,0	118	7,1
Concerto	8	3,8	19,1	2,9	90,9	24,2	131	4,0
Maestro	27	12,9	118,6	17,8	82,1	18,1	127	6,3
Músico	13	6,2	40,3	6,1	86,4	19,5	130	4,4
Nancy	10	4,8	35,4	5,3	87,3	21,0	121	8,8
Nandrin	20	9,5	87,4	13,1	81,5	24,7	115	9,4
Soprano	16	7,6	85,4	12,8	87,0	18,8	129	6,7
Cultivares de inverno	155	73,8	495,3	74,4	81,6	24,3	125	7,9
Juliana	16	7,6	140,6	21,1	63,2	12,5	100	6,4
Poliana	7	3,3	20,4	3,1	56,5	16,4	101	9,3
Cultivares de verão	55	26,2	170,6	25,6	60,9	14,3	105	8,1
Geral (inverno e verão)	210	100,0	665,9	100,0	75,4	24,6	120	10,8

O cultivo de inverno apresentou produtividades 34% superiores as obtidas durante o verão (81,6 Mg ha^{-1} contra 60,9 Mg ha^{-1}), enquanto que para o ciclo, o cultivo de inverno apresentou períodos de cultivo 14% superiores ao de verão (125 e 105 dias de ciclo, respectivamente). As maiores temperaturas observadas durante o

verão induzem maior acúmulo de MS na parte aérea devido às condições climáticas desfavoráveis ao crescimento radicular (Hussain et al., 2008) e, assim, reduz a produtividade de raízes devido a alteração na partição de biomassa. Além do mais, altas temperaturas tendem a reduzir o ciclo da cenoura devido a condições ambientais não favoráveis ao crescimento da cultura. Segundo Thiagarajan et al. (2012), temperaturas superiores a 24ºC reduzem significativamente a fotossíntese líquida da cultura da cenoura devido ao estresse térmico causado a espécie. Assim, o menor tempo que as plantas permanecem no campo também contribui para a redução da produtividade do cultivo de verão quando comparado ao de inverno.

As produtividades médias obtidas (75,4 Mg ha^{-1}) podem ser consideradas altas em relação à média nacional estimada em 2012 (28,9 Mg ha^{-1}) (Embrapa Hortaliças, 2014). Em trabalho conduzido por Cecílio Filho e Peixoto (2013) em 2004 no município de São Gotardo no Alto Paranaíba – MG obteve-se produtividade média de 72 Mg ha^{-1}, semelhante à média obtida neste trabalho. No contexto internacional, as produtividades alcançadas no Alto Paranaíba são superiores a média mundial (30,9 Mg ha^{-1} em 2013) (FAO, 2014) e às produtividades obtidas por Seljasen et al. (2012) na Noruega (65,4 Mg ha^{-1}), e próximas as obtidas por Tesfaendrias et al. (2010) na Holanda (82,5 Mg ha^{-1}).

Os teores de MS na raiz de cenoura variaram de 4,5 a 12,3%, com média de 9,0% (Tabela 3). Teores médios semelhantes (9,9%) foram obtidos por Seljasen et al. (2012) em trabalhos na Noruega. Os coeficientes de variação (CV) obtidos para o teor de MS nas raízes dos principais híbridos de cenoura podem ser considerados baixos. Este parâmetro mostra que o teor de MS das raízes de cenoura não tende a ter grandes variações dentro do material genético, mesmo com a diversidade de manejos culturais que foram submetidos os talhões amostrados.

Praticamente não houve diferença entre os teores médios de MS nas cultivares de inverno (9,1%) e os de verão (9,0%) (Tabela 3). Contudo, os principais híbridos de cenoura cultivados no verão (Juliana e Poliana) apresentaram teores médios de MS inferiores à média para esta época de cultivo. Dentre as principais características que fazem os melhoristas genéticos e os produtores escolherem determinado material genético pode-se citar a produtividade. No caso dos híbridos Juliana e Poliana, o menor teor de MS nas raízes pode proporcionar maiores produtividades, uma vez que para o mesmo acúmulo de MS nas raízes haverá maior acúmulo de massa fresca de raízes. Assim, é possível que o fato destes híbridos

apresentarem menor teor de MS nas raízes esteja relacionado com a seleção realizada durante os processos de melhoramento genético da espécie e, ou, por seleção de características produtivas por agricultores. Em relação ao cultivo de inverno, a média do teor de MS das principais cultivares girou em torno da média geral para esta época (Tabela 3).

Tabela 3. Teores máximos, médios e mínimos de matéria seca da raiz tuberosa dos mais frequentes híbridos de cenoura cultivados na região do Alto Paranaíba – MG

Cultivar	Teor de Matéria Seca na Raiz			
	Máximo	Média	Mínimo	CV
Baltimore	11,1%	9,7%	8,0%	9,5%
Belgrado	10,9%	8,6%	6,3%	17,9%
Concerto	10,7%	8,9%	7,0%	13,0%
Maestro	11,5%	9,2%	4,5%	14,1%
Músico	12,1%	8,8%	6,7%	18,5%
Nancy	10,7%	8,4%	5,7%	18,5%
Nandrin	12,3%	9,2%	6,6%	13,5%
Soprano	11,1%	9,0%	7,0%	13,7%
Cultivares de inverno	12,3%	9,1%	4,5%	14,4%
Juliana	10,9%	8,0%	4,7%	22,3%
Poliana	10,0%	8,1%	6,0%	18,6%
Cultivares de Verão	11,5%	9,0%	4,7%	18,5%
Geral (Inverno e verão)	12,3%	9,0%	4,5%	15,4%

O coeficiente de utilização biológica (CUB) apresentou alta variabilidade (CV) para os micronutrientes catiônicos (Cu, Fe, Mn e Zn) em ambos os órgãos da cultura (raízes e parte aérea) e, em algumas cultivares, o CUB da raiz também apresentou grande variabilidade para Ca, Mg e S (Tabela 4 e 5). Em relação aos micronutrientes catiônicos, parte desta variação pode ser consequência da própria variabilidade dos teores destes elementos (dados não apresentados). Para os demais nutrientes (macronutrientes e B), o CV médio dos CUBs foliares e radiculares ficou próximo a 30%. A menor variabilidade é interessante para proposição do modelo para estimativa da demanda de nutrientes em função da produtividade. Isto, porque, permite um modelo único para a cultura e não por cultivar.

As médias dos CUBs no sistema radicular das cultivares de inverno para o N, P, K, S, Cu e Zn são maiores que as de verão (Tabela 4). Na parte aérea, as cultivares de inverno apresentaram os maiores CUBs somente para Ca, Fe e Zn (Tabela 5). O maior CUB indica que a cultivar é mais eficiente na utilização do respectivo elemento, ou seja, há maior acúmulo de MS por unidade absorvida do nutriente.

Tabela 4. Valores máximos, médios, mínimos e coeficiente de variação do Coeficiente de Utilização Biológica dos macro e micronutrientes nas raízes dos mais frequentes híbridos de cenoura cultivados na região do Alto Paranaíba – MG

Cultivar	Parâmetro	Coeficiente de Utilização Biológica - CUB										
		N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
		kg kg^{-1}						kg g^{-1}				
Baltimore	Máximo	131,1	605,2	39,8	1492,5	1342,2	3656,6	42,9	1945,6	23,1	169,5	241,5
	Média	86,3	357,3	28,2	336,0	801,1	1661,6	27,4	351,7	8,4	98,4	73,0
	Mínimo	59,2	209,1	18,5	140,1	548,5	771,3	20,6	57,6	3,7	50,0	20,8
	CV (%)	23,5	35,1	21,1	91,6	28,6	48,9	22,4	127,7	65,1	38,6	95,2
Belgrado	Máximo	111,1	513,2	39,7	258,0	1041,7	1585,5	34,5	385,3	8,9	344,8	185,2
	Média	84,5	272,4	27,9	195,6	519,0	1213,9	22,3	142,1	4,5	131,3	59,7
	Mínimo	65,8	160,0	20,9	151,0	345,1	623,0	14,6	56,8	2,6	67,5	21,7
	CV (%)	18,4	46,4	20,7	16,6	39,2	29,0	26,6	90,8	56,1	64,7	95,0
Concerto	Máximo	106,0	719,4	50,1	819,7	650,7	4200,0	39,3	635,7	19,3	250,0	186,4
	Média	87,6	422,3	29,7	312,2	547,4	2014,9	29,3	281,5	10,6	114,2	77,3
	Mínimo	64,0	232,6	19,4	174,2	377,8	1098,7	22,6	87,6	3,8	72,9	31,7
	CV (%)	15,4	38,3	36,0	67,1	18,9	57,9	19,9	65,3	52,5	52,8	69,0
Maestro	Máximo	103,8	629,0	33,7	295,9	815,0	4023,1	50,0	1907,2	27,1	203,1	697,1
	Média	70,4	361,8	27,2	239,7	564,6	1427,9	29,3	371,5	11,8	136,5	169,4
	Mínimo	48,6	191,3	20,6	167,3	401,1	550,0	21,4	45,7	4,2	83,4	23,4
	CV (%)	18,9	31,2	17,1	15,7	21,8	62,1	23,0	118,9	49,1	22,5	95,3
Músico	Máximo	88,7	505,8	37,6	295,9	820,1	5928,4	40,2	1192,0	13,5	158,8	286,1
	Média	71,7	294,4	29,3	228,7	552,3	1765,0	28,0	312,0	9,6	114,9	114,8
	Mínimo	53,3	195,5	20,4	140,7	372,9	518,9	18,3	66,6	5,5	67,8	18,6
	CV (%)	17,4	29,3	19,5	18,2	22,5	82,8	22,5	97,2	31,1	21,7	64,5
Nancy	Máximo	244,4	489,1	37,7	337,4	797,3	3782,3	37,5	328,5	13,2	190,1	313,6
	Média	96,0	308,2	26,8	261,3	565,8	1776,3	25,7	136,9	6,3	111,5	98,1
	Mínimo	71,1	171,4	19,0	189,1	419,5	747,9	19,8	57,4	1,9	64,2	27,1
	CV (%)	54,7	37,2	23,9	21,8	21,6	51,8	25,0	65,2	60,8	30,9	102,1
Nandrin	Máximo	97,4	782,4	39,4	378,9	1015,4	2643,5	44,9	1366,9	20,6	232,4	1353,1
	Média	78,5	408,4	27,8	265,6	692,6	1686,2	28,3	423,6	10,7	141,1	275,1
	Mínimo	56,4	184,0	15,6	162,7	398,5	731,1	16,8	118,8	4,1	70,4	26,4
	CV (%)	17,2	43,7	23,1	22,1	24,7	38,4	31,6	88,6	42,1	33,1	116,7
Soprano	Máximo	104,7	488,8	56,5	308,7	3276,7	2878,6	46,2	422,3	23,7	136,2	1353,1
	Média	75,9	259,7	29,8	253,0	836,5	1602,3	25,3	168,8	8,0	96,5	199,2
	Mínimo	55,9	153,7	17,4	185,0	417,9	781,4	16,1	51,0	2,8	63,8	13,7
	CV (%)	18,0	31,8	28,7	16,5	79,8	44,3	34,5	60,5	67,6	25,7	141,9
Cultivares de inverno	Máximo	244,4	782,4	56,5	1538,5	3276,7	8510,1	50,0	1945,6	27,1	536,3	1353,1
	Média	78,7	325,3	27,4	293,8	649,2	1676,8	26,9	278,4	8,2	125,8	114,8
	Mínimo	46,7	93,5	15,6	140,1	345,1	517,3	14,6	37,6	1,8	47,4	11,9
	CV (%)	26,2	40,4	23,6	79,2	43,5	62,1	26,9	112,2	62,1	49,3	138,9
Juliana	Máximo	97,5	399,3	58,7	402,7	1020,4	2445,1	41,5	1376,0	22,1	416,7	1353,1
	Média	74,7	273,8	31,2	256,5	645,3	1580,9	29,5	296,9	6,7	138,0	252,9
	Mínimo	49,5	186,1	18,0	191,4	461,4	833,3	18,3	73,1	2,7	40,5	21,1
	CV (%)	17,0	27,4	43,2	22,4	24,9	32,3	30,3	114,6	98,8	69,9	121,1
Poliana	Máximo	96,6	281,1	31,3	1075,3	1492,5	2873,7	45,1	2384,0	7,9	454,5	1353,1
	Média	66,2	217,6	22,5	361,6	844,8	1818,0	21,0	950,5	4,4	218,3	262,8
	Mínimo	48,1	161,7	14,8	178,8	517,4	900,9	12,2	169,7	2,9	106,8	30,2
	CV (%)	24,1	23,1	24,8	88,2	40,6	40,4	44,5	90,9	42,8	61,6	116,1
Cultivares de verão	Máximo	97,5	661,9	58,7	1369,9	2244,8	6041,5	41,5	2384,0	22,1	555,6	960,0
	Média	65,2	275,9	25,5	414,2	815,6	1447,6	28,0	466,1	5,5	230,7	103,8
	Mínimo	41,2	161,7	14,8	161,8	441,5	775,2	15,8	73,1	1,8	40,5	21,1
	CV (%)	24,7	39,2	36,2	85,0	39,0	57,6	21,7	85,4	83,3	61,5	138,7
Geral (Verão e inverno)	Máximo	244,4	782,4	58,7	1538,5	3276,7	8510,1	50,0	2384,0	27,1	555,6	1353,1
	Média	75,0	312,4	26,9	326,2	693,9	1616,2	27,2	327,8	7,5	154,6	111,7
	Mínimo	41,2	93,5	14,8	140,1	345,1	517,3	14,6	37,6	1,8	40,5	11,9
	CV (%)	27,2	40,9	27,4	84,6	43,5	61,8	25,7	106,2	68,7	66,5	139,4

Tabela 5. Valores máximos, médios, mínimos e coeficiente de variação do Coeficiente de Utilização Biológica dos macro e micronutrientes na parte aérea dos mais frequentes híbridos de cenoura cultivados na região do Alto Paranaíba – MG

Cultivar	Parâmetro	Coeficiente de Utilização Biológica - CUB										
		N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
		kg kg^{-1}						kg g^{-1}				
Baltimore	Máximo	56,3	1077,8	41,1	67,6	666,7	654,5	22,3	97,3	3,8	37,7	31,4
	Média	47,0	658,5	19,1	44,8	302,4	414,3	18,9	34,6	1,9	18,6	19,4
	Mínimo	35,3	318,3	13,4	30,3	198,3	260,9	16,1	7,2	0,7	7,0	11,6
	CV (%)	13,2	33,3	33,6	20,4	36,0	28,9	9,4	100,5	50,8	49,6	31,4
Belgrado	Máximo	67,6	1052,6	57,7	56,3	625,0	1021,6	25,6	33,6	3,8	54,3	42,2
	Média	50,5	518,4	22,1	40,4	363,2	538,0	19,2	10,8	1,2	21,2	21,5
	Mínimo	37,8	356,1	14,7	28,8	267,9	314,8	13,2	4,9	0,4	5,5	13,9
	CV (%)	15,5	38,6	57,8	21,2	30,4	40,7	23,6	82,5	83,2	71,8	45,8
Concerto	Máximo	57,0	952,4	43,2	43,6	416,7	679,3	23,4	38,3	2,5	60,2	39,6
	Média	52,9	779,4	20,7	34,1	342,2	532,4	17,2	17,2	1,7	21,7	21,3
	Mínimo	45,0	506,4	13,5	22,8	264,6	416,7	14,3	7,4	0,7	5,0	13,0
	CV (%)	8,6	17,7	47,6	18,8	16,4	23,4	15,9	64,0	38,8	96,9	39,4
Maestro	Máximo	61,6	1457,8	48,5	59,0	546,0	1566,0	26,4	106,9	5,7	75,2	87,4
	Média	47,1	666,1	24,9	38,7	329,6	544,0	19,0	21,9	2,6	18,4	35,8
	Mínimo	36,8	399,0	12,3	30,8	218,2	278,5	13,9	4,2	1,0	5,2	14,8
	CV (%)	12,8	33,8	39,9	18,7	25,6	57,7	16,7	113,6	50,7	83,0	52,4
Músico	Máximo	63,7	1438,8	42,3	41,6	459,6	1274,2	23,3	38,2	3,3	51,8	82,8
	Média	51,2	796,3	25,6	32,7	355,7	721,5	18,6	17,7	2,0	18,6	47,5
	Mínimo	42,5	549,9	16,9	26,6	258,9	478,9	14,5	6,7	1,0	5,1	13,5
	CV (%)	11,4	32,1	31,6	13,9	15,6	45,7	14,1	62,5	41,3	77,9	51,6
Nancy	Máximo	60,7	1188,2	50,5	54,3	361,2	521,0	22,5	23,3	3,8	29,9	58,4
	Média	48,1	664,8	24,7	42,9	301,9	357,5	17,2	14,3	2,5	17,9	29,3
	Mínimo	37,7	354,9	14,3	34,8	223,0	248,1	11,8	5,0	1,4	10,4	10,6
	CV (%)	15,8	33,5	46,4	15,3	14,8	26,0	17,4	53,6	38,2	36,1	53,4
Nandrin	Máximo	52,0	909,0	44,1	73,3	434,4	645,4	24,8	81,1	3,9	25,1	51,6
	Média	42,4	618,9	21,4	49,7	332,7	402,9	19,1	23,2	2,6	15,2	31,1
	Mínimo	29,8	368,3	12,2	34,5	258,9	260,8	14,5	3,6	1,4	8,8	11,6
	CV (%)	13,3	24,3	34,3	20,9	14,4	26,2	15,6	103,2	26,9	31,7	34,3
Soprano	Máximo	59,6	1041,7	32,8	49,2	400,0	1240,9	23,9	42,0	4,0	79,4	56,4
	Média	47,7	626,1	20,3	36,6	260,6	656,5	17,7	14,8	2,1	28,0	21,4
	Mínimo	39,8	290,1	15,3	26,2	202,1	369,1	11,2	4,7	0,7	5,7	8,2
	CV (%)	11,8	33,9	29,6	17,4	21,3	34,5	22,0	82,3	45,7	80,7	67,1
Cultivares de inverno	Máximo	71,9	1457,8	66,0	73,3	625,0	1566,0	26,4	106,9	5,7	68,0	89,1
	Média	47,0	623,0	24,3	40,4	321,3	481,8	18,6	19,9	2,0	20,5	28,2
	Mínimo	29,8	290,1	12,2	22,8	198,3	200,3	11,2	3,6	0,3	5,0	8,2
	CV (%)	15,9	33,3	42,1	22,4	23,4	46,5	17,2	101,2	53,6	63,3	59,3
Juliana	Máximo	73,5	1315,8	51,8	51,3	735,3	1101,6	35,4	29,1	3,5	149,3	43,2
	Média	43,1	414,5	29,1	39,5	483,5	555,7	19,5	11,4	1,2	34,0	21,7
	Mínimo	34,0	257,1	18,5	26,4	300,0	262,8	14,6	5,6	0,5	7,2	12,6
	CV (%)	21,1	62,5	36,3	17,3	24,0	44,3	27,9	66,6	72,2	113,3	45,0
Poliana	Máximo	64,9	1098,9	33,3	48,1	588,2	835,3	29,0	13,4	3,2	119,0	38,2
	Média	52,1	566,9	26,5	34,8	450,2	668,8	20,5	9,4	1,7	43,5	24,7
	Mínimo	42,7	272,0	22,1	21,2	367,8	434,8	15,9	6,9	1,1	10,4	15,7
	CV (%)	15,4	56,9	14,3	26,2	17,9	27,6	22,1	23,4	60,7	91,8	34,4
Cultivares de verão	Máximo	73,5	1315,8	55,9	69,2	735,3	1101,6	35,4	526,3	3,5	149,3	44,9
	Média	50,6	686,0	26,4	36,9	511,3	537,1	21,5	75,0	1,0	53,3	25,0
	Mínimo	34,0	257,1	16,6	21,2	255,2	262,8	12,9	5,2	0,2	7,1	12,6
	CV (%)	20,8	53,4	32,5	30,8	22,9	34,7	24,8	203,3	72,9	67,1	39,9
Geral (Verão e inverno)	Máximo	73,5	1457,8	66,0	73,3	735,3	1566,0	35,4	526,3	5,7	149,3	89,1
	Média	47,8	649,7	24,7	39,3	376,9	497,6	19,5	35,1	1,7	30,3	27,1
	Mínimo	29,8	257,1	12,2	21,2	198,3	200,3	11,2	3,6	0,2	5,0	8,2
	CV (%)	17,9	41,0	39,8	25,1	33,8	42,5	21,1	241,2	64,0	87,5	56,2

Comparando os CUBs entre os híbridos de cada época observa-se que há pouca variação neste atributo, exceto para o CUB do Cu no sistema radicular da cultivar Poliana (cultivo de verão). Para esta cultivar, o CUB para o Cu foi alto (950,5 kg g^{-1}) quando comparado com a média geral das cultivares de verão e da cultivar Juliana, o que indica que esta é mais eficiente na utilização deste nutriente.

As cultivares de inverno apresentaram taxa de exportação de matéria seca 16% maior que as cultivares de verão (74% contra 64%), ou seja, maior índice de colheita (Tabela 6). Como consequência deste maior IC de MS, as cultivares de inverno apresentaram maiores IC de nutrientes para todos os elementos quantificados quando comparado as cultivares de verão.

Quanto aos nutrientes acumulados preferencialmente na raiz (IC > 50%) destacaram-se o N, P, K, Mg e o B em ambas as épocas de cultivo. Resultados semelhantes foram obtidos por Cecílio Filho e Peixoto (2013), que analisando somente macronutrientes concluíram que o N, P, K, Mg e S se acumulam preferencialmente nas raízes. Contudo, segundo os resultados apresentados na Tabela 6, o S é acumulado preferencialmente nas folhas (IC = 45%). O P é o nutriente que apresenta o maior IC (83%), enquanto que o Cu é o nutriente com menor fração exportada (21%). Cecílio Filho e Peixoto (2013) também concluíram que o P é o macronutriente que apresenta o maior índice de colheita (86,1%).

A demanda de nutrientes pode ser calculada pela razão entre a exportação e o índice de colheita para cada elemento. A exportação por sua vez pode ser calculada pelo produto entre produtividade, teor de matéria seca das raízes e o inverso do CUB do nutriente para o sistema radicular. Partindo desse modelo, para obtenção de 80 Mg ha^{-1} de raízes das cultivares de inverno, a extração varia de 114 a 163 kg ha^{-1} de N; 23 a 32 kg ha^{-1} de P; 338 a 411 kg ha^{-1} de K; 77 a 106 kg ha^{-1} de Ca; 17 a 20 kg ha^{-1} de Mg; 7 a 11 kg ha^{-1} de S; 383 a 483 g ha^{-1} de B; 44 a 280 g ha^{-1} de Cu; 1446 a 4259 g ha^{-1} de Fe; 180 a 244 g ha^{-1} de Mn; e 62 a 246 g ha^{-1} de Zn. Para as cultivares de verão, a extração de nutrientes para obtenção de 60 Mg ha^{-1} de raízes varia de 129 a 147 kg ha^{-1} de N; 25 a 31 kg ha^{-1} de P; 253 a 361 kg ha^{-} de K; 68 a 98 kg ha^{-1} de Ca; 12 a 14 kg ha^{-1} de Mg; 8 a 9 kg ha^{-1} de S; 299 a 459 g ha^{-1} de B; 65 a 244 g ha^{-1} de Cu; 2728 a 3896 g ha^{-1} de Fe; 81 a 123 g ha^{-1} de Mn; e 52 a 131 g ha^{-1} de Zn. Para as variações nas extrações de nutrientes consideraram-se as diferenças nos CUBs, teores de MS e índices de colheita dos nutrientes de cada cultivar.

Tabela 6. Índice de colheita de matéria seca e dos macro e micronutrientes nos mais frequentes híbridos de cenoura cultivados no Alto Paranaíba - MG

Cultivar	Parâmetro	Índice de colheita (%)											
		MS	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
Baltimore	Máximo	81,6	71,4	93,9	82,9	48,9	66,2	62,7	78,3	44,9	52,6	49,7	74,1
	Média	73,2	59,6	82,8	64,6	31,8	50,6	41,4	66,5	22,1	41,1	32,3	52,7
	Mínimo	63,8	40,8	67,6	45,9	9,2	39,7	19,3	57,4	6,8	20,9	15,4	18,0
	CV (%)	7,0	14,3	8,1	18,2	28,9	13,7	35,7	8,9	51,9	21,4	32,2	29,5
Belgrado	Máximo	77,6	62,2	92,5	90,5	38,4	71,1	68,2	78,8	41,2	51,8	58,6	66,7
	Média	67,7	56,0	79,1	59,4	30,6	60,0	48,5	64,0	17,3	35,6	25,5	46,8
	Mínimo	62,9	49,6	60,8	44,9	25,6	52,0	30,7	54,3	4,3	7,8	11,6	18,7
	CV (%)	6,5	7,7	12,0	20,9	12,9	8,5	24,6	10,2	58,4	35,2	52,6	30,3
Concerto	Máximo	88,5	82,6	92,6	91,1	58,7	86,4	51,9	85,4	61,6	58,3	75,4	82,0
	Média	78,6	69,4	87,7	70,6	35,4	69,8	39,0	68,6	21,1	43,2	42,9	53,2
	Mínimo	61,8	51,4	80,1	55,5	4,3	54,3	28,1	58,3	6,9	30,4	13,8	25,9
	CV (%)	9,3	12,1	4,1	16,3	40,9	12,9	25,2	11,9	81,9	23,9	66,4	36,2
Maestro	Máximo	84,5	80,0	94,4	89,1	48,5	80,8	77,6	81,7	47,2	62,1	52,7	88,1
	Média	75,3	67,7	84,7	72,2	34,1	63,9	54,8	66,4	19,2	43,0	25,6	47,5
	Mínimo	64,4	59,1	74,9	51,8	25,2	51,2	35,0	52,6	2,5	25,4	9,1	17,5
	CV (%)	7,8	7,7	7,0	12,6	19,8	13,0	21,7	11,5	61,1	21,6	45,0	40,1
Músico	Máximo	81,4	75,2	94,0	85,0	37,2	73,9	73,1	75,0	46,0	48,4	57,8	64,7
	Média	74,4	67,2	88,5	71,1	29,1	64,7	59,6	65,6	20,0	35,1	34,1	49,7
	Mínimo	68,4	61,6	84,9	62,3	22,6	58,5	41,8	58,0	7,3	21,3	9,9	35,9
	CV (%)	4,4	6,3	3,1	10,6	14,1	7,3	17,2	8,2	59,0	21,4	74,9	22,6
Nancy	Máximo	81,2	70,8	92,5	86,2	39,7	69,4	62,5	78,2	45,9	71,6	49,5	67,6
	Média	75,0	61,6	85,9	69,5	33,6	61,5	36,3	66,2	25,6	55,5	33,5	52,3
	Mínimo	66,2	38,2	79,9	52,1	26,7	57,2	20,7	50,0	18,8	46,3	18,4	24,1
	CV (%)	6,4	14,8	4,7	18,2	13,5	6,2	35,7	12,3	36,9	13,9	31,4	30,4
Nandrin	Máximo	78,3	67,5	88,6	89,6	46,0	71,3	58,2	80,6	60,4	56,4	37,4	68,8
	Média	71,1	57,5	79,0	64,3	31,9	54,6	38,2	63,1	39,9	38,6	22,0	35,0
	Mínimo	64,2	49,3	55,7	44,3	25,8	44,3	19,5	48,2	1,9	19,7	11,2	7,5
	CV (%)	5,8	9,2	10,2	14,9	16,6	13,7	27,9	13,3	102,8	26,5	35,0	56,4
Soprano	Máximo	81,6	72,9	91,1	83,3	35,9	62,5	75,0	79,4	61,9	61,6	57,8	75,7
	Média	74,8	65,4	87,4	66,5	31,5	51,2	55,0	67,9	20,9	45,9	36,7	58,5
	Mínimo	66,7	47,2	80,8	37,1	24,5	22,7	30,3	45,8	3,3	30,0	15,5	33,9
	CV (%)	6,2	10,3	3,7	16,0	9,5	20,1	22,1	12,7	62,4	21,8	41,7	22,5
Cultivares de inverno	Máximo	88,5	82,6	94,5	94,9	58,7	86,4	77,6	89,5	61,9	71,6	75,4	88,1
	Média	73,9	63,3	84,4	69,0	31,6	59,5	45,9	66,7	21,8	42,1	30,6	50,5
	Mínimo	61,8	38,2	55,7	37,1	4,3	22,7	10,1	45,8	1,9	7,8	9,1	7,5
	CV (%)	7,5	12,4	8,2	16,6	28,1	16,2	32,8	12,1	62,8	28,5	46,5	37,6
Juliana	Máximo	73,3	77,2	93,9	78,7	31,6	64,3	60,1	76,9	39,8	56,5	61,9	69,8
	Média	63,2	50,0	70,6	60,7	21,3	56,5	37,1	54,5	11,6	26,3	28,3	36,4
	Mínimo	49,0	38,2	55,1	33,2	14,2	43,4	20,0	40,8	2,1	6,6	6,4	2,0
	CV (%)	9,1	20,6	15,8	22,7	22,9	11,8	34,3	20,3	94,8	48,4	57,0	58,8
Poliana	Máximo	66,3	72,2	91,0	67,9	17,6	48,3	48,7	65,5	3,7	45,6	33,5	52,5
	Média	55,6	49,8	72,7	60,0	13,7	41,5	35,6	50,3	2,1	28,2	18,6	34,4
	Mínimo	43,4	37,2	50,7	46,4	3,6	33,9	24,2	29,7	0,7	16,0	7,3	15,3
	CV (%)	15,4	25,9	19,3	12,4	32,1	12,6	26,4	24,6	60,4	41,7	48,1	39,6
Cultivares de verão	Máximo	78,5	80,2	93,9	83,2	43,8	69,1	72,2	76,9	71,4	61,0	61,9	69,8
	Média	64,5	58,2	78,7	64,3	19,2	54,2	42,8	58,3	17,7	25,2	28,8	39,6
	Mínimo	43,4	37,2	50,7	33,2	3,6	27,1	18,5	29,7	0,7	6,6	6,4	2,0
	CV (%)	10,8	22,8	15,9	17,1	48,1	15,8	29,4	18,6	124,1	53,2	43,2	39,9
Geral (Verão e inverno)	Máximo	88,5	82,6	94,5	94,9	58,7	86,4	77,6	89,5	71,4	71,6	75,4	88,1
	Média	71,3	61,9	82,9	67,8	28,2	58,0	44,9	64,4	20,7	37,4	30,1	47,3
	Mínimo	43,4	37,2	50,7	33,2	3,6	22,7	10,1	29,7	0,7	6,6	6,4	2,0
	CV (%)	10,2	16,0	11,0	17,0	37,4	16,6	32,0	15,0	79,8	39,0	45,8	39,7

Pela comparação das demandas nutricionais dos cultivos de inverno e verão com produtividades de 80 e 60 Mg ha^{-1} de raízes (médias de ambas as épocas de cultivo), respectivamente, observa-se que praticamente não há diferenças nas extrações de N, P, Ca, S, B, Cu e Zn. Em contrapartida, os cultivos de verão tendem a apresentar maior demanda de Fe e menor demanda de K, Mg e Mn.

As cultivares de verão produziram menor quantidade de raízes para a mesma quantidade acumulada dos nutrientes N, P, Ca, S, B, Cu e Zn, em comparação às cultivares de inverno. Isso indica que as cultivares de inverno possuem maior eficiência agronômica de uso destes nutrientes. A maior eficiência agronômica dos cultivos de inverno pode estar relacionada com a partição de biomassa (IC de MS), pois, para a mesma quantidade de raízes produzidas, o cultivo de verão gera maior acúmulo de MS na parte aérea, e consequentemente, maior acumulo de nutrientes.

De acordo com os acúmulos estimados verifica-se a seguinte ordem de extração de nutrientes para os cultivos de inverno e verão, respectivamente: K > N > Ca > P > Mg > S > Fe > B > Mn > Zn > Cu e K > N > Ca > P > Mg > S > Fe > B > Zn > Mn > Cu. A ordem decrescente de acúmulo de nutrientes das cultivares de inverno e de verão é semelhante para os macronutrientes, entretanto, há alteração na ordem de acúmulo do Mn e Zn. O acúmulo de macronutrientes na cenoura "Forto" – verificado por Cecílio Filho e Peixoto (2013) - foi semelhante ao verificado neste trabalho, exceto pelo fato do acúmulo de S ser maior que o de Mg.

As cultivares distintas dos cultivos de inverno e de verão promovem pouco efeito sobre a demanda nutricional da cultura da cenoura em função da época de cultivo, exceto para os nutrientes K, Mg e Mn, conforme discutido anteriormente. Desta forma, a modelagem da demanda nutricional da cultura da cenoura com a distinção apenas da época de cultivo poderá ser utilizada. Assim, a demanda nutricional da cultura da cenoura pode ser estimada em função da produtividade almejada e da época de cultivo.

3.6 Conclusões

1. O índice de colheita de matéria seca e de nutrientes é maior para as cultivares de inverno. O P é o nutriente que apresenta o maior índice de colheita, e o Cu, o que apresenta menor;
2. São insignificantes as diferenças na demanda nutricional de N, P, Ca, S, B, Cu e Zn entre os cultivos de inverno e verão para as produtividades médias obtidas em cada época;
3. O cultivo de verão acumula maiores quantidades de Fe e menores quantidades de K, Mg e Mn quando comparado ao de inverno.
4. A modelagem da demanda nutricional da cultura da cenoura pode ser realizada em função da produtividade almejada e época de cultivo.

3.7 Referências Bibliográficas

BEDIN, I.; FURTINI NETO, A.E.; RESENDE, A.V.; FAQUIN, V.; TOKURA, A. M.; SANTOS, J.Z.L. Fertilizantes fosfatados e produção da soja em solos com diferentes capacidades tampão de fosfato. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, n. 4, p. 639-646, 2003.

BROGGI, F.; OLIVEIRA, A.C.; FREIREM F.J.; FREIRE, M.B.G.S.; NASCIMENTO, C.W.A. Fator capacidade de fósforo em solos de Pernambuco mineralogicamente diferentes e influência do pH na capacidade máxima de adsorção. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 35, n. 1, p. 77-83, 2011.

CECÍLIO FILHO, A.B.; PEIXOTO, F.C. Acúmulo e exportação de nutrientes em cenoura 'Forto'. **Revista Caatinga**, v. 26, n. 1, p. 64-70, 2013.

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

EMBRAPA Hortaliças. **Situação da produção de hortaliças no Brasil: 2000 – 2012**. Disponível em: <http://www.cnph.embrapa.br/paginas/hortalicas_em_numeros/hortalicas_em_numeros.htm>. Acessado em agosto de 2014.

FAGERIA, N.F. Otimização da eficiência nutricional na produção das culturas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 2, n. 1, p. 6-16, 1998.

FAO. **Agriculture sector: Production Crops.** Disponível em: < http://www.fao.org>. Acessado em agosto de 2014.

HAEFELE, S.M.; WOPEREIS, M.C.S.; NDIAYE, M.K.; BARRO, S.E.; OULDISSELMOU, M. Internal nutrient efficiencies, fertilizer recovery rates and indigenous nutrient supply of irrigated lowland rice in Sahelian West Africa. **Field Crops Research**, v. 80, n. 1, p. 19-32, 2003.

HUSSAIN, S.I.; HADLEY, P.; PEARSON, S. A validated mechanistic model of carrot (*Daucus carota* L.) growth. **Scientia Horticulturae**, v. 117, n. 1, p. 26-31, 2008.

KURIHARA, C.H.; ALVAREZ V., V.H.; NEVES, J.C.L.; NOVAIS, R.F. Acúmulo de matéria seca e nutrientes em soja, como variável do potencial produtivo. **Revista Ceres**, v. 60, n. 5, p. 690-698, 2013.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional das plantas**. Princípios e aplicações. 2ª ed. Piracicaba, SP: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1997, 319 p.

SELJASEN, R.; LEA, P.; TORP, T.; RILEY, H.; BERENTSEN, E.; THOMSEN, M.; BENGTSSON, G. B. Effects of genotype, soil type, year and fertilization on sensory and morphological attributes of carrots (*Daucus carota* L.). **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 92, n. 8, p. 1786-1799, 2012.

TESFAENDRIAS, M.T.; MCDONALD, M.R.; WARLAND, J. Consistency of long-term marketable yield of carrot and onion cultivars in muck (organic) soil in relation to seasonal weather. **Canadian Journal of Plant Science**, v. 90, n. 5, p. 755-765, 2010.

THIAGARANJAN, A.; LADA, R.; ADAMS, A. Ecophysiological characteristics of two carrot cultivars in response to agroecological factors and nitrogen application. **Photosynthetica**, v. 50, n. 2, p. 282-290, 2012.

VILELA, N.J.; BORGES, I.O. Retrospectiva e situação atual da cenoura no Brasil. **Circular Técnica** (EMBRAPA Hortaliças), n. 59, 10 p., 2008.

4 CAPÍTULO II – SISTEMA DE RECOMENDAÇÃO DE FERTILIZANTES PARA A CULTURA DA CENOURA – FERTICALC CENOURA

4.1 Resumo

A literatura existente para a fertilização da cultura da cenoura recomenda, de modo geral, doses de nutrientes para expectativas de produtividades inferiores as obtidas atualmente. Além do mais, a recomendação considera somente os resultados da análise química do solo e não contempla efeitos como dos resíduos culturais ou variações da produtividade. Objetivou-se, com este trabalho, propor um sistema de recomendação de fertilizantes para a cultura da cenoura (FERTICALC Cenoura) que abranja o suprimento de nutrientes pelos resíduos culturais, a variação da produtividade almejada, os atributos químicos do solo e a época de cultivo (inverno ou verão). Para determinar os atributos necessários a modelagem do requerimento nutricional amostraram-se 210 talhões de cultivo de cenoura na região do Alto Paranaíba – MG. Com estas amostragens determinou-se o teor de matéria seca das raízes, coeficiente de utilização biológica dos nutrientes nas raízes e o índice de colheita dos nutrientes para os cultivos de verão e inverno. Para modelar o suprimento de nutrientes pelo solo realizou-se revisão na literatura buscando trabalhos relacionados ao tema. O sistema foi desenvolvido para recomendação de macronutrientes e B. Para os micronutrientes catiônicos o sistema informa somente a exportação e extração da cultura. O FERTICALC desenvolvido mostrou-se eficiente para recomendar fertilizantes para a cultura da cenoura.

Palavras-chave: Balanço de nutrientes, *Daucus carota* L., nutrição de plantas.

4.2 Abstract

Fertilizer recommendation system for carrot cultivation - FERTICACL Carrot

The literature for fertilization of carrot cultivation usually recommends nutrient doses for yield expectations lower than the ones currently obtained. Moreover, the recommendation considers only the results of the soil chemical analysis and does not include effects such as crop residues or changes in productivity. This study aimed to propose a fertilizer recommendation system for the carrot cultivation (FERTICALC Carrot) covering the nutrient supply by crop residues, the variation of the desired

productivity, the soil chemical properties, and the cultivation season (winter or summer). To determine the needed attributes for modeling the nutritional requirement, 210 carrot cultivation stands were sampled in the region of Alto Paranaíba, Minas Gerais State (MG), Brazil. The dry matter content of the roots, biological utilization coefficient of nutrients in the roots, and the nutrient harvest index for summer and winter crops were determined for these samples. To model the nutrient supply by the soil, literature review was carried out looking for issue related to the theme. The system was developed for macronutrient recommendation and B. For the cationic micronutrients, the system only reports the exportation and extraction of culture. The developed FERTICALC proved to be efficient for fertilizer recommendation to carrot cultivation.

Index terms: Balance of nutrients, *Daucus carota* L., plant nutrition.

4.3 Introdução

Muitas recomendações de fertilizantes são feitas com base em informações disponíveis em tabelas publicadas em manuais estaduais, entretanto, alguns inconvenientes podem ser citados sobre este método de recomendação. A aplicabilidade regional, a não atualização constante em relação às novas cultivares/híbridos que surgem no mercado e a abrangência de produtividades geralmente inferiores às obtidas em cultivos tecnificados representam os principais pontos negativos deste método de recomendação (Oliveira et al., 2007; Santos et al., 2008; Silva et al., 2009).

No intuito de contornar esses problemas algumas recomendações de fertilizantes estão sendo realizadas via sistema de balanço nutricional (Haefele et al., 2003; Silva et al., 2009). Este sistema de recomendação permite estimar a demanda de nutrientes pela cultura de acordo com a produtividade esperada, assim como o suprimento de nutrientes pelo solo (solo e resíduos culturais). Com isso, a recomendação de adubação por esse sistema compreende a diferença entre a demanda da cultura e o suprimento pelo solo.

Para proposição dos sistemas de balanço nutricional são necessários informações da cultura relacionados à demanda de nutrientes. Dentre estas informações citam-se o teor de matéria seca (MS), o coeficiente de utilização biológica (CUB), o índice de colheita (IC) e a eficiência de recuperação (ER) pela

planta dos nutrientes aplicados ao solo. O CUB pode ser definido como a quantidade de matéria seca produzida por unidade do nutriente acumulado em determinado órgão da planta (Fageria, 1998). O IC representa a fração de MS ou nutriente presente no órgão comercial da cultura (raiz tuberosa na cultura da cenoura) em relação a toda matéria seca da planta. A ER indica a percentagem do nutriente aplicado ao solo que a planta recupera (Fageria, 1998).

Além de determinar a demanda nutricional, é necessário conhecer o suprimento de nutrientes pelo solo para utilizar o sistema de balanço de nutricional. Ao contrário dos modelos de demanda nutricional que necessitam de informações específicas da cultura, como o teor de MS, CUB, IC e ER, a modelagem do suprimento de nutriente pode ser obtida com base em trabalhos disponíveis na literatura. Dentre esses destacam-se os realizados para determinar a eficiência de recuperação dos extratores utilizados nas análises de solo e trabalhos realizados para estudar o acúmulo e a dinâmica de mineralização e liberação de nutrientes pelos resíduos culturais (Gama-Rodrigues et al., 2007; Marcelo et al., 2012a,b). Assim, a obtenção de informações (atributos) necessárias para calcular a demanda nutricional representam o ponto crítico para utilização do sistema de balanço nutricional na cultura da cenoura devido à carência de dados na literatura.

Objetivou-se, com este trabalho, determinar os atributos necessários para modelar a demanda nutricional da cultura da cenoura e desenvolver um sistema de recomendação de fertilizantes para a cultura (FERTICALC Cenoura) com base no princípio do balanço nutricional.

4.4 Material e Métodos

4.4.1 Desenvolvimento do Sistema

Os modelos matemáticos contidos no Sistema de Recomendação de Fertilizantes para a Cultura da Cenoura (FERTICALC Cenoura) foram subdivididos em dois subsistemas, sendo eles: requerimento nutricional (REQ) e suprimento de nutrientes pelo solo (SUP). Para estimar o requerimento nutricional levou-se em consideração a demanda da cultura e a eficiência de recuperação (ER) do nutriente aplicado. Para calcular a demanda da cultura, por sua vez, o subsistema REQ considerou o teor de MS nas raízes, o CUB dos nutrientes no sistema radicular e o IC. O subsistema SUP considerou o fornecimento de nutrientes pelo solo, pela

correção do solo (fornecido via calagem e gessagem) e pelos resíduos de cultivos anteriores.

Subsistema Requerimento – REQ

Determinação de Atributos para Modelagem da Demanda Nutricional

Para determinar os atributos necessários à estimativa da demanda nutricional da cultura da cenoura gerou-se um banco de dados com informações de talhões comerciais localizados na região do Alto Paranaíba - MG. Para tal, foram realizadas amostragens durante os anos de 2012 e 2013 que abrangeram cultivos localizados nos municípios de Rio Paranaíba, São Gotardo e Campos Altos. Nesses municípios, os cultivos de cenoura encontravam-se a altitude de aproximadamente 1100 m com clima predominante Cwa, segundo a classificação de Köppen-Geiger. Este clima é caracterizado por uma estação seca e um período chuvoso bem definido que ocorre entre outubro e março. Em relação ao tipo de solo, predominaram os Latossolos Amarelos, Vermelhos e Vermelho-Amarelo de textura muito argilosa.

Amostraram-se 210 talhões de cultivo de cenoura e determinou-se a produtividade de raízes, o teor de matéria seca nas raízes, o acúmulo de matéria seca de raízes e de folhas e os teores de nutrientes na planta. Amostras das folhas e das raízes coletadas na colheita foram secas em estufa com circulação forçada de ar a 70ºC por 72 h. Em seguida foram passadas em moinho Willey com peneira de 1,27 mm. Os teores de nutrientes foram determinados conforme métodos descritos em Malavolta et al. (1997).

O CUB foi calculado pela razão entre o acúmulo de MS e acúmulo de determinado nutriente em cada órgão da planta e expresso em kg kg^{-1} e kg g^{-1} para macro e micronutrientes, respectivamente. Calculou-se o IC pela razão entre o acúmulo de MS ou nutrientes no órgão comercial (raiz) e o acúmulo total da cultura, o qual foi expresso em percentagem.

A ER do nutriente aplicado foi estimada somente para os macronutrientes. A estimativa da ER foi realizada de modo indireto, buscando valores que simulassem o manejo nutricional (dose aplicada dos nutrientes) adotado por produtores locais na cultura da cenoura. Assumiram-se como ER valores que retornassem no sistema de recomendação às taxas de aplicação de nutrientes que os produtores praticam para alcançar as produtividades médias nos cultivos de inverno e verão.

Determinar a ER do nutriente aplicado é complexo e envolve inúmeros fatores, exigindo estudos para compreender os efeitos do clima (temperatura, precipitação fluvial e radiação solar), dos atributos do solo (pH, textura, teor de matéria orgânica, toxidez por Al^{3+}, classe de fertilidade e porosidade) e da cultura (morfologia do sistema radicular e fisiologia) sobre está variável (Fageria, 1998). Assim, devido à complexidade em se estimar a ER adotou-se, na primeira versão do FERTICALC Cenoura, valores empíricos. Contudo, estudos nesta linha de pesquisa são necessários para aprimorar as recomendações de fertilizantes para a cultura da cenoura por este sistema.

As informações foram agrupadas em dois grupos: cultivo de verão ou de inverno. Dos 210 talhões amostrados, 155 (74%) foram classificados no subgrupo de inverno, e o restante (55 talhões – 26%) no subgrupo de verão. Os dados obtidos foram submetidos à análise de *outliers* para eliminação de valores destoantes em relação à média.

Modelagem do Requerimento Nutricional

Para estimar o requerimento nutricional o subsistema REQ levou em consideração a demanda da cultura (calculada em função da produtividade almejada e da época de cultivo – inverno ou verão) e a eficiência de recuperação do nutriente aplicado. A demanda (DEM) nutricional foi calculada pela razão entre a exportação e o índice de colheita de cada nutriente. A exportação (EXP), por sua vez, foi calculada pelo produto entre produtividade almejada, teor de matéria seca nas raízes e o inverso do CUB de cada nutriente no sistema radicular. O requerimento (REQ) foi estimado pela razão entre a DEM e a eficiência de recuperação do nutriente aplicado. Assim, a EXP, a DEM e o REQ foram estimados de acordo com as seguintes equações:

$$EXP\ X = \frac{10\ .\ Prod\ .\ MS}{CUB\ X_{Raiz}}$$

$$DEM\ X = \frac{100\ .\ EXP\ X}{IC\ X}$$

$$REQ\ X = \frac{100\ .\ DEM\ X}{ER\ X}$$

Em que:

EXP X: exportação do nutriente X (kg ha^{-1} ou g ha^{-1} para macro e micronutrientes, respectivamente);

Prod: produtividade almejada de raízes de cenoura (Mg ha^{-1});

MS: teor de matéria seca nas raízes de cenoura (% - Tabela 1);

CUB X_{Raiz}: coeficiente de utilização biológica do nutriente X na raiz (kg kg^{-1} e g kg^{-1} para macro e micronutrientes, respectivamente - Tabela 2);

DEM X: demanda do nutriente X (kg ha^{-1} ou g ha^{-1} para macro e micronutrientes, respectivamente);

IC X: índice de colheita do nutriente X (% - Tabela 2);

REQ X: requerimento do nutriente X (kg ha^{-1} ou g ha^{-1} para macro e micronutrientes, respectivamente);

ER: eficiência de recuperação do nutriente aplicado (% - Tabela 3).

Tabela 1. Média e erro padrão do teor de matéria seca nas raízes de cenoura em função da época de cultivo no Alto Paranaíba - MG

Época de cultivo	Matéria seca (%)	
	Média	Erro padrão
Inverno	9,1	0,1
Verão	9,0	0,2

Tabela 2. Média e erro padrão dos coeficientes de utilização biológica dos nutrientes no sistema radicular e dos índices de colheita de nutrientes em função da época de cultivo da cenoura no Alto Paranaíba – MG

Nutriente	Coeficiente de Utilização Biológica do sistema radicular				Índice de colheita			
	Inverno		Verão		Inverno		Verão	
	Média	Erro padrão	Média	Erro padrão	Média	Erro padrão	Média	Erro padrão
	---------- kg kg^{-1} ----------				---------- % ----------			
N	78,7	1,7	65,2	2,2	63,3	0,6	58,2	1,8
P	325,3	10,6	275,9	14,6	84,4	0,6	78,7	1,7
K	27,4	0,5	25,5	1,3	69,0	0,9	64,3	1,5
Ca	293,8	18,7	414,2	47,5	31,6	0,7	19,2	1,2
Mg	649,2	22,7	815,6	42,9	59,5	0,8	54,2	1,2
S	1676,8	83,6	1447,6	112,4	45,9	1,2	42,8	1,7
	---------- kg g^{-1} ----------				---------- % ----------			
B	26,9	0,6	28,0	0,8	66,7	0,7	58,3	1,5
Cu	278,4	25,1	466,1	53,7	21,8	1,1	17,7	3,0
Fe	8,2	0,4	5,5	0,6	42,1	1,0	25,2	1,8
Mn	125,8	5,0	230,7	19,1	30,6	1,1	28,8	1,7
Zn	114,8	12,8	103,8	19,4	50,5	1,5	39,6	2,1

Tabela 3. Eficiência de recuperação dos macronutrientes aplicados na cultura da cenoura durante o cultivo de inverno e verão no Alto Paranaíba- MG

Nutriente	Eficiência de recuperação do nutriente aplicado (%)[1]	
	Inverno	Verão
N	80,0	75,0
P	7,8	6,9
K	65,0	55,0
Ca	60,0	60,0
Mg	60,0	60,0
S	50,0	50,0

[1]Valores estimados indiretamente.

Subsistema Suprimento - SUP

O subsistema SUP do FERTICALC Cenoura foi desenvolvido somente para os macronutrientes. Para estimar o suprimento o subsistema levou em consideração o fornecimento advindo da correção do solo (fornecidos via calagem e gessagem), do solo e dos resíduos culturais.

Suprimento pela Correção do Solo

O suprimento de Ca e Mg via calagem foi estimado pelas seguintes equações:

$$SUP\ Ca_{calagem} = QC\ .\ T_{CaO}\ .\ f$$

$$SUP\ Mg_{calagem} = QC\ .\ T_{MgO}\ .\ f$$

Em que:

SUP $Ca_{calagem}$: suprimento de Ca via calagem (kg ha^{-1});

SUP $Mg_{calagem}$: suprimento de Mg via calagem (kg ha^{-1});

QC: quantidade de calcário aplicado (Mg ha^{-1});

T_{CaO}: teor de CaO no corretivo (dag kg^{-1});

T_{MgO}: teor de MgO no corretivo (dag kg^{-1});

f: fator de conversão de massa de óxidos (CaO ou MgO, Mg ha^{-1}) para massa elementar (Ca ou Mg, kg ha^{-1}). Para determinar o suprimento de Ca e Mg via calagem utilizar *f* igual a 7,15 e 6,03, respectivamente.

O suprimento de Ca e S via gessagem foi estimado pelas seguintes equações:

$$SUP\ Ca_{gessagem} = QG\ .\ T_{Ca}\ .\ 10$$

$$SUP\ S_{gessagem} = QG\ .\ T_{S}\ .\ 10$$

Em que:

SUP $Ca_{gessagem}$: suprimento de Ca via gessagem (kg ha^{-1});

SUP $S_{gessagem}$: suprimento de S via gessagem (kg ha^{-1});

QG: quantidade de gesso aplicado (Mg ha^{-1});

T_{Ca}: teor de Ca no gesso aplicado (%);

T_S: teor de S no gesso aplicado (%).

Suprimento pelo Solo

Para estimar o suprimento de nutrientes pelo solo levou-se em consideração os resultados da análise química do solo, a eficiência de recuperação dos nutrientes pelos extratores utilizados nas análises e a profundidade efetiva do sistema radicular da cultura da cenoura, conforme a seguinte equação:

$$SUP\ X_{solo} = \frac{X_{análise}\ .\ PER}{ER_{Ext}\ .\ 10}$$

Em que:

SUP X_{solo}: suprimento do nutriente X pelo solo (kg ha^{-1});

$X_{análise}$: teor do nutriente X na análise química (mg dm^{-3});

PER: profundidade efetiva do sistema radicular (cm);

ER_{Ext}: eficiência de recuperação do nutriente pelo extrator (mg dm^{-3}/mg dm^{-3} - Tabela 4).

Tabela 4. Eficiência de recuperação do nutriente do solo pelo extrator (mg dm^{-3}/mg dm^{-3}) em função, ou não, do Fósforo remanescente (P-rem)

Nutriente	Extrator	Equação	R^2
P	Mehlich-1	TR_P = 0,0672821 + 0,012165**P-rem	0,681
P	Resina	TR_P = 0,419***P-$rem^{0,128099}$	0,694
K	Mehlich-1	TR_K = 0,8020	-
K	Resina	TR_K = 0,7559	-
Ca	KCl e Resina	TR_{Ca} = 0,7661	-
Mg	KCl e Resina	TR_{Mg} = 0,7989	-
S	$Ca(H_2PO_4)_2$ + HOAc	TR_S = 0,04 + 0,057**P-rem	0,955

***Significativo pelo teste *t* a 0,1%; **Significativo pelo teste *t* a 1%; *Significativo pelo teste *t* a 5%; °Significativo pelo teste *t* a 10%. Adaptado de Morais (1999), Souza (1999) e Melo (2000). P-rem: Fósforo remanescente (mg L^{-1}).

Para estimar o suprimento de Nitrogênio pelo solo empregou-se a equação de cinética de mineralização da matéria orgânica dos solos brasileiros descritos por

Carvalho et al. (2006) desenvolvidos segundo o modelo proposto por Stanford e Smith (1972).

$$SUP\ N_{solo} = (0{,}5\ .\ PER\ .\ Ds\ .\ T_{MO}\ .\ 1{,}48)e^{0{,}0006\ t}$$

Em que:

SUP N_{Solo}: suprimento de N pelo solo (kg ha^{-1});

PER: profundidade efetiva das raízes (cm);

Ds: densidade do solo (kg dm^{-3});

T_{MO}: teor de matéria orgânica no solo (dag kg^{-1});

t: ciclo da cultura (dia).

Suprimento pelos Resíduos Culturais

O suprimento de nutrientes pelos resíduos culturais foi estimado pelo modelo proposto por Wieder e Lang (1982), que descreve a variação do conteúdo de nutrientes ou matéria seca (MS) no material em decomposição em função do tempo decorrido ou ciclo da cultura.

$$FR_X = A_{0X}\ .\ e^{-k_{0X}\ t}$$
$$SUP\ X_{RC} = A_{0X}\ -\ FR_X$$

Em que:

FR_X: fração remanescente do nutriente X no material em decomposição depois de transcorrido o tempo *t* (kg ha^{-1});

A_{0X}: conteúdo do nutriente X nos resíduos culturais (kg ha^{-1});

k_{0X}: constante de decomposição do nutriente X (Tabela 5);

t: ciclo da cultura (dia);

SUP X_{RC}: suprimento do nutriente X pelos resíduos culturais (kg ha^{-1}).

O conteúdo de nutriente nos resíduos culturais no momento de implantação da cultura (A_{0X}) foi estimado pelo produto entre a quantidade de matéria seca de resíduos vegetais existente na área e o teor dos nutrientes nesses resíduos.

Tabela 5. Constante de decomposição (k_0) de matéria seca (MS) e de macronutrientes das principais culturas antecessoras ao cultivo

Cultura	k_0						
	MS	N	P	K	Ca	Mg	S
Braquiária	0,006	0,005	0,003	0,050	0,005	0,005	0,015
Crotalaria spectabilis[1]	0,004	0,020	0,015	0,030	0,010	0,015	0,010
Nabo Forrageiro[1]	0,008	0,015	0,015	0,030	0,015	0,020	0,020
Milheto[1]	0,006	0,010	0,020	0,050	0,010	0,015	0,015
Milho e sorgo[2]	0,005	0,010	0,010	0,030	0,010	0,020	0,010
Soja[2]	0,015	0,027	0,027	0,063	0,018	0,027	0,015
Fabaceae	0,010	0,025	0,020	0,045	0,015	0,020	0,010
Poaceae	0,006	0,010	0,010	0,040	0,010	0,010	0,010
Geral	0,008	0,015	0,015	0,040	0,010	0,015	0,015

[1]Constantes obtidas com o manejo realizado durante o florescimento da cultura. [2]Constantes obtidas com os resíduos vegetais após a colheita dos grãos. Adaptado de Padovan et al. (2006), Gama-Rodrigues et al. (2007) e Marcelo et al. (2012b).

4.4.2 Recomendação de Fertilizantes

A recomendação de fertilizantes para macronutrientes foi gerada segundo a filosofia do balanço nutricional. Assim, a recomendação consistiu da diferença entre o requerimento nutricional da cultura (REQ) e o suprimento de nutrientes do solo (SUP). Contudo, a recomendação foi gerada de tal modo que a dose aplicada de macronutrientes não fosse inferior à quantidade exportada pela cultura corrigida pela eficiência de recuperação da planta, para que, assim, não ocorresse empobrecimento do solo ao longo dos cultivos.

A recomendação de B visou elevar o teor deste elemento para o nível crítico no solo (0,55 mg dm^{-3} - estabelecido por Mesquita Filho et al., 2005) e suprir a demanda da cultura. Assim, não se considerou a eficiência de recuperação pela planta do B aplicado para recomendar a dose deste nutriente. Para os demais micronutrientes, o sistema apresenta somente a exportação e a demanda da cultura, sem recomendar a dose a ser aplicada. Assim, as quantidades de Cu, Fe, Mn e Zn aplicadas deverão ser estimadas pelos técnicos responsáveis em função da exportação e da demanda da cultura. Adotou-se este posicionamento por não conhecer a real eficiência de recuperação destes elementos pela cenoura e, assim, não ser possível determinar o requerimento destes nutrientes pela cultura.

4.4.3 Aplicação do Sistema

Realizaram-se simulações considerando diferentes cenários para comparar as recomendações do FERTICALC Cenoura com as da literatura. Para comparar as recomendações de macronutrientes e B, simulações foram geradas buscando-se produzir 60, 80, 100 e 120 Mg ha^{-1} de raízes no cultivo de inverno e 40, 60 e 80 Mg

ha^{-1} no cultivo de verão. As simulações foram realizadas considerando como atributos químicos do solo os valores médios obtidos na região durante as amostragens dos talhões (Tabela 6).

Tabela 6. Atributos químicos do solo empregado nas simulações de recomendação de fertilizantes pelo FERTICALC Cenoura

Atributo	Unidade	Extrator/ Método	Média
pH	-	H_2O	6,3
Matéria orgânica	dag kg^{-1}	$K_2Cr_2O_7$/ Walkley-Black	3,4
P - rem	mg L^{-1}	-	10,6
Fósforo (P)	mg dm^{-3}	Mehlich-1	28,0
Potássio (K^+)	$mmol_c$ dm^{-3}	Mehlich-1	3,1
Cálcio (Ca^{2+})	$mmol_c$ dm^{-3}	KCl	33,9
Magnésio (Mg^{2+})	$mmol_c$ dm^{-3}	KCl	10,7
Enxofre (SO_4^{2-})	mg dm^{-3}	$Ca(H_2PO_4)_2.H_2O$ em AcOH	7,5
CTC (T)	$mmol_c$ dm^{-3}	-	82,3
Saturação por bases (V)	%	-	58,0
Boro (B)	mg dm^{-3}	Água quente	0,52
Cobre (Cu)	mg dm^{-3}	Mehlich-1	2,5
Ferro (Fe)	mg dm^{-3}	Mehlich-1	38,0
Manganês (Mn)	mg dm^{-3}	Mehlich-1	3,2
Zinco (Zn)	mg dm^{-3}	Mehlich-1	6,8
Saturação por Ca	%	-	41,2
Saturação por Mg	%	-	13,0
Saturação por K	%	-	3,8

Considerou-se ainda na área de cultivo a existência de 8 Mg ha^{-1} de resíduos culturais de milho (matéria seca vegetativa – folhas e colmos) com 4,6; 0,2; 5,9; 1,8; 1,5; e 0,4 g kg^{-1} de N, P, K, Ca, Mg e S na matéria seca, respectivamente (Marcelo et al., 2012a). Para fins de cálculo, considerou-se que a cenoura cultivada no verão e inverno apresentava 100 e 125 dias de ciclo, respectivamente, e adotou-se 20 cm como sendo a profundidade efetiva do sistema radicular da cultura. Para os demais micronutrientes (Cu, Fe, Mn e Zn), o sistema gerou apenas as quantidades extraídas e exportadas.

Simulações também foram geradas para avaliar as recomendações de N, P_2O_5 e K_2O pelo FERTICALC Cenoura e pela literatura em função da variação dos atributos químicos do solo (teor de matéria orgânica – MO; teor de P – Mehlich-1 e teor de K – Mehlich-1) e da produtividade almejada de raízes para os cultivos de inverno e verão. Também considerou nestas simulações a existência de resíduos culturais de milho na área, ciclo de 100 e 125 dias para os cultivos de verão e inverno e 20 cm de profundidade do sistema radicular efetivo da cultura.

4.5 Resultados e Discussão

Nas simulações geradas pelo FERTICALC Cenoura não se considerou o suprimento (SUP) de Ca e Mg via calagem e o SUP de Ca e S via gessagem por ser desnecessária a aplicação destes corretivos, com base nos resultados da análise química utilizada na simulação (Tabela 6). Em relação ao pH (6,3) do solo considerado nas simulações, o mesmo pode ser considerado alto, e quanto aos teores de Ca, Mg e S, todos são considerados adequados segundo a Comissão... (1999).

As recomendações de macronutrientes e B geradas pelo sistema foram constantes em função da produtividade para todas as condições propostas (produtividade almejadas e época de cultivo) (Tabela 7). Este fato ocorreu devido às simulações serem realizadas considerando os atributos químicos médios dos solos da região do Alto Paranaíba – MG (Tabela 6), que são caracterizados como de elevada fertilidade. Assim, as recomendações geradas nestas simulações consistiram da razão entre a exportação da cultura e a eficiência de recuperação pela planta do nutriente aplicado (exceto para o B), e não da diferença entre o requerimento da cultura (REQ) e o suprimento do solo (SUP).

Tabela 7. Recomendações de N, P_2O_5, K_2O, Ca, Mg, S e B geradas pelo FERTICALC Cenoura e pela literatura para diferentes produtividades almejadas de raízes no cultivo de inverno e verão

Nutriente	Verão			Inverno				Comissão... (1999)
	40 Mg ha^{-1}	60 Mg ha^{-1}	80 Mg ha^{-1}	60 Mg ha^{-1}	80 Mg ha^{-1}	100 Mg ha^{-1}	120 Mg ha^{-1}	40 Mg ha^{-1}
N	74,4	111,7	148,9	85,8	114,4	142,9	171,5	120,0
P_2O_5	431,6	647,4	863,2	475,2	633,6	792,0	950,4	160,0
K_2O	311,4	467,2	622,9	363,8	485,1	606,4	727,7	80,0
Ca	14,6	22,0	29,3	30,6	40,8	51,1	61,3	-
Mg	7,4	11,2	14,9	13,9	18,5	23,1	27,7	-
S	5,0	7,5	10,1	6,4	8,6	10,7	12,9	-
B	0,283	0,394	0,506	0,361	0,461	0,560	0,660	1,0 a 2,0

Em condições de elevada fertilidade, o suprimento de nutrientes pelo solo é alto, podendo ser superior ao requerimento da cultura. Portanto, nestas condições a recomendação de fertilizantes deve ser gerada de modo a evitar o empobrecimento do solo ao longo dos cultivos. Com isso, o FERTICALC Cenoura recomenda a aplicação de no mínimo a quantidade de nutrientes exportada pela cultura corrigida pela eficiência de recuperação da planta. As recomendações de B também foram constantes em relação à produtividade almejada, contudo, geradas no sistema para

suprir a demanda da cultura e elevar o teor do solo para o nível crítico, ou seja, 0,55 mg dm^{-3} (Mesquita Filho et al., 2005).

Comparando as recomendações geradas pelo FERTICALC Cenoura para a produtividade de 60 Mg ha^{-1} nos cultivos de verão e inverno observa-se menor taxa de aplicação de N, P_2O_5 e K_2O recomendada nos cultivos de inverno (Tabela 7). Este fato mostra a importância da modelagem na recomendação de fertilizantes. Neste caso, a modelagem permitiu a recomendação diferenciada por terem sido discriminadas no sistema variáveis relacionadas ao requerimento nutricional (teor de MS nas raízes, CUB dos nutrientes no sistema radicular e IC) em função da época de cultivo.

A fertilização recomendada pela literatura foi diferente da gerada pelo FERTICALC Cenoura. Em relação ao N, a dose recomendada pela Comissão... (1999) para produtividade de 40 Mg ha^{-1} de raízes foi semelhante a indicada pelo sistema proposto para as produtividades de 60 e 80 Mg ha^{-1} nos cultivos de inverno e verão (Tabela 7). Em relação às recomendações de P_2O_5 e K_2O, as doses recomendadas pela Comissão... (1999) foram inferiores às geradas pelo FERTICALC Cenoura, independente da produtividade almejada. Vale ressaltar que a recomendação da literatura indicada na Tabela 7 está considerando somente a adubação química. A Comissão... (1999) também recomenda a aplicação de esterco de galinha (10 Mg ha^{-1}) ou de bovinos (30 Mg ha^{-1}), entretanto, está prática não é comum nas áreas de cultivo de cenoura do Alto Paranaíba – MG devido a grande extensão das mesmas.

Em relação aos micronutrientes catiônicos (Cu, Fe, Mn e Zn), o sistema apresentou somente a exportação (quantidade acumulada nas raízes) e a demanda (quantidade acumulada nas raízes e na parte aérea) da cultura nas simulações realizadas (Tabela 8). Devido ao desconhecimento da eficiência de recuperação da cultura por estes micronutrientes não foi possível estimar o requerimento nutricional, e assim, gerar a recomendação de fertilização.

Em relação às simulações geradas para avaliar as recomendações do FERTICALC Cenoura em função das variações dos atributos do solo e das produtividades almejadas (análise de sensibilidade) observou-se dois comportamentos distintos do sistema a depender da condição simulada (Figura 1). Nas regiões dos gráficos representadas por suprimento elevado de N, P e K (altos teores de MO, P – Mehlich-1 e K – Mehlich-1), a recomendação de fertilização do

FERTICALC Cenoura é constante para cada produtividade. Nesta situação, a diferença entre o requerimento da cultura e o suprimento do solo é menor que a exportação da cultura, e assim, o sistema recomenda fertilizar a quantidade exportada corrigida pela eficiência de recuperação.

Tabela 8. Exportação e demanda dos micronutrientes catiônicos geradas pelo FERTICALC Cenoura em função da produtividade almejada de raízes e época de cultivo (inverno ou verão) no Alto Paranaíba - MG

Nutriente	Verão			Inverno			
	40 Mg ha^{-1}	60 Mg ha^{-1}	80 Mg ha^{-1}	60 Mg ha^{-1}	80 Mg ha^{-1}	100 Mg ha^{-1}	120 Mg ha^{-1}
Exportação (g ha^{-1})							
Cu	8	12	16	19	26	32	39
Fe	662	993	1322	659	878	1098	1317
Mn	16	24	32	43	57	72	86
Zn	35	53	70	47	63	78	94
Demanda (g ha^{-1})							
Cu	44	66	88	89	119	148	178
Fe	2626	3939	5253	1564	2086	2607	3128
Mn	55	82	110	140	187	234	281
Zn	89	133	177	93	124	155	186

Por outro lado, nas regiões dos gráficos representadas por altas produtividades e baixo suprimento de nutrientes pelo solo a recomendação do sistema ocorre pela diferença entre o requerimento nutricional e o suprimento do solo. Assim, a recomendação do FERTICALC Cenoura, nestas condições, são superiores à exportação pela cultura corrigida pela eficiência de recuperação, fato que pode ser observado nos gráficos pela flexão das linhas de tendência gerada para cada produtividade (Figura 1).

Assim como na Tabela 7, observa-se na Figura 1 a discordância entre as recomendações geradas pelo FERTICALC Cenoura e a literatura vigente (Comissão..., 1999). Dentre os motivos que tendem a gerar estas discrepâncias podem-se citar a não atualização constante das tabelas de recomendação da literatura em relação às novas cultivares e técnicas que são adotados nos sistemas de cultivos mais avançados (Oliveira et al., 2007; Santos et al., 2008; Silva et al., 2009).

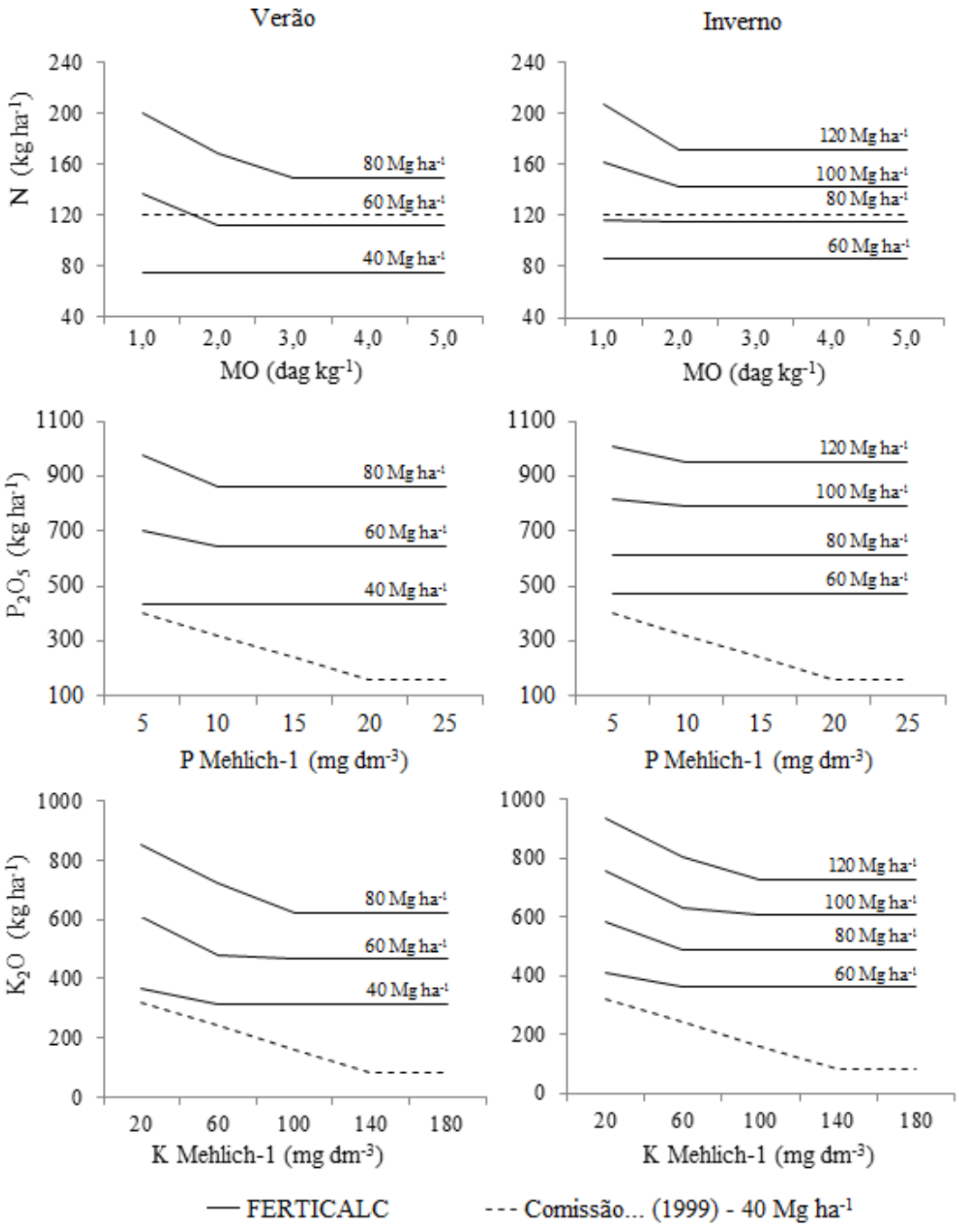

Figura 1. Análise de sensibilidade do FERTICALC Cenoura para recomendação de N, P_2O_5 e K_2O em função de atributos da análise química do solo, expectativa de produtividade e época de cultivo (inverno ou verão).

4.6 Considerações Finais

O FERTICALC Cenoura mostrou-se eficiente para recomendar fertilizantes para a cultura. Entre as vantagens deste sistema pode-se destacar a recomendação com variação contínua das doses em função dos atributos químicos do solo e da produtividade almejada de raízes. Contudo, este sistema de recomendação pode ser melhorado com resultados de pesquisas, principalmente no que diz respeito à eficiência de recuperação pela planta dos nutrientes aplicados ao solo.

4.7 Referências Bibliográficas

CARVALHO, F.T.; NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H.; BARROS, N.F.; CANTARUTTI, R.B.; BAHIA FILHO, A.F.C. Sistema de interpretação de análise de solo para recomendação de NPK para a cultura do milho. **Revista Ceres**, v. 53, n. 306, p. 211-223, 2006.

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

FAGERIA, N.F. Otimização da eficiência nutricional na produção das culturas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 2, n. 1, p. 6-16, 1998.

GAMA-RODRIGUES, A.C.; GAMA-RODRIGUES, E.F.; BRITO, E.C. Decomposição e liberação de nutrientes de resíduos de plantas de cobertura em Argissolo Vermelho-Amarelo na região Noroeste Fluminense (RJ). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, n. 6, p. 1421-1428, 2007.

HAEFELE, S.M.; WOPEREIS, M.C.S.; NDIAYE, M.K.; BARRO, S.E.; OULDISSELMOU, M. Internal nutrient efficiencies, fertilizer recovery rates and indigenous nutrient supply of irrigated lowland rice in Sahelian West Africa. **Field Crops Research**, v. 80, n. 1, p. 19-32, 2003.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional das plantas**. Princípios e aplicações. 2 ed. Piracicaba, SP: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1997, 319 p.

MARCELO, A.V.; CORÁ, J.E.; FERNANDES, C. Sequências de culturas em sistema de semeadura direta. I – Produção de matéria seca e acúmulo de nutrientes. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, n. 5, p. 1553-1567, 2012a.

MARCELO, A.V.; CORÁ, J.E.; FERNANDES, C. Sequências de culturas em sistema de semeadura direta. II – Decomposição e liberação de nutrientes na entressafra. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, n. 5, p. 1568-1582, 2012b.

MESQUITA FILHO, M.V.; SOUZA, A.F.; SILVA, H.R. Nível crítico de boro em cenoura cultivada em um solo sob cerrado. **Horticultura Brasileira**, v. 23, n. 1, p. 68-71, 2005.

OLIVEIRA, F.H.T.; NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H.; SOUZA, A.P.; NEVES, J.C.L.; MEDEIROS, J.S. Doses de nitrogênio, fósforo e potássio recomendadas pelo Ferticalc® Bananeira e por tabelas de recomendação de adubação. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 2, n. 2, p. 111-116, 2007.

PADOVAN, M.P.; ALMEIDA, D.L.; GUERRA, J.G.M.; RIBEIRO, R.L.D.; OLIVEIRA, F.L.; SANTOS, L.A.; ALVES, B.J.R.; SOUTO, S.M. Decomposição e liberação de nutrientes de soja cortada em diferentes estádios de desenvolvimento. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, n. 4, p. 667-672, 2006.

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, n. 4, p. 1661-1674, 2008.

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 – FERTICALC-Abacaxi. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, n. 5, p. 1269-1280, 2009.

STANFORD, G.S.; SMITH, S.J. Nitrogen mineralization potentials of soils. **Soil Science Society of America**, v. 36, n. 3, p. 465-472, 1972.

WIEDER, R.K.; LANG, G.E. A critique of the analytical methods used in examining decomposition data obtained from litter bags. **Ecology**, v. 63, n. 6, p. 1636-1642, 1982.

5 CAPÍTULO III – MÉTODOS E ÍNDICES DIAGNÓSTICOS PARA INTERPRETAÇÃO DE ANÁLISES FOLIARES DA CENOURA

5.1 Resumo

A diagnose foliar permite identificar deficiência ou excesso de nutrientes no tecido, e com isso, realizar ajustes na fertilização da cultura. Objetivou-se, com este trabalho, determinar valores de referência (teores e faixas ótimas das concentrações dos nutrientes no tecido foliar) para interpretação de resultados de análises foliares da cultura da cenoura pelos métodos Nível Crítico, Faixa de Suficiência, Sistema Integrado de Diagnose e Recomendação e Diagnose da Composição Nutricional. Teores de nutrientes na parte aérea na ocasião na colheita foram determinados em 210 lavouras de cenoura entre 2012 e 2013 na região do Alto Paranaíba – MG. Toda a parte aérea da cultura foi amostrada no momento da colheita para geração dos valores de referência para diagnose. Os valores de referência foram concordantes entre todos os métodos de diagnose avaliados. Contudo, distintos dos existentes na literatura, indicando que valores de referência regionalizados permitem melhor diagnóstico do estado nutricional. O Mn foi o nutriente mais limitante ao cultivo da cenoura, seguido do Mg, K e Ca.

Palavras-chave: *Daucus carota* L., nível crítico foliar, DRIS, CND.

5.2 Abstract

Methods and diagnostic indexes for interpreting foliar analyses of carrot

Foliar diagnosis allows the identification of nutrient deficiency or excess in the tissue and thereby to make adjustments in culture fertilization. This study aimed to determine reference values (levels and optimum ranges of the nutrient concentration in the foliar tissue) for interpreting results of foliar analyses of the carrot cultivation using Critical Level, Sufficiency Ranges, Diagnosis and Recommendation Integrated System, and Compositional Nutrient Diagnosis methods. Nutrient contents in the shoot at harvest time were determined in 210 carrot cultivation stands from 2012 to 2013 in Alto Paranaíba region, Minas Gerais State (MG), Brazil. The whole aerial part of the culture was sampled at harvest time for generating reference values for diagnosis. The reference values were in accordance with all evaluated diagnostic

methods. However, they were different from those results found in the literature, indicating that regionalized reference values allow better diagnosis of nutritional status. Mn was the most limiting nutrient in carrot cultivation, followed by Mg, K, and Ca.

Index terms: *Daucus carota* L., foliar critical level, DRIS, CND.

5.3 Introdução

A interpretação dos resultados da análise foliar permite identificar déficit ou excesso dos nutrientes no tecido vegetal (Malavolta et al., 1997). Com isso, a diagnose da falta ou excesso do nutriente sugere desvios entre a demanda de nutrientes e o suprimento via fertilizantes à cultura. Assim, a utilização da análise foliar permite a realização de ajustes no manejo nutricional de modo a aproximar-se da recomendação ideal para a cultura.

Apesar da importância e aplicação do uso da análise foliar, os teores adequados encontrados na literatura para a cenoura estão desatualizados por não contemplar cultivos de altas produtividades. Além disso, para a diagnose foliar na cultura da cenoura ainda não há definição de qual folha deve ser amostrada para realização de análises. A indefinição do estádio de coleta das folhas índices traz alguns problemas, uma vez que o crescimento da cultura da cenoura é influenciado pelo genótipo e época de cultivo. Desta forma, o ideal é que a amostragem seja realizada em estágio fenológico específico (Malavolta, 2006) para que, assim, independente da condição de cultivo, se tenham amostragens foliares que possibilitem a comparação dos resultados.

A cultura da cenoura apresenta ciclo curto (90 a 130 dias), constante emissão de folhas durante a fase vegetativa e ausência de alterações fenotípicas durante o ciclo comercial (o ciclo não engloba a fase reprodutiva). Com isso, o estabelecimento do estágio fenológico para realizar a coleta de folhas índices torna-se complexo. Malavolta et al. (1997) sugerem como folha diagnóstica a mais nova completamente expandida ou fisiologicamente madura, aos 40 dias após semeadura. No entanto, as condições climáticas do cultivo e cultivar podem propiciar crescimento e absorção de nutrientes distintas após esse intervalo de cultivo. Não obstante, a definição da folha fisiologicamente madura (indicada para coleta) é difícil, pois o período entre folhas emitidas é curto. No intuito de contornar esses problemas pode-se estabelecer como

época de coleta de folhas o período de colheita da cultura (Hanlon e Hochmuth, 2009) e, ao invés de amostrar determinada folha, coletar toda a parte aérea das plantas. A padronização da época de coleta de folhas minimiza fatores que possam interferir na interpretação da análise, como a diluição e concentração de nutrientes (Malavolta et al., 1997).

Os métodos mais empregados para interpretação dos resultados de análise foliar tem sido o Nível Crítico (NC), a Faixa de Suficiência (FS), o Sistema Integrado de Diagnose e Recomendação (DRIS) e a Diagnose da Composição Nutricional (CND) (Coelho et al., 2013; Gott et al., 2014).

O método do NC compreende modelos matemáticos para estabelecer o teor foliar que possibilita a cultura produzir determinada fração (90, 95 ou 99%) da produtividade máxima. A FS estabelece a faixa ótima do teor foliar de acordo com o teor médio dos nutrientes nas folhas das plantas (ou talhões) mais produtivas. Embora estes métodos sejam clássicos e representem as principais informações contidas na literatura atual (Camacho et al., 2012; Santos et al., 2013), eles apresentam algumas limitações, como o fato de serem univariados, ou seja, de analisarem cada nutriente separadamente.

O DRIS e o CND destacam-se frente aos métodos NC e FS por serem bivariado e multivariado, respectivamente. O DRIS foi desenvolvido por Beaufills (1973), e baseia-se na comparação de índices calculados em função das relações duais entre dois nutrientes. Como vantagem desse método pode-se citar a minimização dos efeitos de diluição ou concentração, pois, baseia-se na relação de equilíbrio entre nutrientes (Beaufils, 1973; Jones, 1981). Além do mais, este método permite a identificação de desequilíbrios nutricionais mesmo quando todos os nutrientes encontram-se acima do nível crítico (Baldock e Schulte, 1996).

O método da composição nutricional (CND - *Compositional Nutrient Diagnosis*), desenvolvido por Parent e Dafir (1992), diferencia-se do método DRIS pelo fato de o teor de cada nutriente na amostra ser corrigido em função da média geométrica da composição nutricional. Desta forma, o CND baseia-se nas interações múltiplas que ocorrem entre todos os nutrientes sob diagnose. A princípio, o método CND apresenta-se mais vantajoso em relação ao DRIS, uma vez que considera a interação de todos os nutrientes simultaneamente, e não apenas as interações duais (Parent e Dafir, 1992).

Objetivou-se, com este trabalho, estabelecer índices diagnósticos e valores de referência por meio dos métodos NC, FS, DRIS e CND para interpretação de resultados de análises foliares de nutrientes na cultura da cenoura.

5.4 Material e Métodos

Para determinação dos valores de referência para diagnose foliar da cultura da cenoura gerou-se um banco de dados com informações de talhões comerciais localizados na região do Alto Paranaíba - MG. As amostragens de plantas foram realizadas durante os anos de 2012 e 2013. As áreas de cultivo de cenoura encontravam-se na altitude de aproximadamente 1100 m cujo clima predominante era o Cwa, segundo a classificação de Köppen-Geiger. Este clima é caracterizado por uma estação seca e um período chuvoso bem definido que ocorre entre outubro e março. Em relação ao tipo de solo, amostras foram coletadas em Latossolos Amarelos, Vermelhos e Vermelho-Amarelo de textura muita argilosa.

Para compor o banco de dados foram amostrados 210 talhões de cultivo de cenoura. Nesses, determinaram-se a produtividade de raízes e os teores foliares dos nutrientes. A coleta de folhas para diagnose foliar consistiu de toda a parte aérea das plantas no momento de colheita da cultura. As amostras de folhas foram secas em estufa de circulação forçada de ar a 70ºC por 72 h. Em seguida foram trituradas em moinho Willey equipado com peneira de 1,27 mm. Os teores de nutrientes foram determinados conforme métodos descritos em Malavolta et al. (1997).

Os dados referentes aos teores foliares e produtividades foram analisados criticamente (análise de *outliers*) e processados para geração dos valores de referência para diagnose foliar do estado nutricional da cultura da cenoura pelos métodos NC, FS, DRIS e CND.

Para determinação do NC as amostras foram ordenadas de modo crescente quanto à produtividade e agrupadas em 14 classes (número e classes = $\sqrt{n}$; em que n representa o número de amostras). Posteriormente, ajustaram-se modelos matemáticos lineares para estudar a relação entre os teores foliares de cada nutriente e a produtividade das 14 classes, conforme realizado por Gott et al. (2014). Cada nutriente foi avaliado independentemente dos demais. A significância dos parâmetros das regressões foi avaliada pelo teste *t* ao nível de 5%. Quando o coeficiente angular da regressão foi significativo pelo teste *t* e positivo, estimou-se o NC como sendo o teor correspondente a 90% da produtividade máxima. No caso de equações

decrescentes (coeficiente angular negativo) e, ou, com β_1 não significativo, considerou-se como NC o teor médio do nutriente no banco de dados.

Para estabelecimento dos padrões ou normas pelos métodos da FS, DRIS e CND a população foi dividida em duas classes com base na produtividade. O limiar dessas classes foi definido como a produtividade média dos talhões mais 2/3 do desvio padrão desta variável. A subpopulação com maior produtividade foi considerada nutricionalmente equilibrada ou de referência para estabelecimento dos padrões ou normas para interpretação dos métodos.

Para determinação da FS foi estimado a média ($\bar{x}$) e o desvio padrão (s_x) do teor foliar de cada nutriente na população de alta produtividade. Os limites da FS foram definidos pelo teor médio mais ou menos o desvio padrão desta variável ($FS = \bar{x} \pm s_{\bar{x}}$). Assim como para o NC, cada nutriente foi avaliado independentemente dos demais.

Pelo método DRIS foi calculado a média ($\bar{x}$) e a variância (s^2) das relações duais dos teores foliares dos nutrientes. As médias e as variâncias das relações duais da classe de referência compuseram as normas DRIS. As relações foram obtidas com a razão dos teores dos macro e micronutrientes em g kg^{-1} e mg kg^{-1}, respectivamente. O índice DRIS para cada nutriente foi calculado de acordo com a equação proposta por Beaufils (1973). As funções das relações duais foram obtidas pela equação proposta por Jones (1981). Para estabelecimento das normas pelo método da Diagnose da Composição Nutricional (CND) adotou-se a proposta de Khiari et al. (2001), que compreende adaptações do modelo original proposto por Parent e Dafir (1992).

O nível ótimo dos teores foliares foi obtido pelos métodos DRIS e CND por meio do ajuste de regressões entre o índice do nutriente (variável independente) e o seu respectivo teor foliar (variável dependente) para os talhões que compreenderam a população de referência. Posteriormente, obteve-se o teor do nutriente na folha que proporciona um índice nulo ou equilibrado. A faixa ótima para cada nutriente foi estabelecida pelos teores foliares correspondentes aos índices -2/3 e 2/3 (Urano et al., 2007; Santos et al., 2013).

A ordem de limitação nutricional foi gerada de duas formas: em função da faixa ótima dos teores foliares ou de acordo com o potencial de resposta à adubação. Pela faixa ótima estimou-se a ordem de limitação nutricional para os métodos da FS, DRIS e CND, além da literatura existente para fins de comparação. De posse das

faixas ótimas dos teores foliares de cada método e das concentrações foliares dos nutrientes nas amostras estabeleceu-se a percentagem de talhões em desequilíbrio (deficiente ou em excesso) para cada nutriente e método diagnóstico. A limitação nutricional foi considerada como de deficiência ou de excesso quando o teor foliar ficou abaixo ou acima dos teores da faixa ótima estabelecida pelo método de diagnose, respectivamente. A ordem de limitação nutricional por deficiência foi gerada pela ordenação decrescente dos nutrientes quanto à frequência de talhões sob deficiência.

A ordem de limitação nutricional também foi gerada em função do potencial de resposta à adubação para o DRIS e o CND. Neste caso, os talhões foram primeiramente agrupados em cinco grupos segundo o potencial de resposta à adubação, sendo eles: positivo, positivo ou nulo, nulo, negativo ou nulo e negativo (Wadt et al., 1998). Posteriormente, calculou a frequência de talhões agrupados nas classes com resposta positiva e positiva ou nula para cada nutriente. Nestas classes de resposta a adubação o nutriente pode ser considerado como limitante para o cultivo. A ordem de limitação nutricional foi gerada ordenando-se de modo decrescente os nutrientes quanto à frequência de talhões limitantes em cada método (DRIS e CND).

A classificação dos talhões quanto ao estado nutricional foi realizado agrupando-se os talhões em três classes para cada nutriente, sendo elas: limitante por deficiência (LD), limitante por excesso (LE) e não limitante (NL). A classificação também foi gerada por dois métodos distintos: em função da faixa ótima dos teores foliares e do potencial de resposta à adubação. Em relação ao primeiro método, classificaram-se como LD ou LE os talhões que apresentavam teores foliares abaixo ou acima dos limites da faixa, respectivamente. Quando o teor encontrava-se no intervalo da faixa o nutriente foi considerado como NL para o talhão. A classificação quanto ao potencial de resposta à adubação foi realizada para o DRIS e o CND. Os talhões com resposta positiva e positiva ou nula foram classificados como LD para o respectivo nutriente. Os talhões com resposta nula foram classificados como NL, e para as demais classes de resposta à adubação (negativa e negativa ou nula) os talhões foram agrupados na classe LE (Urano et al., 2006).

Para ambos os métodos de classificação (faixa ótima ou potencial de resposta à adubação) foram apresentadas a frequência de talhões e a produtividade média de cada classe (LD, LE e NL) para todos os nutrientes e métodos de diagnose foliar

avaliados (FS, DRIS, CND e dados presentes na literatura). Realizou-se o teste *t* para comparar as produtividades médias das classes LD e LE com a produtividade da classe NL.

Os cálculos para determinação dos valores de referência (teores e faixas ótimas) pelos métodos do NC, FS, DRIS e CND foram realizadas com o auxílio do software Microsoft Excel®. A significância dos parâmetros das equações ajustadas foram analisadas pelo teste *t* ao nível de 5% pelo software SAS versão 8.2.

5.5 Resultados e Discussão

As análises dos atributos químicos dos solos indicam que os mesmos apresentam acidez corrigida (pH alto) e com adequados teores de macronutrientes (teores muito bom de P e K e teores bons de Ca, Mg e S) (Tabela 1). Em contrapartida, os solos apresentam desequilíbrios quanto aos micronutrientes, uma vez que na média os teores Mn são considerados baixos, os de B médio, os de Fe bons e os de Cu e Zn altos, segundo a classificação proposta pela Comissão... (1999). Além do mais, os solos apresentam teores médios de carbono orgânico (2 dag kg^{-1}) e baixo P remanescente (10,6 mg L^{-1}). O baixo valor do P-rem indica que os solos da região são muito tamponados para este nutriente, ou seja, é necessária a adição de grande quantidade deste nutriente para aumentar pequena fração do teor de fósforo disponível para a planta no solo (Bedin et al., 2003; Broggi et al., 2011).

Tabela 1. Média e desvio padrão dos principais atributos do solo na camada de 0 a 20 cm de profundidade nos talhões amostrados durante de 2012 e 2013

Atributo	Unidade	Extrator/ Método	Média	Desvio Padrão
pH	-	H_2O	6,3	0,3
Carbono orgânico	dag kg^{-1}	$K_2Cr_2O_7$/ Walkley-Black	2,0	0,3
P - rem	mg L^{-1}	-	10,6	3,2
Fósforo (P)	mg dm^{-3}	Mehlich-1	28,0	15,1
Potássio (K^+)	$mmol_c$ dm^{-3}	Mehlich-1	3,1	0,8
Cálcio (Ca^{2+})	$mmol_c$ dm^{-3}	KCl	33,9	5,8
Magnésio (Mg^{2+})	$mmol_c$ dm^{-3}	KCl	10,7	3,0
Enxofre (SO_4^{2-})	mg dm^{-3}	$Ca(H_2PO_4)_2.H_2O$ em AcOH	7,5	4,5
CTC (T)	$mmol_c$ dm^{-3}	-	82,3	8,2
Saturação por bases (V)	%	-	58,0	7,0
Boro (B)	mg dm^{-3}	Água quente	0,52	0,21
Cobre (Cu)	mg dm^{-3}	Mehlich-1	2,5	1,4
Ferro (Fe)	mg dm^{-3}	Mehlich-1	38,0	12,2
Manganês (Mn)	mg dm^{-3}	Mehlich-1	3,2	2,3
Zinco (Zn)	mg dm^{-3}	Mehlich-1	6,8	3,0
Saturação por Ca	%	-	41,2	4,9
Saturação por Mg	%	-	13,0	3,4
Saturação por K	%	-	3,8	1,1

A produtividade máxima de raízes obtidas entre as 14 classes geradas para ajuste das regressões dos Níveis Críticos foi de 111,7 Mg ha^{-1}. Assim, o nível crítico foi estabelecido para a produtividade de 100,5 Mg ha^{-1}, ou seja, 90% da produtividade máxima. Para o K, B e Mn foram ajustadas regressões com coeficientes angulares positivos e significativos, e assim, estabeleceu como NC para estes nutrientes na parte aérea da cultura da cenoura os teores de 49,7 g kg^{-1}, 56,2 mg kg^{-1} e 79,9 mg kg^{-1}, respectivamente (Tabela 2). Em relação ao Ca, Mg e Cu, não foi possível estabelecer regressões com parâmetros significativos para o ajuste do NC. Dessa forma, os NCs para esses nutrientes foram estabelecidos como a média de seus teores no banco de dados. Para o N, P, S, Fe e Zn as equações geradas para descrever os teores foliares em função da produtividade de raízes foram decrescentes, ou seja, com coeficiente angular menor que zero. Com isso, os NCs destes nutrientes também foram definidos como a média de seus teores no banco de dados. Com o ajuste de funções decrescentes entende-se que houve diluições dos teores destes nutrientes nas folhas com o aumento da produtividade.

Tabela 2. Teor foliar correspondente a 90% da produtividade máxima (NC), modelo matemático ajustado para descrever os teores foliares em função da produtividade e coeficiente de determinação dos modelos

Nutriente	NC	Modelo matemático	R^2
g kg^{-1}			
N	21,5	N = 24,187 - 0,0351*Prod	0,393
P	1,8	P = 2,2978 - 0,0065**Prod	0,529
K	49,7	K = 33,881 + 0,1573**Prod	0,484
Ca	27,1	Ca = 27,1	-
Mg	2,9	Mg = 2,9	-
S	2,3	S = 2,8311 - 0,0072*Prod	0,442
mg kg^{-1}			
B	56,2	B = 45,16 + 0,1101*Prod	0,309
Cu	89,0	Cu = 89,0	-
Fe	1019,7	Fe = 2387,6 - 18,147**Prod	0,797
Mn	79,9	Mn = 8,5441 + 0,7098**Prod	0,543
Zn	47,1	Zn = 67,621 - 0,2726**Prod	0,659

*Significativo pelo teste *t* a 5%; **Significativo pelo Teste *t* a 1%.

A produtividade limite das classes de baixa e alta produtividade pelos métodos FS, DRIS e CND foi de 87,8 Mg ha^{-1}. Dos 210 talhões amostrados, 64 (30,5%) apresentaram produtividade superior a este limiar e, assim, formaram a população de referência. A produtividade de raízes da classe de referência variou de 87,8 a 120,5 Mg ha^{-1}, com média de 98,2 Mg ha^{-1}.

As médias e as variâncias das relações duais dos teores foliares dos nutrientes (normas DRIS) da população de alta produtividade (> 87,8 Mg ha^{-1}) são apresentadas

na Tabela 3. Em relação aos modelos matemáticos para descrever as relações existentes entre os índices (DRIS e CND) com os teores foliares (Tabelas 4 e 5), observa-se que para os micronutrientes catiônicos os melhores ajustes foram obtidos com equações lineares de segundo grau (exceto para o Zn no índice CND), enquanto que para os demais nutrientes, as equações lineares de primeiro grau se destacaram. Quanto ao S, não foi possível ajustar modelo matemático significativo pelo método CND (Tabela 5).

Os teores e as faixas ótimas dos nutrientes na parte aérea da cenoura no momento da colheita (Tabela 6) sofreram pouca influência do método de diagnose. Em relação ao teor ótimo, pequenas variações são observadas entre os teores adequados obtidos pelo NC em comparação com o DRIS e o CND para os micronutrientes catiônicos. Neste caso, o NC estabeleceu teores ótimos com concentrações superiores aos demais métodos. Isto ocorre devido ao NC ser mais sensível que o CND aos efeitos não controlados do meio, como concentração ou diluição de nutrientes no tecido vegetal (Wadt, 2008).

Outra explicação para a diferença nos teores de micronutrientes catiônicos entre os métodos é a alta variabilidade (coeficiente de variação > 46%) obtida para o teor destes micronutrientes no tecido vegetal (dados não apresentados). Os métodos DRIS e CND por não serem univariados, ou seja, que analisam cada nutriente separadamente, não sofrem grande influência da variabilidade das concentrações foliares dos nutrientes. Para os demais nutrientes (macronutrientes e B), praticamente não houve diferenças entre os teores ótimos estabelecidos pelos métodos do NC, DRIS e CND.

Em relação à faixa ótima dos teores foliares dos nutrientes, exceto a de Fe, os intervalos e as amplitudes são semelhantes entre os métodos do FS e DRIS (Tabela 6). Entretanto, o método CND apresentou faixas mais estreitas e inclusas no intervalo ótimo estabelecido pela FS e DRIS. Para o Fe, a FS estabeleceu faixa ótima com amplitude maior que o DRIS, e estes métodos, por sua vez, faixas mais amplas que o CND. As menores amplitudes das faixas ótimas geradas pelo CND favorecem diagnóstico mais preciso do estado nutricional da cultura (Gott et al., 2014). Entretanto, os pequenos intervalos das faixas geradas para alguns nutrientes podem induzir a diagnose errônea devido ao erro existente nas análises de determinação dos teores foliares (erros laboratoriais).

Tabela 3. Média e variância das relações duais dos teores foliares da parte aérea da cultura da cenoura (normas DRIS) para população de alta produtividade[1]

Relação	Média	Variância	Relação	Média	Variância
N/P	13,814	14,846	S/B	0,018	<0,001
N/K	0,458	0,034	S/Cu	0,023	0,004
N/Ca	0,788	0,029	S/Zn	0,034	0,002
N/Mg	5,963	3,165	S/Mn	0,018	0,001
N/S	5,896	42,026	S/Fe	0,002	<0,001
N/B	0,366	0,019	B/N	2,562	0,908
N/Cu	0,360	0,211	B/P	35,758	278,659
N/Zn	0,697	0,180	B/K	1,146	0,299
N/Mn	0,316	0,062	B/Ca	1,974	0,514
N/Fe	0,041	0,001	B/Mg	15,059	42,525
P/N	0,078	0,001	B/S	14,819	358,403
P/K	0,035	<0,001	B/Cu	0,827	1,112
P/Ca	0,061	<0,001	B/Zn	1,804	1,801
P/Mg	0,462	0,033	B/Mn	0,793	0,450
P/S	0,522	0,361	B/Fe	0,104	0,005
P/B	0,028	<0,001	Cu/N	4,363	10,973
P/Cu	0,029	0,002	Cu/P	57,251	1834,378
P/Zn	0,052	0,001	Cu/K	1,924	2,999
P/Mn	0,023	<0,001	Cu/Ca	3,329	6,908
P/Fe	0,003	<0,001	Cu/Mg	25,418	446,499
K/N	2,492	0,706	Cu/S	29,117	1700,404
K/P	34,052	208,852	Cu/B	1,538	1,823
K/Ca	1,933	0,472	Cu/Zn	2,541	4,589
K/Mg	14,544	36,832	Cu/Mn	1,203	2,252
K/S	12,708	226,583	Cu/Fe	0,175	0,030
K/B	0,865	0,139	Zn/N	2,014	1,286
K/Cu	0,932	1,725	Zn/P	27,243	307,305
K/Zn	1,653	1,043	Zn/K	0,893	0,390
K/Mn	0,729	0,305	Zn/Ca	1,564	0,770
K/Fe	0,102	0,005	Zn/Mg	11,805	43,555
Ca/N	1,329	0,084	Zn/S	12,742	293,992
Ca/P	18,193	35,774	Zn/B	0,705	0,219
Ca/K	0,601	0,071	Zn/Cu	0,571	0,525
Ca/Mg	7,840	8,100	Zn/Mn	0,519	0,327
Ca/S	8,082	94,257	Zn/Fe	0,074	0,003
Ca/B	0,471	0,029	Mn/N	3,372	5,917
Ca/Cu	0,487	0,392	Mn/P	45,209	1130,760
Ca/Zn	0,934	0,452	Mn/K	1,396	0,833
Ca/Mn	0,415	0,115	Mn/Ca	2,581	3,087
Ca/Fe	0,052	0,001	Mn/Mg	20,107	233,941
Mg/N	0,165	0,002	Mn/S	19,035	1109,632
Mg/P	2,281	0,869	Mn/B	1,171	0,855
Mg/K	0,075	0,001	Mn/Cu	1,018	1,701
Mg/Ca	0,128	0,001	Mn/Zn	2,170	2,027
Mg/S	1,017	1,476	Mn/Fe	0,130	0,012
Mg/B	0,059	0,001	Fe/N	29,302	471,231
Mg/Cu	0,056	0,005	Fe/P	371,250	47914,983
Mg/Zn	0,110	0,005	Fe/K	12,606	88,537
Mg/Mn	0,051	0,002	Fe/Ca	22,252	289,453
Mg/Fe	0,007	<0,001	Fe/Mg	172,272	18040,712
S/N	0,054	0,003	Fe/S	224,475	119443,434
S/P	0,652	0,514	Fe/B	9,417	44,776
S/K	0,028	0,001	Fe/Cu	11,634	486,387
S/Ca	0,043	0,002	Fe/Zn	19,179	363,234
S/Mg	0,344	0,151	Fe/Mn	8,013	62,902

[1]Produtividade superior a 87,8 Mg ha^{-1}

Tabela 4. Modelo matemático, amplitude dos índices e coeficiente de determinação das regressões ajustadas para descrever os teores foliares da parte aérea de cenoura em função do índice DRIS para a população de alta produtividade[1]

Modelo Matemático	Amplitude			R^2
$N = 20{,}805 + 3{,}5396^{**}I_N$	-0,91	$< I_N <$	0,79	0,333
$P = 1{,}6212 + 0{,}7795^{**}I_P$	-1,19	$< I_P <$	1,58	0,705
$K = 50{,}694 + 21{,}439^{**}\ I_K$	-1,39	$< I_K <$	1,49	0,798
$Ca = 27{,}193 + 6{,}7308^{**}I_{Ca}$	-1,08	$< I_{Ca} <$	1,54	0,557
$Mg = 3{,}5164 + 1{,}17^{**}I_{Mg}$	-1,17	$< I_{Mg} <$	1,27	0,635
$S = 2{,}1225 + 1{,}0281^{**}I_S$	-1,69	$< I_S <$	1,01	0,778
$B = 55{,}504 + 17{,}349^{**}I_B$	-1,07	$< I_B <$	0,96	0,408
$Cu = 81{,}539 + 91{,}848^{**}I_{Cu} + 26{,}236^{**}I_{Cu}^2$	-2,32	$< I_{Cu} <$	1,47	0,911
$Fe = 592{,}04 + 468{,}41^{**}I_{Fe} + 98{,}705^{**}I_{Fe}^2$	-1,5	$< I_{Fe} <$	2,34	0,887
$Mn = 67{,}348 + 66{,}716^{**}I_{Mn} + 24{,}112^{**}I_{Mn}^2$	-1,76	$< I_{Mn} <$	1,2	0,914
$Zn = 37{,}646 + 33{,}067^{**}I_{Zn} + 9{,}3153^{**}I_{Zn}^2$	-1,41	$< I_{Zn} <$	1,53	0,931

[1]Produtividade superior a 87,8 Mg ha^{-1}; **Significativo pelo teste *t* a 1%

Tabela 5. Norma CND (média e desvio padrão) das variáveis multinutriente (V_i) e da média geométrica da composição nutricional (G), modelo matemático, amplitude dos índices e coeficiente de determinação das regressões ajustadas para descrever os teores foliares da parte aérea de cenoura em função do índice CND para a população de referência[1]

Variável	Média	Desvio padrão	Modelo Matemático	Amplitude			R^2
V_N	1,373	0,22	$N = 20{,}792 + 0{,}7918^{*}I_N$	-2,05	$< I_N <$	1,79	0,920
V_P	-1,215	0,30	$P = 1{,}6181 + 0{,}3441^{**}I_P$	-2,65	$< I_P <$	2,32	0,491
V_K	2,224	0,33	$K = 50{,}64 + 11{,}208^{**}\ I_K$	-2,67	$< I_K <$	2,19	0,608
V_{Ca}	1,634	0,26	$Ca = 27{,}158 + 2{,}5796^{**}I_{Ca}$	-2,05	$< I_{Ca} <$	2,70	0,335
V_{Mg}	-0,424	0,25	$Mg = 3{,}5117 + 0{,}4139^{**}I_{Mg}$	-2,31	$< I_{Mg} <$	2,59	0,349
V_S	-0,966	0,40	$S = 2{,}1456 - 0{,}0214^{ns}I_S$	-2,31	$< I_S <$	2,51	0,010
V_B	-2,242	0,26	$B = 55{,}448 + 5{,}5405^{**}I_B$	-2,05	$< I_B <$	2,15	0,363
V_{Cu}	-1,914	0,75	$Cu = 82{,}383 + 72{,}541^{**}I_{Cu} + 17{,}554^{**}\ I_{Cu}^2$	-2,83	$< I_{Cu} <$	1,63	0,896
V_{Fe}	-2,697	0,45	$Fe = 570{,}77 + 303{,}3^{**}I_{Fe} + 61{,}453^{**}\ I_{Fe}^2$	-1,92	$< I_{Zn} <$	3,00	0,840
V_{Mn}	-2,007	0,46	$Mn = 69{,}337 + 41{,}098^{**}I_{Mn} + 9{,}2941^{**}\ I_{Mn}^2$	-2,46	$< I_{Mn} <$	1,79	0,879
V_{Zn}	0,036	0,48	$Zn = 41{,}796 + 21{,}811^{**}I_{Zn}$	-1,82	$< I_{Fe} <$	2,14	0,855
G	0,530	0,11	-	0,30	$< G <$	0,85	-

[1]Produtividade superior a 87,8 Mg ha^{-1}; ^{ns}Não significativo pelo teste *t*; *Significativo pelo teste *t* a 5%;**Significativo pelo teste *t* a 1%

Tabela 6. Teor e faixa ótima para a concentração dos nutrientes na parte área da cultura da cenoura cultivada no Alto Paranaíba no momento da colheita gerado pelos métodos do NC, FS, DRIS e CND em comparação com a literatura existente[1]

Nutriente	Teor ótimo			Faixa ótima			
	NC	DRIS	CND	FS	DRIS	CND	Literatura
g kg^{-1}							
N	21,5	20,8	20,8	18,2 - 23,4	18,5 - 23,1	20,3 - 21,3	22,0 - 40,0
P	1,8	1,6	1,6	1,1 - 2,1	1,1 - 2,1	1,4 - 1,8	3,0 - 7,0
K	49,7	50,7	50,6	36,3 - 65,0	36,5 - 64,8	43,2 - 58,0	15,0 - 30,0
Ca	27,1	27,2	27,2	22,7 - 31,6	22,8 - 31,6	25,5 - 28,9	10,0 - 20,0
Mg	2,9	3,5	3,5	2,8 - 4,2	2,7 - 4,3	3,2 - 3,8	2,5 - 6,0
S	2,3	2,1	2,1	1,4 - 2,8	1,4 - 2,8	1,7 - 2,6	-
mg kg^{-1}							
B	56,2	55,5	55,5	46,3 - 64,6	44,1 - 67,0	51,8 - 59,1	30,0 - 50,0
Cu	89,0	81,5	82,4	35,9 - 164,0	32,3 - 153,6	42,2 - 137,9	3,0 - 5,0
Fe	1019,7	592,0	570,8	248,0 - 1016,5	325,9 - 944,2	397,4 - 797,7	30,0 - 60,0
Mn	79,9	67,3	69,3	36,5 - 120,7	33,8 - 121,9	46,3 - 100,5	50,0 - 80,0
Zn	47,1	37,6	41,8	18,2 - 65,4	19,9 - 63,5	37,4 - 66,2	30,0 - 50,0

[1]Literatura: Hanlon e Hochmuth (2009)

As faixas ótimas de teores foliares estabelecidos por Hanlon e Hochmuth (2009) para o cultivo de cenoura nos Estados Unidos da América apresentam maiores limites superiores para N e P, comparadas aos limites das faixas desses nutrientes neste trabalho. Por outro lado, para o K, Ca e B, as faixas ótimas estabelecidas nesta pesquisa apresentam limites (inferiores e superiores) maiores que as indicadas por Hanlon e Hochmuth (2009). Em relação ao Mg, a faixa ótima proposta por esses autores é mais ampla e engloba a faixa gerada pela FS, DRIS e CND na presente pesquisa. Para o Mn e Zn, as faixas obtidas pela FS, DRIS e CND nesta pesquisa foram mais amplas e englobaram as faixas ótimas obtidas nos Estados Unidos. Contudo, grande discrepância houve entre as faixas ótimas obtidas por Hanlon e Hochmuth (2009) e geradas métodos da FS, DRIS e CND para o Cu e o Fe. Para estes dois nutrientes os teores indicados pelos autores são inferiores aos obtidos na presente pesquisa. Essa discordância demostra a importância de se ter padrões para diagnose foliar regionalizados, ou seja, gerados para cada condição edafoclimática de cultivo. Camacho et al. (2012) e Santos et al. (2013) concluíram de forma similar a importância da regionalização dos teores foliares adequados para diagnose foliar nas culturas da laranja-pera e cana-de-açúcar, respectivamente.

Destaca-se a semelhança entre os teores e as faixas ótimas gerados pelos diferentes métodos (NC, FS, DRIS e CND) para praticamente todos os nutrientes avaliados neste trabalho. Resultados semelhantes foram obtidos por René et al. (2013), que propuseram índices diagnósticos foliares pelos métodos NC, DRIS e CND em híbridos de *Populus maximowiczii* e concluíram que os métodos geram índices concordantes.

Entre os motivos que culminaram na coerência entre as faixas propostas por métodos diagnósticos distintos citam-se as elevadas produtividades de cenoura obtidas na região do Alto Paranaíba – MG e a grande quantidade de talhões amostrados. Segundo Cecílio Filho e Peixoto (2013), o potencial produtivo da cultura da cenoura está entre 100 e 120 Mg ha^{-1}. Para o alcance destas elevadas produtividades é necessário que a cultura esteja em equilíbrio nutricional. Como a população de referência para estabelecimento dos padrões para diagnose foliar pela FS, DRIS e CND contemplaram áreas com produtividades superiores a 87,8 Mg ha^{-1} (e que alcançaram até 120,5 Mg ha^{-1}), é possível que grande parte destes talhões encontravam-se em equilíbrio nutricional.

Possivelmente a utilização de métodos bi ou multivariados frente aos univariados para geração de valores de referência em situação de elevada produtividade dos talhões não se justifique. A condição de elevada produtividade pressupõem tal equilíbrio nutricional que efeitos de concentração, diluição e relação entre nutrientes sejam menos expressivos. Assim, os métodos mais simples, como o NC e a FS podem ser utilizados com precisão para o diagnóstico. Além do mais, o número de talhões amostrados neste trabalho (210 talhões) pode ter contribuído para a obtenção de resultados semelhantes entre os métodos de diagnose avaliados. A amostragem mais representativa das condições de cultivo de cenoura (manejo e clima) pode ter reduzido a influencia dos efeitos diversos que justificam o uso de métodos bi ou multivariados.

No feijoeiro, Partelli et al. (2014) constataram que os métodos com base no equilíbrio nutricional (DRIS e CND) apresentaram alto grau de concordância nos diagnósticos foliares, entretanto, diferente dos obtidos pela FS. Esses autores avaliaram 55 talhões comerciais e empregaram na população de referência talhões que apresentaram produtividades superiores a 2,7 Mg ha^{-1}. A produtividade potencial da cultura do feijão no Brasil pelo método de Blackman é de 6 Mg ha^{-1} (Oliveira et al., 2011). O baixo número de talhões avaliados (quando comparado a este trabalho) e a produtividade limite da classe de referência muito abaixo do potencial máximo estimado para a cultura podem ter influenciado os resultados obtidos por Partelli et al. (2014).

Há consenso entre os métodos avaliados (FS, DRIS e CND) de que o Mn e o Mg são os nutrientes mais limitantes a cultura da cenoura na população geral e de baixa produtividade (Tabela 7). Seguido desses nutrientes estão o K e o Ca como limitantes a produção. Entretanto, esses elementos não foram destacados por todos os métodos de diagnose em sequência do Mn e Mg. Como houve maior frequência de limitação por deficiência relacionada ao K, Ca e Mg entre os macronutrientes para o cultivo da cenoura no Alto Paranaíba – MG (Tabela 7), é possível que a saturação de base utilizada no cultivo esteja insuficiente. Essa saturação foi em média 58,0%, (Tabela 1), pouco abaixo da recomendação oficial, que é de 60 a 70% (Comissão..., 1999).

Em reação ao Mg, a Comissão de Fertilidade do Solo em Minas Gerais sugere no mínimo 8 $mmol_c$ dm^{-3} de Mg^{+2} no solo para o cultivo da cenoura (Comissão..., 1999). Nos solos em que foram realizadas as coletas o teor deste elemento estava

acima deste nível crítico (Tabela 1), e ainda assim, esse nutriente foi o macronutriente mais limitante ao cultivo.

Tabela 7. Ordem de limitação nutricional gerada pelos métodos CND, DRIS e FS em comparação com a literatura para a cultura da cenoura cultivada no Alto Paranaíba - MG

Método	Ordem de limitação nutricional
População geral	
CND[1]	Mn > Mg > K > Ca > Zn > Cu > B > S > N > Fe > P
DRIS[1]	Mn > Mg > K > Ca > Fe > Cu > S > Zn > P > B > N
CND[2]	Mg > Mn > K > B > N > Zn > Ca > P > Cu > S > Fe
DRIS[2]	Mg > Mn > K > Ca > N > B > P > Cu > Fe > S > Zn
FS[2]	Mg > Mn > B > K > Ca > Cu > N > P > S > Zn > Fe
Literatura[2]	P > N > Mn > Mg > Zn > Cu > B > K = Ca = Fe
População de alta produtividade (> 87,8 Mg ha^{-1})	
CND[1]	Zn > B > Fe = Ca > S > N = P > Mg > Mn > K > Cu
DRIS[1]	Fe > Zn > K > P > Ca > Mg > S > B > N > Mn > Cu
CND[2]	Zn > N > Mg > K = Ca > B > P > Fe > S > Mn > Cu
DRIS[2]	K = Ca > Zn > N > Fe > S > Mn > Cu > B > Mg > P
FS[2]	B > K = Ca > Cu > Zn > N > S > Mn > Mg > P > Fe
Literatura[2]	P > N > Zn > Mn > Mg > K = Ca = B = Cu = Fe
População de baixa produtividade (< Mg 87,8 t ha^{-1})	
CND[1]	Mn > Mg > K > Ca > Cu > S > B > N > Zn > P > Fe
DRIS[1]	Mn > Mg > K > Ca > Fe > Cu > S > P > B > N > Zn
CND[2]	Mg > Mn > B > K > Ca > N > Zn > P > Cu > S > Fe
DRIS[2]	Mg > Mn > K > Ca > B > N > Cu > P > S > Fe > Zn
FS[2]	Mg > Mn > K > B > Ca > Cu > N > P > S > Fe > Zn
Literatura[2]	P > Mn > N > Mg > Zn > Cu > B > K = Ca = Fe

[1]Classificação gerada em função do Potencial de Resposta a Adubação; [2]Classificação gerada em função do teor foliar ótimo; Literatura: Hanlon e Hochmuth (2009)

Além do teor no solo, outro fator que deve ser levado em consideração é a relação entre cátions. A relação média de Ca:Mg e Mg:K foi de 3,2:1 e 3,5:1, respectivamente (Tabela 1). A limitação por deficiência do Mg foi maior que a de Ca e de K para os cultivos de cenoura (Tabela 7). É possível que menores relações Ca:Mg e maiores de Mg:K propiciem a condição de equilíbrio nutricional ao Mg e elevação da produtividade.

Entre os fatores que podem ter contribuído para a limitação por deficiência do Mn no cultivo da cenoura destaca-se o baixo teor deste nutriente no solo (Tabela 1). Além disso, o fornecimento de Ca e Mg via calcário propiciou maior pH, que, associado a altas doses de P reduzem a disponibilidade de Mn. Foram aplicados cerca de 640 kg ha^{-1} de P_2O_5 durante a semeadura da cenoura (dados não apresentados). O pH alto e a elevada dose de P aplicado são fatores que proporcionam a menor disponibilidade do Mn para as plantas (Moreira et al., 2006; Gonçalves et al., 2011).

A importância da limitação nutricional causada pelo Fe e Zn foi pouco expressiva, e média importância da limitação em B e Cu (Tabela 7). A menor importância como limitante nutricional destes micronutrientes quando comparado ao Mn pode ser explicada pelos seus teores no solo (Tabela 1). Segundo a classificação proposta pela Comissão... (1999), os teores de Zn e Cu são considerados altos no solo, enquanto que os de B e Fe são considerados como médio e bom, respectivamente.

A análise da ordem de limitação nutricional da população de alta produtividade (> 87,8 Mg ha^{-1}) não permite elencar os nutrientes mais limitantes para o cultivo da cenoura. A ordem de limitação variou em função do método de diagnóstico.

Não houve confluência para a maioria dos nutrientes entre as faixas ideias estabelecidas nesta pesquisa e a proposta por Hanlon e Hochmuth (2009). Com isso, também não houve concordância entre as ordens de limitação obtidas a partir dos índices diagnósticos gerados nesta pesquisa e pela comparação às faixas de teores considerados adequados por Hanlon e Hochmuth (2009).

Quanto à classificação do estado nutricional verifica-se que os métodos da FS e DRIS tenderam a destacar maior frequência de talhões como NL em relação ao CND (Tabela 8). Ao contrário do observado neste trabalho, Serra et al. (2010) constataram que o CND classifica maior número de talhões como NL quando comparado ao DRIS na cultura do algodão. Em relação aos meios de interpretação (potencial de resposta a adubação - PRA e faixa ótima) para o DRIS e o CND, o PRA classificou menor número de talhões como limitantes (LD ou LE) quando comparado à classificação gerada pela faixa ótima dos teores foliares.

Em relação à produtividade média das classes de limitação nutricional para o K, Mg e Mn foi observada a tendência de que os talhões agrupados como LE apresentaram as maiores produtividades. Desta forma, é possível que os teores e faixas adequadas destes elementos nas folhas de cenoura sejam superiores aos obtidos neste trabalho. Os métodos diagnósticos empregados podem ter subestimado a faixa ótima devido os talhões apresentarem limitação generalizada a estes nutrientes (Tabela 7).

Tabela 8. Frequência de talhões e produtividade média das classes limitante por deficiência (LD), não limitante (NL) e limitante por excesso (LE) gerada pelo CND, DRIS e FS em comparação com a literatura

Nutriente	Método	Estado nutricional (%)			Produtividade (Mg ha^{-1})		
		LD	NL	LE	LD	NL	LE
N	CND[1]	12,1	51,8	36,1	88,1*	74,1	73,6
	DRIS[1]	9,6	70,7	19,7	90,4*	74,5	72,2
	CND[2]	38,9	10,6	50,5	78,3	78,7	72,8*
	DRIS[2]	21,2	43,7	35,1	72,2	82,6	68,9*
	FS	20,2	49,0	30,8	71,1*	82,4	67,7*
	Literatura	55,8	44,2	0,0	79,6*	70,2	-
P	CND[1]	9,6	48,5	41,9	92,7*	76,7	70,0*
	DRIS[1]	11,9	51,0	37,1	85,5*	76,6	70,4*
	CND[2]	27,6	29,5	42,9	74,0*	83,3	70,9*
	DRIS[2]	15,7	52,9	31,4	65,2*	82,3	68,9*
	FS	19,1	48,4	32,5	65,2*	82,3	68,9*
	Literatura	92,4	7,6	0,0	76,4*	64,4	-
K	CND[1]	25,8	59,0	15,2	73,9	73,6	84,9*
	DRIS[1]	30,4	54,8	14,8	74,7	72,8	86,5*
	CND[2]	43,3	35,3	21,4	72,8	72,5	85,3*
	DRIS[2]	29,5	61,0	9,5	74,0	74,4	86,2*
	FS	29,5	61,0	9,5	74,0	74,4	86,2*
	Literatura	0,0	16,2	83,8	-	70,0	76,5
Ca	CND[1]	18,1	59,6	22,3	78,4	76,0	71,1*
	DRIS[1]	23,8	64,8	11,4	74,1	75,7	76,5
	CND[2]	28,1	35,2	36,7	74,4*	78,0	73,7*
	DRIS[2]	28,6	48,5	22,9	74,0*	77,9	71,7*
	FS	28,6	48,5	22,9	74,0*	77,9	71,7*
	Literatura	0,0	14,3	85,7	-	67,7	76,7*
Mg	CND[1]	32,2	58,6	9,2	71,7*	74,7	91,6*
	DRIS[1]	31,2	63,5	5,3	71,5*	75,4	96,3*
	CND[2]	58,0	29,3	12,7	70,4*	78,3	90,8*
	DRIS[2]	37,1	58,0	4,9	64,2*	80,5	97,5*
	FS	42,9	49,8	7,3	65,1*	80,6	97,7*
	Literatura	32,4	67,6	0,0	62,9*	80,1	-
S	CND[1]	12,8	61,1	26,1	80,0*	71,3	68,5*
	DRIS[1]	12,8	69,0	18,2	77,6*	70,3	72,8
	CND[2]	21,8	47,3	30,9	74,8	73,0	67,5*
	DRIS[2]	12,1	67,3	20,6	72,4	73,3	65,9*
	FS	12,8	64,0	23,2	72,4	73,3	65,9*
	Literatura	-	-	-	-	-	-
B	CND[1]	13,7	71,1	15,2	82,8*	72,0	81,4*
	DRIS[1]	10,3	81,9	7,8	82,8*	73,3	81,2*
	CND[2]	43,1	28,5	28,4	69,8*	80,6	76,9*
	DRIS[2]	20,1	67,2	12,7	66,2*	77,5	75,0
	FS	29,9	54,9	15,2	70,0*	77,1	76,6
	Literatura	0,5	38,2	61,3	59,3*	69,6	78,3*
Cu	CND[1]	13,9	71,7	14,4	71,0*	74,4	80,3*
	DRIS[1]	14,4	66,1	19,5	71,8	74,3	78,4*
	CND[2]	24,6	54,9	20,5	69,9*	76,0	77,3
	DRIS[2]	18,5	67,1	14,4	66,6*	76,6	76,5
	FS	22,1	68,2	9,7	70,0*	75,4	80,7*
	Literatura	3,6	1,5	94,9	56,2*	53,4	75,8*

Tabela 8. Continuação...

Nutriente	Método	Estado nutricional (%)			Produtividade (Mg ha^{-1})		
		LD	NL	LE	LD	NL	LE
Fe	CND[1]	10,1	51,8	38,1	94,5*	77,0	70,6*
	DRIS[1]	20,8	41,5	37,7	87,0*	77,0	69,8*
	CND[2]	21,3	37,2	41,5	86,0*	76,2	71,5*
	DRIS[2]	13,1	52,5	34,4	83,3*	79,1	69,5*
	FS	2,2	66,7	31,1	81,8	79,7	68,9*
	Literatura	0,0	0,0	100,0	-	-	76,4
Mn	CND[1]	44,7	36,5	18,8	67,0*	79,5	83,2*
	DRIS[1]	42,6	37,6	19,8	67,1*	78,5	83,5*
	CND[2]	50,3	29,4	20,3	67,8*	81,8	81,3
	DRIS[2]	36,5	50,3	13,2	66,0*	78,7	83,1*
	FS	39,6	46,7	13,7	66,5*	78,9	83,7*
	Literatura	52,3	20,3	27,4	68,5*	82,2	80,7
Zn	CND[1]	14,7	48,1	37,2	89,5*	77,4	69,8*
	DRIS[1]	12,5	57,1	30,4	93,3*	71,6	74,8*
	CND[2]	37,2	44,9	17,9	81,5*	72,2	71,5
	DRIS[2]	8,7	69,6	21,7	91,6*	75,2	70,2*
	FS	6,3	75,3	18,4	94,8*	74,8	72,1*
	Literatura	26,6	28,0	45,4	84,1*	74,4	71,3*

[1]Classificação gerada em função do Potencial de Resposta a Adubação; [2]Classificação gerada em função do teor foliar ótimo; *Diferente da produtividade da classe NL pelo teste *t* a 5%; Literatura: Hanlon e Hochmuth (2009).

Tendência inversa foi observada para o Fe e o Zn, em que os talhões agrupados como LD apresentaram as maiores produtividades (Tabela 8). Este resultado pode indicar que estes elementos atingiram teores tóxicos para a cenoura e causaram redução na produtividade.

As frequências de talhões das classes LD, NL e LE geradas com os dados da literatura (Hanlon e Hochmuth, 2009) apresentaram valores distintos quando comparados aos resultados dos métodos da FS, DRIS e CND. Assim como para as divergências obtidas nas faixas ótimas dos teores foliares e na ordem de limitação nutricional, estes resultados fortalecem a ideia de que é necessário regionalizar os valores de referência para realização da diagnose foliar da cultura da cenoura.

Não ficou claro que método de diagnose foliar (FS, DRIS e CND) e, ou, meios de interpretação (faixa ótima ou PRA) conseguem ordenar os talhões nas classes LD, LE e NL de tal modo que se tenham diferenças significativas nas produtividades destes grupos (Tabela 8). Contudo, todos os métodos tenderam a gerar resultados concordantes para interpretação do estado nutricional por meio do teor ou faixa ótima dos nutrientes no tecido foliar.

5.6 Conclusões

1. Os valores de referência (teores e as faixas ótimas) gerados pelos métodos do NC, FS, DRIS e CND tendem a ser concordantes quanto ao diagnóstico foliar;
2. Os valores de referências gerados para o Alto Paranaíba-MG foram diferentes dos existentes na literatura.
3. O Mn, Mg, K e Ca representam os nutrientes mais limitantes para o cultivo da cenoura na região do Alto Paranaíba – MG.

5.7 Referências Bibliográficas

BALDOCK, J.O.; SCHULTE, E.E. Plant analysis with standardized scores combines DRIS and sufficiency range approaches for corn. **Agronomy Journal**, v. 88, n. 3, p. 448-456, 1996.

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**. Pietermararitzburg: Uziversity of Natal, 1973. 132 p.

BEDIN, I.; FURTINI NETO, A.E.; RESENDE, A.V.; FAQUIN, V.; TOKURA, A.M.; SANTOS, J.Z.L. Fertilizantes fosfatados e produção da soja em solos com diferentes capacidades tampão de fosfato. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, v. 27, n. 4, p. 639-646, 2003.

BROGGI, F.; OLIVEIRA, A.C.; FREIREM F.J.; FREIRE, M.B.G.S.; NASCIMENTO, C.W.A. Fator capacidade de fósforo em solos de Pernambuco mineralogicamente diferentes e influência do pH na capacidade máxima de adsorção. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 35, n. 1, p. 77-83, 2011.

CAMACHO, M.A.; SILVEIRA, M.V.; CAMARGO, R.A.; NATALE, W. Faixas normais de nutrientes pelos métodos ChM, DRIS, CND e nível crítico pelo método de distribuição normal reduzida para laranjeira-pera. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, n. 1, p. 193-200, 2012.

CECÍLIO FILHO, A.B.; PEIXOTO, F.C. Acúmulo e exportação de nutrientes em cenoura 'Forto'. **Revista Caatinga**, v. 26, n. 1, p. 64-70, 2013.

COELHO, F.S.; FONTES, P.C.R.; CECON, P.R.; BRAUN, H.; SILVA, I.R. Value and prediction of critical content-level to assess the nitrogen status of the potato. **Revista Ciência Agronômica**, v. 44, n. 1, p. 155-122, 2013.

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

GONÇALVES, G.K.; MEURER, E.J.; BORTOLON, L.; GONÇALVES, D.R.N. Relação entre óxidos de ferro e de manganês e a sorção de fósforo em solos no Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, n. 5, p. 1633-1639, 2011.

GOTT, R.M; AQUINO, L.A.; CARVALHO, A.M.X.; SANTOS, L.P.D.; NUNES, P.H.M.P.; COELHO, B.S. Índices diagnósticos para interpretação de análise foliar do milho. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, n. 11, p. 1110-1115, 2014.

HANLON, E.A.; HOCHMUTH, G.J. Carrot. **In**: RAY CAMPBELL, C. Reference sufficiency ranges for plant analysis in the southern region of the United States. **Southern Cooperative Series Bulletin**, n. 394, p. 63-64, 2009.

JONES, C.A. Proposed modifications of the Diagnosis and Recommendation Integrated System (DRIS) for interpreting plant analysis. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 12, n. 8, p. 785-794, 1981.

KHIARI, L.; PARENT, L.; TREMBLAY, N. Critical compositional nutrient indexes for sweet corn at early growth stage. **Journal of Agronomy**, v. 93, n. 4, p. 809-814, 2001.

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

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional das plantas**. Princípios e aplicações. 2ª ed. Piracicaba, SP: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1997, 319 p.

MELO, M.S. **Sistema de interpretação de análise de solo e de recomendação de calagem e fertilizantes para a cultura de tomate**. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 2000, 91 p. (Tese de Mestrado).

MORAIS, E.R.C. **Formas de potássio em solos do Estado de Minas Gerais e sua disponibilidade para plantas de milho**. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1999, 85 p. (Tese de Mestrado).

MOREIRA, S.G.; PROCHNOW, L.I.; KIEHL, J.C.; NETO, L.M.; PAULETTI, V. Formas químicas, disponibilidade de manganês e produtividade de soja em solos sob semeadura direta. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, n. 6, p. 121-136, 2006.

OLIVEIRA, L.J.C.; COSTA, L.C.; SEDIYAMA, G.C.; FERREIRA, W.P.M.; OLIVEIRA, M.J. Modelos de estimativas de produtividade potencial para as culturas do feijão e do milho. **Engenharia na Agricultura**, v. 19, n. 4, p. 304-312, 2011.

PARENT, L.E.; DAFIR, M. A theoretical concept of compositional nutrient diagnosis. **Journal of the American Society for Horticultural e Science**, v. 117, n. 2, p. 239-242, 1992.

PARTELLI, F.L.; DIAS, J.R.M.; VIEIRA, H.D.; WADT, P.G.S.; PAIVA JR., E. Avaliação nutricional de feijoeiro irrigado pelos métodos CND, DRIS e faixas de suficiência. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, n. 3, p. 858-866, 2014.

RENÉ, W.; CÔTÉ, B.; CAMIRÉ, C.; BURGESS, M.; FYLES, J.W. Development and application of CVA, DRIS, and CND norms for three hybrids of *Populus maximowiczii* planted on southern Quebec. **Journal of Plant Nutrition**, v. 36, n. 1, p. 118-142, 2013.

SANTOS, E.F.; DONHA, R.M.A.; ARAÚJO, C.M.M.; LAVRES JUNIOR, J.; CAMACHO, M.A. Faixas normais de nutrientes em cana-de-açúcar pelos métodos ChM e CND e nível crítico pela distribuição normal reduzida. **Revista Brasileira de ciência do Solo**, v. 37, n. 6, p. 1651-1658, 2013.

SERRA, A.P.; MARCHETTI, M.E.; VITORINO, A.C.T.; NVELINO, 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, n. 1, p. 97-104, 2010.

SOUZA, R.B. **Níveis críticos de enxofre em solos e em folhas de cultivares de caf**é. Viçosa. Universidade Federal de Viçosa, 1999, 88 p. (Tese de Doutorado).

URANO, E.O.M.; KURIHARA, C.H.; MAEDA, S.; VITORINO, A.C.T.; GONÇALVES, M.C.; MARCHETTI, M.E. Determinação de teores ótimos de nutrientes em soja pelos métodos chance matemática, Sistema Integrado de Diagnose e Recomendação e Diagnose da Composição Nutricional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, n. 1, p. 63-72, 2007.

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. 41, n. 9, p. 1421-1428, 2006.

WADT, P.G.S.; NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H.; FONSECA, S.; BARROS, N.F.; DIAS, L.E. Três métodos de cálculo do DRIS para avaliar o potencial de resposta à adubação de árvores de eucalipto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 22, n. 4, p. 661-666, 1998.

WADT, P.G.S. Análise foliar para recomendação de adubação em culturas agrícolas. **In**: PRADO, R.M.; ROZANE, D.E.; VALE, D.W.; CORREIA, M.A.R.; SOUZA, H.A. (Org.). Nutrição de plantas. Diagnose foliar em grandes culturas. Jaboticabal: Fundenesp, 2008, v. 1, p. 115-133.

6 CONCLUSÕES GERAIS

1. O índice de colheita de matéria seca e de nutrientes é maior para as cultivares de inverno. O P é o nutriente que apresenta o maior índice de colheita, e o Cu, o que apresenta menor;
2. São insignificantes as diferenças na demanda nutricional de N, P, Ca, S, B, Cu e Zn entre os cultivos de inverno e verão para as produtividades médias obtidas em cada época;
3. O cultivo de verão acumula maiores quantidades de Fe e menores quantidades de K, Mg e Mn quando comparado ao de inverno;
4. O FERTICALC Cenoura se mostrou eficiente para recomendar fertilizantes para a cultura;
5. Os valores de referência (teores e as faixas ótimas) gerados pelos métodos do NC, FS, DRIS e CND tendem a ser concordantes quanto ao diagnóstico foliar;
6. Os valores de referências gerados para o Alto Paranaíba-MG foram diferentes dos existentes na literatura;
7. O Mn, Mg, K e Ca representam os nutrientes mais limitantes para o cultivo da cenoura na região do Alto Paranaíba – MG.