UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP CÂMPUS DE JABOTICABAL

PADRÕES PARA AVALIAÇÃO DO ESTADO NUTRICIONAL DO TOMATEIRO PARA INDÚSTRIA

Rodrigo Hiyoshi Dalmazzo Nowaki
Engenheiro Agrônomo

2017

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP CÂMPUS DE JABOTICABAL

PADRÕES PARA AVALIAÇÃO DO ESTADO NUTRICIONAL DO TOMATEIRO PARA INDÚSTRIA

Rodrigo Hiyoshi Dalmazzo Nowaki

Orientador: Prof. Dr. Arthur Bernardes Cecílio Filho

Coorientador: Prof. Dr. Danilo Eduardo Rozane

Coorientador: Prof. Dr. Léon-Etienne Parent

Tese apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Unesp, Câmpus de Jaboticabal, como parte das exigências para a obtenção do título de Doutor em Agronomia (Produção Vegetal)

2017

Nowaki, Rodrigo Hiyoshi Dalmazzo
N946p Padrões para avaliação do estado nutricional do tomateiro para indústria / Rodrigo Hiyoshi Dalmazzo Nowaki. – – Jaboticabal, 2017
xix, 123 p. : il. ; 29 cm

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 2017
Orientador: Arthur Bernardes Cecílio Filho
Banca examinadora: Luiz Antônio Junqueira Teixeira, Paulo Guilherme Salvador Wadt, Renato de Mello Prado, Roberto Botelho Ferraz Branco
Bibliografia

1. Análise foliar. 2. Diagnose da composição nutricional. 3. Faixa de suficência de nutrientes. 4. *Solanum lycopersicum*. I. Título. II. Jaboticabal-Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias.

CDU 631.811:635.64

Ficha catalográfica elaborada pela Seção Técnica de Aquisição e Tratamento da Informação – Diretoria Técnica de Biblioteca e Documentação - UNESP, Câmpus de Jaboticabal.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Câmpus de Jaboticabal

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA TESE: PADRÕES PARA AVALIAÇÃO DO ESTADO NUTRICIONAL DO TOMATEIRO PARA INDÚSTRIA

AUTOR: RODRIGO HIYOSHI DALMAZZO NOWAKI
ORIENTADOR: ARTHUR BERNARDES CECILIO FILHO
COORIENTADOR: LEON-ÉTIENNE PARENT
COORIENTADOR: DANILO EDUARDO ROZANE

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Doutor em AGRONOMIA (PRODUÇÃO VEGETAL), pela Comissão Examinadora:

Prof. Dr. ARTHUR BERNARDES CECILIO FILHO
Departamento de Produção Vegetal / FCAV / UNESP - Jaboticabal

Pesquisador Dr. PAULO GUILHERME SALVADOR WADT
Nutrição Mineral e Fertilidade do Solo / EMBRAPA - Rondônia/RO

Pesquisador Dr. ROBERTO BOTELHO FERRAZ BRANCO
Olericultura / APTA / Ribeirão Preto/SP

Pesquisador Dr. LUIZ ANTONIO JUNQUEIRA TEIXEIRA
Nutrição Mineral e Fertilidade do Solo / Instituto Agronômico de Campinas / Campinas,SP

Prof. Dr. RENATO DE MELLO PRADO
Departamento de Solos e Adubos / FCAV / UNESP - Jaboticabal

Jaboticabal, 29 de setembro de 2017

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

RODRIGO HIYOSHI DALMAZZO NOWAKI - filho de Jukitiro Nowaki e Ana Maria Dalmazzo Nowaki e nascido em 12 de junho de 1985 na cidade de Marília-SP. Graduou-se em Engenharia Agronômica pela Universidade de Marília, Unimar (2011) e com título de melhor aluno. Durante a Graduação (2010 - 2011) foi bolsista BCO - Treinamento Técnico, da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP). Em março de 2012, ingressou no Programa de Pós-graduação em Agronomia, Mestrado em Produção Vegetal, pela Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal (UNESP/FCAV). Foi bolsista da CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior), obtendo o título de Mestre em fevereiro de 2014, com a dissertação intitulada 'Produtividade e sólidos solúveis da melancia irrigada em função de doses de nitrogênio', sob orientação do Professor Dr. Arthur Bernardes Cecílio Filho. Em março de 2014, ingressou no Programa de Pós-graduação em Agronomia, em nível de Doutorado (Produção Vegetal), pela mesma instituição e também sob orientação do Professor Dr. Arthur Bernardes Cecílio Filho, sendo bolsista da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), com período de sanduíche de 5 meses (09/2015 e 01/2016) na Universidade de Laval, Quebec, Canadá, com bolsa BEPE (Bolsa Estágio de Pesquisa no Exterior), FAPESP, finalizando-o com o desenvolvimento deste trabalho, parte das exigências para obtenção do título de Doutor em Agronomia.

“Eu ouço e esqueço. Eu vejo e lembro. Eu faço e entendo.”

(Confúcio)

A Deus, por me dar forças, sabedoria e paciência para poder enfrentar os momentos de turbulência em minha vida, a Nossa Senhora, Mãe, que muito me conduziu e iluminou meus passos e, que têm iluminado não só a minha vida, mas como a minha família e amigos queridos. Aos meus pais, Jukitiro Nowaki e Ana Maria D. Nowaki, aos meus irmãos Alexandra N. D. N. Viieira, Fábio H. D. Nowaki e Patrícia K. D. N. Gentile, pelo carinho, amor, amizade verdadeira, compreensão, que sempre acreditaram na minha capacidade e me incentivaram a buscar meus ideais. Aos meus avós Francisco e Adélia, que têm sido para mim grandes exemplos de vida, em todos os sentidos. À minha afilhada Lívia N. Vieira e sobrinho Eduardo N. Vieira. Aos meus cunhados Eduardo A. M. Vieira e Luiz Felipe F. Gentile; e cunhada Lívia S. L. Nowaki. À minha madrinha Maria de Lourdes D. Caetano.

Dedico...

AGRADECIMENTOS

A UNESP/FCAV e ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Produção Vegetal), pela oportunidade de realizar este curso.

A Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), pela concessão das bolsas de doutorado (Processo 2013/24447-4) e doutorado sanduíche (Processo 2015/11321-8), junto a Universidade de Laval, Canadá.

Aos mestres...

Prof. Dr. Arthur Bernardes Cecílio Filho, pela orientação, confiança, paciência e aprendizados de uma valia ímpar fornecida no decorrer do curso de Doutorado, mas acima de tudo, pela amizade.

Coorientador Prof. Dr. Danilo Eduardo Rozane, por cada minuto dedicado ao mesmo; pela atenção, paciência, ensinamentos e amizade construída ao longo dessa jornada.

Coorientator Prof. Dr. Léon-Etienne Parent, que me recebeu de braços abertos na Universidade de Laval e, acreditou, não apenas no projeto, mas também na minha pessoa; pela amizade e ensinamentos.

Prof. Dr. William Natale, pelo apoio e incentivo desde o início dessa jornada, amizade, paciência, e ensinamentos.

Prof. Dr. Serge-Étienne Parent, por todo apoio e aprendizados na Universidade de Laval, e pela amizade.

Pesquisador Dr. Roberto Botelho Ferraz Branco, que desde a Graduação tem me incentivado e confiado no meu trabalho.

Aos docentes do curso de Pós-Graduação em Produção Vegetal da FCAV/UNESP, pela importante contribuição em meu crescimento científico.

À Predilecta Alimentos Ltda., e seus colaboradores por todo apoio na coleta das amostras.

E aos amigos e colegas...

Em especial aos amigos Natália B. Meneses, Danilo R. Yamane, Juciléia I. dos Santos, Leonardo C. Costa, Aldaí R. Almeida, Luiz H. S. S. Stefano, Sra. Marisa Natale, Cássia dos Santos, Anderson F. Wamser, Camila Arndt, Tatiana Pagan, Fernando Chiamolera, Alexson F. Dutra, Alcillenny Silva e Victor V. Carmona, bem como aos amigos do Grupo de Oração Universitária (GOU), que direta ou indiretamente estiveram presentes durante essa jornada; com quem tive a honra de adquirir bons ensinamentos e compartilhar bons momentos; que embora o trabalho tenha sido árduo, a presença destes o tornou muito prazeroso e gratificante.

Aos funcionários da UNESP/FCAV, em especial a Rosane (secretária do Departamento de Produção Vegetal – Horticultura), ao Inauro, Reinaldo e Cláudio (funcionários do setor de Olericultura e Plantas Aromáticas).

Por fim, agradeço a todos imensamente que de alguma forma contribuíram ou participaram desse trabalho.

Muito obrigado!

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS xiii
LISTA DE FIGURAS xv
RESUMO.....xviii
ABSTRACT.....xix

CAPÍTULO 1 – CONSIDERAÇÕES GERAIS.....1
1 Introdução..... 1
2 Hipótese..... 2
3 Objetivos..... 3
3.1 Objetivo geral..... 3
3.2 Objetivos específicos..... 3
4 Revisão de literatura 3
4.1 Tomate para indústria 3
4.2 Avaliação do estado nutricional.....4
4.2.1 Nível Crítico (NC) 5
4.2.2 Faixa de Suficiência (FS) 6
4.2.3 Sistema Integrado de Diagnose e Recomentação (DRIS – *Diagnosis and Recommendation Integrated System*).....8
4.2.4 Diagnose da Composição Nutricional (CND – *Compositional Nutrient Diagnosis*) 9
4.2.4.1 Relação log centralizada (CND-*clr*) 10
4.2.4.2 Relação log isométrica (CND-*ilr*)..... 13
5 Referências 18

CAPÍTULO 2 – FAIXAS DE SUFICIÊNCIA E NORMAS DRIS PARA AVALIAÇÃO DO ESTADO NUTRICIONAL DO TOMATEIRO PARA INDÚSTRIA 25
1 Introdução.. 26
2 Material e Métodos.....27
2.1 Campos de produção 27
2.2 Experimentos de tomate.....29

2.2.1 Experimentos com doses de fósforo (P).....29
2.2.2 Experimento com doses de nitrogênio (N) e potássio (K) 30
2.2.3 Experimento com doses de potássio (K).....31
2.3 Coleta da folha diagnose e determinação da produtividade (campos de produção e experimentos).....32
2.4 Estabelecimento do Sistema Integrado de Diagnose e Recomendação – DRIS.... 32
3 Resultados e Discussão.....33
4 Conclusão..... ...41
5 Referências 41

CAPÍTULO 3 – AVALIAÇÃO DO ESTADO NUTRICIONAL DO TOMATEIRO PARA INDÚSTRIA PELO MÉTODO CND-*clr*.....47
1 Introdução.....48
2 Material e Métodos.....50
2.1 Campos de produção 50
2.2 Experimentos de tomate.....51
2.2.1 Experimentos com doses de fósforo (P).....52
2.2.2 Experimento com doses de nitrogênio (N) e potássio (K) 52
2.2.3 Experimento com doses de potássio (K).....54
2.3 Coleta da folha diagnose e determinação da produtividade (campos de produção e experimentos).....54
2.4 Estabelecimento do sistema da Diagnose da Composição Nutricional (CND-*clr*.....55
3 Resultados e Discussão.....57
4 Conclusão..... ..65
5 Referências 65

CAPÍTULO 4 - AVALIAÇÃO DO ESTADO NUTRICIONAL DO TOMATEIRO PARA INDÚSTRIA PELO MÉTODO CND-*ilr*.....72
1 Introdução.....73
2 Material e Métodos.....75

2.1 Campos de produção 75
2.2 Experimentos de tomate.....76
2.2.1 Experimentos com doses de fósforo (P).....77
2.2.2 Experimento com doses de nitrogênio (N) e potássio (K) 77
2.2.3 Experimento com doses de potássio (K).....79
2.3 Coleta da folha diagnose e determinação da produtividade (campos de produção e experimentos).....79
2.4 Estabelecimento do sistema da Diagnose da Composição Nutricional (CND-*ilr*).....80
3 Resultados e Discussão.....85
4 Conclusão..... 100
5 Referências 100

CAPÍTULO 5 - DISTÂNCIA DE MAHALANOBIS E PARTIÇÃO DE CATE-NELSON NA COMPARAÇÃO DOS MÉTODOS DRIS, CND-*CLR* E CND-*ILR*.....108
1 Introdução.....108
2 Material e Métodos.....110
2.1 Coleta da folha diagnose e determinação da produtividade (campos de produção e experimentos).....110
2.2 Distância de Mahalanobis (DM) e Partição de Cate-Nelson.....111
3 Resultados e Discussão.....114
4 Conclusão.....119
5 Referências 119

CAPÍTULO 6 – CONSIDERAÇÕES FINAIS..... 123

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 1 1

TABELA 1. Teores foliares de macronutrientes e micronutrientes considerados adequados para o tomateiro para processamento industrial, em função da folha diagnóstica, pelo método da FS. 7

CAPÍTULO 2 25

TABELA 1. Temperatura média e precipitação acumulada para o período de coleta de amostras foliares e produtividade, entre 2013 e 2015 e dos últimos dez anos..... 28

TABELA 2. Estatística descritiva realizada para as variáveis produtividade e nutrientes em 210 áreas de tomateiro para processamento industrial, safras 2014 e 2015..... 35

TABELA 3. Normas DRIS para a cultura do tomateiro para processamento industrial, obtidas a partir dos teores de nutrientes nas amostras foliares da subpopulação de alta produtividade..... 36

TABELA 4. Modelos estatísticos das relações entre a produtividade e os índices DRIS, para os nutrientes avaliados na cultura do tomateiro para processamento industrial..... 37

TABELA 5. Modelos estatísticos das relações entre os teores e os índices DRIS, nível crítico (NC) e faixas de suficiência (FS) para macronutrientes e micronutrientes do tomateiro para processamento industrial..... 38

TABELA 6. Teores foliares de macronutrientes e micronutrientes considerados adequados para o tomateiro para processamento industrial, em função da folha-diagnóstica, pelo método da faixa de suficiência (FS) e pelo nível crítico (NC). 39

CAPÍTULO 3 47

TABELA 1. Temperatura média e precipitação acumulada para o período de coleta de amostras foliares e produtividade, entre 2013 e 2015 e dos últimos dez anos..... 51

TABELA 2. Média e desvio-padrão (s) da transformação CND-*clr* a partir dos teores de nutrientes, para 216 observações.....59
TABELA 3. Modelos estatísticos das relações entre os índices CND-*clr* e a produtividade, para nutrientes em tomateiro destinado ao processamento industrial.....59
TABELA 4. Modelos estatísticos das relações entre os teores e as variáveis multinutrientes, nível crítico (NC) e o intervalo de confiança (IC) como faixa de suficiência (FS), para macronutrientes e micronutrientes do tomateiro para indústria.....61
TABELA 5. Teores foliares de nutrientes considerados adequados para o tomateiro para processamento industrial, em função da folha-diagnóstica, pelo método do nível crítico (NC) e da faixa de suficiência (FS).....62

CAPÍTULO 4.....72
TABELA 1. Temperatura média e precipitação acumulada para o período de coleta de amostras foliares e produtividade, entre 2013 e 2015 e dos últimos dez anos.....76
TABELA 2. Detalhamento da partição binária sequencial (PBS) para os dados de tomateiro.....82
TABELA 3. Detalhamento da divisão das amostras de tomateiro para indústria dentro dos quadrantes VN, FN, VP e FP.....88
TABELA 4. Normas (média e a matriz de covariância inversa) CND-ilr, a partir da população de referência.....89
TABELA 5. Teste de correlação entre as variáveis 'produtividade' e 'coordenadas CND-*ilr'* e a 'distância de Mahalanobis (DM)'..... 90
TABELA 6. Análise estatística comparando as médias das coordenadas CND-ilr e da produtividade do grupo VN aos demais grupos (FN, FP e VP).....91
TABELA 7. Análise estatística comparando a média das concentrações de nutrientes, *Fv* e a produtividade do grupo VN aos demais grupos (FN, FP e VP).....93

TABELA 8. Intervalos de confiança (IC) das concentrações dos nutrientes obtidos a partir da retransformação das coordenadas CND-*ilr*, das amostras dos grupos VN e VP, e de referência, em tomate para processamento industrial..... 99

CAPÍTULO 5 108

TABELA 1. Detalhamento da partição binária sequencial (PBS) para os dados de tomateiro.....112

TABELA 2. Resultados dos parâmetros de acurácia (Acc.), sensibilidade (Sensib.), valor preditivo positivo (PPV), especificidade (Espec.) e valor preditivo negativo (NPV), em função das produtividades 103,0 e 105,8 t ha^{-1}..... 117

TABELA 3. Teste t ($p \leq 0,05$) entre os grupos VN (Verdadeiro negativo), do Teor.ln, DRIS, CND-*clr* e CND-*ilr*..... 118

TABELA 4. Teste t ($p \leq 0,05$) entre os grupos VP (Verdadeiro positivo), do Teor.ln, DRIS, CND-*clr* e CND-*ilr*..... 118

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO 1 1

FIGURA 1. Representação do teor crítico de nutrientes no tecido da planta (ULRICH; HILLS,1967)..... 6

FIGURA 2. Teoria da relação entre a produtividade e a função cumulativa da variância, F^{c}_{i} (V_x), para obtenção do ponto de inflexão (ponde de corte) para obtenção das subpopulações de baixa e alta produtividade (KHIARI et al., 2001b)..... 12

FIGURA 3. Exemplo de esquema de balanço a partir da composição nutricional, considerando os nutrientes Mg, Ca. K, P e N (MODESTO et al., 2014)..... 15

CAPÍTULO 2 25

FIGURA 1. Ordem de limitação para os nutrientes N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn e Zn, a partir da população de baixa produtividade, segundo a metodologia DRIS, em tomateiro para indústria. Índice positivo e negativo representam excesso e deficiência, respectivamente..... 40

CAPÍTULO 3 47

FIGURA 1. Função cumulativa para os dados de produtividade do tomate para indústria (n= 137)..... 58

FIGURA 2. Correlação entre a distância de Mahalanobis (DM) e o CND-r^2, para os dados de teores de nutriente do tomate para processamento industrial..... 60

FIGURA 3. Ordem de limitação para os nutrientes N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn e Zn, a partir da população de baixa produtividade, em tomateiro para indústria. Índice positivo e negativo representam excesso e deficiência, respectivamente..... 63

CAPÍTULO 4 72

FIGURA 1. Proposta de balanços de nutrientes para o tomateiro industrial. (Fv = *Filling value* ou Valor de enchimento)..... 81

FIGURA 2. Correlação entre a distância de Mahalanobis (DM) a partir da transformação ln do teor (Teor.ln) e do CND-*ilr*..... 86

FIGURA 3. Partição de Cate-Nelson para os dados de tomateiro para indústria. Dados de análise foliar de campos de produção e de experimentos (212 amostras). VN = verdadeiro negativo; FP = falso positivo; FN = falso negativo; VP = verdadeiro positivo. Acurácia = 77 %, Sensibilidade = 79 %, Especificidade = 75 %, NPV = 70 %, PPV = 83 %, Produtividade = 105,8 t ha^{-1}; DM = 4,83. “x” e “o”: dados de experimento e produtores, respectivamente..... 87

FIGURA 4. Box plots (média, média ± erro-padrão - EP e a média ± 1,96*EP) para as coordenadas CND-ilr, em relação aos grupos VN, FN, VP e FP. Teste t (p ≤ 0,05)... 92

FIGURA 5. Ordem de limitação para os nutrientes N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn e Zn, a partir da população VP, segundo a metodologia CND-*clr*, em tomateiro para indústria. Índice positivo e negativo representam excesso e deficiência, respectivamente..... 95

FIGURA 6. Box plots (média, média ± erro-padrão - EP e a média ± 1,96*EP), segundo a transformação CND-clr dos macronutrientes e Fv (g kg^{-1}), e micronutrientes (mg kg^{-1}), em relação aos grupos VN, FN, VP e FP. Teste t (p ≤ 0,05)..... 98

CAPÍTULO 5 108

FIGURA 1. Teste de correlação entre a DM, segundo os métodos de avaliação do estado nutricional (DRIS, CND-*clr* e CND-*ilr*) e o Teor.ln... 115

FIGURA 2. Partição de Cate-Nelson para as variáveis Teor.ln, DRIS, CND-*clr e CND-ilr*. “o” e “x”: amostras de produtores e experimentos, respectivamente..... 116

PADRÕES PARA AVALIAÇÃO DO ESTADO NUTRICIONAL DO TOMATEIRO PARA INDÚSTRIA

RESUMO – A avaliação do estado nutricional, a partir da análise foliar, é importante, como complemento à análise química do solo, para a identificação de desequilíbrio nutricional e auxiliar na recomendação de fertilizantes. Tal avaliação torna-se ainda mais importante, quando se trata do tomate de indústria, uma das hortaliças de maior valor econômico no Brasil e que os fertilizantes chegam a representar 18 % do custo de produção. Para tanto, conceitos de interpretação à diagnose do estado nutricional foram desenvolvidos, como o Sistema Integrado de Diagnose e Recomendação (DRIS) e Diagnose da Composição Nutricional (CND), abordagem CND-*clr* (relação log centralizada) e CND-*ilr* (relação log isométrica). Com isso, o objetivo da realização do presente trabalho foi obter as normas e a faixa de suficiência, bem como comparar tais metodologias, a partir dos dados de nutrientes (N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mg e Zn). Quando analisados individualmente, com exceção do método DRIS, os métodos CND-*clr* e CND-*ilr*, apresentaram boas performances e com bons parâmetros de calibração dos métodos. Contudo, quando analisados de maneira conjunta, segundo a distância de Mahalanobis e a partição de Cate-Nelson, todos os métodos, incluindo a transformação log neperiano do teor, não apresentaram diferença significativa.

Palavra-chave: Análise foliar, Diagnose da Composição Nutricional, faixa de suficência de nutrientes, *Solanum lycopersicum*

STANDARDS FOR EVALUATING THE NUTRITIONAL STATE OF TOMATO FOR INDUSTRY

ABSTRACT – The evaluation of nutritional status through leaf analysis is important, as a complement to soil chemical analysis, for the identification of nutritional imbalance and ancillary fertilizer recommendation. This evaluation becomes even more important when it comes to the tomato industry, one of the vegetables with the highest economic value in Brazil, and that fertilizers represent 18% of the cost of production. For this purpose, concepts of interpretation and diagnosis of nutritional status were developed, such as the Diagnosis and Recommendation Integrated System (DRIS) and Compositional Nutrient Diagnosis (CND), CND-clr (centralized log ratio) and CND-ilr (isometric log rato) approach. Thus, the goal of the implementation of this work was to obtain standards and sufficiency range and compare these methods, from the nutrient data (N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe , Mn and Zn). When analyzed individually, with the exception of the DRIS, the CND-clr and CND-ilr methods presented good performances and with good calibration parameters of the methods. However, when analyzed together, according to the Mahalanobis distance and the Cate-Nelson partition, all methods, including log transformation of the content, showed no significant difference.

Keywords: Leaf analysis, Compositional Nutritional Diagnosis, Nutrient sufficiency range, *Solanum lycopersicum*

CAPÍTULO 1 – CONSIDERAÇÕES GERAIS

1 INTRODUÇÃO

O tomate (*Solanum lycopersicum* L.) industrial classifica-se, atualmente, como um dos mais importantes produtos do agronegócio mundial e brasileiro. A safra brasileira foi de 4,3 milhões de toneladas e produtividade média de 65,9 t ha^{-1}. São Paulo se destaca por ser o segundo maior Estado produtor, responsável por 20 % da produção brasileira (IBGE, 2015) e produtividade média de 80 t ha^{-1} (IEA, 2016).

Uma das características das espécies olerícolas é o rápido crescimento e, consequentemente, acúmulo de matéria seca em um curto espaço de tempo (PAULA et al., 2011). Com isso, a nutrição mineral de plantas é vista como um dos principais fatores que tem limitado a produção desse grupo de plantas e, para o tomateiro, os fertilizantes chegam a representar até 18 % do custo total de produção (CEPEA, 2011).

Nessa ótica, a avaliação do estado nutricional, por meio a análise química das folhas, tem sido recomendada, a fim de obter informações que posteriormente auxiliem na tomada de decisão no que diz respeito ao manejo da adubação.

Os padrões nutricionais adequados para o tomateiro podem ser obtidos com experimentos de resposta da planta à fertilização; no entanto, além de onerosos, não contemplam concomitantemente o balanço adequado dos nutrientes. Também, não há experimentos para todos os nutrientes, com vistas às especificidades de cultivar e região, assim como das influências temporal e sazonal da produtividade.

Enfim, muito se sabe sobre a importância da recomendação da adubação e os efeitos que esta causa, tanto na produtividade e rentabilidade da cultura, quanto no ambiente. Diante dessa preocupação, foram desenvolvidas abordagens com intuito de melhorar a interpretação do estado nutricional das plantas, como o Sistema Integrado de Diagnose e Recomendação (DRIS) (BEAUFILS, 1987) (bivariado) e Diagnose da Composição Nutricional (CND) (PARENT; DAFIR, 1992) (multivariado). Tais métodos apresentam como proposta contemplar as relações entre os nutrientes, o que não ocorre com os métodos univariados, como o nível crítico (NC) e faixa de suficiência (FS), além de sugerir balanços nutricionais

considerados adequados, a todos os nutrientes avaliados, em populações de alta produtividade.

Quanto à ordem de limitação (OL), é uma das vantagens dos métodos DRIS e CND, visto que, além de obter as normas atualizadas e de forma rápida, é possível ordenar quais os possíveis nutrientes responsáveis pelo desequilíbrio nutricional e, consequentemente, a baixa produtividade. No entanto, a partir do método DRIS, a OL tem encontrado algumas limitações, por exemplo, não identificando de forma consistente o nutriente responsável pelo aumento de produtividade como o mais limitante (BEVERLY, 1987), ao passo que com o CND (PARENT; DAFIR, 1992), é possível obter resultados mais satisfatórios, por se tratar de variáveis multinutrientes.

No que tange à comparação dos métodos (bivariado - DRIS e multivariado – CND), vários trabalhos foram desenvolvidos (KURIHARA, 2004; SERRA et al., 2010; WADT; SILVA, 2010; WADT et al., 2012; BORLÓG, 2016; PARENT et al., 2016), obtendo resultados em que, hora um ou outro se sobressai, outrora semelhantes. Contudo, adotaram-se algumas abordagens, mas, não a partição de Cate-Nelson (NELSON; ANDERSON, 1977), fazendo uso da distância de Mahalanobis (DM) como índice de equilíbrio nutricional (PARENT, 2011), pensando numa análise multivariada, para ambas as metodologias. A DM, a partir da matriz de covariância, faz as correlações entre as variáveis (SOUZA; VICINI, 2005; LINDEN, 2009), sendo assim, podendo obter resultados semelhantes, independente da transformação utilizada.

Com relação à partição de Cate-Nelson, a partir da DM, tem demonstrado que é possível obter amostras com alta produtividade, mesmo estando em desequilíbrio nutricional (PARENT et al., 2013b), algo contestado pela literatura (WADT et al, 2016).

Assim, a realização desse trabalho foi avaliar o estado nutricional do tomateiro para processamento industrial, fazendo uso das metodologias DRIS e CND.

2 HIPÓTESES

a) A OL é um método confiável quando calculada a partir dos índices CND-*clr;*

b) A distância de DM, segundo as coordenadas CND-*ilr, e* juntamente com a partição de Cate-Nelson, é possível discriminar amostras em equilíbrio e em desequilíbrio nutricional, em situações de alta e baixa produtividade.
c) Os métodos DRIS, CND-*clr*, CND-*ilr* são equivalentes, quando aplicadas as metodologias da DM e partição de Cate-Nelson.

3 OBJETIVOS

3.1 Geral

Obter faixas de suficiência, normas DRIS e normas CND para avaliação do estado nutricional do tomateiro, e verificar se há diferença entre os métodos na avaliação.

3.2 Específicos

a) Estabelecer normas DRIS para a cultura do tomateiro para processamento industrial;

b) Estabelecer normas CND-*clr* e CND-*ilr* para o tomateiro para processamento industrial.

c) Comparar os métodos DRIS, CND-*clr* e CND-*ilr*, segundo a DM e a partição de Cate-Nelson.

4 REVISÃO DE LITERATURA

4.1 Tomate para indústria

A cultura do tomateiro (*Solanum lycopersicum* L.) tem como origem a região andina, desde o Equador, passando pela Colômbia, Peru, Bolívia, até o norte do Chile, e com domesticação no México. A cultura foi introduzida no Brasil no final do século XIX, provavelmente por imigrantes europeus, e atualmente é uma das hortaliças mais cultivadas no país (ALVARENGA, 2013).

O cultivo dessa olerícola apresenta basicamente dois mercados: *in natura*, geralmente quando se utilizam genótipos com hábito de crescimento indeterminado, e para o processamento industrial, quando se utilizam genótipos de crescimento determinado (ALVARENGA, 2013).

A cultura do tomateiro com produção destinada ao processamento industrial é uma das culturas de maior importância no cenário econômico mundial e brasileiro (IBGE, 2015).

No que diz respeito ao valor nutritivo, o tomate *in natura* apresenta baixo poder calórico, é muito rico em sais minerais, vitamina C e licopeno (substância fotoquímica que apresenta propriedades protetivas contra várias doenças cardiovasculares e alguns tipos de câncer). Os açúcares constituem cerca de 65 % dos sólidos solúveis totais, com alta influência sobre o rendimento industrial (ALVARENGA; COELHO, 2013).

4.2 Avaliação do estado nutricional

A análise de solo é uma ferramenta consagrada na agricultura; porém, além de conhecer a fertilidade do solo, há necessidade de se realizar a análise foliar, a fim de adequar as recomendações de fertilizantes nos programas de adubação.

No cultivo do tomateiro, além da alta demanda de nutrientes, o desequilíbrio nutricional é um dos fatores que contribuem para a baixa produtividade e qualidade de frutos, com consequente reflexo negativo na rentabilidade da cultura e no ambiente. Para uma produtividade de 94,8 t ha^{-1}, o cultivo do tomateiro, destinado à industrialização, acumula cerca de K – 264, N – 211, Ca – 195, S – 49, Mg - 40, P-30, Fe – 3,2, Mn - 2,1, Zn – 1,6 e B – 0,7 kg ha^{-1}, e destas quantidades exporta, pelos frutos, 80 % do K, 70 % do N e P, 23 % do S, 20 % do Mg, 4 % do Ca, 63 % do Fe, 25 % do Zn, 3,5 % do Cu e 3 % do Mn (FAYAD et al., 2002).

A maioria das olerícolas é cultivada em condições de campo, com variações nas épocas de plantio e, consequentemente, o estado nutricional depende de propriedades do solo, práticas de adubação, chuva e irrigação, manejo da cultura e inter-relações entre esses fatores. Em função dos solos tropicais do Brasil serem

altamente intemperizados, os mesmos possuem baixa fertilidade natural, sendo a adubação obrigatória para alcançar produtividades com retorno econômico.

Os fertilizantes são muito importantes na adequação do balanço nutricional em áreas de produção tecnificada de tomate para o processamento industrial, e representam uma porcentagem significativa do custo de produção da lavoura, podendo alcançar 18% do total (CEPEA, 2011). Assim, o manejo adequado de fertilizantes deve melhorar a relação custo/benefício, minimizando, também, danos ambientais ocasionados pelo emprego inadequado deste insumo.

Dessa forma, a avaliação do estado nutricional, a partir da análise foliar, é de suma importância, como complemento à análise química do solo, para a identificação de desequilíbrios nutricionais e, assim, auxiliar na recomendação de fertilizantes, (MARSCHNER, 1995). Em outras palavras, a análise química do tecido foliar é utilizada para detectar respostas das plantas aos vários tipos de manejo, possibilitando interpretar, de maneira eficiente, a situação nutricional da planta e as relações entre os nutrientes na mesma.

Devido à contribuição da análise foliar para tomada de decisões quanto a produtividade vegetal, foram criados os conceitos e técnicas de intepretação, como o NC, a FS (MACY, 1936; ULRICH, 1952; ULRICH; HILLS, 1967; BATES, 1971), o Sistema Integrado de Diagnose e Recomendação (DRIS) (BEAUFILS, 1973) e, mais recentemente, a Diagnose da Composição Nutricional (CND) (PARENT e DAFIR, 1992; PARENT, 2011).

4.2.1 Nível Crítico (NC)

O teor crítico teve como marco o trabalho de Ulrich e Hills (1967), no qual os autores fizeram a célebre representação gráfica (Figura 1), indicando a relação entre o crescimento relativo (eixo y) e o teor do nutriente em uma parte específica da planta (eixo x). O ponto em que o crescimento é reduzido em 10% é considerado o NC (ULRICH; HILLS,1967). A zona de transição é a seção adequada a ser considerada para a calibração, para fins de análise de planta (ULRICH; HILLS, 1967).

Segundo Malavolta et al. (1989), o NC dos macronutrientes (g kg^{-1}) na folha diagnose do tomateiro rasteiro (4ª folha a partir da ponta, coletada no florescimento pleno ou primeiro fruto maduro), são: N - 30, P - 3,5, K - 40, Ca - 14-18, Mg - 4, S - 3; e micronutrientes (mg kg^{-1}): B - 100, Cu - 20, Fe - 150, Mn - 100 e Zn - 50.

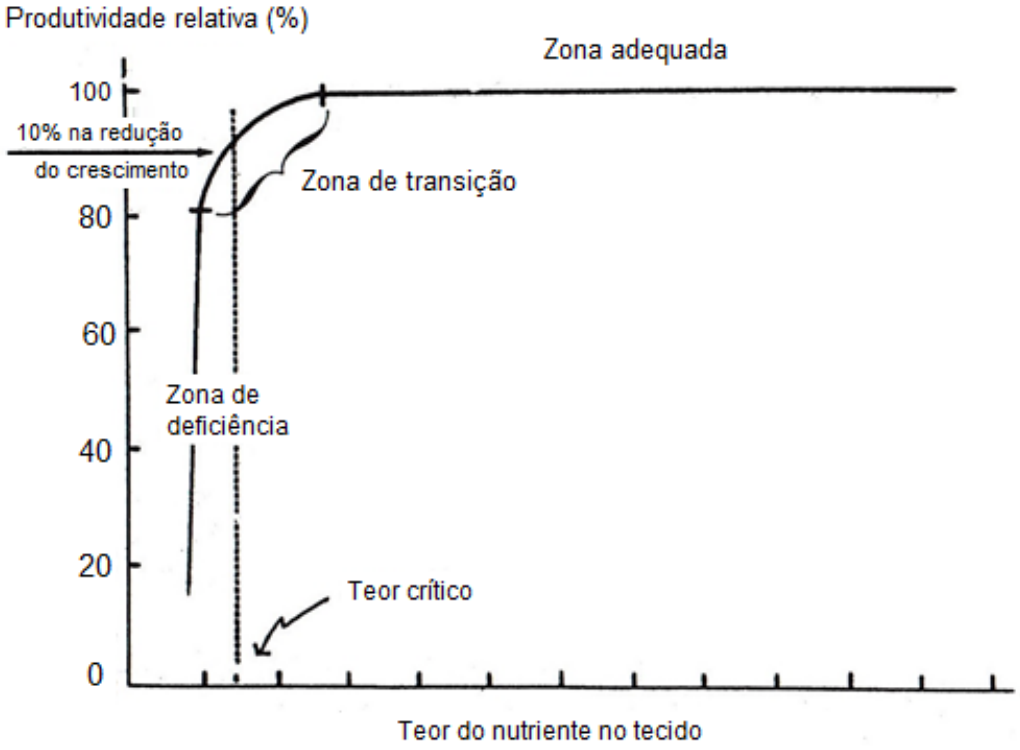


Figura 1. Representação do teor crítico de nutrientes no tecido da planta (Adaptado de ULRICH; HILLS,1967).

4.2.2 Faixa de Suficiência (FS)

O método da FS (MACY, 1936) tem sido o mais amplamente adotado para a interpretação do estado nutricional da cultura, dada à facilidade de sua interpretação (WADT et al., 2013). Da mesma forma que para o NC, o resultado da análise foliar é comparado a um padrão; no entanto, esse padrão corresponde a uma faixa de teor e não a um único valor de referência. Assim, esse método é o menos influenciado por pequenos efeitos locais de ambiente e da própria planta, quanto comparado ao NC (BATAGLIA et al., 1992).

As FS para o tomateiro disponível na literatura (Tabela 1) foram propostas há muito tempo, assim como o NC, para sistemas de baixa produtividade (30 - 50 t ha^{-1}) (TRANI; RAIJ, 1997), considerada boa para aquela época, mas que não reflete a média atual do estado de São Paulo, que é de 80 t ha^{-1} (IEA, 2016). Logo, é possível inferir que as FS de nutrientes do tomateiro para processamento possam estar desatualizadas, não refletindo as atuais praticas de condução, manejo e tão pouco produtividade. Nota-se, também, certa discrepância entre os valores citados pelos autores, muito provavelmente pela época e/ou região de coleta.

Tabela 1. Teores foliares de macronutrientes e micronutrientes considerados adequados para o tomateiro para processamento industrial, em função da folha diagnóstica, pelo método da FS.

Nutrientes	Trani e Raij (1997)[1]	Fontes (2000)[2]	Malavolta (2006)[3]
		g kg^{-1}	
N	[1]40 – 60	[2]40 – 60	[3]30
P	4 – 8	3 – 6	3,5
K	30 – 50	30 – 50	40 – 60
Ca	14 – 40	10 – 30	14 – 16
Mg	4 – 8	4 – 6	4
S	3 – 10	5 – 10	3
		mg kg^{-1}	
B	30 – 100	30 – 100	50 – 70
Cu	5 – 15	5 – 15	10 – 15
Fe	100 – 300	40 – 200	500 – 700
Mn	50 – 250	40 – 250	250 – 400
Zn	30 – 100	20 – 50	60 – 70

[1]Folha com pecíolo, por ocasião do 1º fruto maduro: 25 plantas; [2]Florescimento pleno, coletando-se a 4ª folha a partir da ponta da planta; [3]Florescimento pleno ou primeiro fruto maduro, coletando-se a 4ª folha a partir da ponta: 40 plantas.

O enfoque univariado é o ponto de maior preocupação para avaliação do estado nutricional usando-se os métodos NC e FS. Estes foram determinados por meio de resposta da planta ao aumento no fornecimento de um nutriente, não considerando as possíveis interações entre os nutrientes no solo e na planta (Tabela 1). Assim, a necessidade de uma combinação de teores de nutrientes, para a obtenção de produtividade elevada, tem sido considerada em métodos como o Sistema Integrado de Diagnose e Recomendação (DRIS) (BEALFILS, 1973; WADT,

1996; WADT et al., 1999; REIS JUNIOR & MONNERAT, 2003; GOTT et al., 2014) e a Diagnose da Composição Nutricional (CND) (PARENT; DAFIR, 1992; KHIARI et al., 2001a, b; PARENT et al., 2009; PARENT, 2011; PARENT et al., 2013a, b; MODESTO et al., 2014; ROZANE et al., 2015, 2016).

4.2.3 Sistema Integrado de Diagnose e Recomendação (DRIS – Diagnosis and Recommendation Integrated System)

A avaliação do estado nutricional de espécies vegetais tem sido amplamente utilizada e discutida, com o intuito de possibilitar intervenções mais precisas em sistemas de produção vegetal, por meio das práticas de manejo e adubação, baseada na interpretação de resultados de análise foliar (URANO et al., 2006).

O método DRIS é o principal método bivariado utilizado (SERRA et al., 2010). Proposto por Beaufils (1973), o método foi desenvolvido para melhorar o diagnóstico nutricional, considerando relações entre os nutrientes, o que não era considerado nos métodos univariados (NC e FS).

O DRIS usa como padrão nutricional uma população de referência, estabelecida com base em plantas de alta produtividade, obtendo-se o índice de balanço nutricional (IBN), que consiste na soma de valores absolutos dos índices DRIS de cada nutriente, os quais indicam o estado nutricional de cada área analisada (BEAUFILS, 1973).

As relações duais são ponderadas pelos respectivos coeficientes de variação e integradas em funções DRIS, que são adicionadas até os índices de nutrientes (In). Os In são ordenados a partir do mais negativo (tendência de deficiência) para o mais positivo (tendência de excesso), a fim de facilitar a interpretação dos resultados (BEAUFILS, 1973).

A metodologia DRIS teve modificações ao longo do tempo, e entre as principais, a abordagem desenvolvida por Beverly (1987), que correspondeu à transformação logarítmica. Tal transformação tende à simplificação da fórmula DRIS (relações bivariadas log-transformadas) e, como consequência, à maior coerência na expressão das normas DRIS (DIAS et al., 2010). O cálculo para se fazer a transformação proposta por Beverly (1987) é:

$$\text{In} = f\left(\frac{A}{B} - \frac{a}{b}\right)/s$$

em que: In é o índice de um dado nutriente; A/B e a/b são relações duais log-transformadas entre os nutrientes *A* e *B* de um dado de amostra e da média da população de referência, respectivamente; s é o desvio-padrão das relações duais (a/b) log-transformadas da população de referência. Nesse caso, as relações diretas são somadas e as indiretas subtraídas. Esse procedimento é repetido para cada amostra/In. Posteriormente, é calculado o IBN, somando-se os In em módulo, como segue (WALWORTH e SUMNER, 1987):

$$|I_A| + |I_B| + \cdots + |I_n| = IBN$$

em que: I_A, I_B e I_C são índices DRIS de nutrientes A, B e C, respectivamente, e IBN é um índice de desequilíbrio de nutrientes calculado independentemente do sinal do índice DRIS. Visto que os índices DRIS brutos são simétricos e a soma destes é restrita a zero (BEAUFILS, 1973).

4.2.4 Diagnose da Composição Nutricional (CND – Compositional Nutrient Diagnosis)

A consistência da interpretação das análises de tecido vegetal aumenta à medida que o enfoque univariado (NC e FS) é ampliado, de modo a considerar as relações entre nutrientes, dois a dois, ou seja, relações duais (enfoque bivariado) e, assim, progressivamente, as relações ternárias até idealmente abranger, mediante enfoque multivariado, toda a estrutura de variação da composição nutricional (HOLLAND, 1966). Para Tolosana-Delgado e Van Den Boogart (2011), dados de composição nutricional são intrinsecamente de natureza multivariada, sendo que cada nutriente não pode ser interpretado sem ser relacionado aos outros.

A partir desse conceito, foi desenvolvido o método CND (PARENT; DAFIR, 1992), bem como novas proposições de trabalho dentro desta metodologia

(PARENT, 2011; PARENT et al., 2013a; PARENT et al., 2013b; MODESTO et al., 2014; ROZANE et al., 2015).

Duas proposições (abordagens) no CND são comumente utilizadas atualmente, as quais são apresentadas por Parent et al. (2013b): relação log centralizada (*clr*), com base dos estudos em análise de dados composicionais, realizados por Aitchison (1986), e a relação log isométrica (*ilr*), a partir dos estudos realizados por Egozcue et al. (2003) e Egozcue e Pawlowsky-Glahn (2005).

4.2.4.1 Relação log centralizada (CND-*clr*)

Proposto por Parent e Dafir (1992), a transformação CND-*clr*, de acordo com os estudos desenvolvidos por Aitchison (1986), leva em consideração todos os nutrientes, gerando variáveis multinutrientes, cada uma delas ponderada pela média geométrica da composição nutricional (PARENT; DAFIR, 1992; EGOZCUE e PAWLOWSKY-GLAHN, 2005).

Neste método, o tecido foliar é considerado um sistema fechado a 100 %, formado por componentes a serem determinados, quantificados (nutrientes) e por componentes não quantificados, não determinados (elementos, carboidratos, etc.). Estes componentes não quantificados são reunidos num termo denominado R. Isso forma um arranjo de nutrientes *D*-dimensional, ou seja, um *simplex* (S*d*) oriundo das proporções de *D*+1 nutrientes que incluem os elementos *D* e um valor residual (R) (PARENT et al., 1993; BÉLANGER et al., 2001).

Ao se empregar a abordagem CND-*clr* é possível atribuir às carências e aos excessos o mesmo peso no desequilíbrio nutricional, os quais podem ser detectados com o emprego da distância de Mahalanobis (DM) (PARENT et al., 2009).

Em relação ao DRIS, a abordagem CND-*clr* possibilita a identificação e exclusão de valores atípicos (*outliers*), o que auxilia na confiabilidade e interpretação dos resultados (PARENT et al., 2009; PARENT et al., 2013a; PARENT et al., 2013b).

A representação da abordagem CND-*clr*, para os dados computacionais e suas fórmulas de cálculo, segundo Aitchison (1986), é apresentada por Parent et al. (1993), como segue:

$$clr_j = ln\frac{x_j}{g(x)}$$

em que: x_j é o componente j no numerador, j = [1...*D*] e $g(x)$ é a média geométrica de todos os componentes, como segue:

$$g = (A\ x\ B\ x\ \ldots x\ n\ x\ R)^{\frac{1}{n}}$$

em que: g é a média geométrica das concentrações dos nutrientes da matéria seca, adaptado por Khiari et al. (2001b). O componente R é obtido segundo a equação a seguir:

$$R = 1.000.000 - (A + B + \cdots + n)$$

em que: 1.000.000 é o total de mg kg^{-1}; a este valor é subtraído a somatória dos nutrientes em mg.

A DM é calculada usando a matriz de covariância (COV) (PARENT et al., 1994; PARENT et al., 2009), a partir da média das transformações CND-*clr*, como segue:

$$DM = \sqrt{\left(clr_j - clr_j^*\right)^T COV^{-1}\left(clr_j - clr_j^*\right)}$$

em que: clr_j é a amostra a ser comparada; clr_j^* é a média aritmética da população de referência e COV é a matriz de covariância da população de referência. Para evitar a singularidade, é excluído o componente R.

Para a identificação da população de referência, uma função de variância cumulativa, segundo os valores da DM, é aproximada por uma função cúbica e a segunda derivada (ponto de inflexão) (Figura 2) e usada para separar as

subpopulações de baixa e alta produtividade, situadas à esquerda e direita do ponto de inflexão, respectivamente (KHIARI et al., 2001a).

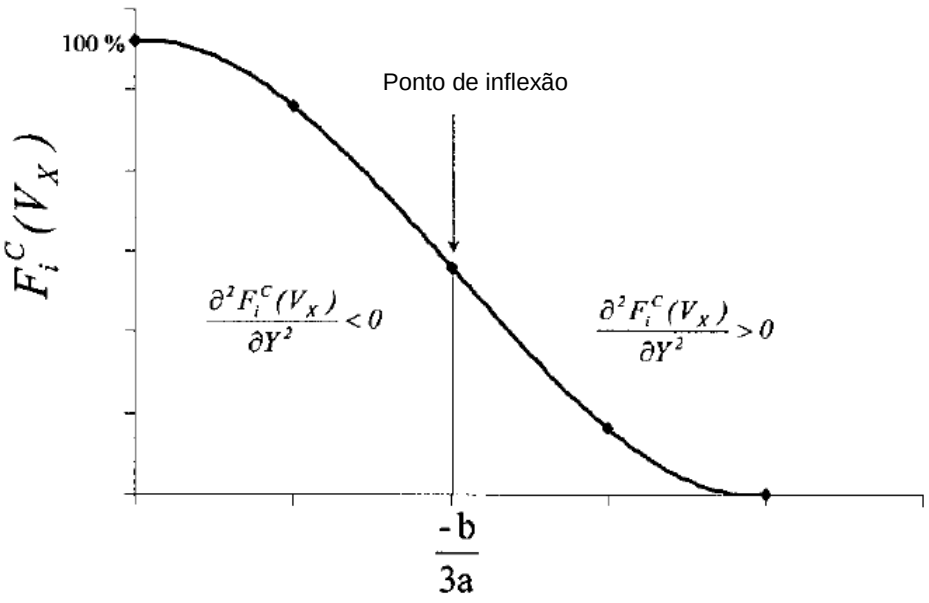


Figura 2. Teoria da relação entre a produtividade e a função cumulativa da variância, F^c_i (V_x), para obtenção do ponto de inflexão (ponde de corte) para obtenção das subpopulações de baixa e alta produtividade (KHIARI et al., 2001b).

Quanto à ordem de limitação, a princípio, são obtidos os índices CND-*clr* (I), os quais são calculados pela diferença entre as variáveis multinutrientes, no talhão avaliado (clr_i) e a média da população de referência (clr_i^*), dividido pelo desvio-padrão da população de referência (S_i^*):

$$I_{clr_i} = \frac{clr_i - clr_i^*}{S_i^*}$$

na qual: I_{clr_i} é o índice CND-*clr* do nutriente i da amostra n; clr_i^* é o media da transformação CND-*clr* da população de alta produtividade (população de

referência) para o nutriente i e S_i^* é o desvio-padrão da população de referência para o nutrient i.

O CND-r^2, que representa o índice de desiquilíbrio nutricional global da amostra, é correlacionado com a DM, a fim de comprovar que quanto mais equilibrada está a amostra, ou seja, próxima de zero, menor deverá ser a DM. Deste modo, a amostra equilibrada tende a se manter com a menor distância da média e, assim, no centro do centroide de n (nutrientes + R) dimensões, calculada como segue:

$$CND{-}r^2 = \mathrm{I}^2\mathrm{N} + \mathrm{I}^2\mathrm{P} + \mathrm{I}^2\mathrm{K} + \cdots + \mathrm{I}^2\mathrm{R}$$

Dados de experimento com tomateiro em ambiente protegido, realizado em Quebec, Canadá, observaram que o uso do método CND-*clr* corrigiu algumas distorções na modelagem linear inerente à abordagem DRIS (PARENT et al., 1993).

Na literatura, outros estudos foram realizados empregando esse método CND-*clr* com culturas de grande valor econômico como cenoura (PARENT; DAFIR, 1992; PARENT et al., 1994b), batata (PARENT et al., 1994a), milho-doce (KHIARI et al., 2001a), eucalipto (SILVA et al., 2005), soja (URANO et al., 2006), milho (PARENT et al., 2009) e algodão (SERRA et al., 2010).

4.2.4.2 Relação log isométrica (CND-*ilr*)

A fim de obter abordagens mais eficientes e abrangentes, que possibilitem adquirir melhoria na interpretação do estado nutricional da planta, foi apresentada por Parent (2011) uma modificação ao método CND-*clr*. Essa nova proposta para o método CND, utiliza da metodologia de transformação de dados proposta por Egozcue et al. (2003), sendo por isso denominada de CND-*ilr*, pois envolve "*isometric log-ratio*" ou relação log-isométrica. Em trabalhos de Parent (2011), Hernandes et al. (2012), Parent et al. (2012), Parent et al. (2013a, 2013b), Modesto et al. (2014) e Rozane et al. (2015, 2016), observa-se essa transformação dos dados.

A abordagem CND-*clr* preserva a distância Euclidiana, mas gera *D* variáveis a partir da composição *D* partes, consequentemente mantendo informações redundantes que produz uma matriz de variância singular (MODESTO et al., 2014), ou seja, na abordagem CND-*clr* não permite utilizar o fator R (valor de enchimento) na elaboração da matriz, a fim de calcular a DM. Quanto à abordagem CND-*ilr*, esta não só se encaixa perfeitamente à geometria Euclidiana, mas também pode ilustrar hierarquicamente as relações de nutrientes como saldos binários organizados entre grupos de nutrientes (balanços) para descrever o sistema em estudo (PARENT, 2011), incorporando todas as variáveis, incluindo o valor de enchimento.

O objetivo é evitar a tendência numérica e a redundância inerente aos dados composicionais, reduzindo as correlações espúrias entre os componentes do tecido vegetal, no que diz respeito às distorções que ocorrem nas interpretações das análises de solo e de tecido vegetal, as quais são baseadas em *D-1* balanços, organizados ortogonalmente (AITCHISON, 1986; PEARSON, 1897; TANNER, 1949; CHAYES, 1960; EGOZCUE e PAWLOWSKY-GLAHN, 2005). A análise multivariada com valores de concentração ou sua transformação log, pode, assim, levar a resultados tendenciosos e até mesmo sem sentido (FILZMOSER et al., 2009). Tais redundâncias podem ser evitadas utilizando a abordagem CND-*ilr* (EGOZCUE et al., 2003; EGOZCUE; PAWLOWSKY-GLAHN, 2006; MATEU-FIGUERAS et al., 2011).

O CND-*ilr* foi considerado o método mais adequado para a condução de análises multivariadas, conforme demonstrado em Filzmoser e Hron (2011), e o conceito foi testado com sucesso em estudos de nutrição de plantas (PARENT, 2011; PARENT et al., 2012). As coordenadas CND-*ilr* podem descrever as interações de nutrientes ao longo de eixos ortonormais, assim como o balanço de nutrientes, como distância entre nutrientes nos mesmos eixos. Assim, a análise de tecidos e os métodos de interpretação podem proporcionar um diagnóstico do equilíbrio nutricional das plantas a partir dos diferentes estádios de desenvolvimento (HERNANDES, 2012). Segundo Hernandes (2012), essa abordagem é imparcial, não tendenciosa (D-1 graus de liberdade), e preserva todas as informações contidas no vetor composicional (incluindo o valor de enchimento – R), graças ao princípio da ortogonalidade.

Desta forma, Modesto et al. (2014), a partir de estudos realizados por Parent (2011), apresentaram o conceito CND-*ilr*, que se baseia em arranjos de balanços ortonormais (*ad hoc*) (Figura 3).

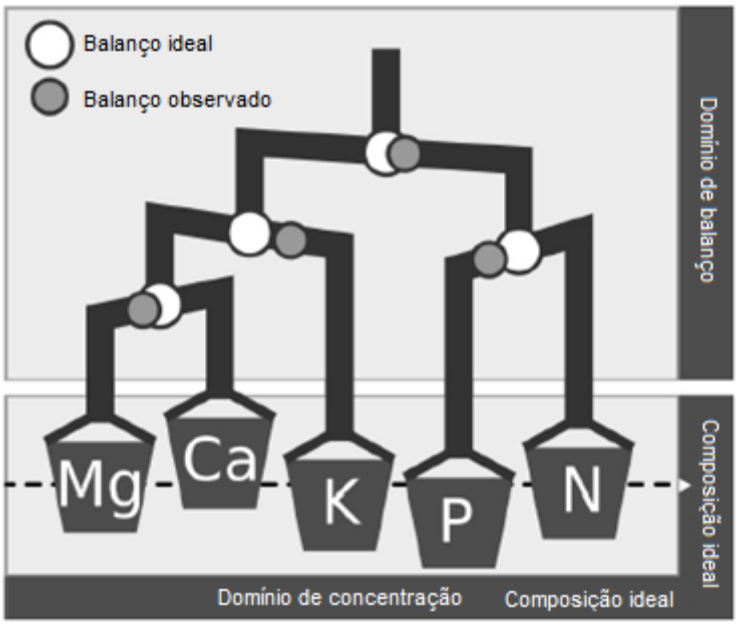


Figura 3. Exemplo de esquema de balanço a partir da composição nutricional, considerando os nutrientes Mg, Ca, K, P e N (MODESTO et al., 2014).

Tais balanços são computados como *D*-1 *ilr* ou contrastes entre dois componentes de subconjuntos não sobrepostos, como "*ilr",* elaborado por Egozcue et al. (2003) e Egozcue e Pawlowsky-Glahn (2005), como segue:

$$ilr_j = \sqrt{\frac{n_j^+ n_j^-}{n_j^+ + n_j^-}} ln \frac{g(c_j^+)}{g(c_j^-)}$$

na qual: n_j^+ é o número de componentes no numerador (r); n_j^- é o número de componentes no denominador (s); $g(c_j^+)$ é a média geométrica entre os componentes no numerador; e $g(c_j^-)$ é a média geométrica entre os componentes no denominador. O coeficiente $\sqrt{\frac{n_j^+ n_j^-}{n_j^+ + n_j^-}}$ permite balanços ortogonais normalizados em

balanços ortonormais. Os valores positivos de *ilr* indicam que o grupo denominador possui maior peso que o outro grupo, enquanto valores nulos indicam o mesmo peso. Contudo, no que diz respeito à elaboração dos balanços, vale ressaltar que há ainda a dificuldade na sua elaboração, não tendo, ainda, nenhum critério prático-teórico, a fim de auxiliar na interpretação dos resultados obtidos.

Como resultado da ortogonalidade, a DM pode ser calculada como o índice de desequilíbrio de nutrientes, a partir do espaço Euclidiano como segue (PARENT et al., 2013b):

$$DM = \sqrt{\left(ilr_j - ilr_j^*\right)^T COV^{-1}\left(ilr_j - ilr_j^*\right)}$$

na qual: ilr_j^* é a média; COV é a matriz de covariância da população de referência, isolada após o iterativo método Cate-Nelson (NELSON; ANDERSON, 1977), sendo que ilr_j^* e COV são recalculadas a cada passo até que o número de amostras VN (Verdadeiro Negativo) não se altere mais. O procedimento Cate-Nelson maximiza a soma dos quadrados entre duas partições da seguinte forma:

$$SS = \left[\left(\sum_{i=1}^{k} Y_i\right)^2 \Big/ k + \left(\sum_{j=k+1}^{n} Y_j\right)^2 \Big/ (n-k) \right] - CF$$

em que: Y é a produtividade; *k* é uma contagem elementar que começa com a primeira observação ordenada acima de *n*, o número total de observações; e *CF* é um fator de correção calculado como: $(\sum_{k=1}^{n} Y_k)^2/n$.

Ao final, são obtidos quadrantes em que cada partição é classificada como segue (PARENT et al., 2013b):

- Verdadeiro Negativo (VN): amostras com alta produtividade corretamente identificadas como equilibradas nutricionalmente (DM - abaixo do valor crítico). Estado nutricional adequado, classificada como “população de referência”.

- Falso Positivo (FP: erro tipo I): amostras com alta produtividade, incorretamente identificadas como desequilibradas nutricionalmente (DM acima do valor crítico). FP representa amostras com consumo de luxo de nutrientes ou alta eficiência de uso dos mesmos.
- Falso Negativo (FN: erro tipo II): amostras com baixa produtividade, incorretamente identificadas como equilibradas nutricionalmente (DM abaixo do valor crítico). FN representa amostras com influência em outros fatores de produção (por exemplo, clima) sobre o desempenho da cultura.
- Verdadeiro Positivo (VP): amostras com baixa produtividade corretamente identificadas como desequilibradas nutricionalmente (DM abaixo do valor crítico). Pelo menos um nutriente está causando o desequilíbrio.

Posteriormente são calculados os seguintes fatores:

- Acurácia (Acc): é a probabilidade de uma observação ser corretamente identificada como equilibrada ou desequilibrada, calculado por: (VN + VP) / (VN + FN + VP + FP).
- Sensibilidade (ou *Sensitivity*): é a probabilidade de uma observação de baixo desempenho estar desequilibrada, calculada por: VP / (VP + FN).
- Valor Predito Positivo (*PPV*) é a probabilidade de um diagnóstico de desequilíbrio retornar a um baixo desempenho, calculado por: VP / (VP + FP).
- A Especificidade (ou *Specificity*) é a probabilidade de uma observação de elevada produtividade ser equilibrada, calculado por: VN / (VN + FP).
- O Valor Predito Negativo (*NPV*) é a probabilidade de um diagnóstico equilibrado retornar a um alto desempenho, calculado por: VN / (VN + FN).

O *NPV*, a Acurácia e a Sensibilidade identificam o potencial de deficiência de nutrientes e indicam que alguns outros fatores podem limitar o crescimento da planta. O *PPV* e a Especificidade detectam potenciais problemas relacionados ao consumo de luxo de nutriente ou contaminação.

Na literatura, são encontrados estudos empregando esse método em algumas culturas de valor econômico como mirtilo-vermelho (MARCHAND et al., 2013; PARENT et al., 2013a), goiaba (HERNANDES, 2012; PARENT et al., 2012;

PARENT et al., 2013a), kiwi (PARENT et al., 2013a), laranja (PARENT et al., 2013a; ROZANE et al., 2015), maçã (PARENT, 2011; PARENT et al., 2013a) e manga (PARENT et al., 2013a; MODESTO et al., 2014; SOUZA et al., 2016).

5 REFERÊNCIAS

AITCHISON, J. **The statistical analysis of compositional data**. London: Chapman e Hall. 1986. 416 p.

ALVARENGA, M. A. R.; COELHO, F. S**. Valor nutricional**. In: ALVARENGA, M. A. R. Tomate: Produção em campo, em casa de vegetação e em hidroponia. Lavras: Editora UFLA, 2013. 455 p.

ALVARENGA, M. A. R. **Tomate: Produção em campo, em casa de vegetação e em hidroponia**. Lavras: Editora UFLA, 2013. 455 p.

BATAGLIA, O. C.; DECHEN, A. R.; SANTOS, W .R. **Diagnose visual e análise de plantas**. In: DECHEN, A. R; BOARETTO, A. E.; VERDADE, F. C. Adubação, Produtividade e Ecologia . Campinas: Fundação Cargill, 1992. p. 369-393.

BATES, T. E. Factors affecting critical nutrient concentrations in plants and their evaluation: a review. **Soil Science,** Baltimore, v. 112, p. 116-130, 1971.

BEAUFILS, E. R. **Diagnosis and recommendation integrated system (DRIS).** Pietermaritzburg: University of Natal, (Soil Science Bulletin, 1). 1973. 132 p.

BEVERLY, R.B. Modified DRIS method for simplified nutrient diagnosis of 'Valencia' oranges. **Journal of Plant Nutrition**, New York, US, v.10, p. 1401-1408, 1987.

BORLÓG, P. Diagnosis of sugar beet (Beta vulgaris L.) nutrient imbalance by DRIS and CND-clr methods at two stages during early growth. **Journal of Plant Nutrition**, New York, US, v. 39, n. 1, p. 1-16., 2016.

CEPEA, 2011: **Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada. Hortaliças: Gestão sustentável.** Revista Hortifruti Brasil. Piracicaba, Brazil. jun, 2011.

CHAYES, F. On correlation between variables of constant sum. **Journal of Geophysical Research.** Washington, US, n. 65, p. 4185–4193, 1960.

DIAS, J. R. M.; PEREZ, D. V.; SILVA, L. M.; LEMOS, C. O.; WADT, P. G. S. Normas DRIS para cupuaçuzeiro cultivado em monocultivo e em sistemas agroflorestais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, n. 45, p. 64-71, 2010.

EGOZCUE, J. J.; PAWLOWSKY-GLAHN, V. Groups of parts and their balances in compositional data analysis. **Mathematical Geology**, New York, n. 37, p. 795-828, 2005.

EGOZCUE, J. J.; PAWLOWSKY-GLAHN, V.; MATEU-FIGUERAS, G.; BARCELÓ-VIDAL, C. Isometric log-ratio transformations for compositional data analysis. **Mathematical Geology**, New York, n. 35, p. 279-300, 2003.

EGOZCUE, J. J.; PAWLOWSKY-GLAHN, V. **"Simplicial geometry for compositional data, "in Compositional Data Analysis: Theory and Applications**, eds PAWLOWSKY-GLAHN, V.; MATEU-FIGUERAS, G.; BUCCIANTI, A. (London: Geological Society of London), 2006. p. 145–160.

FAYAD, J. A.; FONTES, P. C. R.; CARDOSO, A. A.; FINGER, F. L.; FERREIRA, F. A. Absorção de nutrientes pelo tomateiro cultivado sob condições de campo e de ambiente protegido. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 20, n. 1, p. 90-94, 2002.

FILZMOSER, P.; HRON, K.; REIMANN, C. Principal component analysis for compositional data without liers. **Environmetrics,** Chichester, Inglaterra , GB, v. 20, p. 621–632, 2009.

FILZMOSER, P; HRON, K. "Robust statistical analysis," in **Compositional Data Analysis: Theory and Applications**, eds V. Pawlowsky-Glahnand A. Buccianti (New York, NY: John Wiley and Sons), p. 59–72, 2011. doi: 10.1002/9781119976462.ch5.

FONTES, R. R. **Solo e nutrição da planta. Tomate para processamento industrial**. SILVA, J. B. C.; GIORDANO, L. de B. (Orgs). Brasília: EMBRAPA, 2000. p. 22-35.

GOTT, R. M.; DE AQUINO, L. A.; DE CARVALHO, A. M.; DOS SANTOS, L. P.; NUNES, P. H.; COELHO, B. S. Índices diagnósticos para interpretação de análise foliar do milho. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande, PB, v.18, n.11, 2014.

HERNANDES, A. **Diagnose nutricional da goiabeira**. 111 f. Tese (Doutorado em Produção Vegetal). Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Unesp, Câmpus de Jaboticabal. 2012.

HERNANDES, A.; PARENT, S.-É.; NATALE, W.; PARENT, L. E. Balancing guava nutrition with liming and fertilization. **Revista Brasileira de Fruticultura,** Jaboticabal - SP, n. 34, p. 1224–1234, 2012.

HOLLAND, D. A. The interpretation of leaf analysis. **Journal of Horticultural Sciences**, Bangalore, India, v. 41, p. 311-329, 1966.

IBGE, 2015: Instituito Brasileiro de Estatística. **Censo Agropecuário**. Disponível em: http://www.ibge.gov.br/estadosat/. Acesso em: 08 ago. 2016.

IEA, 2016: Análise de Indicadores do Agronegócio. **Previsões e Estimativas das Safras Agrícolas do Estado de São Paulo**, Ano Agrícola 2015/16. Análise de Indicadores do Agronegócio 11. 2016.

KHIARI, L.; PARENT, L. E.; TREMBLAY, N. Selectingthe high-yield subpopulation for diagnosing nutrient imbalance in crops. **Agronomy Journal**. Madison, Wis., US, n. 93, p. 802-808. 2001a.

KHIARI, L.; PARENT, L. E.; TREMBLAY, N. PRODUCTION AGRICULTURE. **Agronomy Journal,** Madison, Wis., US, n. 93, 2001b.

KURIHARA, C. H. **Demanda de nutrientes pela soja e diagnose de seu estado nutricional**. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 2004. 101p. (Tese de Doutorado)

MACY, P. The quantitative mineral nutrient requirements of plants. **Plant Physiology**, Bethesda, v. 11, n. 4, p. 749–764, 1936.

MALAVOLTA, E. **Manual de Nutrição Mineral de Plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres. 2006.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. Piracicaba – SP: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1989. 201 p.

MARCHAND, S.; PARENT, S. É.; DELAND, J. P.; PARENT, L. É. Nutrient signature of quebec (Canada) cranberry (*Vaccinium macrocarpon* AIT.). **Revista Brasileira de Fruticultura**., Jaboticabal - SP, v. 35, n. 1, p. 199-209, 2013.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. San Diego: Academic Press, 1995. 889 p.

MATEU-FIGUERAS, G.; PAWLOWSKY-GLAHN, V.; EGOZCUE, J. J. "**The principle of working on coordinates**", in Compositional Data Analysis: Theory and Applications, eds PAWLOWSKY-GLAHN, V.; BUCCIANTI, A. (New York: John Wiley and Sons), 2011. p. 31–42.

MODESTO, V. C.; PARENT, SE. E.; NATALE, W.; PARENT, L. E. Foliar Nutrient balance standards for Maize (*Zea mays* L.) at high-yield level. **American Journal of Plant Sciences**, n. 5, p. 497-507, 2014.

NELSON, L. A.; ANDERSON, R. L. **Partitioning of soil test-crop response probability.** p. 19–38. In M. Stelly (Ed.) Soil testing: Correlating and interpreting the analytical results. ASA Spec. Publ. 29. ASA, Madison, WI. 1977.

PARENT, L. E.; KARAM, A.; VISSER, S. A. Compositional Nutrient Diagnosis (CND) of the greenhouse tomato. **HortScience.** Alexandria, Va., US, n. 28, p. 1041–1042. 1993.

PARENT, L. E.; CAMBOURIS, A. N.; MUHAWENIMANA, A. Multivariate diagnosis of nutrient imbalance in potato crops. **Soil Science Society of America Journal,** Madison, Wis., US, v. 58, p. 1432-1438, 1994a.

PARENT, L. E.; DAFIR, M. A theorical concept of compositional nutrient diagnosis. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, Va., US, v. 117, p. 239-2 42. 1992.

PARENT, L. E. Diagnosis of the nutrient compositional space of fruit crops. **Revista Brasileira de Fruticultura**. Jaboticabal – SP, v. 33, p. 321-334, 2011.

PARENT, L. E.; ISFAN, D.; TREMBLAY, N.; KARAM, A. Multivariate nutrient diagnosis of the carrot crop. **Journal of the American Society for Horticultural Science.** Alexandria, Va., US, v. 119, n. 3, p. 420-426, 1994b.

PARENT, L. E. ; NOWAKI, R. H. D. ; PARENT, S. E. ; CECÍLIO FILHO, A. B.; NATALE, W. **Avaliação do estado nutricional de hortaliças pelo método CND**. In: Renato de Mello Prado; Arthur Bernardes Cecílio Filho. (Org.). Nutrição e adubação de hortaliças. 1ed. Jaboticabal-SP: FUNEP, v. 1, p. 393-418, 2016.

PARENT, S-E.; PARENT, L. E.; EGOZCUE, J. J. ROZANE, D-E.; HERNANDES, A.; LAPOINTE, L.; HEBERT-GENTILE, V.; NAESS, K.; MARCHAND, S. LAFOND, J.; JUNIOR MATTOS, D.; BARLOW, P.; NATALE, W. The plant ionome revisited by the nutrient balance concept. **Methods Article**., Published: 22 March, 2013a.

PARENT, S.-É.; PARENT, L. E.; ROZANE D. E., HERNANDES A.; NATALE W. **"Nutrient balance as paradigm of plant and soil chemometrics,"** in Soil Fertility, ed. Issaka R. N., editor. (New York: InTech Publications), p. 83–114, 2012.

PARENT, S. E.; PARENT, L. E.; ROZANE, D. E.; NATALE, W. Plant ionome diagnosis using sound balances: case study with mango (*Mangifera Indica*). **Frontiers in Plant Science**, Lausanne. v. 4, n. 449, p. 1-12, 2013b.

PAULA, J. A. A.; MEDEIROS, J. F. de; MIRANDA, N. O.; OLIVEIRA, F. A. de; LIMA, C. J. G. S. Metodologia para determinação das necessidades nutricionais de melão e melancia. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, PB, v.15, n. 9, p. 911–916, 2011.

PEARSON, K. Mathematical contributions to the theory of evolution. On a form of spurious correlation which may arise when indices are used in the measurement of organs. Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B, **Biological Sciences.** v. 60, p. 489–498, 1897.

REIS JUNIOR, R. dos A.; MONNERAT, P. H. DRIS norms validation for sugarcane crop. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, DF, v. 38, p. 379-385, 2003.

ROZANE, D. E.; MATTOS JUNIOR, D.; PARENT, S. É.; NATALE, W. PARENT, L. E. Meta-analysis in the selection of groups in varieties of citrus. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**. New York, US, v. 46, p.1948–1959, 2015.

ROZANE, D. E.; PARENT, L. E.; NATALE, W. Evolution of the predictive criteria for the tropical fruit tree nutritional status. **Científica** (Jaboticabal), v. 44, p. 102-112, 2016.

SERRA, A. P.; MARCHETTI, M. E.; TADEU, A. C.; NOVELINO, J. O.; CAMACHO, M. A. Desenvolvimento de normas DRIS e CND e avaliação do estado nutricional da cultura do algodoeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 34, n. 1, p. 97-104, 2010.

SILVA, G. G. C. da; NEVES, J. C. L.; ALVAREZ, V. H.; LEITE, F. P. Avaliação da universalidade das normas DRIS, M-DRIS e CND. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 29, p. 755-761, 2005.

SOUZA, A. M.; VICINI, L. **Análise multivariada da teoria à prática**. Santa Maria: Departamento de Estatística UFSM. 2005.

SOUZA, H. A.; PARENT, S. É.; ROZANE, D. E.; AMORIM, D. A.; MODESTO, V. C.; NATALE, W.; PARENT, L. E. Guava Waste to Sustain Guava (*Psidium guajava*) Agroecosystem: Nutrient “Balance” Concepts. **Frontiers in Plant Science**. v. 7, p. 1252. 2016.

TANNER, J. Fallacy of per-weight and per-surface are a standards, and their relation to spurious correlation. **Journal of Applied Physiology**. Washington, US, v. 2, p. 1–15, 1949.

TOLOSANA-DELGADO, R., and VAN DEN BOOGART, K. G. “Linear models with compositions in R” in **Compositional Data Analysis: Theory and Applications**, eds V. Pawlowsky-Glahn and A. Buccianti (New York: John Wiley and Sons), p. 356–371. 2011.

TRANI, P. E.; RAIJ, B. van. In.; RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. (Ed.), 1997. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. Campinas: Instituto Agronômico/Fundação IAC (Boletim Técnico, 100), SP, Brasil, 2.ed. p: 45-47. 1997.

ULRICH, A.; HILLS, F. J. **Principles and practices of plant analysis**. In: Soil testing and plant analysis . Madison: SSSA, 1967. p.11-24. (Special Publications Series).

ULRICH, A. Physiological bases for assessing the nutritional requirements of plants. **Annual Review of Plant Physiology**. Calif., US, v. 3, p. 207-228, 1952.

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**. Brasília, DF, v. 4, p. 1421-1428, 2006.

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

WADT, P. G. S.; NOVAIS, R. F. de; ALVAREZ VENEGAS, V. H.; BARROS, N. F. de; DIAS, L. E. Variações no estado nutricional de eucaliptos por influência do material genético e da idade da árvore. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v.34, p.1797-1803, 1999.

WADT, P. G. S. **Os métodos da chance matemática e do sistema integrado de diagnose e recomendação (DRIS) na avaliação nutricional de plantios de eucalipto**. 1996. 123p. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Viçosa, MG.

WADT, P. G. S.; SILVA, D. J. Acurácia do diagnóstico nutricional de pomares de mangueiras obtido por três fórmulas DRIS. **Revista Brasileira de Pesquisa Agropecuária**, v.45, p.1180-1188. 2010.

WADT, P. G. S.; SILVA, L. M.; CATANI, V. Nosrmas DRIS multivariadas para avaliação do estado nutricional de pimento longa. Rio Branco: EMBRAPA, Acre, 2012 6 p. (Circulaar Técnica, 60).

WALWORTH, J. L.; SUMNER, M. E. The Diagnosis and Recommendation Integrated System (DRIS). **Advances in Soil Science**. v. 6, p. 149–188, 1987.

CAPÍTULO 2 – FAIXAS DE SUFICIÊNCIA E NORMAS DRIS PARA AVALIAÇÃO DO ESTADO NUTRICIONAL DO TOMATEIRO PARA INDÚSTRIA

RESUMO – O tomateiro (*Solanum lycopersicum* L.) para processamento industrial é uma das hortaliças de maior valor econômico no Brasil e, a avaliação do estado nutricional tem sido uma ferramenta amplamente utilizada na busca de maiores produtividades, melhor relação custo/benefício e redução do impacto ambiental. Objetivou-se com a pesquisa estabelecer as faixas de suficiência de nutrientes e as normas do Sistema Integrado de Diagnose e Recomendação (DRIS) para a cultura do tomate destinado à indústria. Para atingir os objetivos propostos, realizou-se a diagnose foliar e a avaliação da produtividade em 224 áreas, entre produtores e experimentos, no período de 2013 a 2015, no centro-oeste de São Paulo, Brasil, que é a principal região produtora de tomate para indústria do Estado. As normas DRIS foram estabelecidas seguindo as relações bivariadas log-transformadas. As faixas de suficiência obtidas para a população de alta produtividade (produtividade entre 108 e 176 t ha^{-1}) para os macronutrientes (g kg^{-1}) foram: N, 40 – 47; P, 2,8 – 4,0; K, 21 – 31; Ca, 10 – 24; Mg, 5,1 – 6,8 e S, 4,1 – 7,7, e micronutrientes (mg kg-1): B, 25 – 38; Cu, 76 – 210; Fe, 174 – 341; Mn, 122 – 207 e Zn, 55 – 115.

Palavras-chave: Diagnose foliar, estado nutricional, nutrição mineral de plantas, *Solanum lycopersicum*.

ABSTRACT – The tomato (*Solanum lycopersicum* L.) for industrial processing is one of the vegetables with the highest economic value in Brazil, and the evaluation of nutritional status has been a widely used tool in the search for greater productivity, better cost / benefit relation and reduction of environmental impact .The objective of this study was to establish the sufficiency ranges of nutrients and standards of the Diagnosis and Recommendation Integrated System (DRIS) for industrial tomato production. Foliar diagnoses and yields for 224 producing areas and experiments were carried out from 2013 to 2015 in the main tomato-producing region of the state of São Paulo, Brazil. DRIS standards were established following log-transformed bivariate relationships. The sufficiency ranges for high-yielding areas (between 108 and 176 t ha^{-1}) for macronutrients (g kg^{-1}) were: N, 40 – 47; P, 2.8 – 4.0; K, 20 – 30; Ca, 10 – 23; Mg, 5.1 – 6.8 and S, 4.1 – 7.7, and micronutrients (mg kg^{-1}): B, 25 – 38; Cu, 75 – 209; Fe, 173 – 340; Mn, 122 – 206 and Zn, 55 – 115.

Keywords: Foliar diagnosis, nutritional status, mineral nutrition of plant, *Solanum lycopersicum*.

1 INTRODUÇÃO

O tomate (*Solanum lycopersicum* L.) para indústria está entre os produtos do agronegócio brasileiro e mundial de maior importância. O Brasil chegou a atingir, em 2015, uma produção de, aproximadamente, 4,3 milhões de toneladas, sendo o Estado de São Paulo responsável por 20 % desta (IBGE, 2015).

No Brasil, os solos são altamente intemperizados e possuem baixa fertilidade natural (EMBRAPA, 2006). Com isso, a adubação é obrigatória para alcançar produtividades economicamente viáveis, em especial no cultivo de hortaliças, que geralmente necessitam de elevadas doses de fertilizantes, representando cerca de 18 % do total do custo de produção do tomate para processamento (CEPEA, 2011). Para uma produtividade de 94,8 t ha^{-1}, o cultivo do tomate destinado à industrialização absorve, cerca de N – 211, P- 30, K – 264, Ca – 195, Mg - 40, S – 49, Fe – 3,2, Mn - 2,1, Zn – 1,6 e B – 0,7 kg ha^{-1}, sendo que do total, os frutos exportam 70% do N e P, 80% do K, 4% do Ca, 20% do Mg, 23% do S, 63% do Fe, 25% do Zn, 3% do Mn e 3,5% do Cu (FAYAD et al., 2002).

Dessa forma, torna-se imprescindível a busca de um manejo de adubação mais equilibrado e com menores riscos ao ambiente. Para tanto, tem-se a análise foliar, como ferramenta para a avaliação do estado nutricional e como complemento à análise de solo.

Contudo, os métodos tradicionais de avaliação do estado nutricional, como o nível crítico (NC) e a faixa de suficiência (FS) (ULRICH; HILLS, 1967), são univariados e desconsideram as interações entre os nutrientes (MALAVOLTA et al., 1997). O Sistema Integrado de Diagnose e Recomendação (DRIS), proposto por Beaufils (1973), considera as relações bivariadas (entre dois nutrientes); esse método permite classificar os elementos essenciais e apontá-los como limitantes por excesso ou por deficiência, justificando sua ampla utilização (URANO et al., 2006; CAMACHO et al., 2012), além disso, é capaz de ordenar os nutrientes em sua ordem de limitação e importância naquele momento (CRESTE, 2008).

Em se tratando do tomateiro para processamento, as FS, como a de Trani e Raij (1997), foram propostas há muito tempo, para sistemas de baixa produtividade (30 - 50 t ha^{-1}), considerada boa para aquela época, mas que não reflete a média

atual do estado de São Paulo, que é de 80 t ha^{-1} (IEA, 2016). Logo, é possível inferir que as FS de nutrientes do tomateiro para processamento possam estar desatualizadas, não refletindo as atuais praticas de condução, manejo e tão pouco produtividade. Ademais, não foram encontradas normas DRIS para a avaliação do estado nutricional de tomate para indústria para o estado de São Paulo.

A realização do presente trabalho teve como objetivo estabelecer a FS de nutrientes e as normas DRIS para a cultura do tomate para indústria.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Amostras foliares e produtividades foram obtidas em 224 áreas, durante as safras agrícolas de 2013, 2014 e 2015. Destas 224 áreas, 65 são oriundas de produtores rurais e 159 de experimentos.

2.1 Campos de produção

Para as entradas oriundas de campos de produção, foram percorridas propriedades rurais do Estado de São Paulo, produtoras de tomate para indústria nos municípios de Álvares Florence, Amélio de Campos, Andradina, Barretos, Birigui, Borborema, Guaíra, Ituverava, Miguelópolis, Monte Alto, Novo Horizonte, Paulo de Faria, Pongaí, Reginópolis, Sabino, Sales, Volta Grande e Votuporanga.

Buscando maior amplitude e representatividade no que diz respeito ao tipo de solo, fertilidade (baixa, média, alta e muito alta, segundo indicação de Raij et al., 1997) e, consequentemente, de teores foliares e produtividade, procurou-se contemplar no banco de dados a maior diversidade de tecnologia empregada atualmente na condução do tomate para indústria, no Brasil.

Os solos dos talhões amostrados foram classificados como Argissolo Vermelho e Latossolo Vermelho-Amarelo, sendo este com maior predominância. A região avaliada que contempla os municípios indicados no presente estudo possuem clima semelhante, sendo todos classificados como tropical, Aw (Köppen-Geiger, 1948), com estação seca entre os meses de março e agosto e período chuvoso bem

definido. As informações de temperatura média e precipitação acumulada (média dos municípios) estão apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 - Temperatura média e precipitação acumulada para o período de coleta de amostras foliares e produtividade, entre 2013 e 2015 e dos últimos dez anos.

Mês	2013	2014	2015	Últimos dez anos
		Temperatura (ºC)		
Abril	23,2	24,6	30,9	24,1
Maio	21,3	21,9	28,0	21,8
Junho	21,5	22,2	28,1	21,1
Julho	20,1	21,0	27,8	21,5
Agosto	27,8	29,3	31,8	29,3
Setembro	28,9	31,0	32,7	30,2
Outubro	28,6	32,4	34,4	21,1
		Precipitação (mm)		
Abril	60,9	66,6	37,9	65,1
Maio	144,0	9,3	63,3	54,1
Junho	50,6	0,2	19,2	26,5
Julho	5,3	18,4	59,7	37,6
Agosto	6,8	0,0	5,3	15,8
Setembro	65,8	71,5	138,3	59,8
Outubro	89,1	22,0	87,9	102,9

Fonte: INMET (2017).

Os híbridos de tomate de crescimento determinado amostrados nos experimentos e campos de produção para a avaliação do estado nutricional foram: ‘H9553’, ‘U2006’, ‘HMX7883’, ‘Acangatá', 'AP529', 'AP533', 'H9889', 'BA5630', 'Milagro', 'Umbopoq', 'HMX7885' e 'HMX7889'. Os espaçamentos da cultura variaram de 1,20-1,25 m entre linhas, e tendo como padrão o espaçamento de 0,25 m entre plantas. Em todos os campos de produção, a irrigação foi realizada por pivô central e os controles de pragas, doenças e plantas daninhas seguiram as recomendações para a cultura, com base nas indicações de Alvarenga (2013). Em todas as áreas foi realizado o transplante de mudas.

2.2 Experimentos de tomate

As 159 observações oriundas da pesquisa foram obtidas de cinco experimentos, conduzidos nos municípios de Guaíra e Barretos, SP.

2.2.1 Experimentos com doses de fósforo (P)

Três experimentos foram conduzidos, em áreas com distintas concentrações de P. Em solo de baixa (< 25 mg dm^{-3}) e alta (> 60 mg dm^{-3}) concentração de P (TRANI et al., 1997), foram consideradas as doses de 0, 200, 400, 600, 800 e 1000 kg P_2O_5 ha^{-1}. Em solo com alta concentração de P, foram seis doses (0, 150, 300, 450, 600 e 750 kg P_2O_5 ha^{-1}). A fonte de P foi o superfosfato triplo (45 % P_2O_5). Os experimentos foram instalados sob delineamento experimental de blocos casualizados, sendo cada parcela composta por três linhas de cultivo de 6 m, espaçados em 1,25 m entre linhas e 0,25 m entre plantas. Como área útil, foi considerada a linha central descartando 0,5 m das extremidades, totalizando 20 plantas.

Foram utilizadas mudas de tomateiro para indústria, cultivar Heinz 9553, cultivadas em bandejas de isopor com 128 células, sendo transplantadas quando atingiram quatro folhas definitivas, em solo classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo (EMBRAPA, 2013). O solo da área experimental apresentou 520, 290 e 190 g kg^{-1} de areia, silte e argila, respectivamente. O experimento foi realizado no município de Barretos que apresenta clima Aw (clima tropical com inverno seco), com temperatura máxima, mínima e média é de 29,5ºC, 18,5ºC e 24,2ºC, respectivamente, com precipitação média anual de 1.228 mm (INMET, 2017). Utilizou-se de irrigação por aspersão via pivô central, com lâminas de água variando conforme os estádios vegetativos da cultura e os tratos culturais seguindo a recomendação de Alvarenga (2013).

Após aração e gradagem da área, sulcos foram abertos para aplicação, de forma combinada, de 30 kg ha^{-1} de N e 60 kg ha^{-1} de K_2O (TRANI et al, 1997), nas

fontes ureia e cloreto de potássio, assim como as doses de P, conforme cada tratamento. A adubação de cobertura foi realizada segundo Trani et al. (1997).

2.2.2 Experimento com doses de nitrogênio (N) e potássio (K)

Um experimento avaliando doses de N e K foi conduzido em Barretos, SP. O delineamento experimental utilizado foi de blocos ao acaso, em esquema fatorial 4 x 5, com quatro repetições. Os tratamentos constituíram de 4 doses de N (0, 60, 120 e 180 kg ha^{-1}) e cinco doses de K_2O (0, 100, 200, 300 e 400 kg ha^{-1}). As fontes utilizadas para o fornecimento de N e K foram ureia (45% de N) e cloreto de potássio (58 % de K_2O), respectivamente. As doses de P_2O_5 no plantio foi 360 kg ha^{-1}, utilizando como fonte de P o superfosfato simples, segundo Trani et al. (1997), de acordo com a análise de solo. Nos tratamentos com aplicação de N e K, foram aplicados 30 e 100 kg ha^{-1} de N e K_2O, respectivamente, no plantio. As quantidades restantes da adubação de N e K de cada tratamento foram aplicadas em cobertura, parceladas em quatro vezes e em quantidades iguais, aos 14, 28, 42 e 56 dias após o transplantio das mudas de tomateiro.

As unidades experimentais foram constituídas por três fileiras de plantas, com 9 m de comprimento, o espaçamento entre fileiras de 1,2 m e 0,25 m entre plantas, com 36 plantas por fileiras, totalizando 108 plantas por unidade experimental. A área útil de unidade experimental foi constituída pela fileira central, desprezando-se 0,5 m de cada extremidade.

As mudas de tomateiro foram produzidas em bandejas com substrato comercial, utilizando sementes da cultivar Heinz 9553. Este híbrido foi desenvolvido pela companhia Heinz *Seeds*, sendo um dos genótipos mais cultivados no país e em diversas regiões do mundo. Apresenta crescimento determinado, maturação concentrada, podendo levar de 110 a 120 dias para atingir a sua maturação (GIORDANO et al., 2000; BITTAR et al., 2011).

Previamente à instalação dos experimentos em campo, foi realizada a amostragem do solo para fins da análise química de fertilidade e granulometria. A amostragem de solo foi realizada coletando-se, com trado, 20 amostras simples na profundidade de 0 a 20 cm e então homogeneizadas em um recipiente limpo,

formando uma amostra composta. A partir desta foi retirada uma subamostra de 250 cm^3 de solo, para fazer a análise química e física.

A calagem foi realizada com base na análise de solo e de acordo com a recomendação indicada para a cultura do tomateiro rasteiro (TRANI et al., 1997).

Utilizou-se de irrigação por aspersão via pivô central, com lâminas de água variando conforme os estádios vegetativos da cultura e os tratos culturais seguindo a recomendação de Alvarenga (2013).

2.2.3 Experimento com doses de potássio (K)

Um experimento avaliando doses de potássio foi desenvolvido em Barretos, SP, Brasil, em Latossolo Bermelho-Amarelo (EMBRAPA, 2013), com 11 tratamentos, que corresponderam às doses de K_2O (0, 50, 100, 150, 200, 250, 300, 350, 400, 450 e 500 kg ha^{-1}) e com três repetições. O mesmo foi organizado em delineamento experimental de blocos casualizados, sendo cada parcela composta por três linhas de cultivo de 6 m, espaçados em 1,25 m entre linhas e 0,25 m entre plantas. Como área útil, foi considerada a linha central descartando 0,5 m das extremidades, totalizando 20 plantas.

Foram utilizadas mudas de tomateiro para indústria, cultivar Heinz 9553, cultivadas em bandejas de isopor com 128 células, sendo transplantadas quando atingiram quatro folhas definitivas.

Após aração e gradagem da área, sulcos foram abertos para aplicação, de forma combinada, de 30 kg ha^{-1} de N e 360 kg ha^{-1} de P_2O_5, nas fontes ureia e superfosfato simples, respectivamente, segundo Trani et al. (1997), de acordo com a análise de solo. A adubação de cobertura foi realizada segundo Trani et al. (1997).

Utilizou-se de irrigação por aspersão via pivô central, com lâminas de água variando conforme os estádios vegetativos da cultura e os tratos culturais seguindo a recomendação de Alvarenga (2013).

2.3 Coleta da folha diagnose e determinação da produtividade (campos de produção e experimentos)

Cada área de produção e unidade experimental participou com uma amostra composta para avaliação do estado nutricional. Segundo indicação de Fontes (2000), no início do florescimento, foi coletada a quarta folha a partir do tufo apical, de trinta plantas. As folhas foram lavadas com solução de detergente neutro 1 ml L^{-1}, enxague em água corrente, imersão em solução de HCl 30 mL L^{-1} por 15 segundos e, finalmente, com dois enxagues em água destilada, sendo posteriormente postas a secar em estufa de circulação forçada de ar a 65±5ºC até massa constante. Em seguida, as amostras foram moídas em moinho tipo Willey (com malha de 2 mm) e analisadas, segundo Miyazawa et al. (2009), para a determinação dos teores de nutrientes (N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn e Zn). As produtividades foram obtidas colhendo-se 45 m^2, para os campos de produção, e estimando-se as equivalentes para 1 há. Para os experimentos foram consideradas as áreas úteis.

2.4 Estabelecimento do Sistema Integrado de Diagnose e Recomendação – DRIS

A partir dos teores de nutrientes do tecido foliar e das produtividades, as normas DRIS foram estabelecidas seguindo as relações bivariadas log-transformadas, indicadas por Beverly (1987):

$$\text{In} = f\left(\frac{A}{B} - \frac{a}{b}\right)/s$$

em que: In é o índice de um dado nutriente; A/B e a/b são relações duais log-transformadas entre os nutrientes *A* e *B* de um dado de amostra e da média da população de referência, respectivamente; s é o desvio-padrão das relações duais (a/b) log-transformadas da população de referência. Nesse caso, as relações diretas são somadas e as indiretas subtraídas.

Os dados discrepantes, ou *Outliers* (ponto que está muito distante das demais observações em uma série estatística) foram excluídos e em seguida, realizou-se o teste de normalidade (Shapiro-Wilk), como indicam Hair et al (1995).

Posteriormente, a base de dados foi dividida em população de alta produtividade (população de referência), cuja produção de tomate foi superior à média, mais 0,25 do desvio-padrão (GUINDANI et al., 2009) e com produtividade, abaixo desta.

O índice de balanço nutricional (IBN) foi obtido somando-se os valores em módulo, obtidos para os 11 nutrientes. O quociente entre o valor do IBN e o número de nutrientes analisados definiu o índice de balanço nutricional médio (IBN_m).

A ordem de limitação (OL) foi obtida a partir da média aritmética dos índices da população de baixa produtividade, para cada nutriente.

Para cada nutriente, a fim obter a FS, depois de igualado o índice de nutriente (In) = 0 (Ponto de equilíbrio - PE), foi adicionado a esse valor (PE_{In0}), 2/3 do desvio-padrão dos teores do nutriente na população de referência (KURIHARA et al., 2013; SOUZA et al., 2015). O NC correspondeu ao limite inferior do teor da FS.

As análises estatísticas foram realizadas com auxilio do *software* R (VAN DEN BOOGAART et al., 2013).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após a exclusão dos *outliers* (14 amostras), o total de dados da população de tomateiro para indústria foi de 210 amostras. Desse total, 36 %, ou seja, 75 áreas representaram a subpopulação de alta produtividade (referência nutricional), cuja produtividade variou de 108 a 176 t ha^{-1}. A subpopulação de baixa produtividade foi constituída por 64 %, ou seja, 135 áreas com produtividades entre 23,9 e 107 t ha^{-1} (Tabela 2). Os dados utilizados apresentaram normalidade pelo teste de Shapiro-Wilk (W= 0,9968, p = 0,95).

A ausência de baixos e predominância de altos CV (PIMENTEL-GOMES; GARCIA, 2002), para ambas as subpopulações (Tabela 2), pode ser explicada por haver muitos fatores que estão influenciando na produtividade, e que são levados em consideração; diferentemente da condição de experimentos que avaliam

resposta da planta a fertilização, e que neste caso, dado ao isolamento do fator, espera-se por baixa variabilidade. Assim, é desejável que haja alta variabilidade no banco de dados.

Após calculadas as normas DRIS, estabelecidas a partir das relações bivariadas, estão apresentadas na Tabela 3.

O valor de IBN_m apresentou ajuste linear em relação a produtividade de todas as áreas, com baixo coeficiente de correlação de Pearson, r = 0,04 (R^2 = 0,19) (DANCEY; REIDY, 2006), no entanto, apresentando efeito significativo ($p \leq 0,01$) (Tabela 4) e, de modo similar, para os índices IP, IFe, IZn ($p \leq 0,01$) e IN e ICu ($p \leq 0,05$). Assim, a baixa correlação dos índices nutricionais com a produtividade sugere que além da ocorrência nutricional, há outros fatores influenciando a produtividade (WADT et al., 2016).

Contudo, todos os modelos estatísticos apresentaram ajustes entre os índices DRIS e seus respectivos teores significativos (Tabela 5), e com coeficientes de determinação (R^2) > 0,77, exceção observada para N. Na mesma Tabela 5 são observados os teores do NC.

O N foi o nutriente com menor coeficiente de determinação (R^2 = 0,65) (Tabela 5). Os valores de R^2 mais baixos para este nutriente, comparado aos nutrientes avaliados, também foram observados para as culturas do arroz (GUINDANI et al., 2009), laranjeira (CAMACHO et al., 2012), videira (TEIXEIRA et al., 2015) e palma-de-óleo (MATOS et al., 2016), de 0,20, 0,79, 0,02 e 0,60 respectivamente. Entre os macronutrientes, o S foi o elemento que apresentou o maior R^2 (0,92), enquanto para os micronutrientes o maior valor foi para o Cu e Zn (0,97).

As faixas de teores foliares considerados adequados para o tomateiro rasteiro, em função da metodologia de amostragem da folha-diagnóstica e como método de interpretação univariado, estão apresentadas na Tabela 6.

Tabela 2 - Estatística descritiva realizada para as variáveis produtividade e nutrientes em 210 áreas de tomateiro para processamento industrial, safras 2014 e 2015.

	População de Alta				População de Baixa			
	Produtividade (t ha^{-1})							
	108,00	176,00	17,45	13,35	23,90	107,00	19,13	22,87
Nutriente	Mínimo	Máximo	[1]s	[2]CV	Mínimo	Máximo	[1]s	[2]CV
	g kg^{-1}							
N	29,62	56,18	5,05	11,27	31,48	64,96	5,65	12,45
P	2,41	5,21	0,69	19,27	2,05	7,33	1,00	27,97
K	14,05	42,50	5,62	21,58	16,86	50,00	8,00	30,73
Ca	10,17	48,88	12,06	42,67	8,79	46,63	7,87	27,84
Mg	3,36	9,62	1,11	18,22	2,68	9,14	1,35	22,02
S	2,12	12,19	1,90	32,43	1,80	13,58	3,08	51,97
	mg kg^{-1}							
B	20,71	52,93	7,25	22,11	19,58	84,97	10,55	32,51
Cu	24,00	370,96	78,27	52,46	19,20	534,93	111,16	80,39
Fe	112,80	654,07	110,18	39,68	97,97	915,63	132,20	42,62
Mn	90,47	299,20	51,57	29,59	85,73	487,88	69,56	38,36
Zn	21,00	172,09	33,57	31,80	19,00	193,77	48,59	57,71

[1]s – desvio-padrão; [2]CV – coeficiente de variação (%)

Considerando a FS de Trani e Raij (1997), como exemplo (Tabela 6), os macronutrientes tiveram variação média de 139% e os micronutrientes de 108 %, comparados às FS obtidas pelo método DRIS (Tabela 5). Para todos os nutrientes, as FS obtidas pelo método DRIS apresentaram menores amplitudes que as observadas pelos métodos descritos nas Tabelas 5 e 6.

Tabela 3 - Normas DRIS para a cultura do tomateiro para processamento industrial, obtidas a partir dos teores de nutrientes nas amostras foliares da subpopulação de alta produtividade.

N /	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
$^1\bar{x}$	1,10	0,24	0,24	0,87	0,90	0,14	-0,46	-0,76	-0,58	-0,34
^{2}s	0,08	0,10	0,18	0,09	0,17	0,10	0,29	0,17	0,14	0,22
P /	N	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
$^1\bar{x}$	-1,10	-0,86	-0,87	-0,23	-0,20	-0,96	-1,56	-1,87	-1,68	-1,44
^{2}s	0,08	0,11	0,20	0,13	0,17	0,12	0,32	0,17	0,17	0,25
K /	N	P	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
$^1\bar{x}$	-0,24	0,86	0,00	0,63	0,66	-0,10	-0,70	-1,01	-0,82	-0,58
^{2}s	0,10	0,11	0,20	0,11	0,21	0,11	0,33	0,16	0,17	0,25
Ca /	N	P	K	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
$^1\bar{x}$	-0,24	0,87	0,00	0,63	0,67	-0,10	-0,69	-1,00	-0,81	-0,58
^{2}s	0,18	0,20	0,20	0,14	0,24	0,19	0,36	0,27	0,28	0,25
Mg /	N	P	K	Ca	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
$^1\bar{x}$	-0,87	0,23	-0,63	-0,63	0,03	-0,73	-1,33	-1,63	-1,45	-1,21
^{2}s	0,09	0,13	0,11	0,14	0,18	0,12	0,28	0,20	0,17	0,20
S /	N	P	K	Ca	Mg	B	Cu	Fe	Mn	Zn
$^1\bar{x}$	-0,90	0,20	-0,66	-0,67	-0,03	-0,76	-1,36	-1,67	-1,48	-1,24
^{2}s	0,17	0,17	0,21	0,24	0,18	0,18	0,25	0,22	0,19	0,22
B /	N	P	K	Ca	Mg	S	Cu	Fe	Mn	Zn
$^1\bar{x}$	-0,14	0,96	0,10	0,10	0,73	0,76	-0,60	-0,91	-0,72	-0,48
^{2}s	0,10	0,12	0,11	0,19	0,12	0,18	0,30	0,16	0,15	0,20
Cu /	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Fe	Mn	Zn
$^1\bar{x}$	0,46	1,56	0,70	0,69	1,33	1,36	0,60	-0,31	-0,12	0,12
^{2}s	0,29	0,32	0,33	0,36	0,28	0,25	0,30	0,36	0,21	0,21
Fe /	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Mn	Zn
$^1\bar{x}$	0,76	1,87	1,01	1,00	1,63	1,67	0,91	0,31	0,19	0,42
^{2}s	0,17	0,17	0,16	0,27	0,20	0,22	0,16	0,36	0,20	0,29
Mn /	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Zn
$^1\bar{x}$	0,58	1,68	0,82	0,81	1,45	1,48	0,72	0,12	-0,19	0,24
^{2}s	0,14	0,17	0,17	0,28	0,17	0,19	0,15	0,21	0,20	0,20
Zn /	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn
$^1\bar{x}$	0,34	1,44	0,58	0,58	1,21	1,24	0,48	-0,12	-0,42	-0,24
^{2}s	0,22	0,25	0,25	0,25	0,20	0,22	0,20	0,21	0,29	0,20

$^1\bar{x}$ - média; ^{2}s – desvio-padrão

Tabela 4 - Modelos estatísticos das relações entre a produtividade e os índices DRIS, para os nutrientes avaliados na cultura do tomateiro para processamento industrial.

Índices DRIS	Equação[I]	R^2
	g kg^{-1}	
IN	0,4042-0,0028x*	0,02
IP	0,8236-0,0058x**	0,04
IK	0,6476–0,0049x*	0,03
ICa	-0,5361+0,0029x^{ns}	0,01
IMg	0,1073–0,0016x^{ns}	0,01
IS	-0,1994+0,002x^{ns}	0,01
	mg kg^{-1}	
IB	0,0953–0,0006x^{ns}	0,01
ICu	-0,7775+0,0056x*	0,02
IFe	0,8413–0,0062x**	0,04
IMn	0,2445-0,0011x^{ns}	0,01
IZn	-1,6507+0,0125x**	0,10
IBN_m	1,0438–0,0036x**	0,19

[I]Modelo estatístico da análise de regressão dos índices de nutrientes com a produtividade; *, ** e ^{ns}: Teste F significativo a 5% ($p \leq 0,05$), 1% ($p \leq 0,01$) e não significativo, respectivamente

No que diz respeito aos valores de referência, a amplitude observada pode ser atribuída às diferentes condições edafoclimáticas e de cultivares na determinação das faixas (BATAGLIA et al., 2004) (Tabela 5). Em contrapartida, o método DRIS, de forma geral, reduziu a amplitude das FS dos nutrientes. Resultados semelhantes foram obtidos para a cultura do algodoeiro (SERRA et al., 2010), laranjeira (CAMACHO et al., 2012), cana-de-açúcar (SANTOS et al., 2013), feijoeiro (PARTELLI et al., 2014), atemoia (SANTOS; ROZANE, 2017), entre outros. Segundo Camacho et al. (2012), as faixas normais de nutrientes estimadas a partir do método DRIS, normalmente, apresentam menores amplitudes em contraste às FS obtidas por meio de experimentos de calibração. Essa menor amplitude pode ser vista como um ponto positivo, em razão do maior rigor na interpretação dos resultados dos teores foliares, diminuindo a possibilidade de obtenção de baixas

produtividades, mas, com teores adequados de nutrientes na planta (SERRA et al., 2010).

Tabela 5 - Modelos estatísticos das relações entre os teores e os índices DRIS, nível crítico (NC) e faixas de suficiência (FS) para macronutrientes e micronutrientes do tomateiro para processamento industrial.

Nutrientes	Equação[I]	R^2	NC	FS
				g kg^{-1}
N	IN = -3,7233+0,0853x **	0,65	40,0	40,0 – 47,3
P	IP = -4,6277+1,7007x-0,1026x^2**	0,87	2,8	2,8 – 4,0
K	IK = -3,3847+0,1421x-0,0004x^2**	0,91	20,8	20,8 – 30,5
Ca	ICa = -2,7705+0,1408x+0,0012x^2**	0,91	10,4	10,4 – 23,9
Mg	IMg = -2,6238+0,4411x**	0,77	5,1	5,1 – 6,8
S	IS = -1,9959+0,3393x**	0,92	4,1	4,1 – 7,7
				mg kg^{-1}
B	IB = -3,2243+0,1177x-0,0005x^2**	0,85	25,3	25,3 – 38,0
Cu	ICu = -2,4259+0,0213x-0,00003x^2**	0,97	75,5	75,7 – 209,5
Fe	IFe = -2,9643+0,0141x-0,00001x^2**	0,93	173,5	173,5 – 340,7
Mn	IMn = -2,6822+0,0196x-0,00002x^2**	0,84	122,0	122,0 – 206,8
Zn	IZn = -3,4554+0,0491x-0,0001x^2**	0,97	55,2	55,2 – 115,1

[I]Modelo estatístico da análise de regressão dos teores de nutrientes com os seus respectivos índices DRIS; *, ** e nd: Teste F significativo a 5% ($p \leq 0,05$), 1% ($p \leq 0,01$) e não significativo, respectivamente.

Os nutrientes como P, K, Ca e B (Tabela 5) apresentaram limites inferiores menores que os citados no método univariado (Tabela 6). O mesmo foi observado para N, P, K, Ca, Mg, S, B e Mn para o limite superior. O nutriente que mais se aproximou dos valores de referência foi o Mg, seguido do S e do P. Para os valores de NC, o P, o K e o B foram os únicos nutrientes com menor valor comparado a referência (MALAVOLTA et al., 1989), com 19, 48 e 75 % de variação respectivamente.

Tabela 6 - Teores foliares de macronutrientes e micronutrientes considerados adequados para o tomateiro para processamento industrial, em função da folha-diagnóstica, pelo método da faixa de suficiência (FS) e pelo nível crítico (NC).

Nutrientes	NC	FS		
		g kg^{-1}		
N	[1]30	[2]40 – 60	[3]30	[4]40 – 60
P	3,5	4 – 8	3,5	3 – 6
K	40	30 – 50	40 – 60	30 – 50
Ca	14 - 18	14 – 40	14 – 16	10 – 30
Mg	4	4 – 8	4	4 – 6
S	3	3 – 10	3	5 – 10
		mg kg^{-1}		
B	100	30 – 100	50 – 70	30 – 100
Cu	20	5 – 15	10 – 15	5 – 15
Fe	150	100 – 300	500 – 700	40 – 200
Mn	100	50 – 250	250 – 400	40 – 250
Zn	50	30 – 100	60 – 70	20 – 50

[1]Malavolta et al. (1989): Florescimento pleno ou primeiro fruto maduro, coletando-se a 4ª folha a partir da ponta: 40 plantas; [2]Trani e Raij (1997): Folha com pecíolo, por ocasião do 1º fruto maduro: 25 plantas; [3]Malavolta et al. (1997): Florescimento pleno ou primeiro fruto maduro, coletando-se a 4ª folha a partir da ponta: 40 plantas; [4]Silva e Giordano (2000): Florescimento pleno, coletando-se a 4ª folha a partir da ponta da planta.

A OL para esse banco de dados, segundo a metodologia DRIS, foi: Zn > Ca > P > Fe > Cu > K > Mn > N > Mg > B e > S (Figura 1). Contudo, não foi possível identificar um critério para determinar qual nutriente estaria em equilíbrio, ou seja, com teor adequado. Dessa forma, considerou-se o IBNm desse grupo de amostras, segundo a média aritmética da soma dos índices em módulo. Sendo assim, os nutrientes que influenciaram na produtividade do tomate para indústria foram: Zn (deficiência) > Ca (deficiência) > P (excesso) > Fe (excesso) > Cu (deficiência) e > K (excesso).

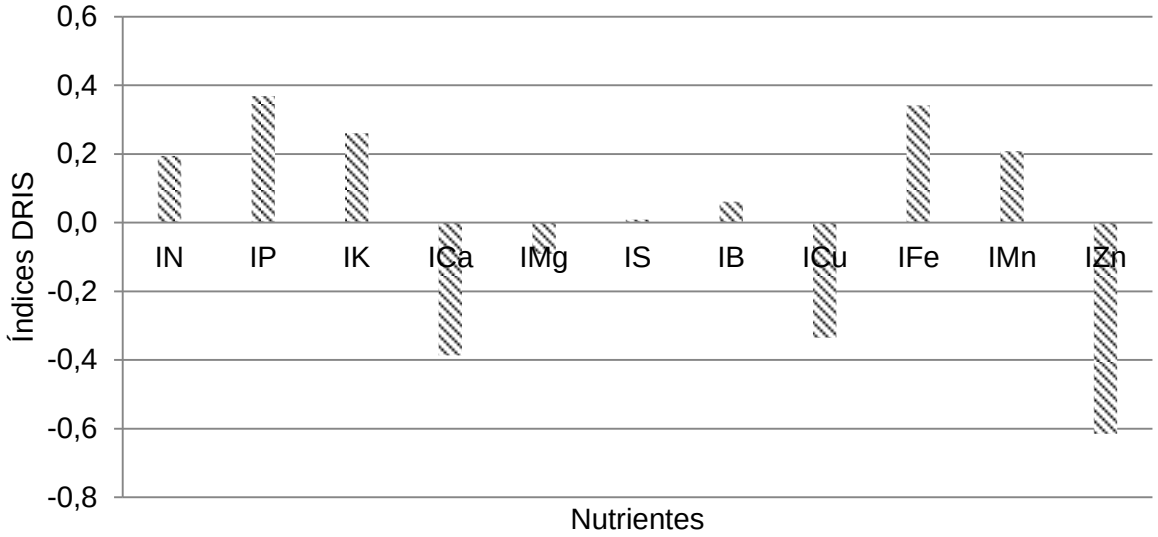


Figura 1. Ordem de limitação para os nutrientes N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn e Zn, a partir da população de baixa produtividade, segundo a metodologia DRIS, em tomateiro para indústria. Índice positivo e negativo representam excesso e deficiência, respectivamente.

O Zn foi o primeiro a nutriente a limitar a produtividade do tomateiro, o que pode ser atrelado ao excesso de P (terceiro nutriente a limitar a produtividade). A interção Zn x P é apresentada na literatura como antagônica (OLSEN, 1972). Dessa forma, em razão dos solos brasileiros serem naturalmente pobres em Zn (REIS JR; MARTINEZ, 2002) e o P, considerado como o segundo nutriente que mais limita a produtividade em solos tropicais (NOVAIS; SMYTH, 1999; SALCEDO, 2006), comumente são utilizadas doses excessivas de P (800 – 1000 kg de P_2O_5) nas lavouras comerciais (FELTRIM et al., 2016).

O Ca, por deficiência, foi o segundo nutriente a influenciar na produtividade do tomate para indústria. A deficiência desse nutriente pode ser associada ao excesso de K, (sexto e último nutriente a limitar a produtividade da presente cultura), haja vista a importância do efeito antagônico que ocorre entre este e o Ca (PREVOT; OLLAGNIER, 1956). Embora o Ca seja dominante do complexo de troca compara ao K, (OLIVEIRA et al., 2001), essa ordem de dominância pode ser invertida quando altas doses de K são administradas no manejo de adubação da cultura

(MALAVOLTA, 2006; PRADO, 2008), uma vez que este é o nutriente é o mais acumulado e exportado pela cultura do tomate (FAYAD et al., 2002).

O Fe e o Cu foram os micronutrientes de influenciaram de forma negativa na produtividade, sendo o quarto e quinto na OL, respectivamente. O Fe envolve a gênese do solo (MARCHAND et al., 2013), uma vez que os óxidos de ferro em termos quantitativos, é o segundo maior grupo de minerais na fração argila, nos solos altemente intemperizados, como os Latossolos (SCHWERTMANN; HERBILLON, 1992). Quanto ao Cu, este está mais relacionado com a aplicação de fungicidas (MARCHAND et al., 2013).

4 CONCLUSÃO

O método de estimativa do potencial de resposta à adubação não foi eficiente em definir o diagnóstico nutricional das áreas avaliadas.

As faixas de suficiência obtidas na população de alta produtividade (entre 108 e 176 t ha^{-1}) para macronutrientes (g kg^{-1}) foram: N, 40 – 47; P, 2,8 – 4,0; K, 21 – 31; Ca, 10 – 24; Mg, 5,1 – 6,8 e S, 4,1 – 7,7, e micronutrientes (mg kg^{-1}): B, 25 – 38; Cu, 76 – 210; Fe, 174 – 341; Mn, 122 – 207 e Zn, 55 – 115.

5 REFERÊNCIAS

ALVARENGA, M. A. R. **Tomate: Produção em campo, em casa de vegetação e em hidroponia**. Lavras: Editora UFLA, 2013, 455 p.

BATAGLIA, O. C.; QUAGGIO, J. A.; SANTOS, W. R. dos; ABREU, M. F. de. Diagnose nutricional do cafeeiro pelo DRIS variando-se a constante de sensibilidade dos nutrientes de acordo com a intensidade e frequência de resposta na produção. **Bragantia**. Campinas, SP, v. 63, p. 253-263, 2004.

BEAUFILS, E. R. **Diagnosis and recommendation integrated system (DRIS)**. Pietermaritzburg: University of Natal (Soil Science Bulletin, 1). 1973.

BEVERLY, R. B. Comparison of DRIS and alternative nutrient diagnostic methods for soybean. **Journal of Plant Nutrition**. New York, US, v. 10, p. 901-920, 1987.

CAMACHO, M. A.; SILVEIRA, M. V.; CAMARGO, R. A.; NATALE, W. Faixas normais de nutrientes pelos métodos ChM, DRIS e CND e nível crítico pelo método de distribuição normal reduzida para laranjeira-pera. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**. v. 46, p. 193-200, 2012.

CEPEA, 2011: **Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada. Hortaliças: Gestão sustentável.** Revista Hortifruti Brasil. Piracicaba, Brazil. jun, 2011.

CRESTE, J. E. **Perspectivas do DRIS em culturas de alta produtividade**. In: PRADO, R. M.; ROZANE, D. E.; VALE, D. W.; CORREIA, M. A. R.; SOUZA, H. A. Nutrição de plantas aplicada a sistemas de alta produtividade. Jaboticabal: Capes/Fundunesp, 2008. p. 83-104.

DANCEY, C. P.; REIDY, J. **Estatística sem matemática para psicologia usando SPSS para Windows**. Porto Alegre: Artes Médicas, RS, Brasil, 608 p. 2006.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 2 ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3.ed. Brasília, 2013. 353p.

FAYAD, J. A.; FONTES, P. C. R.; CARDOSO, A. A.; FINGER, F. L.; FERREIRA, F. A. Absorção de nutrientes pelo tomateiro cultivado sob condições de campo e de ambiente protegido. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 20, n. 1, p. 90-94, 2002.

FELTRIM, A. L.; WAMSER, A. F.; SUZUKI, A.; MÜELLER, S.; BECKER, W. F.; HAHN, L. Fontes de nitrogênio e potássio aplicados via fertirrigação na cultura do tomate. **Agropecuária Catarinense**, Florianópolis, v. 29, n. 2, p. 63-67, 2016.

FONTES, R. R. **Solo e nutrição da planta. Tomate para processamento industrial**. In: SILVA, J. B. C.; GIORDANO, L. de B. (Orgs). Brasília: EMBRAPA, DF, Brasil, p.22-35. 2000.

GUINDANI, R. R. H. P.; ANGHINONI, I.; NACHTIGALL, G. R. DRIS na avaliação do estado nutricional do arroz irrigado por inundação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo.** Viçosa, MG, v. 33, p. 109-118, 2009.

HAIR, J. F. Jr.; ANDERSON, R. E.; TATHAM, R. L.; BLACK, W. C. **Multivariate Data Analysis (with readings)**, 4 ed. Prentice Hall, Englewood Cliffs, 1995.

INMET, 2017: **Instituto Nacional de Meteorologia** 2017. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep> Acessado em 10 de julho de 2017.

IBGE, 2015: Instituto Brasileiro de Estatística. **Censo Agropecuário**. Disponível em: http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/indicadores/agropecuaria/lspa/defaulttab.shtm. Acessado em 20 novembro, 2016.

IEA, 2016: Análise de Indicadores do Agronegócio. **Previsões e Estimativas das Safras Agrícolas do Estado de São Paulo**, Ano Agrícola 2015/16. Análise de Indicadores do Agronegócio 11. 2016.

KURIHARA, C. H.; VENEGAS, V. H. A.; NEVES, J. C. L.; NOVAIS, R. F. de, STAUT, L. A. Faixas de suficiência para teores foliares de nutrientes em algodão e em soja, definidas em função de índices DRIS. **Revista Ceres**. Viçosa, MG, v. 60, p. 412-419, 2013.

MALAVOLTA, E. **Manual de Nutrição Mineral de Plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres. 2006.

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

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. Piracicaba, SP: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, Brasil, 201 p. 1989.

MARCHAND, S.; PARENT, S. É.; DELAND, J. P.; PARENT, L. É. Nutrient signature of quebec (Canada) cranberry (*Vaccinium macrocarpon* AIT.). **Revista Brasileira de Fruticultura**., Jaboticabal - SP, v. 35, n. 1, p. 199-209, 2013.

MATOS, G. S. B.; FERNANDES, A. R.; PAULO WADT, G. S. Níveis críticos e faixas de suficiência de nutrientes derivados de métodos de avaliação do estado nutricional da palma-de-óleo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, DF, v. 51, p. 1557-1567, 2016.

MIYAZAWA, M.; PAVAN, M. A.; MURAOKA, T.; CARMO. C. A. F. S.; MELO, W. J. **Análises químicas de tecido vegetal.** In.: SILVA, F.C. (Org.). Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes. 2 ed. Brasília, DF: EMBRAPA, 2009, p. 191-233.

NOVAIS, R. F.; SMITH, T. J. **Fósforo em solo e planta em condições tropicais**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 1999. 399 p.

OLIVEIRA, F. A.; CARMELLO, Q. A. C.; MASCARENHAS, H. A. A. Disponibilidade de potássio e suas relações com cálcio e magnésio em soja cultivada em casa-de-vegetação. **Scientia Agricola**, Piracicaba, SP, v. 58, n. 2, p. 329-335, 2001.

OLSEN, S. R. Micronutrient interactions. In: MORTVEDT, J. J.; GIORDANO, P. M.; LINDSAY, W. L. (Ed.) **Micronutrients in agriculture.** Madison: SSSA, 1972. p. 243-264.

PARENT, L. E.; NATALE, W.; ZIADI, N. Compositional nutrient diagnosis of corn using the Mahalanobis distance as nutrient imbalance index. **Canadian Journal of Soil Science**. Ottawa, CA, v. 89, p. 383-390, 2009.

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

PIMENTEL-GOMES, F.; GARCIA, C. H. **Estatística aplicada a experimentos agronômicos e florestais: exposição com exemplos e orientações para uso de aplicativos**. Piracicaba: FEALQ, 2002. 309 p.

PRADO, R. M. **Nutrição de Plantas**. 1.ed. São Paulo: Esditora UNESP, 2008. v.1. 300p.

PREVOT, P.; OLLAGNIER, M. **Methode d'utilisation dudiagnostic foliarie**. In: Plant analysis and fertilizer problems Paris: I.H.R.O, p. 177-192. 1956.

RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. Campinas: Instituto Agronômico/Fundação IAC (Boletim Técnico, 100), SP, Brasil, 2.ed. pp: 45-47. 1997.

REIS JUNIOR, R. dos A.; MARTINEZ, H. E. P. Adição de Zn e absorção, translocação e utilização de Zn e P por cultivares de cafeeiro. **Scientia Agricola**, Piracicaba, SP, v. 59, n. 3, p. 537-542, 2002.

SANTOS, E. F.; DONHA, R. M. A.; MAGNO, C. M. Faixas normais de nutrientes em cana-de-açúcar pelos métodos CHM, DRIS e CND e nível crítico pela distribuição normal reduzida. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, MG, v. 37, p. 1651-1658, 2013.

SALCEDO, I. H. Biogeoquímica do fósforo em solos da região semi-árida do NE do Brasil. **Revista Geografia**, Recife, v. 23, p. 108-123, 2006.

SANTOS, E. M. H.; ROZANE, D. E. DRIS standard and normal ranges of foliar nutrients for the culture of ‘Thompson’ atemoya. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.47, 04, e20160613, 2017

SCHWERTMANN, U.; HERBILLON, A.J. Some aspects of fertility associated with the mineralogy of highly weathered tropical soils. In: LAL, R.; SANCHEZ, P. Myths and science of soils of the tropics. Madison, **Soil Science Society America**, p.47-59, 1992.

SERRA, A. P.; MARCHETTI, M. E.; VITORINO, A. C. T.; NOVELINO, J. O.; CAMACHO, M. A. Determinação de faixas normais de nutrientes no algodoeiro pelos métodos ChM, CND e DRIS. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, MG, v. 34, p. 97-104, 2010.

SILVA, J. B. C.; GIORDANO, L. B. (eds), 2000. **Tomate para processamento industrial**. Brasília: EMBRAPA, DF, Brasil, 32 p. 2000.

SOUZA, H. A.; ROZANE, D. E.; AMORIM, D. A.; DIAS, M. J.; MODESTO, V. C.; NATALE, W. Assessment of Nutritional Status of Guava Seedlings using Preliminary DRIS Norms and Sufficiency Ranges. **Journal of Plant Nutrition**. New York, US, v. 38, p. 1611-1618, 2015.

TEIXEIRA, L. A. J.; TECCHIO, M. A.; MOURA, M. F.; TERRA, M. M.; PIRES, E. J. P. Normas DRIS e níveis críticos de nutrientes para videira 'Niagara rosada' cultivada na região de Jundiaí-SP. **Revista Brasileira de Fruticultura**. Jaboticabal - SP, v. 37, p. 247-255, 2015.

TRANI, P. E.; RAIJ, B. van. In.; RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. (Ed.), 1997. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. Campinas: Instituto Agronômico/Fundação IAC (Boletim Técnico, 100), SP, Brasil, 2.ed. p. 45-47. 1997.

WADT, P. G. S. Relationships between soil class and nutritional status of coffee plantations. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, MG, v. 29, p. 227-234, 2005.

WADT P. G. S.; TRASPADINI E. I. F.; MARTINS R. A.; MELO F. B.; OLIVEIRA I. J.; RODRIGUES J. E. L. F.; BASTOS, E. A.; ARAÚJO, S. M. B. (Ed.), 2016. **Medidas de acurácia na qualificação dos diagnósticos nutricionais: teoria e pratica**, In: Nutrição e Adubação de Hortaliças, 5th Brasil. Symp.Plant Nutrition at High Productivity Level, Eds. Prado R. M.; Filho A. B. C.; editors. (Jaboticaba: UNESP), p. 371–391. 2016.

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**. Brasília, DF, v. 4, p. 1421-1428, 2006.

VAN DEN BOOGAART, K. G.; TOLOSANA-DELGADO, R.; BREN, M. **'Compositions': compositional Data Analysis in R Package**. http://cran.r-project.org/package=compositions. 2013.

CAPÍTULO 3 – AVALIAÇÃO DO ESTADO NUTRICIONAL DO TOMATEIRO PARA INDÚSTRIA PELO MÉTODO CND-c*lr*

RESUMO - O tomate (*Solanum lycopersicum* L.) para indústria é uma culturada de grande expressão econômica no Brasil. A nutrição dessa hortaliça tem demonstrado ser um dos fatores mais limitantes na produção. Com isso, a avalição do estado nutricional, a partir na análise da folha diagnose, torna-se uma ferramenta imprecindível na busca de um manejo de adubação mais equilibrado, sustentável e com resultados satistafótios no que diz respeito à produtividade e ao meio ambiente. Com base do exposto, o presente trabalho foi realizado com o objetivo de estabelecer a faixa de suficiência de nutrientes e as normas nutricionais CND, fazendo uso da abordagem *clr*. Para atingir aos objetivos propostos, realizou-se a diagnose foliar e a avaliação da produtividade em 224 áreas, no período de 2013 a 2015, no centro-oeste de São Paulo, que é uma das principais regiões produtoras de tomate do Brasil. As faixas de suficiência obtidas na população de alta produtividade (produtividade entre 104,5 e 176 t ha^{-1}) para macronutrientes (g kg^{-1}) foram: N, 43 – 46; P, 3,2 – 3,6; K, 24 - 27; Ca, 25 - 34; Mg, 5,9 - 6,5 e S, 5,3 - 6,1, e micronutrientes (mg kg-1): B, 31- 36; Cu, 136 - 183; Fe, 228 - 301; Mn, 160 - 197 e Zn, 108 - 122. As normas, compreendidas pela média e desvio-padrão, para a cultura do tomate para processamento industrial, foram: *clr.*N - 2,86 e 0,29; *clr.*P – 0,29 e 0,15; *clr.*K – 2,29 e 0,14; *clr.*Ca – 2,36 e 0,44; *clr.*Mg – 0,88 e 0,16; *clr.*S – 0,81 e 0,19; *clr.*B - -4,36 e 0,17; *clr.*Cu - -2,86 e 0,44; *clr.*Fe - -2,32 e 0,34; *clr.*Mn - -2,70 e 0,28; *clr.*Zn - -3,11 e 0,17; e *clr.*R – 5,86 e 0,06.

Palavra-chave: Diagnose foliar, estado nutricional, nutrição mineral de plantas, relação log centralizada, *Solanum lycopersicum*.

ABSTRACT – The tomato (Solanum lycopersicum L.) for industry is a culture of great economic expression in Brazil. The nutrition of this vegetable has shown to be one of the most limiting factors in the production. With this, the improvement of nutritional status, based on the analysis of the diagnosis leaf, becomes an indispensable tool in the search for a more balanced, sustainable fertilization management with satisfactory results in terms of productivity and the environment. Based on the above, the present work was carried out with the objective of establishing the range of nutrient sufficiency and the nutritional standards CND, making use of the clr approach. In order to reach the proposed objectives, foliar diagnosis and productivity evaluation were performed in 224 areas, from 2013 to 2015, in the center-west of São Paulo, which is one of the main tomato producing regions of Brazil. The sufficiency ranges obtained in the high productivity population (yield between 104.5 and 176 t ha^{-1}) for macronutrients (g kg^{-1}) were: N, 43-46; P, 3.2-3.6; K, 24-27; Ca, 25-34; Mg, 5.9-6.5 and S, 5.3-6.1, and micronutrients (mg kg^{-1}): B, 31-36; Cu, 136-183; Fe, 228-301; Mn, 160-197 and Zn, 108-122.The standards (mean and standard deviation) for the tomato crop for industrial processing were: clr.N - 2,86 and 0,29; clr.P – 0,29 and 0,15; clr.K – 2,29 and 0,14; clr.Ca – 2,36 and 0,44; clr.Mg – 0,88 and

0,16; clr.S – 0,81 and 0,19; clr.B - -4,36 and 0,17; clr.Cu - -2,86 and 0,44; clr.Fe - -2,32 and 0,34; clr.Mn - -2,70 and 0,28; clr.Zn - -3,11 and 0,17; and clr.R – 5,86 and 0,06.

Keywords: Foliar diagnosis, nutritional status, mineral nutrition of plant, centered log ratios, *Solanum lycopersicum*.

1 INTRODUÇÃO

O tomate (*Solanum lycopersicum* L.) para indústria é uma das culturas do agronegócio brasileiro e mundial de maior importância econômica. Na safra brasileira de 2015, o Brasil chegou a produzir, aproximadamente, 4,3 milhões de toneladas de tomate processado e produtividade média de 65,9 t ha^{-1} (IBGE, 2015).

A nutrição mineral de plantas é vista como um dos fatores que mais limitam a produtividade dessa cultura, muito em função do seu rápido crescimento e acúmulo de matéria seca em um curto espado de tempo (PAULA et al., 2011) , característica marcante de uma olerícola. Aliado a isso, tem-se a baixa fertilidade natural dos solos brasileiros, devido aos processos de intemperismo (EMBRAPA, 2006), o que aumenta ainda mais as recomendações de fertilizantes, consequentemente, aumentando o custo de produção e os riscos ao ambiente. Os fertilizantes chegam a representar cerca de 18 % do custo de produção (CEPEA, 2011).

Nesse âmbito, estudos sobre a avaliação do estado nutricional, a partir da análise foliar, têm sido desenvolvidos a fim de complementar a análise de solo e nortear no manejo de adubação de uma forma mais equilibrada e racional (PARENT, 2011; CAMACHO et al., 2012).

No que tange os métodos de diagnose do estado nutricional, é divulgado amplamente o método DRIS (de Sistema Integrado de Diagnose e Recomendação) (BEAUFILS, 1973), a fim de sanar as deficiências dos métodos univariados (nível crítico - NC e faixa de suficiência - FS) (MACY, 1936; ULRICH, 1952; TRANI; RAIJ, 1997). Contudo, inconsistências ou falhas matemáticas nesse método têm sido observadas (ALKOSHAB et al., 1988; BEVERLY, 1987; PARENT; DAFIR, 1992), por exemplo, não identificando, de forma consistente, o nutriente responsável pelo aumento de produtividade como o mais limitante (BEVERLY, 1987).

Com isso, outro método foi desenvolvido, denominado de CND (Diagnose da Composição Nutricional) (PARENT; DAFIR, 1992), método multivariado, a fim de solucionar tais questões.

Os métodos multivariados têm sido mais recomendados para a avaliação do estado nutricional, pois este aumenta a estabilidade da interpretação das análises de tecido vegetal (HOLLAND,1966; PARENT; DAFIR, 1992; PARENT et al;, 2013b). Segundo Tolosana-Delgado e Van Den Boogart (2011), dados de composição nutricional são intrinsecamente de natureza multivariada, sendo que cada nutriente não pode ser interpretado sem ser relacionado aos outros. Os dados composicionais apresentam distribuição não-normal, dentro do intervalo de 0 e 100%, já que os limites inferior e superior do intervalo de confiança (IC) não podem ser negativos ou superiores a 100 % (DIAZ-ZORITA et al., 2002; WELTJE, 2002).

No método CND (PARENT; DAFIR, 1992), abordagem *clr*, com base dos estudos em análise de dados composicionais, realizados por Aitchison (1986), todo nutriente é ajustado a outro nutriente usando a média geométrica. Parent e Dafir (1992) puderam retificar as falhas matemáticas inerentes ao método DRIS, fazendo uso da metodologia CND-*clr*. Da mesma forma que em Parent et al. (1993), com dados de experimentos de tomateiro cultivado em ambiente protegido, na região de Quebec, Canadá, onde o método CND-*clr* corrigiu algumas distorções na modelagem linear ligadas ao DRIS. A abordagem CND-*clr*, tem sido aplicada e com resultado satisfatório, também, em outros trabalhos (PARENT et al., 1994a, b, 2009, 2013a, 2013b; HERNANDES et al., 2012). Ademais, não foram encontradas normas CND-*clr* para a avaliação do estado nutricional de tomate para indústria para o estado de São Paulo.

Com base do exposto, o presente trabalho foi realizado com o objetivo estabelecer as faixas adequadas para os nutrientes e as normas nutricionais, fazendo uso da metodologia CND-*clr*.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Amostras foliares e produtividades foram obtidas em 224 áreas, durante as safras agrícolas de 2013, 2014 e 2015. Destas 224 áreas, 65 são oriundas de produtores rurais e 159 de experimentos.

2.1 Campos de produção

Para as entradas oriundas de campos de produção, foram percorridas propriedades rurais do Estado de São Paulo, produtoras de tomate para indústria nos municípios de Álvares Florence, Amélio de Campos, Andradina, Barretos, Birigui, Borborema, Guaíra, Ituverava, Miguelópolis, Monte Alto, Novo Horizonte, Paulo de Faria, Pongaí, Reginópolis, Sabino, Sales, Volta Grande e Votuporanga.

Buscando maior amplitude e representatividade no que diz respeito ao tipo de solo, fertilidade (baixa, média, alta e muito alta, segundo indicação de Raij et al., 1997) e, consequentemente, de teores foliares e produtividade, procurou-se contemplar no banco de dados a maior diversidade de tecnologia empregada atualmente na condução do tomate para indústria, no Brasil.

Os solos dos talhões amostrados foram classificados como Argissolo Vermelho e Latossolo Vermelho-Amarelo, sendo este com maior predominância. A região avaliada que contempla os municípios indicados no presente estudo possuem clima semelhante, sendo todos classificados como tropical, Aw (Köppen-Geiger, 1948), com estação seca entre os meses de março e agosto e período chuvoso bem definido. As informações de temperatura média e precipitação acumulada (média dos municípios) estão apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 - Temperatura média e precipitação acumulada para o período de coleta de amostras foliares e produtividade, entre 2013 e 2015 e dos últimos dez anos.

Mês	2013	2014	2015	Últimos dez anos
		Temperatura (ºC)		
Abril	23,2	24,6	30,9	24,1
Maio	21,3	21,9	28,0	21,8
Junho	21,5	22,2	28,1	21,1
Julho	20,1	21,0	27,8	21,5
Agosto	27,8	29,3	31,8	29,3
Setembro	28,9	31,0	32,7	30,2
Outubro	28,6	32,4	34,4	21,1
		Precipitação (mm)		
Abril	60,9	66,6	37,9	65,1
Maio	144,0	9,3	63,3	54,1
Junho	50,6	0,2	19,2	26,5
Julho	5,3	18,4	59,7	37,6
Agosto	6,8	0,0	5,3	15,8
Setembro	65,8	71,5	138,3	59,8
Outubro	89,1	22,0	87,9	102,9

Fonte: INMET (2017).

Os híbridos de tomate de crescimento determinado amostrados nos experimentos e campos de produção para a avaliação do estado nutricional foram: ‘H9553’, ‘U2006’, ‘HMX7883’, ‘Acangatá', 'AP529', 'AP533', 'H9889', 'BA5630', 'Milagro', 'Umbopoq', 'HMX7885' e 'HMX7889'. Os espaçamentos da cultura variaram de 1,20-1,25 m entre linhas, e tendo como padrão o espaçamento de 0,25 m entre plantas. Em todos os campos de produção, a irrigação foi realizada por pivô central e os controles de pragas, doenças e plantas daninhas seguiram as recomendações para a cultura, com base nas indicações de Alvarenga (2013). Em todas as áreas foi realizado o transplante de mudas.

2.2 Experimentos de tomate

As 159 observações oriundas da pesquisa foram obtidas de cinco experimentos, conduzidos nos municípios de Guaíra e Barretos, SP.

2.2.1 Experimentos com doses de fósforo (P)

Três experimentos foram conduzidos, em áreas com distintas concentrações de P. Em solo de baixa (< 25 mg dm^{-3}) e alta (> 60 mg dm^{-3}) concentração de P (TRANI et al., 1997), foram consideradas as doses de 0, 200, 400, 600, 800 e 1000 kg P_2O_5 ha^{-1}. Em solo com alta concentração de P, foram seis doses (0, 150, 300, 450, 600 e 750 kg P_2O_5 ha^{-1}). A fonte de P foi o superfosfato triplo (45 % P_2O_5). Os experimentos foram instalados sob delineamento experimental de blocos casualizados, sendo cada parcela composta por três linhas de cultivo de 6 m, espaçados em 1,25 m entre linhas e 0,25 m entre plantas. Como área útil, foi considerada a linha central descartando 0,5 m das extremidades, totalizando 20 plantas.

Foram utilizadas mudas de tomateiro para indústria, cultivar Heinz 9553, cultivadas em bandejas de isopor com 128 células, sendo transplantadas quando atingiram quatro folhas definitivas, em solo classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo (EMBRAPA, 2013). O solo da área experimental apresentou 520, 290 e 190 g kg^{-1} de areia, silte e argila, respectivamente. O experimento foi realizado no município de Barretos que apresenta clima Aw (clima tropical com inverno seco), com temperatura máxima, mínima e média é de 29,5ºC, 18,5ºC e 24,2ºC, respectivamente, com precipitação média anual de 1.228 mm (INMET, 2017). Utilizou-se de irrigação por aspersão via pivô central, com lâminas de água variando conforme os estádios vegetativos da cultura e os tratos culturais seguindo a recomendação de Alvarenga (2013).

Após aração e gradagem da área, sulcos foram abertos para aplicação, de forma combinada, de 30 kg ha^{-1} de N e 60 kg ha^{-1} de K_2O (TRANI et al, 1997), nas fontes ureia e cloreto de potássio, assim como as doses de P, conforme cada tratamento. A adubação de cobertura foi realizada segundo Trani et al. (1997).

2.2.2 Experimento com doses de nitrogênio (N) e potássio (K)

Um experimento avaliando doses de N e K foi conduzido em Barretos, SP. O delineamento experimental utilizado foi de blocos ao acaso, em esquema fatorial 4 x

5, com quatro repetições. Os tratamentos constituíram de 4 doses de N (0, 60, 120 e 180 kg ha^{-1}) e cinco doses de K_2O (0, 100, 200, 300 e 400 kg ha^{-1}). As fontes utilizadas para o fornecimento de N e K foram ureia (45% de N) e cloreto de potássio (58 % de K_2O), respectivamente. As doses de P_2O_5 no plantio foi 360 kg ha^{-1}, utilizando como fonte de P o superfosfato simples, segundo Trani et al. (1997), de acordo com a análise de solo. Nos tratamentos com aplicação de N e K, foram aplicados 30 e 100 kg ha^{-1} de N e K_2O, respectivamente, no plantio. As quantidades restantes da adubação de N e K de cada tratamento foram aplicadas em cobertura, parceladas em quatro vezes e em quantidades iguais, aos 14, 28, 42 e 56 dias após o transplantio das mudas de tomateiro.

As unidades experimentais foram constituídas por três fileiras de plantas, com 9 m de comprimento, o espaçamento entre fileiras de 1,2 m e 0,25 m entre plantas, com 36 plantas por fileiras, totalizando 108 plantas por unidade experimental. A área útil de unidade experimental foi constituída pela fileira central, desprezando-se 0,5 m de cada extremidade.

As mudas de tomateiro foram produzidas em bandejas com substrato comercial, utilizando sementes da cultivar Heinz 9553. Este híbrido foi desenvolvido pela companhia Heinz *Seeds*, sendo um dos genótipos mais cultivados no país e em diversas regiões do mundo. Apresenta crescimento determinado, maturação concentrada, podendo levar de 110 a 120 dias para atingir a sua maturação (GIORDANO et al., 2000; BITTAR et al., 2011).

Previamente à instalação dos experimentos em campo, foi realizada a amostragem do solo para fins da análise química de fertilidade e granulometria. A amostragem de solo foi realizada coletando-se, com trado, 20 amostras simples na profundidade de 0 a 20 cm e então homogeneizadas em um recipiente limpo, formando uma amostra composta. A partir desta foi retirada uma subamostra de 250 cm^3 de solo, para fazer a análise química e física.

A calagem foi realizada com base na análise de solo e de acordo com a recomendação indicada para a cultura do tomateiro rasteiro (TRANI et al., 1997).

Utilizou-se de irrigação por aspersão via pivô central, com lâminas de água variando conforme os estádios vegetativos da cultura e os tratos culturais seguindo a recomendação de Alvarenga (2013).

2.2.3 Experimento com doses de potássio (K)

Um experimento avaliando doses de potássio foi desenvolvido em Barretos, SP, Brasil, em Latossolo Bermelho-Amarelo (EMBRAPA, 2013), com 11 tratamentos, que corresponderam às doses de K_2O (0, 50, 100, 150, 200, 250, 300, 350, 400, 450 e 500 kg ha^{-1}) e com três repetições. O mesmo foi organizado em delineamento experimental de blocos casualizados, sendo cada parcela composta por três linhas de cultivo de 6 m, espaçados em 1,25 m entre linhas e 0,25 m entre plantas. Como área útil, foi considerada a linha central descartando 0,5 m das extremidades, totalizando 20 plantas.

Foram utilizadas mudas de tomateiro para indústria, cultivar Heinz 9553, cultivadas em bandejas de isopor com 128 células, sendo transplantadas quando atingiram quatro folhas definitivas.

Após aração e gradagem da área, sulcos foram abertos para aplicação, de forma combinada, de 30 kg ha^{-1} de N e 360 kg ha^{-1} de P_2O_5, nas fontes ureia e superfosfato simples, respectivamente, segundo Trani et al. (1997), de acordo com a análise de solo. A adubação de cobertura foi realizada segundo Trani et al. (1997).

Utilizou-se de irrigação por aspersão via pivô central, com lâminas de água variando conforme os estádios vegetativos da cultura e os tratos culturais seguindo a recomendação de Alvarenga (2013).

2.3 Coleta da folha diagnose e determinação da produtividade (campos de produção e experimentos)

Cada área de produção e unidade experimental participou com uma amostra composta para avaliação do estado nutricional. Segundo indicação de Fontes (2000), no início do florescimento, foi coletada a quarta folha a partir do tufo apical, de trinta plantas. As folhas foram lavadas com solução de detergente neutro 1 ml L^{-1}, enxague em água corrente, imersão em solução de HCl 30 mL L^{-1} por 15 segundos e, finalmente, com dois enxagues em água destilada, sendo posteriormente postas a secar em estufa de circulação forçada de ar a 65±5ºC até massa constante. Em seguida, as amostras foram moídas em moinho tipo Willey (com malha de 2 mm) e

analisadas, segundo Miyazawa et al. (2009), para a determinação dos teores de nutrientes (N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn e Zn). As produtividades foram obtidas colhendo-se 45 m^2, para os campos de produção, e estimando-se as equivalentes para 1 há. Para os experimentos foram consideradas as áreas úteis.

2.4 Estabelecimento do sistema da Diagnose da Composição Nutricional (CND-*clr*)

A partir dos teores de nutrientes do tecido foliar e das produtividades, as normas CND-*clr* foram estabelecidas seguindo as relações multinutrientes, indicadas por Parent e Dafir (1992) e Parent et al. (1993).

A representação da abordagem CND-*clr* para os dados computacionais e suas fórmulas de cálculo, segundo Aitchison (1986), é apresentada por Parent e Dafir (1992), Parent et al. (1993) e Parent et al. (2009), como segue:

$$clr_j = ln\frac{x_j}{g(x)}$$

onde: x_j é o componente j no numerador, j = [1...*D*] e $g(x)$ é a média geométrica de todos os componentes, como segue:

$$g = (A\ x\ B\ x\ \ldots x\ C\ x\ R)^{\frac{1}{n-1}}$$

onde: g é a média geométrica dos teores de nutrientes da matéria seca, adaptado por Khiari et al. (2001). O componente R é obtido segundo a equação a seguir

$$R = 1.000.000 - (A + B + \cdots + E)$$

onde: 1.000.000 é o total de mg kg^{-1}; a este valor é subtraído a somatória dos nutrientes em mg. Ao final, foram utilizados 12 componentes (N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn, Zn e *R*), para os cálculos da abordagem CND-*clr.*

Os valores discrepantes, ou *outliers* (ponto que está muito distante das demais observações em uma série estatística), foram excluídos conforme proposto por Parent et al. (2009), utilizando os valores CND-*clr* já transformados. Em seguida, realizou-se o teste de normalidade (Shapiro-Wilk), como indicam Hair et al. (1995).

Posteriormente, a base de dados foi dividida em população de alta produtividade (população de referência) e baixa produtividade, seguindo a metodologia descrita por Khiari et al. (2001), a partir do ponto de inflexão (PI) da função cumulativa definida pela sua mudança de conformação, e expressa no PI pela expressão –b/3a.

A distância de Mahalanobis (DM), apresentada como índice de desequilíbrio de nutrientes (PARENT et al., 2009), foi calculada usando a matriz de covariância (COV), a partir da média das transformações CND-*clr*, como segue:

$$DM = \sqrt{\left(clr_j - clr_j^*\right)^T COV^{-1}\left(clr_j - clr_j^*\right)}$$

na qual: clr_j é a amostra a ser comparada; clr_j^* é a média aritmética da população de referência e COV é a matriz de covariância da população de referência. Para evitar a singularidade, foi excluído o componente R.

O CND-r^2, que representa o índice de desiquilíbrio nutricional global da amostra é correlacionado com a DM, a fim de comprovar que quanto mais equilibrada está a amostra, ou seja, próxima de zero, menor deverá ser a DM. Deste modo, a amostra equilibrada tende a se manter com a menor distância da média e, assim, no centro do centroide de n (nutrientes + R) dimensões, calculada como segue:

$$CND{-}r^2 = \mathrm{I}^2\mathrm{N} + \mathrm{I}^2\mathrm{P} + \mathrm{I}^2\mathrm{K} + \cdots + \mathrm{I}^2\mathrm{R}$$

Para a obtenção da ordem de limitação (OL), foram calculados os índices CND-*clr* (I), como segue:

$$I_{clr_i} = \frac{clr_i - clr_i^*}{S_i^*}$$

na qual: I_{clr_i} é o índice CND-*clr* do nutriente i da amostra n; clr_i^* é o media aritmética da transformação CND-*clr* da população de alta produtividade (população de referência) para o nutriente i e S_i^* é o desvio-padrão da população de referência para o nutrient i.

Para o cálculo da FS, foi adotada o IC ($p \leq 0,05$), metodologia proposta por Parent et al. (2013a, b). O NC foi considerado como limite inferior da FS.

Os valores CND-*clr* foram obtidos pelo software CodaPack (COMAS-CUFÍ; THIÓ-HENESTROSA, 2011) e as análises estatísticas foram realizadas com auxilio do *software* R (VAN DEN BOOGAART et al., 2013).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após a exclusão dos *outliers* (total de 8 amostras), o total de dados da população de tomateiro para indústria avaliada foi de 216, apresentando normalidade, segundo o teste de Shapiro-Wilk ($W = 0,9972$, $p = 0,97$).

Para identificação do PI (Figura 1), parte dos dados foi excluída utilizando como base a probabilidade (KHIARI et al., 2001; PARENT et al., 2009), totalizando ao final, para análise, 137 amostras, sendo 11 % para população de alta (24 amostras) e para baixa produtividade 25 % (55 amostras). Esse procedimento é válido, pois, após a identificação do PI, é possível encontrar amostras, na população de referência, com alto valor de DM, ou seja, em condições de consumo de luxo ou efeito de diluição (PARENT et al., 2013b), o que interferiria na determinação das normas nutricionais. Assim, na subdivisão das duas populações, 29 %, ou seja, 62 áreas representaram a subpopulação de alta produtividade (referência nutricional), cuja produtividade variou de 104,5 a 176 t ha^{-1}. A subpopulação de baixa

produtividade foi constituída por 35 %, ou seja, 75 áreas com produtividades entre 23,9 e 103,6 t ha^{-1}.

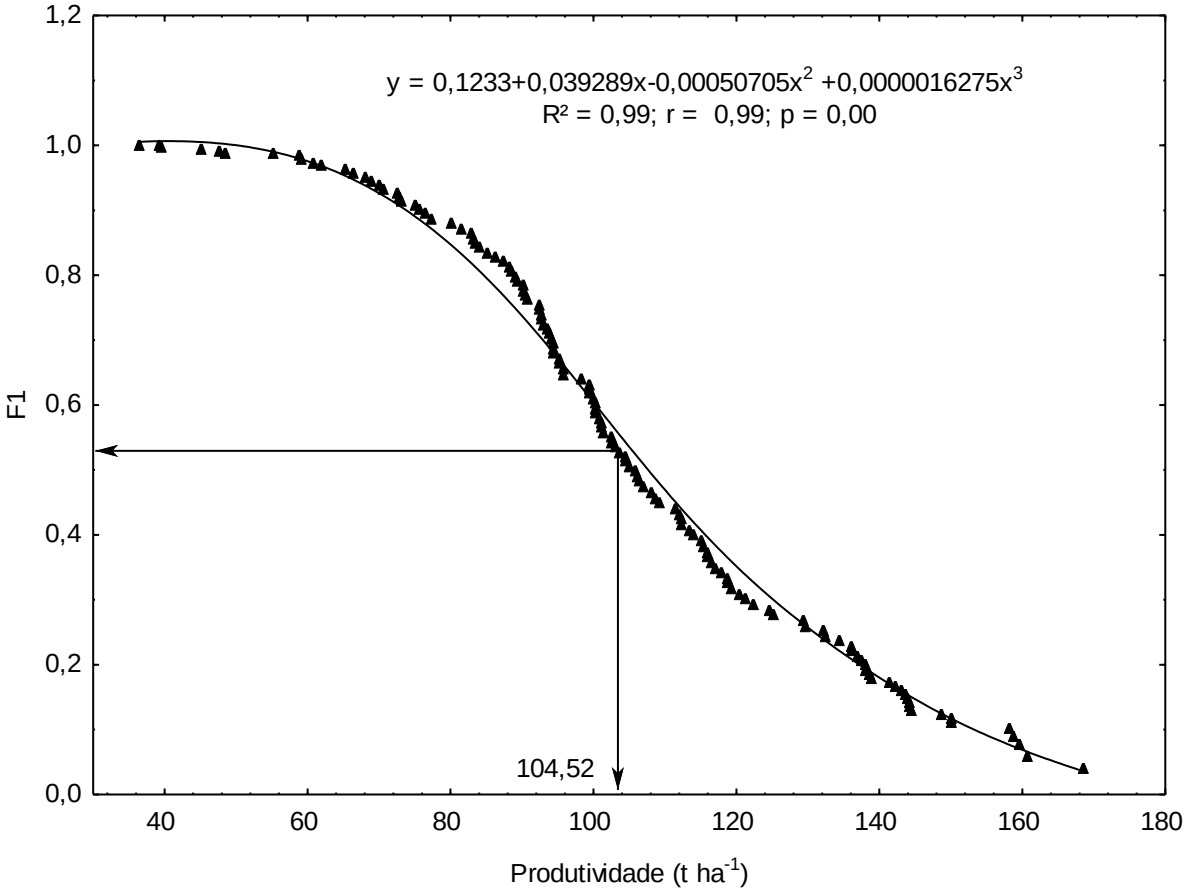


Figura 1. Função cumulativa para os dados de produtividade do tomate para indústria (n= 137).

As normas CND-*clr* foram representadas pela média aritmética e o desvio-padrão da população de referência, para cada nutriente (PARENT; DAFIR, 1992; PARENT et al., 1993; PARENT et al., 2009) (Tabela 2).

No que diz respeito aos testes de correlação entre a produtividade e as transformações CND-*clr*, embora haja baixos valores de coeficiente de determinação (R^2) para os nutrientes N, P, K, Cu, Fe e Zn, estes foram significativos (Tabela 3).

A correção entre o CND-r^2 e a produtividade apresentou baixo R^2 (17 %), demonstrando que outros fatores não nutricionais, estão interferindo na produtividade, para esse banco de dados.

Tabela 2. Norma (média e desvio-padrão – s, da população de referência) da transformação CND-*clr* segundo a metodologia CND-*clr*.

CND-*clr*	Média	S
clr.N	2,86	0,11
clr.P	0,29	0,15
clr.K	2,29	0,14
clr.Ca	2,36	0,44
clr.Mg	0,88	0,16
clr.S	0,81	0,19
clr.B	-4,36	0,17
clr.Cu	-2,86	0,44
clr.Fe	-2,32	0,34
clr.Mn	-2,70	0,28
clr.Zn	-3,11	0,17
clr.R	5,86	0,06

Tabela 3. Modelos estatísticos das relações entre os índices CND-*clr* e a produtividade, para nutrientes em tomateiro destinado ao processamento industrial.

CND-*clr*	Equação[I]	R^2
	g kg^{-1}	
*clr.*N	3,0712-0,0013x **	0,03
*clr.*P	0,6752-0,0023x **	0,05
*clr.*K	2,5974-0,002x **	0,03
*clr.*Ca	2,1078+0,0012x ^{ns}	0,01
*clr.*Mg	0,958-0,0008x ^{ns}	0,01
*clr.*S	0,7483+0,0007x ^{ns}	0,00
	mg kg^{-1}	
*clr.*B	-4,2514-0,0006x ^{ns}	0,00
*clr.*Cu	-3,5179+0,0039x *	0,02
*clr.*Fe	-1,8492-0,003x **	0,04
*clr.*Mn	-2,5796-0,0005x ^{ns}	0,00
*clr.*Zn	-4,015+0,006x **	0,09
CND-r^2	116,43-0,9606x**	0,17

[I]Modelo estatístico da análise de regressão dos índices de nutrientes com a produtividade; *, ** e ^{ns}: Teste F significativo a 5% ($p \leq 0,05$), 1% ($p \leq 0,01$) e não significativo, respectivamente.

Quanto à correlação entre o CND-r^2 e a DM (Figura 2), com os dados da população de referência, esta apresentou R^2 de 0,56 (coeficiente de correlação – r = 0,75).

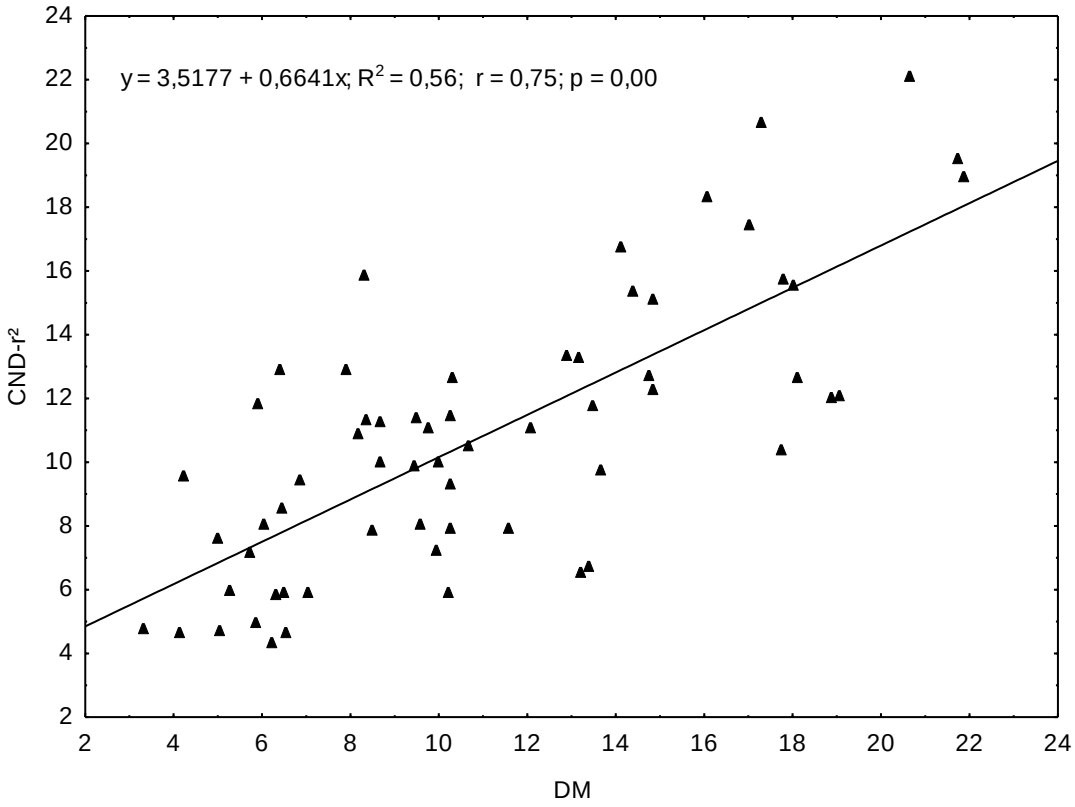


Figura 2. Correlação entre a distância de Mahalanobis (DM) e o CND-r^2, para os dados de teores de nutriente do tomate para processamento industrial.

A correlação entre DM e o CND-r^2, como índices de desequilíbrio nutricional evidencia que, quanto maior a distancia (DM), maior é o desequilíbrio nutricional (CND-r^2) (PARENT et al., 2009). Resultados semelhantes, que corroboram este trabalho, são encontrados na literatura com batata (KHIARI et al., 2001b) e milho PARENT et al., 2009).

A partir da população de referência, calculou-se o IC ($p \leq 0,05$), obtendo a FS (Tabela 4) e em seguida o NC.

O uso do IC (PARENT et al., 2013a, b) para calcular a FS apresentou faixas mais justas, quando comparadas as disponíveis na literatura (Tabela 5). As FS dos nutrientes calculadas a partir da população de referência, obtidas pelo método CND-*clr*, apresentaram variação média inferior de 615 % para os macronutrientes e 475 % para os micronutrientes, comparado à FS citada por Trani e Raij (1997). Segundo Serra et al. (2010), menor amplitude da FS pode ser vista como um ponto positivo

em razão do maior rigor na interpretação dos resultados dos teores foliares, devido à menor faixa para a interpretação. O limite superior e inferior da FS representaram 100 % e 59,4 %, respectivamente, da máxima produtividade.

Tabela 4. Modelos estatísticos das relações entre os teores e as variáveis multinutrientes, nível crítico (NC) e o intervalo de confiança (IC) como faixa de suficiência (FS), para macronutrientes e micronutrientes do tomateiro para indústria.

Nutrientes	Equação[I]	R^2	NC	FS
			g kg^{-1}	
N	*clr*.N = 1,6501+0,0286x **	0,59	43	43 - 46
P	*clr*.P = -1,4219+ 0,6726x-0,0449x^2 **	0,83	3,2	3,2 - 3,6
K	*clr*.K = 1,2249+0,0437x **	0,90	24	24 - 27
Ca	*clr*.Ca = 1,0167+0,068x -0,0006x^2 **	0,88	25	25 - 34
Mg	*clr*.Mg = -0,3419+0,2911x-0,0134x^2 **	0,64	5,9	5,9 - 6,5
S	*clr*.S = -0,2748+0,2249x-0,0056x^2 **	0,94	5,3	5,3 - 6,1
			mg kg^{-1}	
B	*clr*.B = -5,2983+0,0348x-0,0001x^2 **	0,77	31	31- 36
Cu	*clr*.Cu = -4,5117+0,0137x-0,00002x^2 **	0,96	136	136 - 183
Fe	*clr*.Fe = -3,6084+0,0065x-0,000005x^2 **	0,89	228	228 - 301
Mn	*clr*.Mn = -3,7014+0,0074x-0,000007x^2 **	0,82	160	160 - 197
Zn	*clr*.Zn = -4,8921+0,0229x-0,00006x^2 **	0,97	108	108 - 122

[I]Modelo estatístico da análise de regressão dos teores de nutrientes com suas respectivas variáveis multinutrientes; *, ** e nd: Teste F significativo a 5 % ($p \leq 0,05$), 1 % ($p \leq 0,01$) e não significativo, respectivamente; NC: nível crítico; FS: faixa de suficiência calculada a partir do intervalo de confiança ($p \leq 0,05$).

A OL dos nutrientes (excesso ou deficiência) do tomateiro para processamento industrial, segundo a metodologia CND-*clr*, foi calculada a partir da média aritmética dos índices da população de baixa produtividade (Tabela 3). Além da identificação da população de referência, é importante calcular a OL da população de baixa, pois trata-se de um refinamento na avaliação do estado nutricional, o que auxiliará na tomada de decisão.

Tabela 5. Teores foliares de nutrientes considerados adequados para o tomateiro para processamento industrial, em função da folha-diagnóstica, pelo método do nível crítico (NC) e da faixa de suficiência (FS).

Nutrientes	NC	FS		
		g kg^{-1}		
N	[1]30	[2]40 – 60	[3]40 – 60	[4]30
P	3,5	4 – 8	3 – 6	3,5
K	40	30 – 50	30 – 50	40 – 60
Ca	14 - 18	14 – 40	10 – 30	14 – 16
Mg	4	4 – 8	4 – 6	4
S	3	3 – 10	5 – 10	3
		mg kg^{-1}		
B	100	30 – 100	30 – 100	50 – 70
Cu	20	5 – 15	5 – 15	10 – 15
Fe	150	100 – 300	40 – 200	500 – 700
Mn	100	50 – 250	40 – 250	250 – 400
Zn	50	30 – 100	20 – 50	60 – 70

[1]Malavolta et al. (1989): Florescimento pleno ou primeiro fruto maduro, coletando-se a 4ª folha a partir da ponta: 40 plantas; [2]Trani e Raij (1997): Folha com pecíolo, por ocasião do 1º fruto maduro: 25 plantas; [3]Fontes (2000): Florescimento pleno, coletando-se a 4ª folha a partir da ponta da planta; [4]Malavolta (2006): Florescimento pleno ou primeiro fruto maduro, coletando-se a 4ª folha a partir da ponta: 40 plantas.

Os resultados apresentados na Figura 3 estão de acordo com os obtidos na Tabela 3. Os seis primeiros nutrientes (Figura 3) que apresentaram modelo estatístico significativo das relações entre as variáveis multinutrientes CND-*clr* e a produtividade (Tabela 3) foram Zn, P, N, K, Cu e Fe. Tais resultados, para esse banco de dados, não corroboram as afirmações apresentadas por Wadt et al. (2016), de que a correlação entre os índices CND-*clr* e a produtividade (o mesmo vale para os índices DRIS) não pode servir para a validação do modelo, bem como das normas. A ordem de limitação para a cultura do tomate, para esse banco de dados e região, foi: Zn (deficiência) > P (excesso) > N (excesso) > K (excesso) > Cu (deficiência) e > Fe (excesso); e em equilíbrio Mg > S > Mn > B e > Ca.

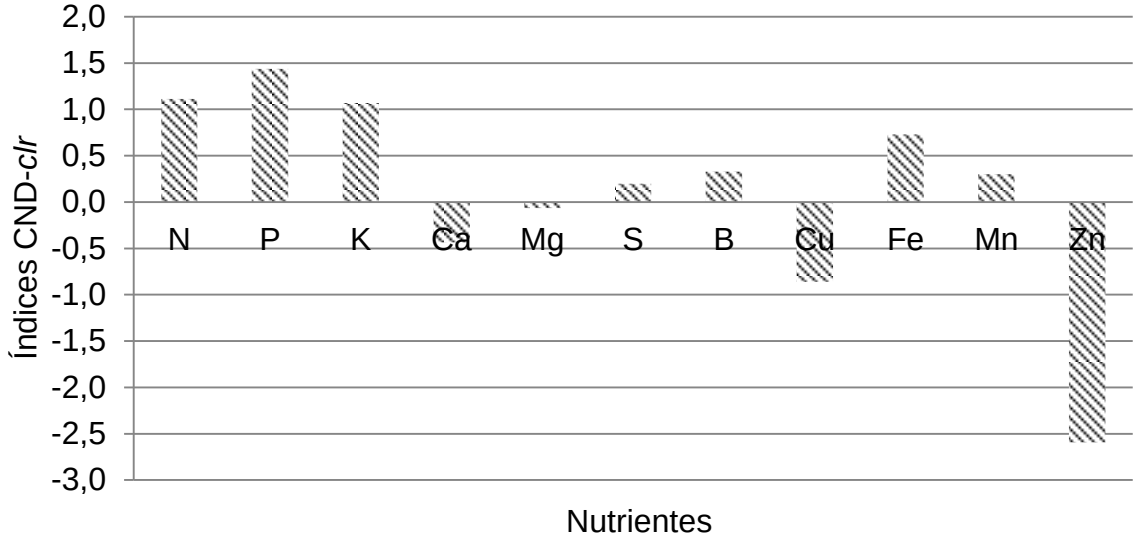


Figura 3. Ordem de limitação para os nutrientes N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn e Zn, a partir da população de baixa produtividade, em tomateiro para indústria. Índice positivo e negativo representam excesso e deficiência, respectivamente.

Com relação aos macronutrientes, são comumente empregadas doses elevadíssimas no cultivo do tomateiro. Como exemplo, na região Sul do país, o usual é aplicar 800 a 1000 kg ha^{-1} de P_2O_5; 30 a 50 kg ha^{-1} de N e de K_2O no plantio, e em cobertura, 500 a 800 kg ha^{-1} de N e de K_2O, via fertirrigação, independentemente dos resultados da análise de solo (FELTRIM et al., 2016).

O P foi o segundo nutriente a prejudicar o equilíbrio nutricional do tomateiro e por excesso. Os solos das regiões tropicais quase sempre apresentam elevada capacidade de adsorção e baixas concentrações de P, o que torna a nutrição fosfatada um fator limitante à obtenção de produtividades economicamente satisfatórias (COSTA et al., 2006). Assim, comumente são empregadas doses elevadas de adubos fosfatados em quantidades superiores às necessidades das plantas de tomate para indústria. Segundo Novais e Smyth (1999) e Salcedo (2006), o P é o segundo nutriente que mais limita a produtividade das culturas em solos tropicais e o primeiro mais limitante na região semi-árida do Nordeste.

Observaram-se alguns efeitos negativos como a deficiência de Zn, primeiro nutriente a limitar a produtividade do tomateiro (Figura 3), isso motivado, muito provavelmente, pelo excesso de P no solo. Olsen (1972) destacou como possíveis

mecanismos para explicar as relações antagônicas: interação P x Zn no solo; redução da taxa de translocação de Zn das raízes para a parte aérea; simples efeito de diluição sobre o teor de Zn na parte aérea devido ao crescimento em resposta ao P; e desordens metabólicas nas células vegetais, relacionadas com o desequilíbrio entre Zn e P, interferindo na função metabólica do Zn em certos sítios celulares. O excesso de P ainda aumenta o requerimento fisiológico de Zn na planta, principalmente, em razão de estar ocorrendo o favorecimento do crescimento radicular pela maior disponibilidade de P no solo (WEBB; LONERAGAN, 1988; BULL et al., 2008). De modo geral, solos brasileiros são pobres em Zn (REIS JUBIOR; MARTINEZ, 2002), o que pode se agravar com o desequilíbrio entre P e Zn.

O N foi terceiro nutriente a limitar a produtividade do tomateiro, também por excesso. Esse nutriente é o segundo mais demandado e exportado pelo tomateiro. Para uma produtividade de 94,8 t ha^{-1}, dos 211 kg ha^{-1} absorvidos, aproximadamente, pela cultura do tomate para indústria, 70 % são exportados com a produção (FAYAD et al., 2002). Assim como o P, altas doses de N são empregadas na cultura do tomateiro, devido ao seu baixo aproveitamento, em que apenas 50 % do que é aplicado é aproveitado (HAWKESFORD et al., 2012).

O K foi o quarto nutriente a limitar a produtividade do tomateiro, também por excesso. Segundo Marenco e Lopes (2005), o K é o terceiro elemento que mais frequentemente limita o crescimento vegetal e o mais abundante na maioria das plantas. No tomateiro, o K é o nutriente mais absorvido, com 264 kg ha^{-1}, sendo que 80 % são exportados com os frutos (para uma produtividade de 94,8 t ha^{-1}) (FAYAD et al., 2002). Contudo, embora essa cultura tenha alta demanda por esse nutriente, alta disponibilidade de K no meio pode trazer desequilíbrio nutricional à planta, seja por competição com outros nutrientes como Ca e Mg (MALAVOLTA, 2006; VITTI et al., 2006; SANTOS, 2013), seja por aumento da salinidade da rizosfera, acarretando em perda significativa da produtividade (SANTOS, 2013). Trabalhos avaliando doses de K com outras culturas como, maracujaziero (PRADO et al., 2004), pimentão (SILVA et al., 2001) e eucalipto (SILVA et al., 2002), foram observados incremento quadrático dos parâmetros avaliados quando atingido doses excessivas de K, devido aos efeitos de salinidade.

O Cu e o Fe foram os outros dois micronutrientes que foram limitantes na produtividade do tomateiro, sendo o quinto e o sexto, respectivamente. O Cu está mais relacionado com a aplicação de fungicidas (MARCHAND et al., 2013), que, possivelmente nesse caso, teve um controle mais rigoroso e de modo preventivo. Já o Fe, este envolve a gênese do solo (MARCHAND et al., 2013).

4 CONCLUSÃO

As faixas de suficiência obtidas na população de alta produtividade (104,5 e 176 t ha^{-1}) para macronutrientes (g kg^{-1}) são: N, 43 – 46; P, 3,2 – 3,6; K, 24 - 27; Ca, 25 - 34; Mg, 5,9 - 6,5 e S, 5,3 - 6,1, e micronutrientes (mg kg^{-1}): B, 31- 36; Cu, 136 - 183; Fe, 228 - 301; Mn, 160 - 197 e Zn, 108 - 122.

As normas (média e desvio-padrão, respectivamente) para a cultura do tomate para processamento industrial, são: *clr.*N - 2,86 e 0,29; *clr.*P – 0,29 e 0,15; *clr.*K – 2,29 e 0,14; *clr.*Ca – 2,36 e 0,44; *clr.*Mg – 0,88 e 0,16; *clr.*S – 0,81 e 0,19; *clr.*B - -4,36 e 0,17; *clr.*Cu - -2,86 e 0,44; *clr.*Fe - -2,32 e 0,34; *clr.*Mn - -2,70 e 0,28 e *clr.*Zn - -3,11 e 0,17.

5 REFERÊNCIAS

AITCHISON, J. **The statistical analysis of compositional data**. London: Chapman e Hall. 416 p. 1986.

ALKOSHAB, O.; RIGHETTI, T. L.; DIXON, A. R. Evaluation of DRIS for juding the nutritional status of hazelnuts. **Journal of the American Society for Horticultural Science**. Alexandria, Va., US, v. 113, n. 4. p. 643-647, 1988.

BEAUFILS, E. R. **Diagnosis and recommendation integrated system (DRIS).** Pietermaritzburg: University of Natal, 132 p. (Soil Science Bulletin, 1). 1973.

BEVERLY, R. B. Comparison of DRIS and alternative nutrient diagnostic methods for soybean. **Journal of Plant Nutrition**. New York, US, v. 10, n. 8 p. 901-920, 1987.

BITTAR, C. A.; LUZ, J. M. Q.; NASCIMENTO, A. R.; CHAGAS, R. C. S.; QUEIROZ, A. A. **Desempenho e divergência genética de genótipos de tomate para processamento industrial**. In: 5º Congresso Brasileiro de Tomate Industrial, Anais... Goiânia: CNPH/ABH/FAEG/UFG/AGRODEFESA p. 33. 2011.

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

CEPEA, 2011: **Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada. Hortaliças: Gestão sustentável.** Hortifruti Brasil. Piracicaba, Brasil. jun, 2011.

COMAS-CUFÍ, M.; THIÓ-HENESTROSA, S. **CoDaPack 2.0: a stand-alone, multi-platform compositional software**. In: Egozcue, J. J.; TOLOSANA-DELGADO, R.; ORTEGO, M. I. (Eds.). CoDaWork'11: 4th International Workshop on Compositional Data Analysis. Sant Feliu de Guíxols. 2011.

DIAZ-ZORITA, M.; PERFECT, E.; GROVE, J. H. Disruptive methods for assessing soil structure. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 64, p. 3-22, 2002.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 2 ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Centro Nacional de Pesquisa de Solos**. Sistema brasileiro de classificação de solos . 3. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2013. 353 p.

COSTA, J. P. V.; BARROS, N. F.; ALBUQUERQUE, A. W.; MOURA FILHO, G.; SANTOS, J. R. Fluxo difusivo de fósforo em função de doses e da umidade do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande, PB, v. 10, p. 828-35, 2006.

FAYAD, J. A.; FONTES, P. C. R.; CARDOSO, A. A.; FINGER, F. L.; FERREIRA, F. A. Absorção de nutrientes pelo tomateiro cultivado sob condições de campo e de ambiente protegido. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 20, n. 1, p. 90-94, 2002.

FELTRIM, A. L.; WAMSER, A. F.; SUZUKI, A.; MÜELLER, S.; BECKER, W. F.; HAHN, L. Fontes de nitrogênio e potássio aplicados via fertirrigação na cultura do tomate. **Agropecuária Catarinense**, Florianópolis, v. 29, n. 2, p. 63-67, 2016.

FONTES, R. R. **Solo e nutrição da planta. Tomate para processamento industrial.** SILVA, J.B. C.; GIORDANO, L. de B. (Orgs). Brasília: EMBRAPA, p.22-35, 2000.

GIORDANO, L. B.; SILVA, J. B. C.; BARBOSA, V. **Escolha de cultivares e plantio**. In: SILVA, J. B. C.; GIORDANO, L. B. (eds). *Tomate para processamento industrial*. Brasília: Embrapa (Comunicação para transferência de tecnologia). p. 36-59. 2000.

HERNANDES, A.; PARENT, S.-É.; NATALE, W.; PARENT, L. E. Balancing guava nutrition with liming and fertilization. **Revista Brasileira de Fruticultura**. Jaboticabal - SP, 34, p. 1224–1234, 2012.

HAWKESFORD, M.; HORST, W.; KICHEY, T.; LAMBERS, H.; SCHJOERRING, J.; MOLLER, S. I.; WHITE, P. Functions of macronutrients. In: Marschner, P. (ed.). Marschner's mineral nutrition of higher plants. **New York: Elsevier**, cap.6, p.135-189, 2012.

HOLLAND, D. A. The interpretation of leaf analysis. **Journal of Horticultural Sciences**, Bangalore, India, v. 41, p. 311-329, 1966.

INMET, 2017: **Instituto Nacional de Meteorologia**. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep> Acessado em 10 de junho de 2017.

IBGE, 2015: Instituito Brasileiro de Estatística. **Censo Agropecuário**. Disponível em: http://www.ibge.gov.br/estadosat/. Acesso em: 08 ago. 2016.

KHIARI, L.; PARENT, L. E.; TREMBLAY, N. Selectingthe high-yield subpopulation for diagnosing nutrient imbalance in crops. **Agronomy Journal.** Madison, Wis., US, v. 93, p. 802-808, 2001.

MACY, P. The quantitative mineral nutrient requirements of plants. **Plant Physiology**, Bethesda, v. 11, n. 4, p. 749–764, 1936.

MALAVOLTA, E. **Manual de Nutrição Mineral de Plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres. 2006.

MARENCO, R. A.; LOPES, N. F. **Fisiologia Vegetal: Fotossíntese, respiração, relações hídricas e nutrição mineral**. Viçosa: Editora UFV, 2005. 451 p.

MIYAZAWA, M.; PAVAN, M. A.; MURAOKA, T.; CARMO. C. A. F. S.; MELO, W. J. **Análises químicas de tecido vegetal.** In.: SILVA, F.C. (Org.). Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes. 2 ed. Brasília, DF: EMBRAPA, 2009, p. 191-233.

NOVAIS, R. F.; SMITH, T. J. **Fósforo em solo e planta em condições tropicais**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 1999. 399 p.

OLSEN, S. R. Micronutrient interactions. In: MORTVEDT, J. J.; GIORDANO, P. M.; LINDSAY, W. L. (Ed.) **Micronutrients in agriculture.** Madison: SSSA, 1972. p. 243-264.

PARENT, L. E.; CAMBOURIS, A. N.; MUHAWENIMANA, A. Multivariate diagnosis of nutrient imbalance in potato crops. **Soil Science Society of America Journal**., Madison, Wis., US, v. 58, p. 1432-1438, 1994a.

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

PARENT, L. E. Diagnosis of the nutrient compositional space of fruit crops. **Revista Brasileira de Fruticultura**. Jaboticabal – SP, v. 33, p. 321-334, 2011.

PARENT, L. E.; ISFAN, D.; TREMBLAY, N.; KARAM, A. Multivariate nutrient diagnosis of the carrot crop. **Journal of the American Society for Horticultural Science**., Alexandria, Va., US, v. 119, n. 3, p. 420-426, 1994b.

PARENT, L. E.; KARAM, A.; VISSER, S. A. Compositional Nutrient Diagnosis (CND) of the greenhouse tomato. **HortScience.** Alexandria, Va., US, v. 28, p. 1041–1042, 1993.

PARENT, L. E.; NATALE, W.; ZIADI, N. Compositional nutrient diagnosis of corn using the Mahalanobis distance as nutrient imbalance index. **Canadian Journal of Soil Science**., Ottawa, v. 89, p. 383-390, 2009.

PARENT, S-E.; PARENT, L. E.; EGOZCUE, J. J. ROZANE, D-E.; HERNANDES, A.; LAPOINTE, L.; HEBERT-GENTILE, V.; NAESS, K.; MARCHAND, S. LAFOND, J.; JUNIOR MATTOS, D.; BARLOW, P.; NATALE, W. The plant ionome revisited by the nutrient balance concept. **Methods Article**., Published: 22 March, 2013a.

PARENT, S.-É.; PARENT, L. E.; ROZANE D. E., HERNANDES A.; NATALE W. **"Nutrient balance as paradigm of plant and soil chemometrics,"** in Soil Fertility, ed. Issaka R. N., editor. (New York: InTech Publications;), p. 83–114. 2012.

PARENT, S. E.; PARENT, L. E.; ROZANE, D. E.; NATALE, W. Plant ionome diagnosis using sound balances: case study with mango (*Mangifera Indica*). **Frontiers in Plant Science**, Lausanne, v. 4, n. 449, p. 1-12, 2013b.

PAULA, J. A. A.; MEDEIROS, J. F. de; MIRANDA, N. O.; OLIVEIRA, F. A. de; LIMA, C. J. G. S. Metodologia para determinação das necessidades nutricionais de melão e melancia. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, PB, v.15, n. 9, p. 911–916, 2011.

PRADO, R. M.; BRAGHIROLLI, L. F.; NATALE, W.; CORRÊA, M. C. M.; ALMEIDA, E. V. Aplicação de potássio no estado nutricional e na produção de matéria seca de mudas de maracujazeiro-amarelo. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal – SP, v.26, n.2, p. 295-299, 2004.

RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. (Ed.). **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2.ed. rev. e atual. Campinas: Instituto Agronômico/Fundação IAC, 1997. 285p. (Boletim Técnico, 100).

REIS JUNIOR, R. dos A.; MARTINEZ, H. E. P. Adição de Zn e absorção, translocação e utilização de Zn e P por cultivares de cafeeiro. **Scientia Agricola**, Piracicaba, SP, v. 59, n. 3, p. 537-542, 2002.

SALCEDO, I. H. Biogeoquímica do fósforo em solos da região semi-árida do NE do Brasil. **Revista Geografia**, Recife, v. 23, p. 108-123, 2006.

SANTOS, B. M. Effects of Preplant Potassium Sources and Rates for Tomato Production. **HortTechnology**. Alexandria, Va., US, August, n. 23, v. 4. 2013.

SILVA, M. A. G.; BOARETTO, A. E.; FERNANDES, H. G.; BOARETTO, R.; MELO, A. M. T.; SCIVITTARO, W. B. Características químicas de um Latossolo adubado com ureia e cloreto de potássio em ambiente protegido. **Scientia Agricola**, Piracicaba, SP, v. 58, n. 3, p. 561-566, 2001.

SILVA, S. R.; BARROS, N. F.; NOVAIS, R. F.; PEREIRA, P. R. G. Eficiência nutricional de potássio e crescimento de eucalipto influenciado pela compactação do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, v. 26, n. 4, p.1001-1010, 2002.

TOLOSANA-DELGADO, R., and VAN DEN BOOGART, K. G. “Linear models with compositions in R” in **Compositional Data Analysis: Theory and Applications**, eds V. Pawlowsky-Glahn and A. Buccianti (New York: John Wiley and Sons), p. 356–371. 2011.

TRANI, P. E.; RAIJ, B. van. In.; RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. (Ed.), 1997. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. Campinas: Instituto Agronômico/Fundação IAC (Boletim Técnico, 100), SP, Brasil, 2.ed. p. 45-47. 1997.

ULRICH, A. Physiological bases for assessing the nutritional requirements of plants. **Annual Review of Plant Physiology**, Calif., US, v. 3, 1952. p. 207-228.

WADT P. G. S.; TRASPADINI E. I. F.; MARTINS R. A.; MELO F. B.; OLIVEIRA I. J.; RODRIGUES J. E. L. F.; BASTOS, E. A.; ARAÚJO, S. M. B. (Ed.), 2016. **Medidas de acurácia na qualificação dos diagnósticos nutricionais: teoria e pratica**, In: Nutrição e Adubação de Hortaliças, 5th Brasil. Symp.Plant Nutrition at High Productivity Level, Eds. Prado R. M.; Filho A. B. C.; editors. (Jaboticaba: UNESP), p. 371–391. 2016.

WEBB, M. J.; LONERAGAN, J. F. Effect of zinc deficiency on growth, phosphorus concentration, and phosphorus toxicity of wheat plants. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 52, p.1676-1680, 1988.

WELTJE, G. J. **Quantitative analysis of dentrial modes: statistically rigorous confidence regions in ternary diagrams and their use in sedimentary petrology**. Earth Science Reviews, [S.I.], v. 57, p. 211-253, 2002.

VAN DEN BOOGAART, K. G.; TOLOSANA-DELGADO, R.; BREN M. **'compositions': compositional Data Analysis in R Package**. http://cran.r-project.org/package=compositions. 2013.

VITTI, G. C.; LIMA, E; CICARONE, F. Cálcio, magnésio e enxofre. In: Manlio Silvestre Fernandes. (Org.). **Nutrição mineral de plantas.** Viçosa-MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006. p. 299-325.

CAPÍTULO 4 – AVALIAÇÃO DO ESTADO NUTRICIONAL DO TOMATEIRO PARA INDÚSTRIA PELO MÉTODO CND-*ilr*

RESUMO – A avaliação do estado nutricional é uma ferramenta importante na busca de maior produtividade, melhor relação custo/benefício e redução do impacto ambiental. Contudo, ainda são raros os estudos para o tomate para indústria, que é uma das hortaliças de maior valor econômico no Brasil. Objetivou-se com o estudo estabelecer as faixas de suficiência de nutrientes e as normas para a cultura do tomate destinado à indústria, a partir do método da Diagnose da Composição Nutricional (CND), abordagem *ilr* (relação log isométrica). Para atingir os objetivos propostos, realizou-se a diagnose foliar e a avaliação da produtividade em 224 áreas, no período de 2013 a 2015, no centro-oeste de São Paulo, Brasil, que é uma das principais regiões produtoras de tomate do país. As faixas de suficiência obtidas a partir da população de referência (produtividade entre 105,8 e 176 t ha^{-1}) de macronutrientes (g kg^{-1}) foram: N, 43 - 46; P, 3,2 – 3,6; K, 24 – 27; Ca, 26 – 34; Mg, 5,9 – 6,6 e S, 5,3 – 5,9, e micronutrientes (mg kg^{-1}): B, 32 – 37; Cu, 135 – 183; Fe, 227 – 297; Mn, 161 – 197 e Zn, 109 – 123.

Palavra-chave: Diagnose nutricional, faixa de suficiência, relação log isométrica, *Solanum lycopersicum.*

ABSTRACT – The evaluation of nutritional status is an important tool in the search for greater productivity, better cost / benefit ratio and reduction of environmental impact. However, there are still few studies for tomatoes for industry, which is one of the most economical vegetables in Brazil. The objective of this study was to establish the nutrient sufficiency ranges and standards for the tomato crop for the industry, using the Compositional Nutrient Diagnosis (CND) method, ilr (isometric log ratio) approach. In order to achieve the proposed objectives, foliar diagnosis and productivity evaluation were performed in 224 areas, from 2013 to 2015, in the center-west of São Paulo, Brazil, which is one of the main tomato producing regions of the country. The sufficiency ranges obtained from the reference population (yield between 105.8 and 176 t ha^{-1}) of macronutrients (g kg-1) were: N, 43 - 46; P, 3,2 – 3,6; K, 24 – 27; Ca, 26 – 34; Mg, 5,9 – 6,6 e S, 5,3 – 5,9, e micronutrients (mg kg^{-1}): B, 32 – 37; Cu, 135 – 183; Fe, 227 – 297; Mn, 161 – 197 e Zn, 109 – 123.

Keywords: Nutritional diagnosis, sufficiency range, Isometric log ratio, *Solanum lycopersicum.*

1 INTRODUÇÃO

A busca incessante por aumento de produtividade das culturas é notória, e o custo de produção, a disponibilidade de insumos e o risco ao ambiente são fatores de suma importância.

Tais fatores se tornam mais evidentes quando se trata de olerícolas, cuja característica é o crescimento rápido, alto acúmulo de matéria seca e demanda nutricional em um curto espaço de tempo (PAULA et al., 2011). Nesse grupo encontra-se o tomate (*Solanum lycopersicum* L.) processado, importante produto do agronegócio brasileiro e mundial (IBGE, 2015). No cultivo do tomate para processamento, os fertilizantes chegam representar cerca de 18 % do total do custo de produção (CEPEA, 2011).

Nesse âmbito, o manejo adequado de fertilizantes busca melhorar a relação custo/benefício, aumentando a eficiência e, reduzindo assim, os riscos dos fatores supracitados Para alcançar tal meta, a avaliação do estado nutricional, tendo como ferramenta a análise foliar, é de suma importância. A análise foliar, como complemento à análise química do solo, permite conhecer o estado nutricional da planta e adequar à recomendação de fertilizantes (PARENT, 2011; CAMACHO et al., 2012).

Os métodos multivariados têm sido mais recomendados para a avaliação do estado nutricional, pois este aumenta a estabilidade da interpretação das análises de tecido vegetal (HOLLAND,1966; PARENT; DAFIR, 1992; PARENT et al;, 2013b).

O método CND (Diagnose da Composição Nutricional), abordagem da relação log centralizada (CND-*clr*) (PARENT; DAFIR, 1992), foi desenvolvido a fim de retificar as falhas matemáticas inerentes ao método DRIS (de Sistema Integrado de Diagnose e Recomendação). Contudo, embora alguns trabalhos tivessem validado tal abordagem (PARENT et al., 1994a, b, 2009, 2013a, b; FAN et al., 2009; HERNANDES et al., 2012; BORLÓG, 2016), questionamentos quanto à sua estrutura matemática foram levantados. Mesmo que CND-*clr* preserve a distância Euclidiana, esta gera *D* variáveis a partir da composição *D* partes, consequentemente mantendo informações redundantes que produzem uma matriz de variância singular (MODESTO et al., 2014). Em outras palavras, na abordagem

CND-clr, não se permite utilizar o fator R (valor de enchimento) na elaboração da matriz

Nesse âmbito, houve uma evolução da metodologia CND, a abordagem *ilr* (*isometriclog log ratio* ou relação log-isométrica) (PARENT, 2011), transformação proposta por Egozcue et al. (2003). A abordagem CND-*ilr* não só se encaixa perfeitamente na geometria Euclidiana, mas também pode ilustrar hierarquicamente as relações de nutrientes como saldos binários organizados entre grupos de nutrientes (balanços) para descrever o sistema em estudo (PARENT, 2011).

O conceito CND-*ilr* é apresentado como o mais adequado para a realização de análise multivariada (FILZMOSER et al., 2009) e foi testado com sucesso em geociências (BUCCIANTI, 2011), assim como em estudos de nutrição de plantas (PARENT, 2011; PARENT et al., 2013a, b, c; MODESTO et al., 2014; ROZANE et al., 2016), decomposição de resíduos orgânicos (PARENT et al., 2011) e de agregação do solo (PARENT et al., 2012).

Parent et al. (2012) argumentam que o conceito de balanço expressa uma visão coerente de um sistema fechado, ilustrado pela configuração de um “móbile” com pontos de apoio (balanços de nutrientes), em que os componentes são organizados de acordo com algumas teorias ou modelos de gestão de nutrientes.

Embora existam D x (D-1)/2^{d-1} combinações possíveis de *D-1* balanços ortonormais em uma composição D-parte (PAWLOWSKY-GLAHN et al., 2011), alguns saldos são mais significativos do que outros. Os balanços, ou seja, as combinações podem ser elaborados com base no conhecimento prévio, de um conjunto de dados específicos, para fins gerenciais, ou para testar alguma nova hipótese ou teoria sobre o funcionamento do sistema (PARENT et al., 2012). O intuito é evitar a tendência numérica e a redundância inerente aos dados composicionais, reduzindo as correlações espúrias (PEARSON, 1897; TANNER, 1949; CHAYES, 1960) entre os componentes do tecido vegetal, no que diz respeito às distorções que ocorrem nas suas interpretações, as quais são baseadas em *D-1* balanços, organizados ortogonalmente (EGOZCUE e PAWLOWSKY-GLAHN, 2005; 2006; MATEU-FIGUERAS et al., 2011).

Com base no exposto, o presente trabalho foi realizado com o objetivo de obter norma nutricional, para o tomate de processamento industrial, fazendo uso da metodologia CND-*ilr*.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Amostras foliares e produtividades foram obtidas em 224 áreas, durante as safras agrícolas de 2013, 2014 e 2015. Destas 224 áreas, 65 são oriundas de produtores rurais e 159 de experimentos.

2.1 Campos de produção

Para as entradas oriundas de campos de produção, foram percorridas propriedades rurais do Estado de São Paulo, produtoras de tomate para indústria nos municípios de Álvares Florence, Amélio de Campos, Andradina, Barretos, Birigui, Borborema, Guaíra, Ituverava, Miguelópolis, Monte Alto, Novo Horizonte, Paulo de Faria, Pongaí, Reginópolis, Sabino, Sales, Volta Grande e Votuporanga.

Buscando maior amplitude e representatividade no que diz respeito ao tipo de solo, fertilidade (baixa, média, alta e muito alta, segundo indicação de Raij et al., 1997) e, consequentemente, de teores foliares e produtividade, procurou-se contemplar no banco de dados a maior diversidade de tecnologia empregada atualmente na condução do tomate para indústria, no Brasil.

Os solos dos talhões amostrados foram classificados como Argissolo Vermelho e Latossolo Vermelho-Amarelo, sendo este com maior predominância. A região avaliada que contempla os municípios indicados no presente estudo possuem clima semelhante, sendo todos classificados como tropical, Aw (Köppen-Geiger, 1948), com estação seca entre os meses de março e agosto e período chuvoso bem definido. As informações de temperatura média e precipitação acumulada (média dos municípios) estão apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 - Temperatura média e precipitação acumulada para o período de coleta de amostras foliares e produtividade, entre 2013 e 2015 e dos últimos dez anos.

Mês	2013	2014	2015	Últimos dez anos
		Temperatura (ºC)		
Abril	23,2	24,6	30,9	24,1
Maio	21,3	21,9	28,0	21,8
Junho	21,5	22,2	28,1	21,1
Julho	20,1	21,0	27,8	21,5
Agosto	27,8	29,3	31,8	29,3
Setembro	28,9	31,0	32,7	30,2
Outubro	28,6	32,4	34,4	21,1
		Precipitação (mm)		
Abril	60,9	66,6	37,9	65,1
Maio	144,0	9,3	63,3	54,1
Junho	50,6	0,2	19,2	26,5
Julho	5,3	18,4	59,7	37,6
Agosto	6,8	0,0	5,3	15,8
Setembro	65,8	71,5	138,3	59,8
Outubro	89,1	22,0	87,9	102,9

Fonte: INMET (2017).

Os híbridos de tomate de crescimento determinado amostrados nos experimentos e campos de produção para a avaliação do estado nutricional foram: ‘H9553’, ‘U2006’, ‘HMX7883’, ‘Acangatá', 'AP529', 'AP533', 'H9889', 'BA5630', 'Milagro', 'Umbopoq', 'HMX7885' e 'HMX7889'. Os espaçamentos da cultura variaram de 1,20-1,25 m entre linhas, e tendo como padrão o espaçamento de 0,25 m entre plantas. Em todos os campos de produção, a irrigação foi realizada por pivô central e os controles de pragas, doenças e plantas daninhas seguiram as recomendações para a cultura, com base nas indicações de Alvarenga (2013). Em todas as áreas foi realizado o transplante de mudas.

2.2 Experimentos de tomate

As 159 observações oriundas da pesquisa foram obtidas de cinco experimentos, conduzidos nos municípios de Guaíra e Barretos, SP.

2.2.1 Experimentos com doses de fósforo (P)

Três experimentos foram conduzidos, em áreas com distintas concentrações de P. Em solo de baixa (< 25 mg dm^{-3}) e alta (> 60 mg dm^{-3}) concentração de P (TRANI et al., 1997), foram consideradas as doses de 0, 200, 400, 600, 800 e 1000 kg P_2O_5 ha^{-1}. Em solo com alta concentração de P, foram seis doses (0, 150, 300, 450, 600 e 750 kg P_2O_5 ha^{-1}). A fonte de P foi o superfosfato triplo (45 % P_2O_5). Os experimentos foram instalados sob delineamento experimental de blocos casualizados, sendo cada parcela composta por três linhas de cultivo de 6 m, espaçados em 1,25 m entre linhas e 0,25 m entre plantas. Como área útil, foi considerada a linha central descartando 0,5 m das extremidades, totalizando 20 plantas.

Foram utilizadas mudas de tomateiro para indústria, cultivar Heinz 9553, cultivadas em bandejas de isopor com 128 células, sendo transplantadas quando atingiram quatro folhas definitivas, em solo classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo (EMBRAPA, 2013). O solo da área experimental apresentou 520, 290 e 190 g kg^{-1} de areia, silte e argila, respectivamente. O experimento foi realizado no município de Barretos que apresenta clima Aw (clima tropical com inverno seco), com temperatura máxima, mínima e média é de 29,5ºC, 18,5ºC e 24,2ºC, respectivamente, com precipitação média anual de 1.228 mm (INMET, 2017). Utilizou-se de irrigação por aspersão via pivô central, com lâminas de água variando conforme os estádios vegetativos da cultura e os tratos culturais seguindo a recomendação de Alvarenga (2013).

Após aração e gradagem da área, sulcos foram abertos para aplicação, de forma combinada, de 30 kg ha^{-1} de N e 60 kg ha^{-1} de K_2O (TRANI et al, 1997), nas fontes ureia e cloreto de potássio, assim como as doses de P, conforme cada tratamento. A adubação de cobertura foi realizada segundo Trani et al. (1997).

2.2.2 Experimento com doses de nitrogênio (N) e potássio (K)

Um experimento avaliando doses de N e K foi conduzido em Barretos, SP. O delineamento experimental utilizado foi de blocos ao acaso, em esquema fatorial 4 x

5, com quatro repetições. Os tratamentos constituíram de 4 doses de N (0, 60, 120 e 180 kg ha^{-1}) e cinco doses de K_2O (0, 100, 200, 300 e 400 kg ha^{-1}). As fontes utilizadas para o fornecimento de N e K foram ureia (45% de N) e cloreto de potássio (58 % de K_2O), respectivamente. As doses de P_2O_5 no plantio foi 360 kg ha^{-1}, utilizando como fonte de P o superfosfato simples, segundo Trani et al. (1997), de acordo com a análise de solo. Nos tratamentos com aplicação de N e K, foram aplicados 30 e 100 kg ha^{-1} de N e K_2O, respectivamente, no plantio. As quantidades restantes da adubação de N e K de cada tratamento foram aplicadas em cobertura, parceladas em quatro vezes e em quantidades iguais, aos 14, 28, 42 e 56 dias após o transplantio das mudas de tomateiro.

As unidades experimentais foram constituídas por três fileiras de plantas, com 9 m de comprimento, o espaçamento entre fileiras de 1,2 m e 0,25 m entre plantas, com 36 plantas por fileiras, totalizando 108 plantas por unidade experimental. A área útil de unidade experimental foi constituída pela fileira central, desprezando-se 0,5 m de cada extremidade.

As mudas de tomateiro foram produzidas em bandejas com substrato comercial, utilizando sementes da cultivar Heinz 9553. Este híbrido foi desenvolvido pela companhia Heinz *Seeds*, sendo um dos genótipos mais cultivados no país e em diversas regiões do mundo. Apresenta crescimento determinado, maturação concentrada, podendo levar de 110 a 120 dias para atingir a sua maturação (GIORDANO et al., 2000; BITTAR et al., 2011).

Previamente à instalação dos experimentos em campo, foi realizada a amostragem do solo para fins da análise química de fertilidade e granulometria. A amostragem de solo foi realizada coletando-se, com trado, 20 amostras simples na profundidade de 0 a 20 cm e então homogeneizadas em um recipiente limpo, formando uma amostra composta. A partir desta foi retirada uma subamostra de 250 cm^3 de solo, para fazer a análise química e física.

A calagem foi realizada com base na análise de solo e de acordo com a recomendação indicada para a cultura do tomateiro rasteiro (TRANI et al., 1997).

Utilizou-se de irrigação por aspersão via pivô central, com lâminas de água variando conforme os estádios vegetativos da cultura e os tratos culturais seguindo a recomendação de Alvarenga (2013).

2.2.3 Experimento com doses de potássio (K)

Um experimento avaliando doses de potássio foi desenvolvido em Barretos, SP, Brasil, em Latossolo Bermelho-Amarelo (EMBRAPA, 2013), com 11 tratamentos, que corresponderam às doses de K_2O (0, 50, 100, 150, 200, 250, 300, 350, 400, 450 e 500 kg ha^{-1}) e com três repetições. O mesmo foi organizado em delineamento experimental de blocos casualizados, sendo cada parcela composta por três linhas de cultivo de 6 m, espaçados em 1,25 m entre linhas e 0,25 m entre plantas. Como área útil, foi considerada a linha central descartando 0,5 m das extremidades, totalizando 20 plantas.

Foram utilizadas mudas de tomateiro para indústria, cultivar Heinz 9553, cultivadas em bandejas de isopor com 128 células, sendo transplantadas quando atingiram quatro folhas definitivas.

Após aração e gradagem da área, sulcos foram abertos para aplicação, de forma combinada, de 30 kg ha^{-1} de N e 360 kg ha^{-1} de P_2O_5, nas fontes ureia e superfosfato simples, respectivamente, segundo Trani et al. (1997), de acordo com a análise de solo. A adubação de cobertura foi realizada segundo Trani et al. (1997).

Utilizou-se de irrigação por aspersão via pivô central, com lâminas de água variando conforme os estádios vegetativos da cultura e os tratos culturais seguindo a recomendação de Alvarenga (2013).

2.3 Coleta da folha diagnose e determinação da produtividade (campos de produção e experimentos)

Cada área de produção e unidade experimental participou com uma amostra composta para avaliação do estado nutricional. Segundo indicação de Fontes (2000), no início do florescimento, foi coletada a quarta folha a partir do tufo apical, de trinta plantas. As folhas foram lavadas com solução de detergente neutro 1 ml L^{-1}, enxague em água corrente, imersão em solução de HCl 30 mL L^{-1} por 15 segundos e, finalmente, com dois enxagues em água destilada, sendo posteriormente postas a secar em estufa de circulação forçada de ar a 65±5ºC até massa constante. Em

seguida, as amostras foram moídas em moinho tipo Willey (com malha de 2 mm) e analisadas, segundo Miyazawa et al. (2009), para a determinação dos teores de nutrientes (N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn e Zn). As produtividades foram obtidas colhendo-se 45 m^2, para os campos de produção, e estimando-se as equivalentes para 1 há. Para os experimentos foram consideradas as áreas úteis.

2.4 Estabelecimento do sistema da Diagnose da Composição Nutricional (CND-*ilr*)

A representação da abordagem CND-*ilr* para os dados computacionais e suas fórmulas de cálculo, segundo Egozcue et al. (2003) e Egozcue; Pawlowsky-Glahn (2005), são apresentadas por Parent et al. (2013a, b), como segue:

$$ilr_j = \sqrt{\frac{n_j^+ n_j^-}{n_j^+ + n_j^-}}\, ln \frac{g(c_j^+)}{g(c_j^-)}$$

em que: n_j^+ é o número de componentes no numerador (r), n_j^- é o número de componentes no denominador (s), $g(c_j^+)$ é a média geométrica entre os componentes no numerador, e $g(c_j^-)$ é a média geométrica entre os componentes no denominador. O coeficiente $\sqrt{\frac{n_j^+ n_j^-}{n_j^+ + n_j^-}}$ permite balanços ortogonais normalizados em balanços ortonormais. Valores positivos de CND-*ilr* indicam que o grupo positivo possui maior peso que o outro grupo, enquanto valores nulos indicam o mesmo peso.

Foi calculado o valor do componente *Fv* (*Filling value* ou Valor de enchimento, em mg kg^{-1}), obtido segundo a equação a seguir:

$$Fv = 1.000.000 - (A + B + \cdots + n)$$

em que: 1.000.000 é o valor máximo; a este valor é subtraído a somatória dos nutrientes, todos expressos em mg kg^{-1}. Ao final, foram utilizados 12 componentes

(N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn, Zn e *Fv*), para os cálculos da abordagem CND-*ilr.*

Após os cálculos das coordenadas CND-*ilr*, estas foram utilizadas para exclusão dos dados discrepantes, ou *outliers* (ponto que está muito distante das demais observações em uma série estatística), conforme proposto por Parent et al. (2009). Em seguida, realizou-se o teste de normalidade (Shapiro-Wilk), como indicam Hair et al. (1995).

Posteriormente, foi estabelecido o balanço, ou seja, uma combinação *ad hoc* ou ainda, partição binária sequencial (PBS), segundo Parent et al. (2013a, b) (Figura 1), composta por 11 coordenadas CND-*ilr* (D-1), para o tomate para processamento industrial.

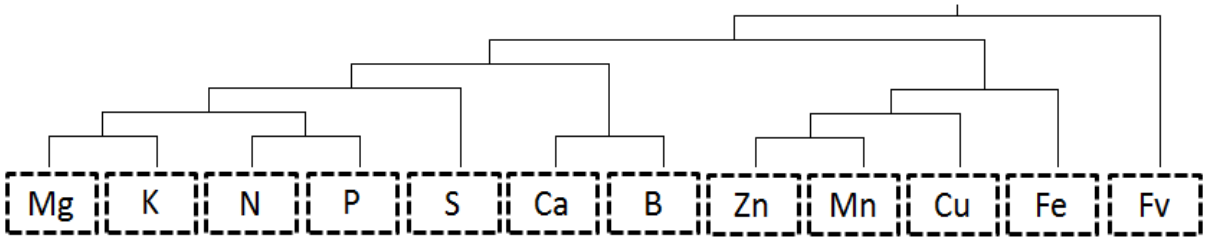


Figura 1. Proposta de balanços de nutrientes para o tomateiro industrial. (*Fv* = *Filling value* ou Valor de enchimento).

O 11º balanço CND-*ilr* representa o contraste entre os nutrientes e o valor de enchimento (*Fv*). Os demais contrastes da PBS são determinados de acordo com o conhecimento teórico do pesquisador sobre cada cultura, no que diz respeito aos interesses da composição nutricional. Contudo, vale ressaltar que, independente da escolha dos balanços (*ad hoc*), a partir da Distância de Mahalanobis (DM), os valores finais das coordenadas CND-*ilr* serão sempre os mesmos (a abordagem CND-*ilr* projeta os dados de composição em um espaço real e a PBS define o sistema cartesiano) (MARCHAND et al., 2013). Na Tabela 2 é apresentado um detalhamento da PBS com suas respectivas coordenadas CND-*ilr* para o tomateiro industrial.

Tabela 2. Detalhamento da partição binária sequencial (PBS) para os dados de tomateiro.

ilr	Balanços	Mg	K	N	P	S	Ca	B	Zn	Mn	Cu	Fe	*Fv*	r	s
1	[Mg | K]	-1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
2	[P | N]	0	0	1	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
3	[K, Mg | N, P]	-1	-1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2
4	[S | K, Mg, N, P]	1	1	1	1	-1	0	0	0	0	0	0	0	4	1
5	[B | Ca]	0	0	0	0	0	1	-1	0	0	0	0	0	1	1
6	[B, Ca | K, Mg, N, P, S]	1	1	1	1	1	-1	-1	0	0	0	0	0	5	2
7	[Zn | Mn]	0	0	0	0	0	0	0	-1	1	0	0	0	1	1
8	[Cu | Zn, Mn]	0	0	0	0	0	0	0	1	1	-1	0	0	2	1
9	[Fe | Cu, Zn, Mn]	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	-1	0	3	1
10	[Fe, Cu, Zn, Mn | K, Mg, N, P, S, Ca, B]	1	1	1	1	1	1	1	-1	-1	-1	-1	0	7	4
11	[Fv | Fe, Cu, Zn, Mn, K, Mg, N, P, S, Ca, B]	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	-1	11	1

"r" e "s": numerador e denominador; *Fv*: *Filling value ou* Valor de enchimento

Como resultado da ortogonalidade, a DM pode ser calculada como o índice de desequilíbrio de nutrientes (PARENT et al., 2009), a partir do espaço Euclidiano (PARENT et al., 2013b), como segue:

$$DM = \sqrt{\left(ilr_j - ilr_j^*\right)^T COV^{-1}\left(ilr_j - ilr_j^*\right)}$$

em que: ilr_j^* é a média aritmética da população de referência; COV é a matriz de covariância da população de referência, isolada após o interativo método Cate-Nelson (NELSON; ANDERSON, 1977). O necessário procedimento do método Cate-Nelson maximiza a soma dos quadrados entre duas partições da seguinte forma:

$$SS = \left[\left(\sum_{i=1}^{k} Y_i\right)^2 \Big/ k + \left(\sum_{j=k+1}^{n} Y_j\right)^2 \Big/ (n-k) \right] - CF$$

em que: Y é a produtividade, *k* é uma contagem elementar que começa com a primeira observação ordenada acima de *n*, o número total de observações e *CF* é

um fator de correção calculado como: $(\sum_{k=1}^{n} Y_k)^2/n$. A classificação das subpopulações determinadas na partição de Cate-Nelson de acordo com o descrito por Parent et al. (2013b). Ao final, são obtidos quadrantes, em que cada partição é classificada como segue:

- Verdadeiro Negativo (VN): amostras com alta produtividade corretamente identificadas como equilibradas nutricionalmente (Distância de Mahalanobis - DM - abaixo do valor crítico). Estado nutricional adequado, classificada como "população de referência".
- Falso Positivo (FP: erro tipo I): amostras com alta produtividade incorretamente identificadas como desequilibradas nutricionalmente (DM acima do valor crítico). FP representa amostras com consumo de luxo de nutrientes ou alta eficiência de uso dos mesmos.
- Falso Negativo (FN: erro tipo II): amostras com baixa produtividade incorretamente identificadas como equilibradas nutricionalmente (DM abaixo do valor crítico). FN representa amostras com influência em outros fatores de produção (por exemplo, clima) sobre o desempenho da cultura.
- Verdadeiro Positivo (VP): amostras com baixa produtividade corretamente identificadas como desequilibradas nutricionalmente (DM abaixo do valor crítico). Pelo menos um nutriente está causando o desequilíbrio.

Posteriormente são calculados os seguintes parâmetros:

- Acurácia (Acc): é a probabilidade de uma observação ser corretamente identificada como equilibrada ou desequilibrada, calculado por: (VN + VP) / (VN + FN + VP + FP).
- Sensibilidade (ou *Sensitivity*): é a probabilidade de uma observação de baixo desempenho estar desequilibrada, calculada por: VP / (VP + FN).
- Valor Predito Positivo (*PPV*) é a probabilidade de um diagnóstico de desequilíbrio retornar a um baixo desempenho, calculado por: VP / (VP + FP).
- A Especificidade (ou *Specificity*) é a probabilidade de uma observação de elevada produtividade ser equilibrada, calculado por: VN / (VN + FP).
- O Valor Predito Negativo (*NPV*) é a probabilidade de um diagnóstico equilibrado retornar a um alto desempenho, calculado por: VN / (VN + FN).

O *NPV*, a Acurácia e a Sensibilidade identificam o potencial de deficiência de nutrientes e indicam que alguns outros fatores podem limitar o crescimento da planta. O *PPV* e a Especificidade detectam potenciais problemas relacionados ao consumo de luxo de nutriente ou contaminação.

A partição de Cate-Nelson é recalculado até que os valores dos parâmetros supracitados não se alterem mais. E entre estes, a acurácia é o primeiro a ser levado em consideração, por englobar todos os quadrantes (PARENT et al., 2013b), seguido da Sensibilidade, PPV, Especificidade e NPV.

Uma vez obtida a população de referência, as coordenadas CND-*ilr* desse grupo são retransformadas para a abordagem CND-*clr* e, posteriormente, em teores (PARENT et al., 2013b), a partir do *software* CoDaPack (versão 2.01.15) (COMAS-CUFÍ; THIÓ-HENESTROSA, 2011). Como ponto de corte inicial, para o cálculo da partição de Cate-Nelson, utilizou-se da metodologia apresentada por Khiari et al. (2001), também com a abordagem CND-*clr*.

As normas CND-*ilr* (média aritmética e matriz de covariância inversa) foram calculadas a partir das coordenadas CND-*ilr,* segundo a população de referência (VN).

Para o cálculo da faixa de suficiência (FS), foi adotado o intervalo de confiança (IC) ($p \leq 0,05$), conforme metodologia proposta por Parent et al. (2013a, b). O nível crítico foi considerado como limite inferior da FS.

Para a obtenção da ordem de limitação (OL), foram calculados os índices CND-*clr* (I), como segue:

$$I_{clr_i} = \frac{clr_i - clr_i^*}{S_i^*}$$

na qual: I_{clr_i} é o índice CND-*clr* do nutriente i da amostra n; clr_i^* é o media aritmética da transformação CND-*clr* da população de alta produtividade (população de referência) para o nutriente i e S_i^* é o desvio-padrão da população de referência para o nutriente i.

As coordenadas CND-ilr e as transformações CND-*clr* foram calculadas pelo *software* CoDaPack (versão 2.01.15) (COMAS-CUFÍ; THIÓ-HENESTROSA, 2011) e as análises estatísticas pelo *software* R (VAN DEN BOOGAART et al., 2013).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após a transformação dos dados para as coordenadas CND-*ilr*, fez-se a exclusão dos *outliers* (total de 12 amostras). O total de amostras da população de tomateiro industrial avaliada, que inicialmente era de 224, passou para 212, que apresentaram normalidade, segundo teste de Shapiro-Wilk (W = 0,99714, p = 0,97).

As DM calculadas a partir da transformação ln (logaritmo neperiano) e das coordenadas CND-*ilr,* apresentaram alta correlação (r = 0,98, p < 0,01) (Figura 2). A DM, como medida de dissimilaridade, a fim de avaliar a semelhança entre as duas variáveis, leva em consideração a existência de correlações entre os caracteres analisados por meio da matriz de covariância (CRUZ; CARNEIRO, 2003; SOUZA; VICINI, 2005; LINDEN, 2009). Dessa forma, foi possível observar que a DM, calculada segundo as coordenadas CND-*ilr*, mostrou ser um índice de desequilíbrio nutricional confiável (PARENT et al., 2009; ROZANE et al., 2013) para avaliação do estado nutricional do tomate para processamento industrial, devido a alta correlação existente entre o CND-*ilr* e os teores nutricionais.

Após as transformações dos dados (coordenadas CND-*ilr*), utilizou-se a partição de Cate-Nelson (PARENT et al., 2013b) (Figura 3), a fim de identificar os quadrantes VN, FN, VP e FP. No que diz respeito à DM (valor crítico), o ponto de corte foi de 4,83 e a produtividade de 105,8 t ha^{-1}.

Considerando os quatro quadrantes da partição de Cate-Nelson (Figura 3), as amostras foram identificadas e apresentadas na Tabela 3.

Observa-se na Tabela 3 que 29 % (62 amostras) das amostras foram classificadas como VN, ou seja, a população de referência, e que esta foi representada por 27 e 35 amostras dos experimentos de N x K e P, respectivamente. Quanto ao grupo VP (população com baixa produtividade e acima do valor crítico da DM), representado por 48 % (102 amostras), 45 % destas foi composta por observações de produtores. Isso sugere que adubações realizadas

pelos produtores deverão ser reavaliadas, visto que 100 % de suas amostras foram classificadas como desequilibradas nutricionalmente, sendo que 84 % destas classificadas como de baixa produtividade.

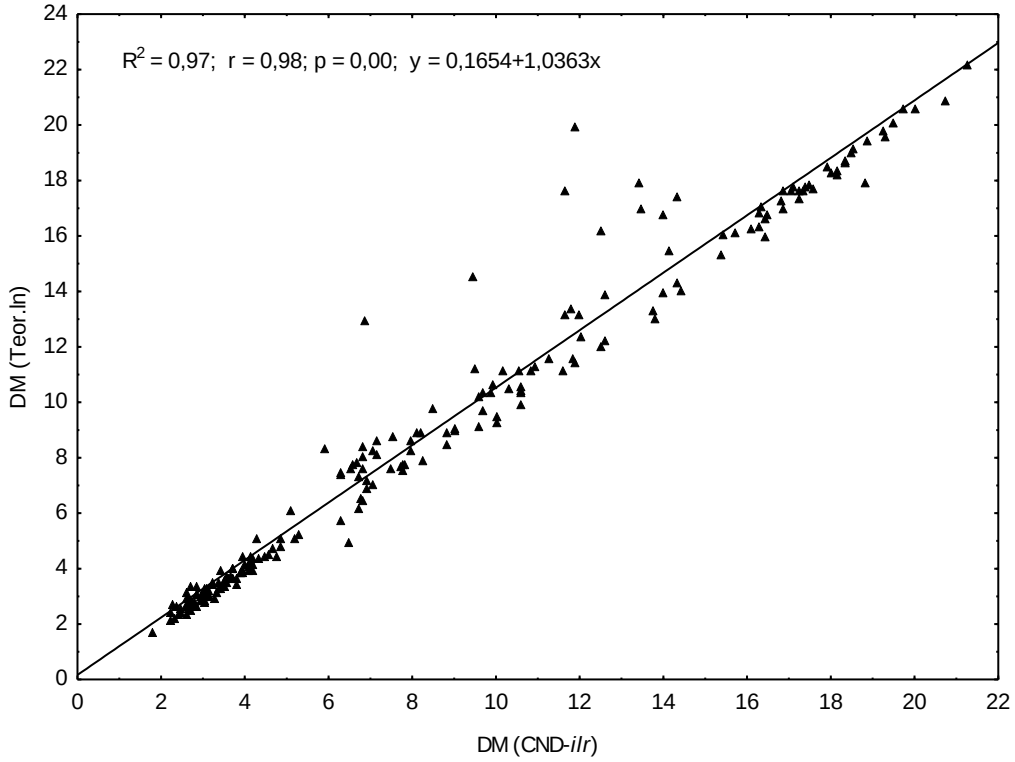


Figura 2. Correlação entre a distância de Mahalanobis (DM) a partir da transformação ln do teor (Teor.ln) e do CND-*ilr*.

Embora a realização de experimentos seja onerosa, é importante que tais dados sejam incorporados ao banco de dados, a fim de enriquecê-lo de informações mais precisas quanto à relação entre teores nutricionais e produtividades, pois os mesmos são conduzidos de uma forma controlada e com variação somente das doses de nutrientes. Outra razão para isso, e não menos importante, é quando não se tem um banco de dados em quantidade, ou seja, pouco representativo. Vale ressaltar que dados de produtores podem ser entendidos como indispensáveis na formação de um banco de dados, visto que estes retratam a interação dos cultivos com fatores de produção não controlados, como ocorre em experimentação agrícola. No que diz respeito à especificidade das normas, novos dados obtidos em uma região específica podem ser de grande valia para ajuste dos padrões e levar a uma

interpretação mais segura dos resultados (FAQUIN, 2002). Segundo Silva et al. (2005), a universalidade das normas faz com que se obtenham diagnósticos incorretos, ou com baixa acurácia, do que aqueles obtidos a partir de normas específicas, com maior exatidão (COSTA, 1999; REIS JR., 2001).

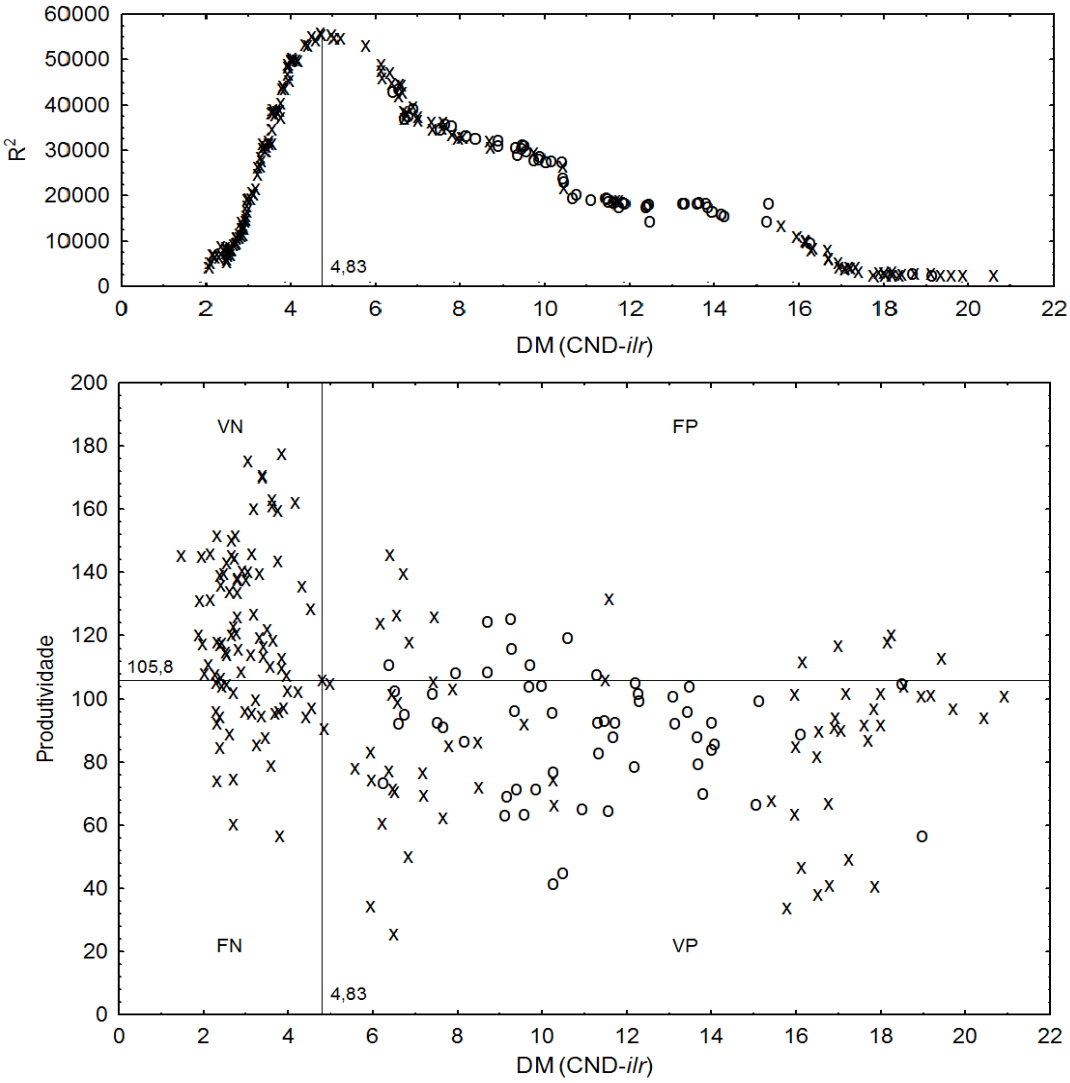


Figura 3. Partição de Cate-Nelson para os dados de tomateiro para indústria. Dados de análise foliar de campos de produção e de experimentos (212 amostras). VN = verdadeiro negativo; FP = falso positivo; FN = falso negativo; VP = verdadeiro positivo. Acurácia = 77 %, Sensibilidade = 79 %, Especificidade = 75 %, NPV = 70 %, PPV = 83 %, Produtividade = 105,8 t ha^{-1}; DM = 4,83. “x” e “o”: dados de experimento e produtores, respectivamente.

Tabela 3. Detalhamento da divisão das amostras de tomateiro para indústria dentro dos quadrantes VN, FN, VP e FP.

Quadrantes	Experimentos			Campos de produção	Total	%
	N x K	K	P			
VN[1]	27	0	35	0	62	29
FN	15	0	12	0	27	13
VP	11	28	17	46	102	48
FP	6	5	1	9	21	10
Total	59	33	65	55	212	100

[1]População de referência; VN = verdadeiro negativo; FN = falso negativo; VP = verdadeiro positivo; FP = falso positivo.

Para esse banco de dados, o método obteve acurácia de 77 % e sensibilidade de 79 % (Figura 3). Das amostras classificadas com diagnóstico de desequilíbrio e com baixo desempenho produtivo (PPV), foi de 83 %.

A especificidade ou a probabilidade de uma observação de elevada produtividade ser equilibrada nutricionalmente, para essa população de tomateiro, foi de 75 %. Quanto às amostras em equilíbrio e com alta produtividade (NPV), acima de 105,8 t ha^{-1}, foi de 70 %. Com a cultura da manga, Parent et al. (2013b) obtiveram acurácia de 92 %, com valor máximo para PPV (99 %) e mínimo para NPV (65 %), classificado como bom resultado pelos autores.

Ressalta-se que a produtividade mínima do tomateiro para o grupo VN (105,8 t ha^{-1}) está muito acima da produtividade média obtida pelos produtores brasileiros (65,94 t ha^{-1}) (IBGE, 2015). Contudo, a tabela de recomendação oficial, indicada para o estado de São Paulo, baseia-se em produtividade aproximada de 42 t ha^{-1}, ou seja, muito distante da produtividade média encontrada nas áreas de produção que compõe a presente pesquisa e alcançada atualmente no Estado, que é de 80 t ha^{-1} (IEA, 2016) e, principalmente, da principal região produtora de tomate para processamento (Guaíra-SP) que está ao redor de 95 a 100 t ha^{-1}. O manejo de adubação é de suma importância na obtenção de altas produtividades, bem como em resultados satisfatórios quanto se trata do custo de produção. Tais indicativos enfatizam, mais uma vez, o quão é necessário melhorar tal manejo nos campos de produção.

Estudo das coordenadas

As normas (média aritmética e a matriz de covariância inversa) das coordenadas CND-*ilr,* obtidas a partir da população de referência, seguem apresentadas na Tabela 4.

Tabela 4. Normas (média e a matriz de covariância inversa) CND-*ilr,* a partir da população de referência.

CND-ilr	ilr.1	ilr.2	ilr.3	ilr.4	ilr.5	ilr.6	ilr.7	ilr.8	ilr.9	ilr.10	ilr.11
Média	0,998	1,824	-0,022	0,713	4,741	2,871	0,289	-0,025	-0,479	5,564	-6,112
					Matriz de covariância inversa (COV^{-1})						
ilr.1	260,4	77,6	75,5	-42,5	101,1	-104,3	24,5	-40,3	-0,6	-34,5	-178,1
ilr.2	77,6	173,2	81,0	2,6	36,9	-59,1	-8,3	-7,5	-10,8	-27,2	-173,0
ilr.3	75,5	81,0	98,6	-20,8	41,4	-71,8	-4,0	-13,6	-12,7	-29,8	-170,8
ilr.4	-42,5	2,6	-20,8	115,6	-11,4	43,4	6,8	-31,4	-15,2	7,3	-47,3
ilr.5	101,1	36,9	41,4	-11,4	93,6	-55,6	27,2	-0,9	-10,7	-51,6	-183,2
ilr.6	-104,3	-59,1	-71,8	43,4	-55,6	179,7	-39,9	36,7	17,0	57,8	312,2
ilr.7	24,5	-8,3	-4,0	6,8	27,2	-39,9	90,2	4,4	0,6	-3,3	-49,7
ilr.8	-40,3	-7,5	-13,6	-31,4	-0,9	36,7	4,4	74,3	23,8	-1,2	62,3
ilr.9	-0,6	-10,8	-12,7	-15,2	-10,7	17,0	0,6	23,8	21,8	12,6	72,8
ilr.10	-34,5	-27,2	-29,8	7,3	-51,6	57,8	-3,3	-1,2	12,6	52,0	178,4
ilr.11	-178,1	-173,0	-170,8	-47,3	-183,2	312,2	-49,7	62,3	72,8	178,4	1144,1

Correlacionando-se com a produtividade, as coordenadas CND-*ilr* que apresentaram efeito significativo foram 6, 7, 9, 11, DM ($p \leq 0,01$), assim como 2, 4 e 10 ($p \leq 0,05$) (Tabela 5).

Embora a DM calculada a partir das condenadas CND-*ilr* tenha sido baixa ($R^2 = 0,20$), esta foi significativa ($p \leq 0,01$). Nesse caso, se observa que outros fatores, além de nutricionais, influenciaram a produtividade, como também observaram Wadt et al. (2016), em feijão-caupi, no Estado da Paraíba. O mesmo se aplica para os nutrientes de forma isolada. O baixo R^2 demonstra que dificilmente um único nutriente seria responsável pela produtividade. Contudo, a DM, como índice de desequilíbrio nutricional, pôde separar as amostras, cujo fator nutricional foi relevante (Tabela 6).

Tabela 5. Teste de correlação entre as variáveis ‘produtividade’ e ‘coordenadas CND-*ilr*’ e a ‘distância de Mahalanobis (DM)’.

ilr	Equação[I]	R^2
1	$1,1603-0,0009x^{ns}$	0,01
2	1,7025+0,0007x*	0,02
3	$0,0851-0,0004x^{ns}$	0,00
4	0,974-0,0021x*	0,02
5	$4,5076+0,0012x^{ns}$	0,01
6	3,1996-0,0017x**	0,03
7	1,0263-0,0047x**	0,08
8	$0,1293-0,0007x^{ns}$	0,00
9	-1,3187+0,0053x**	0,06
10	6,0998-0,0036x*	0,03
11	-6,322+0,0013x**	0,07
DM	16,7652-0,0841x**	0,20

[I]Modelo estatístico da análise de regressão da correlação entre a produtividade e as coordenadas CND-*ilr* e a DM. ^{ns}, *, **: diferença não significativa, significativo a 0,05 e 0,01 de probabilidade, respectivamente.

Segundo os resultados obtidos pela partição de Cate-Nelson (Figura 3), a única divergência entre o grupo VN e FN foi a produtividade (teste t, $p \leq 0,05$). Tais resultados corroboram os de Parent et al. (2013b), em que a baixa produtividade em FN é causada por fatores não nutricionais.

Com relação aos grupos VP e FP, apenas as coordenadas 4 ([S | K, Mg, N, P]) e 8 ([Cu | Zn, Mn]), para ambos os grupos e, 5 ([B | Ca]) para FP, não apresentaram efeito significativo comparado a VN. Esse resultado contraria a afirmação de Wadt et al. (2016), que apenas baixas produtividades são esperadas em condições de desequilíbrio nutricional. No presente estudo, 10 % dos dados (Tabela 3) apresentaram alta produtividade, mesmo estando em desequilíbrio nutricional. Tal condição é caracterizada como consumo de luxo ou efeito de diluição (PARENT et al., 2013b), e, possivelmente, maior eficiência de uso dos nutrientes, consequentemente, apresentando maior variação dos dados. Essa variação pode ser observada na Figura 4. De forma geral, os grupos VP e FP apresentaram maior

amplitude, ao passo que para VN e FN, estes apresentaram maior ajuste, ou seja, melhor equilíbrio nutricional.

Tabela 6. Análise estatística comparando as médias das coordenadas CND-*ilr* e da produtividade do grupo VN aos demais grupos (FN, FP e VP).

ilr	Balanços	VN[1]	FN	VP	FP
1	[Mg | K]	1,00	1,00^{ns}	1,13**	1,11**
2	[P | N]	1,82	1,85^{ns}	1,73**	1,72**
3	[K, Mg | N, P]	-0,02	-0,01^{ns}	0,09**	0,15**
4	[S | K, Mg, N, P]	0,71	0,67^{ns}	0,84^{ns}	0,63^{ns}
5	[B | Ca]	4,74	4,64^{ns}	4,56**	4,66^{ns}
6	[B, Ca | S, K, Mg, N, P, S]	2,87	2,92^{ns}	3,13**	3,17**
7	[Zn | Mn]	0,29	0,29^{ns}	0,77**	0,66**
8	[Cu | Zn, Mn]	-0,02	-0,01^{ns}	0,12^{ns}	0,11^{ns}
9	[Fe | Cu, Zn, Mn]	-0,48	-0,55^{ns}	-0,98**	-1,06**
10	[Fe, Cu, Zn, Mn | K, Mg, N, P, S, Ca, B]	5,56	5,38^{ns}	5,90**	5,91**
11	[*Fv* | Mn, Zn, Cu, Fe, B, Ca, S, Mg, K, P, N]	-6,11	-6,10^{ns}	-6,25**	-6,23**
Produtividade (t ha^{-1})		132,10	89,91**	80,64**	118,59**

[1]População de referência; VN = verdadeiro negativo; FN = falso negativo; VP = verdadeiro positivo; FP = falso positivo; ^{ns}, *, **: diferença não significativa, significativo a 0,05 e 0,01 de probabilidade, respectivamente, comparado ao grupo VN.

Vale ressaltar que a análise de tecido foliar não é seletiva, ou seja, o tecido vegetal é digerido por ácido, assim, todo o conteúdo de nutriente que poderia estar armazenado no vacúolo, sem função fisiológica presente, aparece na análise (TAIZ; ZEIGER, 2013). Esse alto teor não necessariamente é efetivo no processo fotossintético da planta (EPSTEIN; BLOOM, 2006). Dessa forma é possível ter teor acima do adequado, o que caracterizaria desequilíbrio nutricional, e alta produtividade.

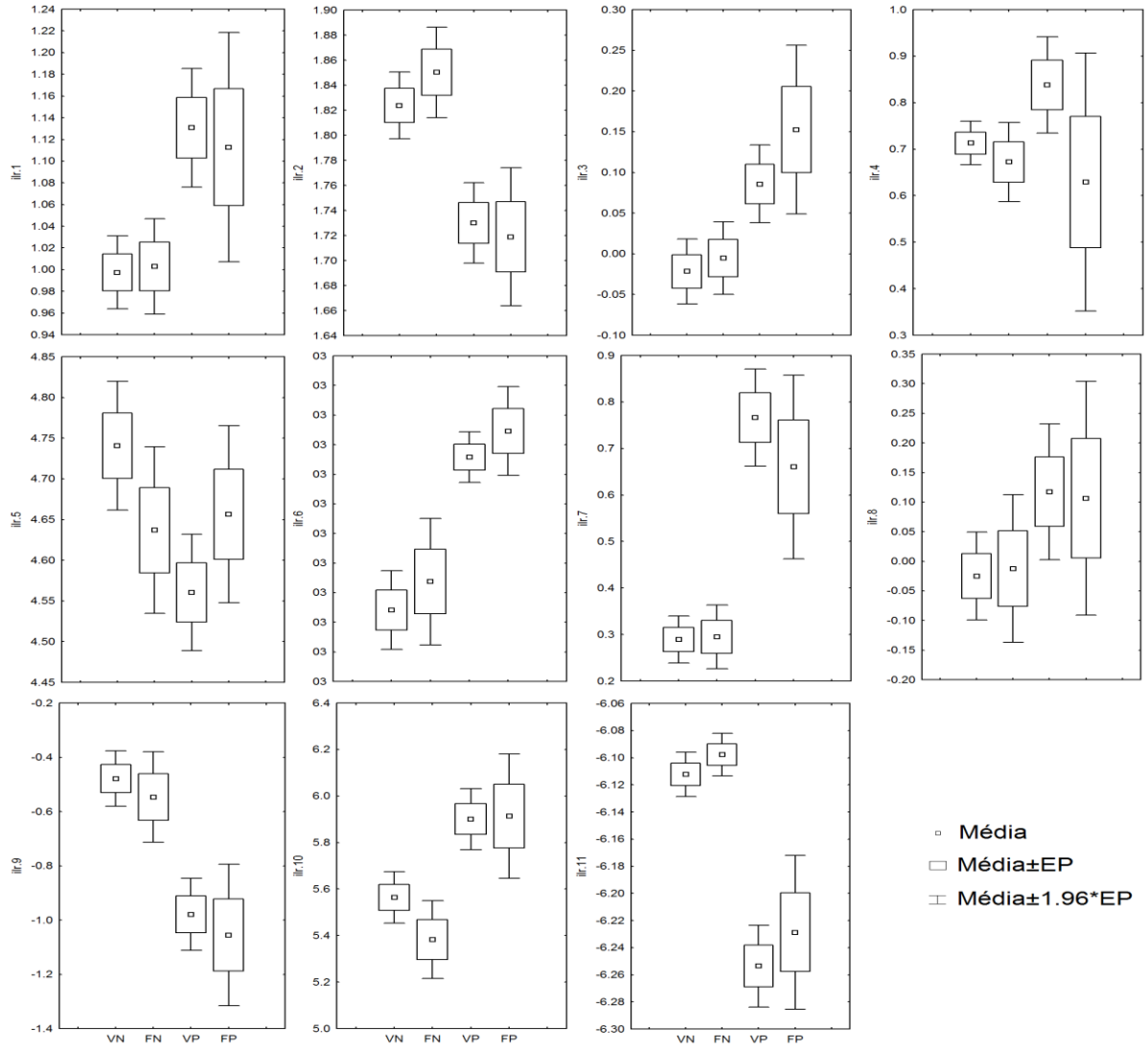


Figura 4. Box plots (média, média ± erro-padrão - EP e a média ± 1,96*EP) para as coordenadas CND-*ilr*, em relação aos grupos VN, FN, VP e FP. Teste t ($p \leq 0,05$).

Estudo dos teores

Um das premissas de um método de diagnóstico é identificar a FS para cada nutriente, a partir de uma população nutricionalmente equilibrada, bem como as maiores limitações numa população de amostras com baixa produtividade e desequilibrada nutricionalmente. Nesse sentido, as coordenadas CND-*ilr* foram retransformadas (PARENT et al., 2013b), para das variáveis multinutrientes (segundo CND-*clr*) (PARENT; DAFIR, 1992) e realizada a análise estatística (teste t,

p ≤ 0,05), entre os quadrantes VN, FN, VP e FP. Contudo, os valores apresentados corresponderam aos teores do macronutrientes N, P, K, Ca, Mg e S; *Fv* (g kg^{-1}), micronutrientes B, Cu, Fe, Mn e Zn (mg kg^{-1}) e a produtividade (t ha^{-1}) (Tabela 7).

Entre os grupos VN e FN (Tabela 7), a única variável significativa foi a produtividade, corroborando o resultado obtido na Tabela 6. Da mesma forma, embora FN esteja abaixo do valor crítico da DM, ou seja, equilibrada nutricionalmente, a baixa produtividade neste grupo é dada por fatores não nutricionais (PARENT et al., 2013b; WADT et al., 2016). De maneira contrária está o VP quando comparado ao VN. A baixa produtividade nesse grupo (VP) é justificada pelo desequilíbrio nutricional, sendo que N, P, K, Ca, Cu, Fe e Zn apresentaram efeito significativo a 1 % (p ≤ 0,01). Os nutrientes que apresentaram-se em excesso em VP foram N, P, K e Fe; e em deficiência foram Ca, Cu e Zn. Nota-se, ainda, que o *Fv* foi significativo (p ≤ 0,01), sendo VN inferior a VP. Nesse caso, observa-se em VP um efeito de diluição (e não de consumo de luxo) nesse grupo, ou seja, os nutrientes Ca, Cu e Zn.

Tabela 7. Análise estatística comparando a média das variáveis multinutrientes (CND-*clr*) calculadas a partir dos teores de nutrientes e *Fv*; e a produtividade do grupo VN aos demais grupos (FN, FP e VP).

	VN[1]	FN	VP	FP
		g kg^{-1}		
N	44,6	44,9^{ns}	45,4**	46,1**
P	3,4	3,3^{ns}	4,0**	4,1**
K	25,6	25,0^{ns}	28,2**	26,8^{ns}
Ca	29,9	26,2^{ns}	20,3**	21,5^{ns}
Mg	6,2	6,0^{ns}	5,6^{ns}	5,4^{ns}
S	5,6	5,8^{ns}	5,8^{ns}	7,3**
Fv	883,9	887,9^{ns}	890,0**	888,1**
		mg kg^{-1}		
B	34,1	34,8^{ns}	31,9^{ns}	29,1^{ns}
Cu	159,1	171,7^{ns}	130,1**	114,1**
Fe	262,3	304,2^{ns}	312,7**	335,5**
Mn	179,0	192,9^{ns}	179,2^{ns}	158,6^{ns}
Zn	115,8	123,6^{ns}	73,6**	73,7**
Produtividade (t ha^{-1})	132,1	89,9**	80,6**	118,6**

[1]População de referência; VN = verdadeiro negativo; FN = falso negativo; VP = verdadeiro positivo; FP = falso positivo; *Fv* = valor de enchimento; ^{ns}, *, **: diferença não significativa, significativo a 0,05 e 0,01 de probabilidade comparado ao grupo VN.

Com relação aos resultados obtidos pela partição de Cate-Nelson (Figura 3) e pelo teste t ($p \leq 0,05$) (Tabela 7), vale destacar que, mesmo com parâmetros baixos de Acc, Sensib., PPV, Espec. e NPV (%), não desqualificariam, necessariamente, o banco de dados analisado (desde que a amostragem foliar, a análise química laboratorial e a avaliação de produtividade tenham sido realizadas de forma correta), pois poderiam demonstrar apenas uma condição específica da cultura, bem como o ano em que as amostras foram coletadas (ocorrência de potenciais fatores limitantes a produção de origem não nutricionais, como, condições climáticas adversas, pragas, doenças, dentre outros).

Considerando-se os fatores não nutricionais, é possível observar, por exemplo, com a cultura do mirtilo-vermelho (MARCHAND et al., 2013), que o número de amostras em FN (26,6 %) foi maior do que em VN (14,9 %); ao passo que para a cultura da manga (PARENT et al., 2013b), apenas 7,1 % foram classificados como FN e 12,8 % como VN. Nesse caso, poderíamos inferir que para a cultura do mirtilo-vermelho, provavelmente ocorreram mais fatores não nutricionais que ocasionaram decréscimo da produtividade, levando ao maior número de amostras classificadas como FN em comparação a cultura da manga. No presente trabalho, o grupo FN e VN foi representado por 13 % e 29 %, respectivamente (Tabela 3).

Em relação às características de cada espécie, como para manga (PARENT et al., 2013b), no grupo FP, apenas 0,6 % das amostras apresentaram consumo de luxo ou alta eficiência do uso de nutrientes (desequilibradas nutricionalmente em ambas as situações) e 79,5 % com baixa produtividade. Em contrapartida, em mirtilo-vermelho (MARCHAND et al., 2013), 14,2 % e 43,7 % dos dados foram classificadas como FP e VP, respectivamente; demonstrando que há espécies de plantas com maior ou menor sensibilidade aos níveis de teor crítico de toxidade, reduzindo assim a produtividade. No presente trabalho, o grupo FP e VP foi representado por 10 % e 48 %, respectivamente (Tabela 3).

Portanto, pensando em nível de validação, muito discutido na literatura, mesmo com a aleatoriedade na escolha de uma parcela do banco de dados para fazê-la, tais amostras poderiam ser classificadas como FP ou FN, consequentemente invalidando, erroneamente, a norma obtida, uma vez que poderiam estar refletindo uma condição específica da cultura ou a ocorrência de

potenciais fatores não nutricionais na safra agrícola avaliada, afetando assim a produtividade.

Quanto à OL (Figura 5), tais resultados corroboraram os observados na Tabela 7. Os nutrientes que foram significativos, segundo teste t ($p \leq 0,05$), estiveram entre os mais limitantes para o equilíbrio nutricional em VP e, consequentemente, na produtividade do tomate para indústria. A OL para esse banco de dados e região foi: Zn (deficiência) > P (excesso) > N (excesso) > K (excesso) > Cu (deficiência) > Fe (excesso) e > Ca (deficiência); e em equilíbrio Mg > S > B e > Mn.

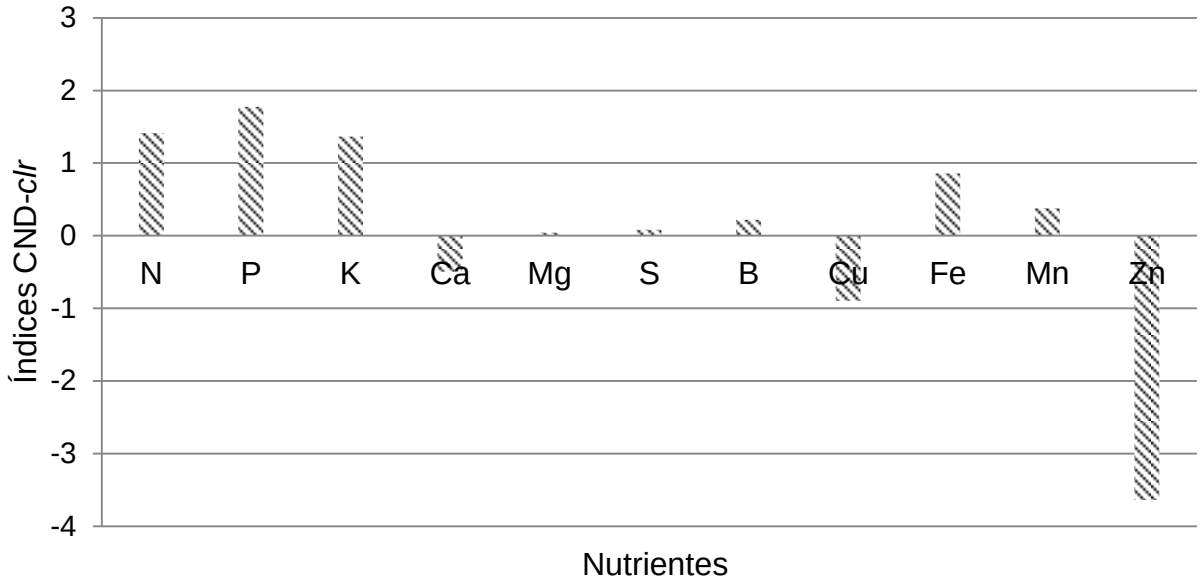


Figura 5. Ordem de limitação nutricional para os nutrientes N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn e Zn, a partir da população VP, segundo a metodologia CND-*clr,* em tomateiro para indústria. Índice positivo e negativo representam excesso e deficiência, respectivamente.

Com relação aos macronutrientes, são comumente empregadas doses elevadíssimas no cultivo do tomateiro. Como exemplo, na região Sul do país, o usual é aplicar 800 a 1000 kg ha^{-1} de P_2O_5; 30 a 50 kg ha^{-1} de N e de K_2O no plantio e, em cobertura, 500 a 800 kg ha^{-1} de N e de K_2O, via fertirrigação, independentemente dos resultados da análise de solo (FELTRIM et al., 2016).

O P, um dos nutrientes que estiveram em excesso em VP, é dado como segundo nutriente que mais limita a produtividade em solos tropicais (NOVAIS; SMYTH, 1999; SALCEDO, 2006). Isso acontece por apresentarem originalmente baixas concentrações do nutriente e elevada capacidade de adsorção, o que torna a nutrição fosfatada um fator limitante à obtenção de produtividades agrícolas economicamente satisfatórias (COSTA et al., 2006). Dessa forma, comumente são empregadas doses elevadas de adubos fosfatados em quantidades superiores a demanda das plantas de tomate para indústria, aumentando os riscos de desequilíbrio de nutrientes no solo, bem como ao ambiente.

Em função das doses elevadas de P, é possível que interfira na disponibilidade de outros nutrientes, acarretando em deficiência (antagonismo) ou excesso (sinergismo). Segundo Webb e Loneragan (1988), o excesso de P aumenta o requerimento fisiológico de Zn (primeiro nutriente a limitar a produtividade por deficiência na população VP), principalmente, em razão de estar ocorrendo o favorecimento do crescimento radicular pela maior disponibilidade de P no solo (BULL et al., 2008). Olsen (1972) destacou como possíveis mecanismos para explicar as relações antagônicas: interação P x Zn no solo; redução da taxa de translocação de Zn das raízes para a parte aérea; simples efeito de diluição sobre o teor de Zn na parte aérea devido ao crescimento em resposta ao P; e desordens metabólicas nas células vegetais, relacionadas com o desequilíbrio entre Zn e P, interferindo na função metabólica do Zn em certos sítios celulares. De modo geral, solos brasileiros são pobres em Zn (REIS JR; MARTINEZ, 2002), o que pode se agravar ainda mais o desequilíbrio entre P e Zn.

O N foi o terceiro nutriente a limitar a produtividade do tomateiro, também por excesso. Este está sujeito a um grande número de reações no solo, apresentando baixa eficiência de uso, onde 50 %, aproximadamente, é aproveitado pelas plantas (HAWKESFORD et al., 2012). Por essa razão, o N tem sido intensamente estudado no sentido de maximizar a eficiência do seu uso. Contudo, assim como o P, altas doses de N são administradas na cultura do tomateiro. O N é o segundo nutriente mais demandado e exportado pelo tomateiro, podendo ser absorvidos 211 kg ha^{-1}, sendo 70 % destes exportado com a produção (94,8 t ha^{-1}) (FAYAD et al., 2002).

O K foi o quarto nutriente a limitar a produtividade do tomateiro, também por excesso. Contudo, vale ressaltar a importância do efeito antagônico que ocorre entre este e o Ca, sétimo nutriente mais limitante na produtividade do tomateiro, discutido há anos na literatura (PREVOT; OLLAGNIER, 1956). Tisdale et al. (1985) destacam que, entre os principais fatores que afetam a disponibilidade e absorção de nutrientes, está a interações iônicas. A disponibilidade de K no solo e a sua absorção pelas plantas parecem estar relacionadas com a disponibilidade dos cátions divalentes, Ca e Mg, dominantes do complexo de troca (OLIVEIRA et al., 2001). Contudo, essa ordem de dominância pode ser invertida quando altas doses de K são administradas no manejo de adubação da cultura (MALAVOLTA, 2006; PRADO, 2008). Segundo os autores, a absorção do K pelas plantas é favorecida em comparação a outras espécies catiônicas sendo, dentre os cátions macronutrientes, o que se apresenta, em geral, menor e maior concentração e teor no solo e na planta, respectivamente. No tomateiro para indústria, o K é o nutriente mais absorvido (264 kg ha^{-1}) e exportado pela cultura (80 %), para uma produtividade de 94,8 t ha^{-1} (FAYAD et al., 2002), e assim como para o P e o N, altas doses de K são empregadas no seu manejo nutricional.

Quanto aos micronutrientes, Cu e o Fe foram os que apresentaram efeito na produtividade do tomateiro, sendo o quinto e o sexto, respectivamente. O Cu está mais relacionado com a aplicação de fungicidas (MARCHAND et al., 2013), que nesse caso, é possível que tais áreas (em VN) tenham tido um controle mais rigoroso e de modo preventivo. Já o Fe, este envolve a gênese do solo (MARCHAND et al., 2013). Para ambos os nutrientes, é aceitável tais hipóteses, pois o grupo VN é 100 % formado por análises oriundas de experimentos, todos realizados em Barretos e com manejo mais padronizado.

Com relação ao FP, mesmo com adequada produtividade (> 105,8 t ha^{-1}), observou-se desequilíbrio nutricional causado pelos nutrientes N, P, S, Cu, Fe e Zn ($p \leq 0,01$), sendo N, P, S e Fe, em excesso; e Cu e Zn em deficiência. Da mesma forma que para VP, em FP o *Fv* foi maior que em VN ($p \leq 0,01$), apresentando assim efeito de diluição nesse grupo, que nesse caso foram Cu e Zn. A variação dos valores da Tabela 7 segue ilustrada na Figura 6 (segundo as variáveis multinutrientes CND-*clr*).

As FS para o tomateiro para indústria, obtida, segundo o IC ($p \leq 0,05$), e calculados a partir de cada teor de macronutrientes (g kg^{-1}) e micronutrientes (mg kg^{-1}) (retransformação das coordenadas CND-*ilr*), para os grupos VN, foram confrontados com a literatura tradicional (TRANI; RAIJ 1997) (Tabela 8).

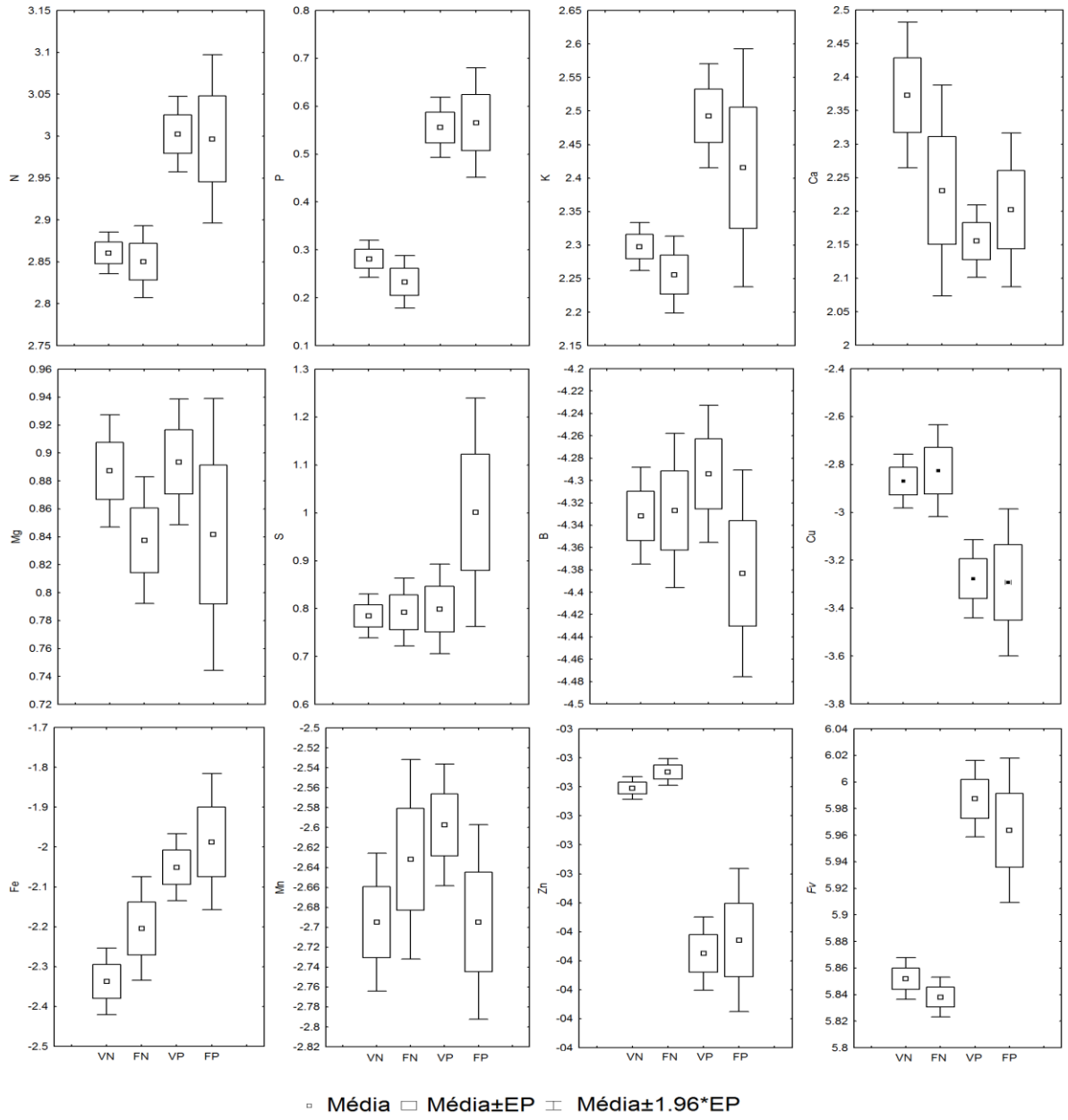


Figura 6. Box plots (média, média ± erro-padrão - EP e a média ± 1,96*EP), segundo a transformação CND-*clr* dos macronutrientes e *Fv* (g kg^{-1}), e micronutrientes (mg kg^{-1}), em relação aos grupos VN, FN, VP e FP. Teste t ($p \leq 0,05$).

Observa-se ainda que para os valores de VN, com exceção do Ca, os demais nutrientes apresentaram menor variação em relação ao valor mínimo e máximo de VP, demonstrando melhor equilíbrio das amostras que compõem esse grupo (Tabela 8). Comparando o intervalo entre a mínima e a máxima de VN e da referência (TRANI; RAIJ, 1997), para os macronutrientes, observou-se uma variação média de 646 % e para os micronutrientes de 464 %.

As FS são valores para indicar se os mesmos estão muito altos ou muito baixos, mas tal diagnóstico, quando utilizado o método univariado ou bivariado, torna-se tendencioso (PARENT E DAFIR, 1992; PARENT, 2011; PARENT et al., 2013a, b). De acordo com Parent et al. (2013a), o balanço nutricional apresenta maior relevância que os teores absolutos de nutrientes, por se tratar de uma análise multivariada. Rozane et al. (2016) complementam indicando que o balanço nutricional relaciona-se preponderantemente dentre cultivares e condições edafoclimáticas.

Tabela 8. Intervalos de confiança das concentrações dos nutrientes obtidos a partir da retransformação das coordenadas CND-*ilr*, das amostras dos grupos VN e VP, e de referência, em tomate para processamento industrial.

Nutrientes	VN[1]		VP		Trani e Raij (1997)	
	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
			g kg^{-1}			
N	43	46	44	47	40	60
P	3,2	3,6	3,7	4,3	4	8
K	24	27	26	31	30	50
Ca	26	34	19	22	14	40
Mg	5,9	6,6	5,3	6,0	4	8
S	5,3	5,9	4,9	6,7	3	10
			mg kg^{-1}			
B	32	37	29	35	30	100
Cu	135	183	99	161	5	20
Fe	227	297	278	348	100	300
Mn	161	197	160	198	50	250
Zn	109	123	61	87	30	100

[1]População de referência; VN = verdadeiro negativo; VP = verdadeiro positivo.

Para a abordagem CND-*ilr*, o NC para os macronutrientes (g kg^{-1}), foram: N - 43, P - 3,2, K – 24, Ca – 26, Mg – 5,9 e S – 5,3; e para os micronutrientes (mg kg^{-1}): B - 32, Cu – 135, Fe – 227, Mn – 161 e Zn – 109. Segundo Malavolta et al. (1989), os NC de macronutrientes (g kg^{-1}) nas folhas do tomateiro, são: N – 30; P - 3,5; K – 40; Ca - 14-18; Mg – 4; S - 3; e micronutrientes (mg kg^{-1}): B – 100; Cu – 20; Fe – 150; Mn – 100; e Zn - 50.

4 CONCLUSÃO

Para uma produtividade entre 105,8 e 176 t ha^{-1}, as faixas de suficiência de macronutrientes (g kg^{-1}) são: N, 43 - 46; P, 3,2 – 3,6; K, 24 – 27; Ca, 26 – 34,1; Mg, 5,9 – 6,6 e S, 5,3 – 5,9, e micronutrientes (mg kg^{-1}): B, 32 – 37; Cu, 135 – 183; Fe, 227 – 297; Mn, 161 – 197 e Zn, 109 – 123.

5 REFERÊNCIAS

BITTAR, C. A.; LUZ, J. M. Q.; NASCIMENTO, A. R.; CHAGAS, R. C. S.; QUEIROZ, A. A. **Desempenho e divergência genética de genótipos de tomate para processamento industrial**. In: 5º Congresso Brasileiro de Tomate Industrial, Anais... Goiânia: CNPH/ABH/FAEG/UFG/AGRODEFESA p. 33. 2011.

BUCCIANTI, A. Natural laws governing the distribution of the elements in geochemistry: the role of the log-ratio approach. In: PAWLOWSKY-GLAHN, V.; BUCCIANTI, A. (Eds). **Compositional data analysis: theory and applications.** New York: John Wiley and Sons. p. 255-266, 2011.

CHAYES, F. On correlation between variables of constant sum. **Journal of Geophysical Research**. Washington, US, v. 65, p. 4185–4193, 1960.

CEPEA, 2011: **Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada**. Hortaliças: Gestão sustentável. Revista Hortifruti Brasil. Piracicaba, Brasil. jun

COMAS-CUFÍ, M.; THIÓ-HENESTROSA, S. **CoDaPack 2.0: a stand-alone, multi-platform compositional software**. In: Egozcue, J. J.; TOLOSANA-DELGADO, R.; ORTEGO, M. I. (Eds.). CoDaWork'11: 4th International Workshop on Compositional Data Analysis. Sant Feliu de Guíxols. 2011.

COSTA, J. P. V.; BARROS, N. F.; ALBUQUERQUE, A. W.; MOURA FILHO, G.; SANTOS, J. R. Fluxo difusivo de fósforo em função de doses e da umidade do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande, PB, v. 10, n. 4, p. 828-835, 2006.

COSTA, A. N. **Sistema integrado de diagnose e recomendação (DRIS)**. B. Inf. SBCS, v. 24, p.13-15, 1999.

CRUZ, C. D.; CARNEIRO, P. C. S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. Viçosa: UFV, 2003. 585 p.

EGOZCUE, J. J.; PAWLOWSKY-GLAHN, V. Groups of parts and their balances in compositional data analysis. **Mathematical Geology**, New York, v. 37, p. 795-828, 2005.

EGOZCUE, J. J.; PAWLOWSKY-GLAHN, V.; MATEU-FIGUERAS, G.; BARCELÓ-VIDAL, C. Isometric log-ratio transformations for compositional data analysis. **Mathematical Geology**, New York, v. 35, p. 279-300, 2003.

EMBRAPA – **Centro Nacional de Pesquisa de Solos**. Sistema brasileiro de classificação de solos. 3. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2013. 353 p.

EPSTEIN, E.; BLOOM, A. J. Nutrição mineral de plantas, princípios e perspectivas. Planta. 2006. 86 p.

FAQUIN V. **Diagnose do estado nutricional das plantas**. (Monografia de especialização) - UFLA/FAEPE, Lavras. 2002. 77p.

FAYAD, J. A.; FONTES, P. C. R.; CARDOSO, A. A.; FINGER, F. L.; FERREIRA, F. A. Absorção de nutrientes pelo tomateiro cultivado sob condições de campo e de ambiente protegido. **Horticultura brasileira**, Brasília, v. 20, n. 1, p. 90-94, 2002.

FELTRIM, A. L.; WAMSER, A. F.; SUZUKI, A.; MÜELLER, S.; BECKER, W. F.; HAHN, L. Fontes de nitrogênio e potássio aplicados via fertirrigação na cultura do tomate. **Agropecuária Catarinense**, Florianópolis, v. 29, n. 2, p. 63-67, 2016.

FILZMOSER, P.; HRON, K.; REIMANN, C. Univariate statistical analysis of environmental (compositional) data: Problems and Possibilities. **Science of Total Environment***, v.* 407, p. 6100–6108. 2009.

FONTES, R. R. **Solo e nutrição da planta. Tomate para processamento industrial.** SILVA, J.B. C.; GIORDANO, L. de B. (Orgs). Brasília: EMBRAPA, p.22-35, 2000.

GIORDANO, L. B.; SILVA, J. B. C.; BARBOSA, V. **Escolha de cultivares e plantio**. In: SILVA, J. B. C.; GIORDANO, L. B. (eds). *Tomate para processamento industrial*. Brasília: Embrapa (Comunicação para transferência de tecnologia). p. 36-59. 2000.

HAIR, J. F. Jr.; ANDERSON, R. E.; TATHAM, R. L.; BLACK, W. C. **Multivariate Data Analysis (with readings)**, 4 ed. Prentice Hall, Englewood Cliffs, 1995.

HAWKESFORD, M.; HORST, W.; KICHEY, T.; LAMBERS, H.; SCHJOERRING, J.; MOLLER, S. I.; WHITE, P. Functions of macronutrients. In: Marschner, P. (ed.). Marschner's mineral nutrition of higher plants. New York: **Elsevier**, cap.6, p.135-189, 2012.

HERNANDES, A.; PARENT, S.-É.; NATALE, W.; PARENT, L. E. Balancing guava nutrition with liming and fertilization. **Revista Brasileira de Fruticultura,** Jaboticabal – SP, v. 34, p. 1224–1234, 2012.

HOLLAND, D. A. The interpretation of leaf analysis. **Journal of Horticultural Sciences,** Bangalore, India, v. 41, p. 311-329, 1966.

IEA, 2016: Análise de Indicadores do Agronegócio. **Previsões e Estimativas das Safras Agrícolas do Estado de São Paulo**, Ano Agrícola 2015/16. Análise de Indicadores do Agronegócio 11. 2016.

INMET, 2017: **Instituto Nacional de Meteorologia** 2017. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep> Acessado em 10 de julho de 2017.

IBGE, 2015: Instituito Brasileiro de Estatística. **Censo Agropecuário**. Disponível em: http://www.ibge.gov.br/estadosat/. Acesso em: 08 ago. 2016.

KHIARI, L.; PARENT, L. E.; TREMBLAY, N. Selectingthe high-yield subpopulation for diagnosing nutrient imbalance in crops. **Agronomy Journal.** Madison, Wis., US, v. 93, p. 802-808, 2001.

LINDEN, R. **Técnicas de Agrupamento**. Revista de Sistemas de Informação da FSMA. n. 4. p. 18-36, 2009.

MALAVOLTA, E. **Manual de Nutrição Mineral de Plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres. 2006.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. Piracicaba – SP: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1989. 201 p.

MARCHAND, S.; PARENT, S-E.; DELAND, J-P.; PARENT, L. E. NUTRIENT SIGNATURE OF QUEBEC (CANADA) CRANBERRY (Vaccinium macrocarpon AIT.). **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal - SP, v. 35, n. 1, p. 199-209, 2013.

MATEU-FIGUERAS, G.; PAWLOWSKY-GLAHN, V.; EGOZCUE, J. J. "**The principle of working on coordinates**", in Compositional Data Analysis: Theory and Applications, eds V. PAWLOWSKY-GLAHN, and A. BUCCIANTI (New York: John Wiley and Sons), p. 31–42. 2011.

MODESTO, V. C.; PARENT, SE. E.; NATALE, W.; PARENT, L. E. Foliar Nutrient Balance Standards for Maize (Zea mays L.) at High-Yield Level. **American Journal of Plant Sciences**, n. 5, p. 497-507, 2014.

MIYAZAWA, M.; PAVAN, M. A.; MURAOKA, T.; CARMO. C. A. F. S.; MELO, W. J. **Análises químicas de tecido vegetal.** In.: SILVA, F.C. (Org.). Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes. 2 ed. Brasília, DF: EMBRAPA, 2009, p. 191-233.

NELSON, L. A.; ANDERSON, R. L. **Partitioning of soil test-crop response probability.** In: PECK, T. R. et al. (Ed.). Soil testing: Correlating and interpreting the analytical results. Madison: ASA Spec. Publ., p. 19-38. 1977.

NOVAIS, R. F.; SMITH, T. J. **Fósforo em solo e planta em condições tropicais**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 1999. 399 p.

OLIVEIRA, F. A.; CARMELLO, Q. A. C.; MASCARENHAS, H. A. A. Disponibilidade de potássio e suas relações com cálcio e magnésio em soja cultivada em casa-de-vegetação. **Scientia Agricola**, Piracicaba, SP, v. 58, n. 2, p. 329-335, 2001.

OLSEN, S. R. Micronutrient interactions. In: MORTVEDT, J. J.; GIORDANO, P. M.; LINDSAY, W. L. (Ed.) **Micronutrients in agriculture.** Madison: SSSA, 1972. p. 243-264.

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

PARENT, L. E. Diagnosis of the nutrient compositional space of fruit crops. **Revista Brasileira de Fruticultura,** Jaboticabal – SP, v. 33, p. 321-334, 2011.

PARENT, L. E.; NATALE, W.; ZIADI, N. Compositional nutrient diagnosis of corn using the Mahalanobis distance as nutrient imbalance index. **Canadian Journal of Soil Science**., Ottawa, v. 89, p. 383-390, 2009.

PARENT, L. E.; PARENT, S.-É.; HÉBERT-GENTILE, V.; NAESS, K.; LAPOINTE, L. “Mineral Balance Plasticity of Cloudberry (Rubus Chamaemorus) in Quebec-Labrador,” **American Journal of Plant Science**, v. 4, n. 7, p. 1508-1520, 2013c.

PARENT, S-E.; PARENT, L. E.; EGOZCUE, J. J. ROZANE, D-E.; HERNANDES, A.; LAPOINTE, L.; HEBERT-GENTILE, V.; NAESS, K.; MARCHAND, S. LAFOND, J.; JUNIOR MATTOS, D.; BARLOW, P.; NATALE, W. The plant ionome revisited by the nutrient balance concept. **Methods Article**., Published: 22 March, 2013a.

PARENT, S.-É.; PARENT, L. E.; ROZANE D. E., HERNANDES A.; NATALE W. **“Nutrient balance as paradigm of plant and soil chemometrics,”** in Soil Fertility, ed. Issaka R. N., editor. (New York: InTech Publications), p. 83–114, 2012.

PARENT, S. E.; PARENT, L. E.; ROZANE, D. E.; NATALE, W. Plant ionome diagnosis using sound balances: case study with mango (*Mangifera Indica*). **Frontiers in Plant Science**, Lausanne, v. 4, n. 449, p. 1-12, 2013b.

PAULA, J. A. A.; MEDEIROS, J. F. de; MIRANDA, N. O.; OLIVEIRA, F. A. de; LIMA, C. J. G. S. Metodologia para determinação das necessidades nutricionais de melão e melancia. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, PB, v.15, n. 9, p. 911–916, 2011.

PAWLOWSKY-GLAHN, V.; EGOZCUE, J. J; TOLOSANA-DELGADO, R. **Principal Balances**, In: 4th International Workshop on Compositional Data Analysis (Codawork 2011), San Feliu de Guixols, Spain, 2011.

PEARSON, K. Mathematical contributions to the theory of evolution. On a form of spurious correlation which may arise when indices are used in the measurement of organs. **Philos. Trans. R. Soc. Lond. BBiol. Sci.** v. 60, p. 489–498, 1897.

PRADO, R. M. **Nutrição de Plantas**. 1.ed. São Paulo: Esditora UNESP, 2008. v.1. 300p.

PRADO, R. M.; BRAGHIROLLI, L. F.; NATALE, W.; CORRÊA, M. C. M.; ALMEIDA, E. V. Aplicação de potássio no estado nutricional e na produção de matéria seca de mudas de maracujazeiro-amarelo. **Revista Brasileira de Fruticultura,** Jaboticabal - SP, v. 26, n. 2, p. 295-299, 2004.

PREVOT, P.; OLLAGNIER, M. **Methode d'utilisation dudiagnostic foliarie**. In: Plant analysis and fertilizer problems Paris: I.H.R.O, p. 177-192. 1956.

RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. (Ed.). **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2.ed. rev. e atual. Campinas: Instituto Agronômico/Fundação IAC, 1997. 285p. (Boletim Técnico, 100).

REIS Jr., R. A.; MARTINEZ, H. E. P. Adição de Zn e absorção, translocação e utilização de Zn e P por cultivares de cafeeiro. **Scientia Agricola**, Piracicaba, SP, v.59, n.3, p.537-542, jul./set. 2002.

REIS Jr., R. A. **Universalidade das normas DRIS na cultura do milho**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 28., Londrina, 2001. Anais. Londrina, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2001. 195 p.

ROZANE, D. E.; NATALE, W.; PARENT, L. E.; PARENT, S.-É.; SOUZA, H. A. de; AMORIM, D. A. de. **População de referência no diagnóstico da composição nutricional (CND) em Mangueiras**. XXXIV Congresso Brasileiro de Ciência do Solo. 2013.

ROZANE, D. E.; PARENT, L. E.; NATALE, W. Evolution of the predictive criteria for the tropical fruit tree nutritional status. **Científica**. v. 44, p. 102-112, 2016.

SALCEDO, I. H. Biogeoquímica do fósforo em solos da região semi-árida do NE do Brasil. **Revista Geografia**, Recife, v. 23, p. 108-123, 2006.

SILVA, G. G. C. da; NEVES, J. C. L.; ALVAREZ, V. H.; LEITE, F. P. Avaliação da universalidade das normas DRIS, M-DRIS e CND. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, Viçosa, MG, v. 29, n. 4, p. 755-761, Fev. 2005.

SOUZA, A. M.; VICINI, L. **Análise multivariada da teoria à prática**. Santa Maria: Departamento de Estatística UFSM. 2005.

TANNER, J. Fallacy of per-weight and per-surface are a standards, and their relation to spurious correlation. **Journal of Applied Physiology**. Washington, US, v. 2, p. 1–15, 1949.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 5. ed. Porto Alegre: Artmed, 2013. 918 p.

TISDALE, S. L.; NELSON, W. L.; BEATON, J. D. **Soil fertility and fertilizers**. 4th ed. New York: MacMilan Publ., 1985.

TOLOSANA-DELGADO, R., and VAN DEN BOOGART, K. G. “Linear models with compositions in R” in **Compositional Data Analysis: Theory and Applications**, eds V. Pawlowsky-Glahn and A. Buccianti (New York: John Wiley and Sons), p. 356–371. 2011.

WADT P. G. S.; TRASPADINI E. I. F.; MARTINS R. A.; MELO F. B.; OLIVEIRA I. J.; RODRIGUES J. E. L. F.; BASTOS, E. A.; ARAÚJO, S. M. B. (Ed.), 2016. **Medidas de acurácia na qualificação dos diagnósticos nutricionais: teoria e pratica**, In: Nutrição e Adubação de Hortaliças, 5th Brasil. Symp.Plant Nutrition at High Productivity Level, Eds. Prado, R. M.; Filho, A. B. C.; editors. (Jaboticaba: UNESP), p. 371–391. 2016.

WEBB, M. J.; LONERAGAN, J. F. Effect of zinc deficiency on growth, phosphorus concentration, and phosphorus toxicity of wheat plants. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 52, p. 1676-1680, 1988.

VAN DEN BOOGAART, K. G., TOLOSANA-DELGADO, R., BREN M. **'Compositions': compositional Data Analysis in R Package**. http://cran.r-project.org/package=compositions. 2013.

CAPÍTULO 5 – DISTÂNCIA DE MAHALANOBIS E PARTIÇÃO DE CATE-NELSON NA COMPARAÇÃO DOS MÉTODOS DRIS, CND-CLR E CND-ILR

RESUMO - Estudos comparando os métodos para a avaliação do estado nutricional, como o Sistema Integrado de Diagnose e Recomendação (DRIS) e a Diagnose da Composição Nutricional (CND), foram realizados, mas com divergências entre os resultados obtidos. O objetivo deste estudo foi comparar os métodos da transformação DRIS, CND-*clr* (relação log centralizada) e *CND-ilr* (relação log isométrica), bem como a transformação logaritmo neperiano do teor dos nutrientes, a partir da distância de Mahalanobis e da partição de Cate-Nalson. Para tanto, foi usado um banco dedados composto por 224 áreas de tomate para processamento industrial relacionando-se os teores foliares de macronutrientes e micronutrientes e a produtividade de cada área. Os métodos DRIS, CND-*clr*, CND-*ilr* e a transformação logaritmo neperiano do teor dos nutrientes não apresentaram diferença significativa.

Palavra-chave: Diagnose foliar, estado nutricional de plantas, *Solanum lycopersicum.*

ABSTRACT - Studies comparing the assessment of nutritional status methods, such as the Diagnosis and Recommendation Integrated System (DRIS) and Compositional Nutrient Diagnosis (CND), were performed, but with differences between the results obtained. The objective of this study was to compare the DRIS, CND-clr (centralized log ratio) and CND-ilr (isometric log ratio) transformation methods, as well as the neperian logarithm transformation of the nutrient content, from the Mahalanobis distance and the Cate-Nalson partition. For this purpose, a database composed of 224 areas of tomato for industrial processing was used, relating the macronutrients and micronutrient foliar contents and the yield of each area. The DRIS, CND-clr, CND-ilr and the logarithm Neperian transformation of nutrient content did not present significant differences.

Keywords: Foliar diagnosis, nutritional status of plants, *Solanum lycopersicum*,

1 INTRODUÇÃO

A avaliação do estado nutricional, por meio da análise foliar, é importante ferramenta para a identificação de desequilíbrio nutricional e auxiliar na recomendação de fertilizantes (PARENT et al., 2011; CAMACHO et al., 2012). Para tanto, ainda é muito difundido a faixa de suficiência e o nível crítico, que possuem enfoque univariado (MACY, 1936; ULRICH, 1952). Esses métodos tradicionais não

consideram as interações entre os nutrientes que ocorrem na planta (BATES, 1971; PARENT et al., 2009). Por isso, novos métodos têm sido propostos, como o DRIS (Sistema Integrado de Diagnose e Recomendação) (BEAUFILS, 1973) (método bivariado) e o CND (Diagnose da Composição Nutricional) com abordagem *clr* (relação log centralizada) (PARENT; DAFIR, 1992) e *ilr* (relação log isométrica (PARENT, 2011) (métodos multivariados).

Com o avanço, trabalhos têm sido realizados com o intuito de avaliar se há diferença entre os métodos e na eficiência de obtenção de diagnósticos corretos (PARENT e DAFIR, 1992; URANO et al., 2006; URANO et al., 2007; PARENT, 2011; PARENT et al., 2013a, b; SANTOS et al., 2013, MODESTO et al., 2014; PARTELLI et al., 2014; SILVA et al., 2004; MATOS et al., 2016). Parent et al. (2016), por exemplo, compararam o CND-*ilr* com o DRIS, correlacionando seus respectivos índices de equilíbrio nutricional, ou seja, a distância de Mahalanobis (DM) para CND-*ilr* (PARENT, 2011) e o índice de balanço nutricional (IBN) para o DRIS (BEAUFILS, 1973) com a DM da transformação ln do teor dos nutrientes. Embora os autores tenham obtido maior correlação com o CND-*ilr* (0,94) do que para o IBN (0,64), não foi feito a padronização dos métodos, aplicando-se uma metodologia multivariada (DM), também no método bivariado.

A DM, segundo a sua base matemática, leva em consideração a existência de correlações entre os caracteres analisados por meio da matriz de covariância (CRUZ; CARNEIRO, 2003; SOUZA; VICINI, 2005; LINDEN, 2009). Assim, a hipótese é que, independentemente das variáveis utilizadas, seja ela oriunda de uma relação bi ou multivariada, é possível realizar todas as relações possíveis, obtendo, dessa forma, a exemplo, população de referência semelhante que posteriormente será empregada como referência para o diagnóstico nutricional.

Outra questão importante diz respeito ao método de acurácia. Segundo Beverly e Hallmark (1992), esta é a maneira ideal para se comparar os métodos de diagnose. Parent (2011), Parent et al. (2012), Parent et al. (2013a, b), entre outros, apresentaram a partição de Cate-Nelson (NELSON; ANDERSON, 1977), calculada a partir da DM, como uma forma de acurácia, além de outros parâmetros obtidos segundo essa metodologia (sensibilidade, valor preditivo positivo, especificidade e valor preditivo negativo). Nessa partição, um diagrama de dispersão é gerado,

subdividindo em quatro quadrantes para determinar um nível de teste crítico, maximizando o número de pontos nos quadrantes verdadeiros (PARENT et al., 2012). Tal procedimento é amplamente utilizado em ciências médicas, como indicam Nelson e Anderson (1977).

No que tange ao fator nutricional, envolvendo vários nutrientes e as interações entre estes, tal procedimento, DM + partição de Cate-Nelson, segue o raciocínio de Holland (1966). Para os autores, a estabilidade da interpretação das análises de tecido vegetal aumenta à medida que o enfoque bivariado (relações duais ou DRIS) (REDFIELD, 1936) é ampliado e, assim, progressivamente, às relações ternárias (LAGATU; MAUME, 1934) até idealmente abranger, mediante enfoque multivariado, toda a estrutura de variação da composição nutricional. Para Tolosana-Delgado e Van Den Boogart (2011), dados de composição nutricional são intrinsecamente de natureza multivariada, sendo que cada nutriente não pode ser interpretado sem ser relacionado aos outros.

Com base no exposto, o presente trabalho foi realizado com o objetivo de comparar os métodos da transformação DRIS, CND-*clr, CND-ilr* e a logaritmo neperiano, a partir da DM e da partição de Cate-Nalson, na obtenção da população de referência.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Para comparação dos métodos de diagnose do estado nutricional de plantas, foi utilizado um banco de amostras foliares e produtividades, obtidas em 224 áreas, durante as safras agrícolas de 2013, 2014 e 2015.

2.1 Coleta da folha diagnose e determinação da produtividade (campos de produção e experimentos)

Cada área de tomate para a indústria participou com uma amostra composta de teores de macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg e S) e micronutrientes (B, Cu, Fe, Mn e Zn) presentes na folha-diagnose do estado nutricional e respectiva produtividade. De acordo com a recomendação de Fontes (2000), foram coletadas a quarta folha a

partir do tufo apical, no início do florescimento, de trinta plantas da área. As folhas foram lavadas com solução de detergente neutro 1 ml L^{-1}, enxague em água corrente, imersão em solução de HCl 30 mL L^{-1} por 15 segundos e, finalmente, com dois enxagues em água destilada, sendo posteriormente postas a secar em estufa de circulação forçada de ar a 65±5ºC até massa constante. Em seguida, as amostras foram moídas em moinho tipo Willey (com malha de 2 mm) e analisadas segundo Miyazawa et al. (2009) para a determinação dos teores de nutrientes.

As produtividades de cada área foram obtidas colhendo-se 45 m^2 e estimando-se para 1 ha.

2.2 Distância de Mahalanobis (DM) e Partição de Cate-Nelson

As transformações dos dados dos teores dos nutrientes foram logaritmo neperiano (Teor.ln) (PARENT et al., 2013b), DRIS (BEAUFILS, 1973; BEVERLY, 1987), CND-*clr* (PARENT e DAFIR, 1992) e CND-*ilr* (PARENT, 2011; PARENT et al., 2013a, b).

Com exceção ao método DRIS, nos demais métodos fez-se a padronização dos valores quanto à unidade (mg kg^{-1}) e, então, calculado o valor de *Fv (filling value* ou valor de enchimento), de acordo com Parent (2011), como segue:

$$Fv = 1.000.000 - (A + B + \cdots + n)$$

sendo que 1.000.000 é o total de mg kg^{-1}; a este valor é subtraído a somatória dos nutrientes em mg.

Para obtenção das coordenadas CND-*ilr*, seguiram-se os contrastes apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Detalhamento da partição binária sequencial (PBS) para os dados de tomateiro.

ilr	Balanços	Mg	K	N	P	S	Ca	B	Zn	Mn	Cu	Fe	*Fv*	r	s
1	[Mg | K]	-1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
2	[P | N]	0	0	1	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
3	[K, Mg | N, P]	-1	-1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2
4	[S | K, Mg, N, P]	1	1	1	1	-1	0	0	0	0	0	0	0	4	1
5	[B | Ca]	0	0	0	0	0	1	-1	0	0	0	0	0	1	1
6	[B, Ca | K, Mg, N, P, S]	1	1	1	1	1	-1	-1	0	0	0	0	0	5	2
7	[Zn | Mn]	0	0	0	0	0	0	0	-1	1	0	0	0	1	1
8	[Cu | Zn, Mn]	0	0	0	0	0	0	0	1	1	-1	0	0	2	1
9	[Fe | Cu, Zn, Mn]	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	-1	0	3	1
10	[Fe, Cu, Zn, Mn | K, Mg, N, P, S, Ca, B]	1	1	1	1	1	1	1	-1	-1	-1	-1	0	7	4
11	[Fv | Fe, Cu, Zn, Mn, K, Mg, N, P, S, Ca, B]	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	-1	11	1

"r" e "s": numerador e denominador; *Fv*: *Filling value ou* Valor de enchimento.

Como índice de desequilíbrio de nutrientes (PARENT et al., 2009), a DM foi calculada a partir do espaço Euclidiano como se segue (PARENT et al., 2013b):

$$DM = \sqrt{\left(A_j - B_j^*\right)^T COV^{-1}\left(A_j - B_j^*\right)}$$

sendo: A_j é a amostra; B_j^* é a média aritmética da população de referência; COV é a matriz de covariância da população de referência, isolada após o interativo método Cate-Nelson (NELSON; ANDERSON, 1977), sendo que B_j^* e COV são recalculadas a cada passo até que o número de amostras VN (Verdadeiro Negativo) não se altere mais. O procedimento Cate-Nelson maximiza a soma dos quadrados entre duas partições da seguinte forma:

$$SS = \left[\left(\sum_{i=1}^{k} Y_i\right)^2 \Big/ k + \left(\sum_{j=k+1}^{n} Y_j\right)^2 \Big/ (n-k) \right] - CF$$

sendo: Y é a produtividade, *k* é uma contagem elementar que começa com a primeira observação ordenada acima de *n*, o número total de observações e *CF* é um fator de correção calculado como: $(\sum_{k=1}^{n} Y_k)^2/n$. A classificação das subpopulações determinadas na partição de Cate-Nelson de acordo com o descrito por Parent et al. (2013b). Ao final, é obtido um quadrante em que cada partição é classificada como segue:

- Verdadeiro Negativo (VN): amostras com alta produtividade corretamente identificadas como equilibradas nutricionalmente (Distância de Mahalanobis - DM - abaixo do valor crítico). Estado nutricional adequado, classificada como "população de referência".
- Falso Positivo (FP: erro tipo I): amostras com alta produtividade incorretamente identificadas como desequilibradas nutricionalmente (DM acima do valor crítico). FP representa amostras com consumo de luxo de nutrientes ou alta eficiência de uso dos mesmos.
- Falso Negativo (FN: erro tipo II): amostras com baixa produtividade incorretamente identificadas como equilibradas nutricionalmente (DM abaixo do valor crítico). FN representa amostras com influência em outros fatores de produção (por exemplo, clima) sobre o desempenho da cultura.
- Verdadeiro Positivo (VP): amostras com baixa produtividade corretamente identificadas como desequilibradas nutricionalmente (DM abaixo do valor crítico). Pelo menos um nutriente está causando o desequilíbrio.

Posteriormente são calculados os seguintes parâmetros:

- Acurácia (Acc): é a probabilidade de uma observação ser corretamente identificada como equilibrada ou desequilibrada, calculado por: (VN + VP) / (VN + FN + VP + FP).
- Sensibilidade (ou *Sensitivity*): é a probabilidade de uma observação de baixo desempenho estar desequilibrada, calculada por: TP / (TP + FN).
- Valor Predito Positivo (*PPV*) é a probabilidade de um diagnóstico de desequilíbrio retornar a um baixo desempenho, calculado por: VP / (VP + FP).
- A Especificidade (ou *Specificity*) é a probabilidade de uma observação de elevada produtividade ser equilibrada, calculado por: TN / (TN + FP).

- O Valor Predito Negativo (*NPV*) é a probabilidade de um diagnóstico equilibrado retornar a um alto desempenho, calculado por: VN / (VN + FN).

O *NPV*, a Acc e a Sensibilidade identificam o potencial de deficiência de nutrientes e indicam que alguns outros fatores podem limitar o crescimento da planta. O *PPV* e a Especificidade detectam potenciais problemas relacionados ao consumo de luxo de nutriente ou contaminação.

Para a transformação dos dados para Teor.ln e DRIS, foi utilizado o *software* R (VAN DEN BOOGAART et al., 2013); e para CND-*clr* e CND-*ilr* o *software* CoDaPack (versão 2.01.15) (COMAS-CUFÍ; THIÓ-HENESTROSA, 2011).

Para o método DRIS, os cálculos da DM foram utilizados os índices nutricionais (IN).

Para evitar a arbitrariedade na escolha do ponto de corte inicial, no cálculo da partição de Cate-Nelson, utilizou-se a metodologia apresentada por Khiari et al. (2001), a partir da abordagem CND-*clr*. Após sua estabilização, o sistema foi maximizado e a produtividade adotada para cada sistema foi a que obteve maiores valores (%) dos fatores Acc, Sensib., PPV, Espec. e NPV. Para o teste de normalidade (Shapiro-Wilk), como indicam Hair et al (1995), foi utilizado os dados Teor.ln.

Uma vez identificado os quadrantes (VN, FP, FN e VP) os dados de teores de VN, a partir de cada metodologia, foram confrontados pelo teste t ($p \leq 0,05$). O mesmo procedimento foi realizado para o grupo VP.

As análises estatísticas foram realizadas pelo *software* R (VAN DEN BOOGAART et al., 2013).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após a exclusão dos *outliers* e dos valores influentes (total de 16 amostras), segundo Parent et al. (2009), o total de dados da população de tomateiro industrial avaliada foi de 208, apresentando normalidade de Shapiro-Wilk ($W = 0,9931$, $p = 0,44$).

Na Figura 1 segue apresentadas as correlações entre as DM obtidas segundo os métodos DRIS, CND-*clr* e CND-*ilr*, bem como a transformação Teor.ln.

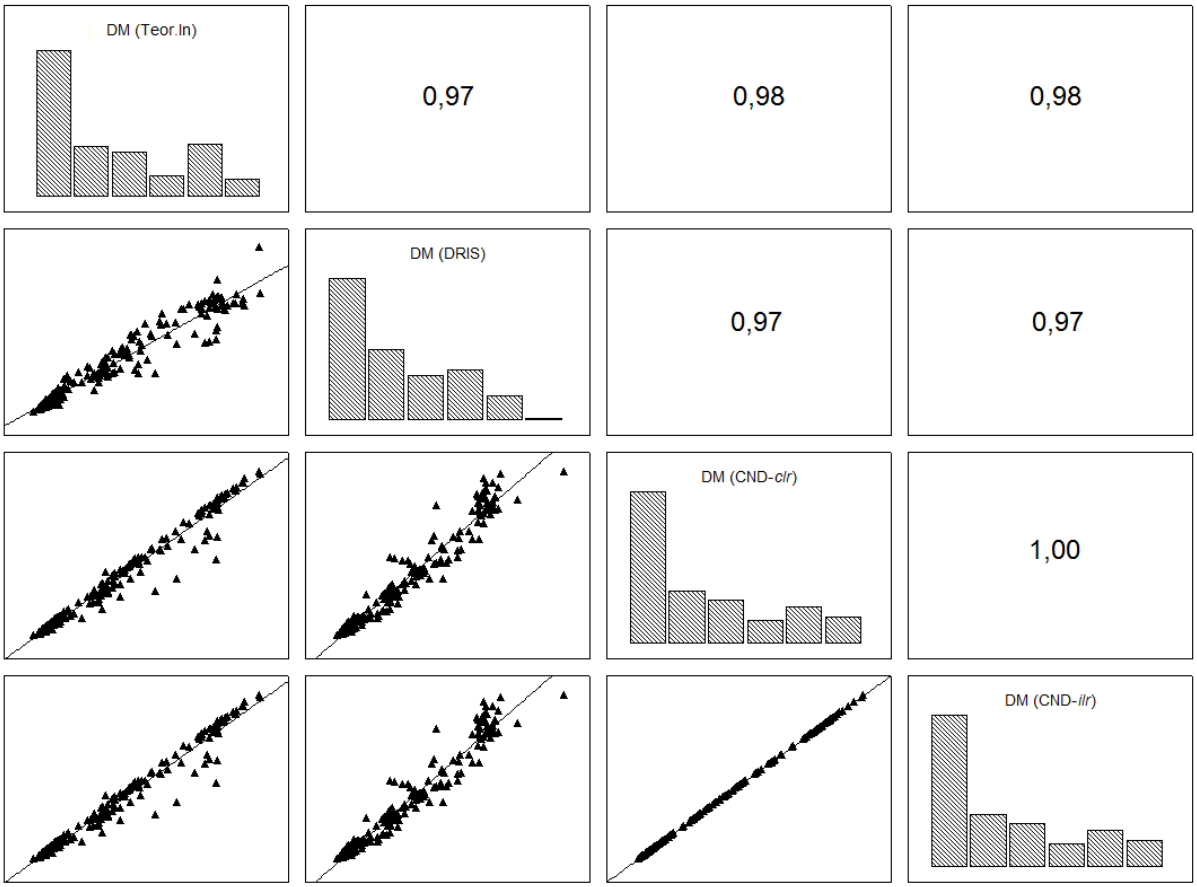


Figura 1. Teste de correlação entre a distância de Mahalanobis (DM), segundo os métodos de avaliação do estado nutricional (DRIS, CND-*clr* e CND-*ilr*) e o Teor.ln.

Nota-se que as DM foram muito semelhantes, exceto para CND-*clr* e CND-*ilr* que foram idênticas (r = 1). O menor valor (r = 0,97) foi para o método DRIS, quando comparado às outras três transformações. Tal resultado corrobora as afirmações de Souza e Vicini (2005) e Linden (2009), fortalecendo a hipótese de que a DM, a partir da matriz de covariância, leva em consideração todas as correlações possíveis entre as variáveis existentes.

A partição de Cate-Nelson (Figura 2) corrobora com os resultados apresentados na Figura 1. Os métodos Teor.ln e CND (*clr* ou *ilr*) foram muito semelhantes, com valores dos dois primeiros parâmetros (Acc. e Sensib.) de 77 % e

78 %, respectivamente. O método DRIS apresentou Acc. de 76 %. Os melhores pontos de corte para produtividade, após a maximização do sistema, foi de 105,8 t ha^{-1} para o Teor.ln e 103,0 t ha^{-1} para os métodos DRIS, CND-*clr* e CND-*ilr*.

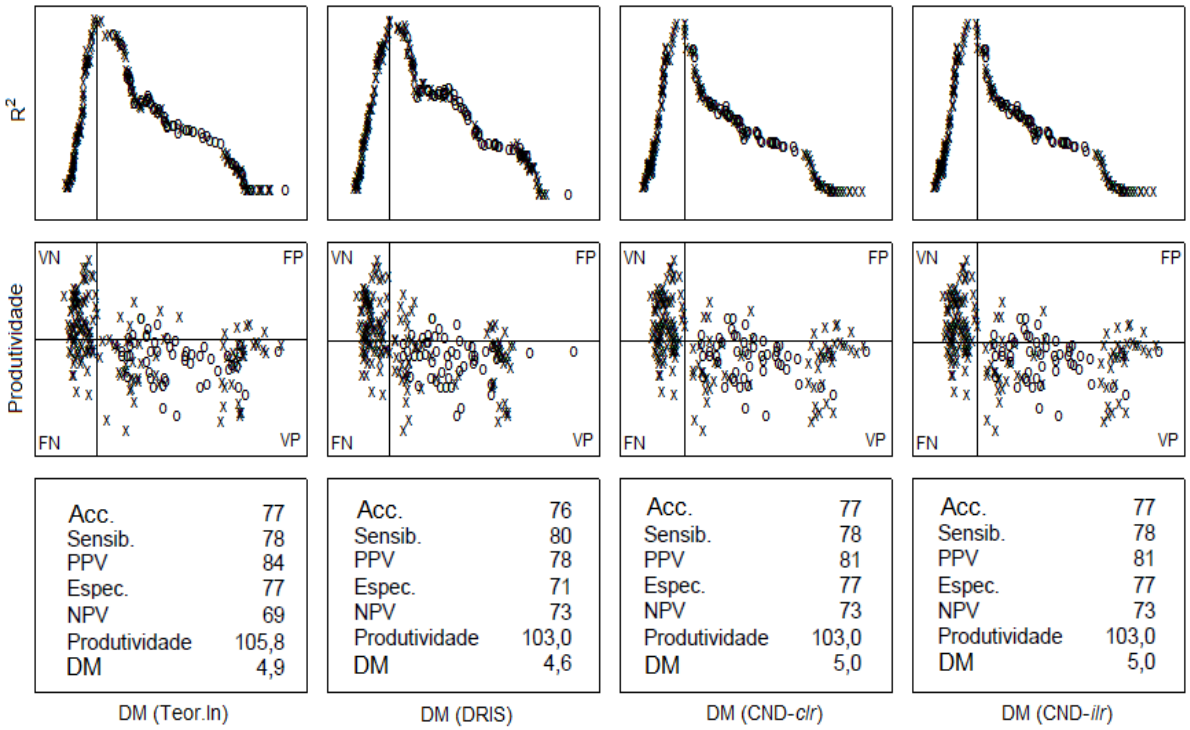


Figura 2. Partição de Cate-Nelson para as variáveis Teor.ln, DRIS, CND-*clr e CND-ilr*. DM: distância de Mahalanobis; Parâmetros (%): Acc (acurácia), Sensib. (sensibilidade), PPV (valor preditivo positivo), Espec. (especificidade) e NPV (valor preditivo negativo); Produtividade (t ha^{-1}); "x" e "o": amostras de experimentos e produtores, respectivamente.

A partição Cate-Nelson (NELSON; ANDERSON, 1977) apresentou dois pontos de corte para produtividade (103,0 e 105,8 t ha^{-1}) (Tabela 2). O mesmo foi adotado quando apresentasse maior valor (%) para Acc., Sensib., PPV, Espec. e NPV. Nesse caso, para Teor.ln, foi adotada a produtividade de 105,8 t ha^{-1}, com maior valor em PPV (84 %). Para as demais metodologias (DRIS, CND-*clr* e CND-*ilr*), o ponto de corte foi de 103,0 t ha^{-1}, com divergência nos parâmetros Sensib. (80 %), Acc. (77 %) e Acc. (77 %), respectivamente.

Tabela 2 Resultados dos parâmetros de acurácia (Acc.), sensibilidade (Sensib.), valor preditivo positivo (PPV), especificidade (Espec.) e valor preditivo negativo (NPV), em função das produtividades 103,0 e 105,8 t ha^{-1}.

	Teor.ln		DRIS		CND-*clr*		CND-*ilr*	
Produtividade	103,0	105,8	103,0	105,8	103,0	105,8	103,0	105,8
Acc.	77	77	76	76	77	76	77	76
Sensib.	78	78	80	75	78	75	78	75
PPV	81	84	78	83	81	84	81	84
Espec.	76	77	71	77	77	78	77	78
NVP	72	69	73	67	73	67	73	67
[1]DM	5,0	4,9	4,6	4,6	5,0	5,2	5,0	5,2

[1]Distância de Mahalanobis

Contudo, é importante ressaltar a forte semelhança entre os métodos avaliados (Tabela 3). Partindo do princípio que o objetivo central do método de diagnose é obter a população de referência e então as normas, a fim de utiliza-la na avaliação do estado nutricional, foi realizado o teste t ($p \leq 0,05$), entre os grupos VN (população de referência) obtido por cada método. No entanto, a fim de evitar as correlações espúrias, utilizou-se a transformação CND-*clr*, ou seja, as variáveis multinutrientes. Não foi identificado diferença estatística entre as variáveis N, P, K, Ca, Mg, S, Fv, B, Cu, Fe, Mn, Zn bem como para a produtividade (Produt.). O mesmo procedimento foi realizado com o grupo VP (Tabela 4), pois tendo a DM como índice de equilíbrio nutricional (PARENT et al., 2009), são utilizados os quadrantes VN e VP. O primeiro, em que a alta produtividade do primeiro grupo apresenta equilíbrio e o segundo, com baixa produtividade e em desequilíbrio nutricional. Da mesma forma, também não foi observado diferença estatística entre as metodologias para o grupo VP.

Tabela 3. Teste t (p ≤ 0,05) entre os grupos VN (Verdadeiro negativo), do Teor.ln, DRIS, CND-*clr* e CND-*ilr*.

Nutrientes	VN (Teor.ln)	VN (DRIS)	VN (CND-*clr*)	VN (CND-*ilr*)
N	2,85 ^{ns}	2,86 ^{ns}	2,85 ^{ns}	2,85 ^{ns}
P	0,28 ^{ns}	0,29 ^{ns}	0,28 ^{ns}	0,28 ^{ns}
K	2,29 ^{ns}	2,29 ^{ns}	2,28 ^{ns}	2,28 ^{ns}
Ca	2,37 ^{ns}	2,37 ^{ns}	2,35 ^{ns}	2,35 ^{ns}
Mg	0,89 ^{ns}	0,88 ^{ns}	0,89 ^{ns}	0,89 ^{ns}
S	0,79 ^{ns}	0,79 ^{ns}	0,80 ^{ns}	0,80 ^{ns}
B	-4,34 ^{ns}	-4,33 ^{ns}	-4,34 ^{ns}	-4,34 ^{ns}
Cu	-2,86 ^{ns}	-2,86 ^{ns}	-2,85 ^{ns}	-2,85 ^{ns}
Fe	-2,33 ^{ns}	-2,34 ^{ns}	-2,32 ^{ns}	-2,32 ^{ns}
Mn	-2,69 ^{ns}	-2,70 ^{ns}	-2,69 ^{ns}	-2,69 ^{ns}
Zn	-3,11 ^{ns}	-3,10 ^{ns}	-3,10 ^{ns}	-3,10 ^{ns}
Fv	5,85 ^{ns}	5,85 ^{ns}	5,85 ^{ns}	5,85 ^{ns}
[1]Produt. (t ha^{-1})	131,5 ^{ns}	130,0 ^{ns}	129,3 ^{ns}	129,3 ^{ns}

[1]Produtividade; *Fv:* Valor de enchimento ou *Filling value.* ^{ns}: não significativo (na linha) entre os métodos DRIS, CND-clr, CND-ilr e a transformação ln do toer (Teor.ln) (teste t, p ≤ 0,05)

Tabela 4. Teste t (p ≤ 0,05) entre os grupos VP (Verdadeiro positivo), do Teor.ln, DRIS, CND-*clr* e CND-*ilr*.

Nutrientes	VP (Cont.ln)	VP (DRIS)	VP (CND-clr)	VP (CND-ilr)
N	3,03 ^{ns}	3,03 ^{ns}	3,04 ^{ns}	3,04 ^{ns}
P	0,55 ^{ns}	0,55 ^{ns}	0,56 ^{ns}	0,56 ^{ns}
K	2,51 ^{ns}	2,52 ^{ns}	2,53 ^{ns}	2,53 ^{ns}
Ca	2,19 ^{ns}	2,20 ^{ns}	2,20 ^{ns}	2,20 ^{ns}
Mg	0,91 ^{ns}	0,92 ^{ns}	0,92 ^{ns}	0,92 ^{ns}
S	0,81 ^{ns}	0,82 ^{ns}	0,81 ^{ns}	0,81 ^{ns}
B	-4,32 ^{ns}	-4,32 ^{ns}	-4,32 ^{ns}	-4,32 ^{ns}
Cu	-3,33 ^{ns}	-3,35 ^{ns}	-3,37 ^{ns}	-3,37 ^{ns}
Fe	-2,07 ^{ns}	-2,05 ^{ns}	-2,05 ^{ns}	-2,05 ^{ns}
Mn	-2,62 ^{ns}	-2,62 ^{ns}	-2,62 ^{ns}	-2,62 ^{ns}
Zn	-3,58 ^{ns}	-3,70 ^{ns}	-3,71 ^{ns}	-3,71 ^{ns}
Fv	6,00 ^{ns}	6,00 ^{ns}	6,01 ^{ns}	6,01 ^{ns}
Produt. (t ha^{-1})	80,1 ^{ns}	79,0 ^{ns}	78,7 ^{ns}	78,7 ^{ns}

[1]Produtividade; *Fv:* Valor de enchimento ou *Filling value.* ^{ns}: não significativo (na linha) entre os métodos DRIS, CND-clr, CND-ilr e a transformação ln do toer (Teor.ln) (teste t, p ≤ 0,05)

4 CONCLUSÃO

Com os dados de tomate para indústria, a partir da metodologia da distância de Mahalanobis e da partição de Cate-Nelson, os métodos DRIS, CND-*clr* e CND-*ilr,* incluindo a transformação ln do teor, não apresentaram diferença significativa.

5 REFERÊNCIAS

BATES, T. E. Factors affecting critical nutrient concentrations in plants and their evaluation: a review. **Soil Science, Baltimore**, v. 112, p. 116-130, 1971.

BAXTER, I. Should we treat the ionome as a combination of individual elements, or should we be deriving novel combined traits? **Journal of Experimental Botany**, v. 66, n. 8, p. 2127-2131, 2015.

BEAUFILS, E. R. **Diagnosis and recommendation integrated system (DRIS).** Pietermaritzburg: University of Natal, 132 p. (Soil Science Bulletin, 1). 1973.

BERGMANN, W. ErnährungsstörungenbeiKulturpflanzen. 2nd. ed. Stuttgart: Auflage, Gustav Fischer Verlag, 1988. 762 p.

BEVERLY, R. B. Comparison of DRIS and alternative nutrient diagnostic methods for soybean. **Journal of Plant Nutrition**. New York, US, v. 10, p. 901-920, 1987.

BEVERLY, R. B.; HALLMALK, W. B. Prescient diagnostic analysis: a proposed new approach to evaluating plant nutrient diagnostic methods. Communications in Soil Science & Plant Analysis, v. 23, p. 2.633-2.640, 1992. Disponível em: http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/00103629209368761

FILZMOSER, P.; HRON, K.; REIMANN, C. Univariate statistical analysis of environmental (compositional) data: Problems and Possibilities. **Science of Total Environment***, v.* 407, p. 6100–6108, 2009.

FONTES, R. R. **Solo e nutrição da planta. Tomate para processamento industrial.** SILVA, J.B. C.; GIORDANO, L. de B. (Orgs). Brasília: EMBRAPA, p. 22-35, 2000.

HAIR, J. F. Jr.; ANDERSON, R. E.; TATHAM, R. L.; BLACK, W. C. Multivariate Data Analysis (with readings), 4 ed. Prentice Hall, Englewood Cliffs, 1995.

HOLLAND, D. A. The interpretation of leaf analysis. **Journal of Horticultural Sciences**., Bangalore, India, n. 41, p. 311-329, 1966.

KHIARI, L.; PARENT, L. E.; TREMBLAY, N. Selectingthe high-yield subpopulation for diagnosing nutrient imbalance in crops. **Agron. J**. v. 93, p. 802-808, 2001.

LAGATU, H.; MAUME, L. **Le diagnosticfoliaire de l apomme de terre**. Annales de l'ÉcoleNationaleAgronomique de Montpelier, v. 22, p. 50-158, 1934.

LINDEN, R. **Técnicas de Agrupamento**. Revista de Sistemas de Informação da FSMA. n. 4. p. 18-36, 2009.

MACY, P. The quantitative mineral nutrient requirements of plants.**Plant Physiology**, Bethesda, v. 11, n. 4, p. 749–764, 1936.

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

MATOS, G. S. B.; FERNANDES, A. R.; PAULO WADT, G. S. Níveis críticos e faixas de suficiência de nutrientes derivados de métodos de avaliação do estado nutricional da palma-de-óleo. **Pesq. agropec. bras**. n. 51, p. 1557-1567, 2016.

MIYAZAWA, M.; PAVAN, M. A.; MURAOKA, T.; CARMO. C. A. F. S.; MELO, W. J. **Análises químicas de tecido vegetal.** In.: SILVA, F.C. (Org.). Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes. 2 ed. Brasília, DF: EMBRAPA, 2009, p. 191-233.

MODESTO, V. C.; PARENT, SE. E.; NATALE, W.; PARENT, L. E. Foliar Nutrient Balance Standards for Maize (Zea mays L.) at High-Yield Level.**American Journal of Plant Sciences**, n. 5, p. 497-507, 2014.

NELSON, L. A.; ANDERSON, R. L. **Partitioning of soil test-crop response probability.** In: PECK, T. R. et al. (Ed.). **Soil testing: Correlating and interpreting the analytical results**. Madison: ASA Spec. Publ., p. 19-38, 1977.

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

PARENT, L. E. Diagnosis of the nutrient compositional space of fruit crops.**RevistaBrasileira de Fruticultura**., v. 33, p. 321-334, 2011.

PARENT, L. E.; NATALE, W.; ZIADI, N. Compositional nutrient diagnosis of corn using theMahalanobis distance as nutrient imbalance index. **Canadian Journal of Soil Science**., Ottawa,v. 89, p. 383-390, 2009.

PARENT, L. E. ; NOWAKI, R. H. D. ; PARENT, S. E. ; CECÍLIO FILHO, A. B.; NATALE, W. **Avaliação do estado nutricional de hortaliças pelo método CND**. In: Renato de Mello Prado; Arthur Bernardes Cecílio Filho. (Org.). Nutrição e adubação de hortaliças. 1ed. Jaboticabal-SP: FUNEP, v. 1, p. 393-418, 2016.

PARENT, S-E.; PARENT, L. E.; EGOZCUE, J. J. ROZANE, D, E.; HERNANDES, A.; LAPOINTE, L.; HEBERT-GENTILE, V.; NAESS, K.; MARCHAND, S. LAFOND, J.; JUNIOR MATTOS, D.; BARLOW, P.; NATALE, W. The plant ionome revisited by the nutrient balance concept. **Methods Article**., Published: 22 March, 2013a.

PARENT, S. E.; PARENT, L. E.; ROZANE, D. E.; NATALE, W. Plant ionome diagnosis using sound balances: case study with mango (*MangiferaIndica*). **Frontiers in Plant Science**, Lausanne, v. 4, n. 449, p. 1-12, 2013b

PARENT, S. E.; PARENT, L. E.; ROZANE, D. E.; HERNANDES, A.; NATALE, W. "**Nutrient balance as paradigm of plant and soil chemometrics**" in Soil Fertility, ed. R. N. Issaka (New York: In Tech Publications), p. 83–114. 2012.

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

RAIJ, B. van; ANDRADE, J. C.; CANTARELLA H.; QUAGGIO, J. A. **Análise química para avaliação da fertilidade de solo tropicais**. Campinas, Instituto Agronômico, 2001, 285p.

REDFIELD, A. C. An ecological aspect of the Gulf Stream.**Natrure**, p. 138:1013, 1936.

SANTOS, E. F.; DONHA, R. M. A.; ARAÚJO, 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**. .n. 37, p. 1-16. 2013. doi:10.1590/S0100-06832013000600021

SILVA, G. G. C.; NEVES, J. C. L.; ALVAREZ, V. V. H.; LEITE, F. P. Nutritional diagnosis for eucalypt by DRIS, M-DRIS, and CND. **Scientia Agricola,** Piracicaba, SP, n. 61, v. 5, p. 507-515, 2004.

SOUZA, A. M.; VICINI, L. **Análise multivariada da teoria à prática**. Santa Maria: Departamento de Estatística UFSM. 2005.

TOLOSANA-DELGADO, R., and VAN DEN BOOGART, K. G. “Linear models with compositions in R” in **Compositional Data Analysis: Theory and Applications**, eds V. Pawlowsky-Glahn and A. Buccianti (New York: John Wiley and Sons), p. 356–371, 2011.

ULRICH, A. Physiological bases for assessing the nutritional requirements of plants. **Annual Review of Plant Physiology**, v. 3, p. 207-228, 1952.

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**. Brasília, DF, v. 4, p. 1421-1428, 2006.

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, p. 63-72, 2007.

VAN DEN BOOGAART, K. G., TOLOSANA-DELGADO, R., BREN M. **‘Compositions’: compositional Data Analysis in R Package**. http://cran.r-project.org/package=compositions

CAPÍTULO 6 – Considerações finais

O presente trabalho procurou apresentar de forma clara, objetiva e na ordem cronológica, a evolução dos métodos de diagnóstico para avaliação do estado nutricional de plantas, com foco à cultura de tomate para processamento industrial. Contudo, vale ressaltar que os resultados obtidos se restringem à esse banco de dados. Uma das grandes vantagens desses métodos é poder ser atualizado com o tempo, inclusive podendo ser aplicado às novas metodologias que venham a ser desenvolvidas, com um único propósito: nortear o produtor no manejo de adubação, reduzindo assim os custos de produção e os riscos ao ambiente.