

Capítulo 3

Avaliação do estado nutricional de videiras pela Diagnose da Composição Nutricional – CND

Danilo Eduardo Rozane
Gustavo Brunetto
George Wellington Bastos de Melo
William Natale
Serge-Étienne Parent
Eduardo Maciel Haitzmann dos Santos
Jovani Zalamena
Léon Etienne Parent

Resumo - Considerando o histórico de crescimento da população humana, a necessidade de alimento jamais diminuirá, sendo assim desnecessário justificar nossa dependência do solo, recurso natural frágil e não renovável, que sustenta a vida no planeta. A diagnose nutricional, ou seja, o conhecimento sobre o equilíbrio entre os elementos essenciais no tecido vegetal é a técnica empregada para elevar ao máximo o retorno econômico nas explorações agrícolas, preservando de forma racional o ambiente, sendo imprescindível para a agricultura durável, cujos métodos têm evoluído constantemente, permitindo a interpretação imparcial dos teores, bem como das interações dos nutrientes.

Palavras-chave: *Vitis vinifera*, nutrição de plantas, composição nutricional, interação de nutrientes, diagnose nutricional.

1 Introdução

A fruticultura, em especial a viticultura, é uma atividade agrícola de alto custo por unidade de área, sobretudo para a implantação, no entanto, sustentável financeiramente. Kreuz et al. (2004), analisando a atividade de forma econômica, afirmam que independente do cultivo da videira ser para produzir vinho ou suco, o risco financeiro é baixo, isto é, a chance de se obter mais lucro no mercado do que na atividade de empreender fica descartada, visto a distância entre a taxa interna de retorno e a taxa de mínima atratividade.

A sustentabilidade financeira do empresário viticultor perpassa pelo rendimento e pela qualidade dos produtos colhidos, os quais são determinados por muitos fatores. Quando o agricultor conhece e maximiza esses fatores de desenvolvimento, a planta manifesta todo seu potencial genético, alcançando colheitas compensadoras. Na viticultura a aplicação de fertilizantes e corretivos de acidez representam 44% dos gastos com insumos, e cerca de 13% do custo total de manutenção de vinhedos adultos (> 4 anos) em produção (AGRIANUAL, 2016). A demanda de fertilizantes se faz necessária, quando a exigência da cultura em nutrientes é maior que a capacidade que o solo tem para atender suas necessidades, o que é quase uma regra, especialmente nas regiões tropicais, como no Brasil, cujos solos são caracterizados pela baixa fertilidade. Porém, determinar as exigências nutricionais de uma planta é um desafio constante. Apesar dos elementos essenciais para a adequada nutrição serem os mesmos para todos os vegetais, as quantidades

necessárias variam muito de uma cultura para outra, e até mesmo dentro da mesma cultura (ROZANE et al., 2015), sendo função de características da espécie, das condições edafoclimáticas, da capacidade produtiva, do ciclo (anual, perene, semi-perene), dentre outras. De acordo com a IFA (2000) de 40 a 50% da responsabilidade pelo aumento do rendimento agrícola se deve aos fertilizantes. Entretanto, nos dias de hoje, a produção de alimentos deve estar em consonância com a preservação ambiental e a saúde dos agricultores e consumidores.

A literatura apresenta inúmeras informações sobre a participação dos elementos essenciais no aumento da produtividade e, em aspectos qualitativos das frutas como sabor, cor, aroma, forma, tamanho, aparência, resistência a pragas e doenças, armazenamento pós-colheita, etc. Desse modo, para as frutíferas em geral e, para a videira, em particular, o estado nutricional é determinante, não apenas da produtividade, mas, também, da qualidade dos frutos colhidos, que deve ser determinado em função do destino da colheita.

O conhecimento dos fatores nutricionais que podem limitar a máxima expressão genética da videira, obtido através da análise de solo e da diagnose foliar das plantas, permite o estabelecimento de programas racionais de calagem e adubação, cujo uso mais eficiente aumenta as colheitas, a qualidade dos frutos e reduz os custos e os riscos de danos ambientais.

2 Análise de solo

A análise de solo é uma ferramenta consagrada na agricultura, porém, para a maioria das frutíferas, além de se conhecer a fertilidade do solo, há necessidade de se realizar a análise foliar, em virtude da perenidade das plantas, visto que as videiras, adquirem certa estabilidade nutricional na fase adulta (MARSCHNER, 1995). Em função dessa estabilidade, a diagnose foliar nas frutíferas, que geralmente é realizada na floração, ou no início do desenvolvimento dos frutos, no caso da videira, mudança da cor das bagas; permite fazer ajustes nos programas de adubação em tempo de não comprometer a safra do pomar no mesmo ano agrícola. Contudo, deve-se levar em consideração que as plantas, em especial as frutíferas, não reduzem a produtividade imediatamente após o início da deficiência nutricional, da mesma forma que não a aumentam logo após a fertilização, constatação esta observada por Natale et al. (2010, 2011, 2012) e Souza et al. (2011) em experimentos de longa duração com frutíferas.

O levantamento do estado nutricional pode incluir tanto a análise de solo como a de tecidos vegetais. Porém, a análise de solo, mesmo sendo considerada uma ferramenta indispensável na agricultura moderna, tem suas limitações. Desse modo, deve-se ressaltar que a determinação no solo é realizada na ausência da planta, ou seja, sem considerar aspectos que podem limitar a absorção dos nutrientes, como aeração, temperatura, competição entre elementos e as próprias exigências dos vegetais. Além disso, é economicamente impraticável coletar amostra de terra que represente a porção de solo realmente explorada pelas raízes. De acordo com Malavolta (2006), essa é a razão pela qual não é possível determinar em amostra de terra levada ao laboratório, cujas características são fixas, a probabilidade de nutrir espécies vegetais diferentes, cada qual com exigências alimentares distintas, ao longo de seu desenvolvimento em relação ao clima, à topografia, ao manejo cultural, etc.

A diagnose foliar é, sem dúvida, um instrumento valioso na determinação do estado nutricional das culturas, bem como um critério complementar na recomendação de

adubos. Segundo Malavolta (2006), a técnica consiste em se determinar a fertilidade do solo, através da análise do tecido vegetal. Epstein e Bloom (2006) complementam que a análise de folhas é um índice mais confiável da disponibilidade de nutrientes que a determinação no solo, pois, fornece medida integrativa da aquisição de nutrientes. Essa ferramenta permite, ainda, identificar deficiências de nutrientes que provocam sintomas semelhantes, dificultando a diagnose visual.

Os numerosos fatores que, isoladamente ou em combinação, podem operar durante o desenvolvimento das culturas, indicam que não há garantia de suprimento adequado de nutrientes para o crescimento ótimo com alta produtividade e qualidade, mesmo quando há aplicação de insumos de forma correta (BATAGLIA, 2004). As quantidades de nutrientes assimiladas e presentes nos pontos ativos de crescimento são fatores decisivos para o desenvolvimento das plantas.

3 Diagnose foliar

O acompanhamento do estado nutricional das culturas frutíferas, através da análise de folhas, permite a adequada gestão da nutrição mineral dos pomares, empregando fertilizantes e corretivos em quantidades adequadas para satisfazer as necessidades das plantas. É importante destacar que as técnicas de diagnóstico (solo e planta) não se excluem mutuamente, sendo complementares.

Há diversas técnicas de avaliação do estado nutricional, podendo-se destacar, conforme proposto por Malavolta (2006), as seguintes: a) diagnose visual; b) diagnose foliar; c) testes bioquímicos; d) técnicas de infiltração; e) medição indireta de clorofila; f) bioavaliação; g) análise de outros órgãos. Os resultados de análises químicas do tecido vegetal podem ser interpretados por diversos métodos, sobressaindo-se os métodos univariados, como o teor crítico (TC) e a faixa de suficiência (FS), bivariados, como o sistema integrado de diagnose e recomendação (DRIS), e o multivariado, como a diagnose da composição nutricional (CND), os quais são apresentados e discutidos por Rozane et al. (2016).

A ideia de usar o teor mineral das folhas como critério para a avaliação do estado nutricional foi proposta por Lagatu e Maume (1934a; 1934b), em Montpellier, na França. Entretanto, é importante ressaltar, também, que esses autores iniciaram seus trabalhos com videiras, e que além de estabelecer as bases para a diagnose foliar, determinando quimicamente os elementos de forma individual, avançaram em indicar já naquela época que, a relação entre os nutrientes era importante. Desse modo, pode-se observar na Figura 1, a preocupação dos autores com o equilíbrio entre nitrogênio, fósforo e potássio no tecido vegetal, mostrada na parte inferior direita da referida figura.

A figura com coordenadas triangulares indica o equilíbrio entre os teores de N, P e K, elementos fisiologicamente relacionados. Em função dos teores, estabelece-se a porcentagem relativa de cada nutriente, que somadas perfazem 100%. Cada elemento é colocado em um dos lados do triângulo, cujas paralelas, ao convergirem, mostram o ponto de equilíbrio.

Sabe-se que a máxima produção das culturas depende do equilíbrio entre os nutrientes na planta, caracterizado por proporções (relações) bem definidas entre esses elementos. Desse modo, nem sempre estabelecer o teor absoluto do nutriente é suficiente para alcançar altos rendimentos. Em muitos casos, a deficiência relativa, ou seja, a proporcionalidade entre os vários elementos desempenha papel mais importante. Na realidade, cabe destacar que cada fator de produção atua melhor, quando os demais fatores estão próximos de seu ideal.

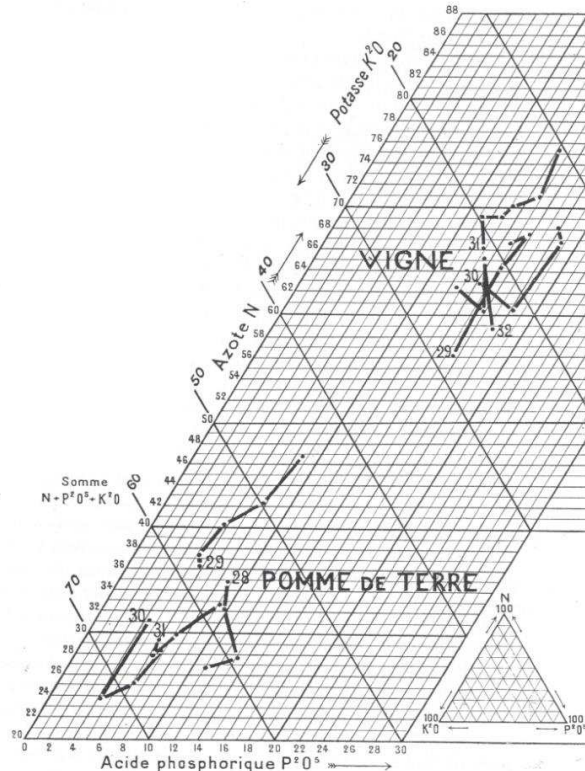


Figura 1 - Diagrama que indica a quantidade de fertilizantes ($N+P_2O_5+K_2O$) a ser aplicado em função do tempo e do equilíbrio destes nas folhas, em batata (*Pomme de terre*) e videira (*Vigne*) (original de Lagatu e Maume, 1934a; 1934b).

4 Relações e diagnóstico de nutrientes

Relatando a pesquisa do século XIX em "percentagem mínima" ou "limite ótimo", Macy (1936) elaborou o conceito de porcentagem crítica, acima da qual houve consumo de luxo e abaixo da qual houve deficiência. Mais tarde, os valores de concentração crítica foram fixados em 90-95% da máxima produtividade, derivado de modelos de resposta da cultura (Ulrich, 1952). No caso das frutíferas, porém, os valores de concentrações críticas econômicas são bem maiores, de 98 e 100% da máxima produtividade, respectivamente para as culturas da goiaba e da carambola (NATALE et al., 2010; 2011).

Contudo, é salutar evidenciar que havendo objetivo de estabelecer normas para os nutrientes, com fins de diagnóstico, em geral, recomenda-se coletar tecidos em diversas parcelas, nas quais um determinado nutriente é variado no tempo, enquanto os demais foram fornecidos adequadamente, a fim de evitar a obtenção de resultados de difícil interpretação, tais como variações nos teores de nutrientes sem haver diferenças significativas de produtividade, ou diferenças de produtividade sem haver variações significativas nos teores de nutrientes (ULRICH; HILLS, 1967). Os experimentos forneceram uma gama de respostas a partir dos tratamentos com deficiência, comparados às condições de suficiência, facilitando a determinação dos limites críticos. Mesmo quando bem conduzidos, nos experimentos repetidos, raramente todos os nutrientes estão na concentração ótima ou mesmo próximos disso, ao estabelecer a relação entre a produtividade e uma variação do nutriente; o elemento limitante é modelado com maior precisão nas condições em que a

suficiência de outros nutrientes é atingida e a toxicidade dos demais elementos é evitada (MUNSON; NELSON, 1990).

Tais evidências são constadas para videiras em experimentações realizadas por Brunetto et al. (2007, 2008), nas quais os autores alertaram que a análise foliar tem limitações como ferramenta de diagnóstico do estado nutricional, pois, detectaram que o teor de N nas folhas aumentou com a aplicação de doses crescentes do nutriente no solo, porém, isso não se refletiu em aumento na produtividade das videiras. Brunetto et al. (2011) evidenciam que a falta de relação entre o teor foliar do nutriente e a produtividade pode ter origem na compartimentalização de parte do nutriente em organelas da célula. Isso ocorre quando o elemento é absorvido em quantidade maior que a demanda fisiológica da planta, sendo armazenado no vacúolo, como ocorre também com P e K. Com isso, a concentração foliar supera o valor necessário para o atendimento de suas funções metabólicas, contribuindo para a ocorrência de erros de interpretação da necessidade da cultura. Por isso, os modelos de predição de adubação, baseados somente nos teores totais de nutrientes em tecido da planta, devem ser interpretados com cuidado.

É necessário lembrar que pesquisas com culturas perenes permitem a coleta de dados em massa num ritmo elevado. No entanto, ao desenvolver normas-padrão para nutrientes a partir de resultados de pesquisa, em geral, ocorrerá maior coeficiente de variação, quando comparado aos dados coletados em levantamentos de talhões comerciais, no mesmo local. Outra desvantagem dos experimentos é que os mesmos incluem os casos de consumo de luxo, que influenciam as faixas ótimas calculadas como intervalos de confiança sobre as médias, ou usando linhas de limite para delinear faixas de nutrientes (WEBB, 1972). Kenworthy (1967) afirmou que a intensificação das concentrações de nutrientes é necessária para obter uma percentagem do valor-padrão para as culturas de alto desempenho, e que as concentrações padronizadas devem ser ponderadas pelo coeficiente de variação e computadas como índices de equilíbrio.

Desta maneira observa-se que as inter-relações de nutrientes são muitas vezes relatadas na literatura, assumindo erradamente que pares de elementos estão linearmente correlacionados (KENWORTHY, 1967). Inter-relações de nutrientes também são afetadas por interações com outros fatores como genótipo, fase de crescimento, data de plantio, flutuações sazonais, variações na fertilização (GERALDSON et al., 1973). As relações ótimas são consideradas por si só insuficientes, visto que podem ser obtidas no âmbito da deficiência ou da toxicidade (MARSCHNER, 1986). Considerar todas as relações duais simultaneamente para fins de diagnóstico é impraticável, tendo em vista seu grande número: $(D \times (D-1))/2$, as relações duais podem ser calculadas a partir de uma composição D-partes. A maioria das relações duais é redundante, tais como $(K/Ca) \times (Ca/Mg) = (K/Mg)$. No entanto, as proporções, tais como Redfield N/P (REDFIELD, 1934; GÜSEWELL, 2004) e as relações estequiométricas C-N-S-P para estabilização da matéria orgânica do solo (STEVENSON, 1986) podem ser empregadas.

5 Procedimentos da análise composicional pela metodologia da diagnose da composição nutricional – CND

Para simplificar a análise dos sistemas complexos, supõe-se geralmente que todos os outros fatores, que não aqueles que se faz variar são iguais de toda forma (*ceteres paribus*) (GIAMPIETRO, 2004). Para os ensaios de fertilização e interpretação das análises foliares, elemento por elemento, presume-se que todos os elementos nutritivos, salvo aquele ou aqueles que se diagnostica, estão

presentes em quantidades suficientes, mas não excessiva (NELSON; ANDERSON, 1984). Esta simplificação excessiva não permite compreender, muitas vezes, as sutilezas das respostas das culturas à fertilização.

Os recentes progressos em agricultura de precisão e em metodologia de análise permitem quantificar, a custos razoáveis, a variabilidade de vários fatores que influenciam o crescimento vegetal. Os fatores identificados devem ser levados em conta, assim como suas interações. A análise composicional permite gerir estas interações.

As análises de solo e de tecido vegetal contêm falsas correlações inerentes aos dados de composição: existe ao menos uma correlação negativa entre os componentes, pois a composição é sempre igual a 100%; assim se uma fração diminui, ao menos uma outra deve aumentar. Essas falsas correlações são controladas, em parte, por transformações logarítmicas, como os *log-ratio* aditivos (*alr*), centrados (*clr*) ou isométricos (*ilr*) (AITCHISON, 1986; EGOZCUE; PAWLOWSKI-GLAHN, 2005).

Os dados experimentais brutos são coletados no espaço real entre (-) infinito e (+) infinito. Por outro lado, os dados composicionais são estritamente positivos e fornecem a informação relativa (AITCHISON, 1986). Em análise composicional o tecido foliar é considerado um sistema fechado a 100%, formado por componentes conhecidos (N, P, K...) e por componentes desconhecidos (outros elementos não determinados, carboidratos, etc.), reunidos num termo chamado 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_d):

$$S^d = [(N,P,K...R_d): N>0, P>0, K>0... R_d >0, N+P+K+\dots+R_d = 100]$$

em que: N, P, K... são as proporções de nutrientes determinados na matéria seca e R_d é calculado por diferença, como segue:

$$R_d = 100 - (N + P + K + \dots)$$

As proporções de nutrientes transformam-se em escala invariada depois que são divididas pela média geométrica (G) de *d*+1 componentes, incluindo R_d (AITCHINSON, 1986):

$$G = [N * P * K * \dots * R_d]^{\frac{1}{d+1}}$$

Para expressar cada componente do *simplex*, em relação a todos os outros (estudo de interação), é suficiente definir novas variáveis (V), que sofrem transformação logarítmica centrada (logaritmo natural ou neperiano), isto é, em relação à média geométrica dos valores observados, sendo expressas:

$$V_N = \ln \frac{N}{G}, \quad V_P = \ln \frac{P}{G}, \quad V_K = \ln \frac{K}{G} \dots V_{R_d} = \ln \frac{R_d}{G}$$

e, por definição,

$$V_N + V_P + V_K + \dots + V_{R_d} = 0$$

Assim, considerando-se um único desvio-padrão ter-se-á uma única posição relativa de cada nutriente em relação a todos os outros. A vantagem das variáveis V_x é o acesso aos recentes instrumentos de análise multivariada, como a análise de componentes principais e a análise composicional.

O passo seguinte é dividir a base de dados em duas subpopulações (alta e baixa produtividade), utilizando-se o procedimento de Cate-Nelson, uma vez que as

observações foram classificadas em ordem decrescente de rendimento. O didático artigo de Khiari et al. (2001b), elucida todos os procedimentos para o estabelecimento da população de referência.

Nas normas CND são utilizadas as médias e o desvio-padrão que correspondem às relações da transformação logarítmica centrada de V_X de d nutrientes para espécimes de elevados rendimentos, isto é, V_N^* , V_P^* , V_K^* ... V_R^* e SD_N^* , SD_P^* , SD_K^* ... SD_R^* respectivamente.

Uma vez que as normas CND foram desenvolvidas, a base de dados independente pode validá-las, conforme relatado por Parent e Dafir (1992), servindo para finalidades diagnósticas. Os índices CND para d elementos nutritivos são calculados:

$$I_N = \frac{(V_N - V_N^*)}{SD_N^*}, I_P = \frac{(V_P - V_P^*)}{SD_P^*}, I_K = \frac{(V_K - V_K^*)}{SD_K^*} \dots I_R = \frac{(V_R - V_R^*)}{SD_R^*}$$

em que: V_X^* e s_X^* são a média e o desvio-padrão do elemento X na subpopulação de alto rendimento e I_X é o índice CND do elemento X .

A independência entre os dados é garantida pela transformação logarítmica centrada (AITCHINSON, 1986). Os Índices CND são normatizados e as variáveis tornadas lineares como dimensões de um círculo ($d + 1 = 2$), de uma esfera ($d + 1 = 3$), ou, de uma grande esfera ($d + 1 > 3$) em um espaço dimensional de $d + 1$. O índice de desequilíbrio nutricional r^2 é distribuído como uma variável χ_d^2 se os índices CND são variáveis reduzidas independentes (ROSS, 1987), calculado pela equação:

$$r^2 = I_N^2 + I_P^2 + I_K^2 + \dots + I_R^2$$

Seu raio r , computado no índice de nutriente do CND, caracteriza assim cada espécime.

6 Observações a partir de campos de produção de videiras

Analisando 81 vinhedos comerciais destinados à produção de uvas para vinho, com idade média de oito anos de plantio, na região de Santana do Livramento (RS) observou-se que o banco de dados composto pela produtividade e teores foliares determinados no início do desenvolvimento dos frutos, apresentaram variações de produtividade entre 69 e 0,4 t ha⁻¹, com média de 14 t ha⁻¹, e desvio padrão de 12 t ha⁻¹.

Assim, após a exclusão de 18 resultados aberrantes (*outliers*) pela distância de Mahalanobis (PARENT et al., 2009) do banco de dados, permaneceram 63 observações que apresentaram variação de 22 e 0,4 t ha⁻¹ na produtividade, com média de 16 t ha⁻¹ e desvio padrão de 4 t ha⁻¹.

Previamente à análise dos dados, realizou-se a distribuição gaussiana dos dados (n=63), como descrito por Hair et al. (2005), observando-se na Figura 2 a distribuição normal para a produtividade, bem como para os nutrientes avaliados, aceitando-se, portanto, H_0 , ou seja, os dados possuem distribuição normal.

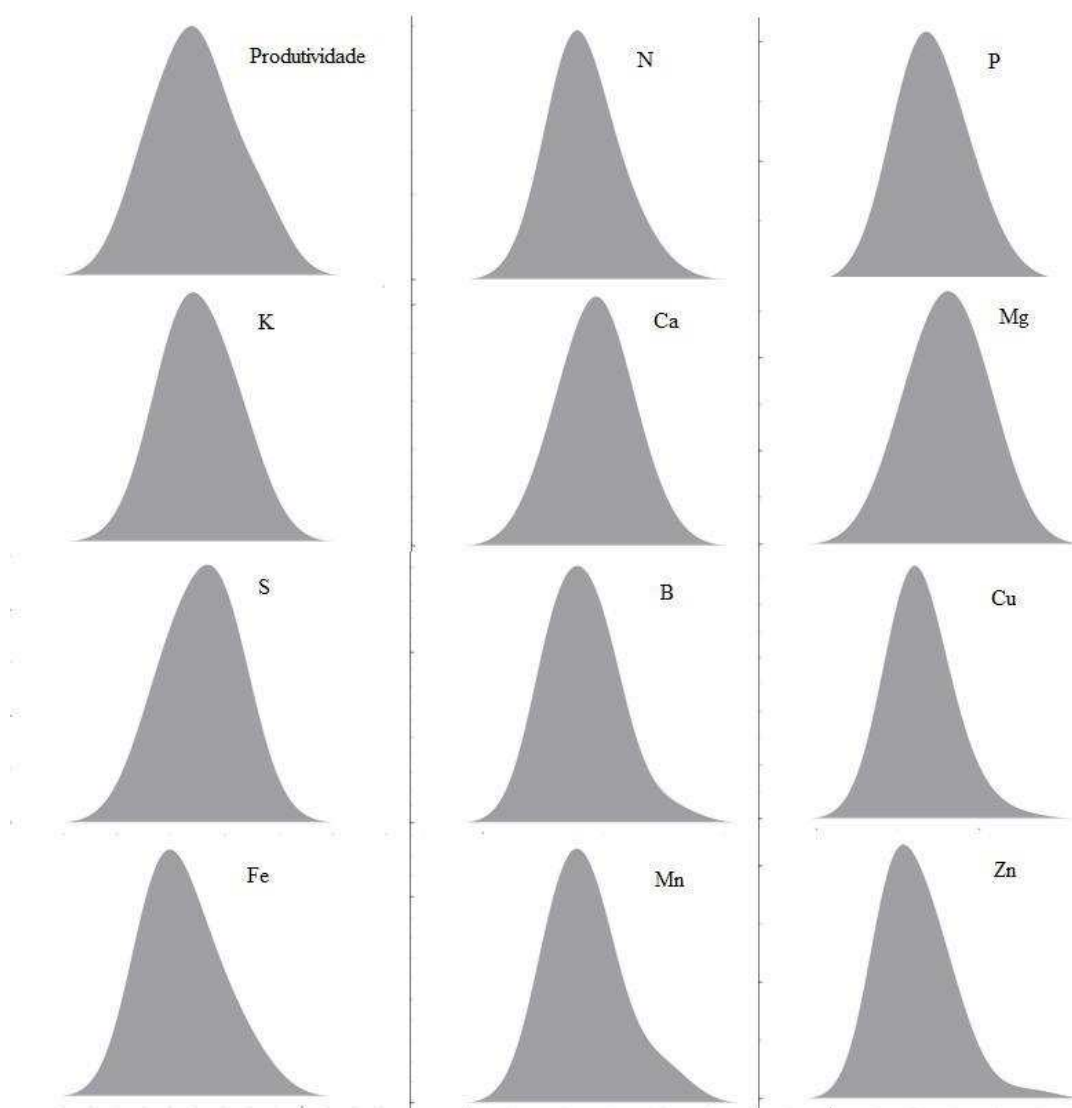


Figura 2 - Distribuição gaussiana da produtividade e dos nutrientes, n=63.

Explorando inicialmente os dados, empregou-se a matriz de correlação (Tabela 1), a fim de verificar a existência de correlações significativas e adequado coeficiente de determinação entre os teores de nutrientes e a produtividade; não foi possível verificar pela análise univariada, qualquer correlação significativa, com elevado coeficiente de determinação, que pudesse ser explorado, além de ser pouco adequado que uma explicação isolada de um único nutriente pudesse justificar substancialmente a produtividade, como já evidenciado por Kenworthy (1967); Geraldson et al. (1973) e Marschner (1986).

Tabela 1 - Correlação entre os teores foliares de nutrientes e a produtividade nos talhões de videiras (n=63).

Produção	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	-0,10	0,00	0,04	0,05	0,00	-0,10	0,05	-0,15	0,07	0,01	-0,03

N	0,52*	-0,17	0,08	0,13	0,56*	0,05	0,25	0,07	0,04	0,23
P		0,03	0,34*	0,53*	0,61*	0,37*	0,40*	0,27*	0,06	0,07
K			-0,03	0,06	0,08	0,22	0,14	-0,02	0,28*	0,02
Ca				0,77*	0,44*	0,42*	0,27*	0,01	0,10	0,05
Mg					0,45*	0,25	0,18	0,11	0,11	0,13
S						0,40*	0,40*	-0,02	0,35*	0,35*
B							0,33*	0,05	0,07	0,09
Cu								0,08	0,22	-0,08
Fe									0,14	0,08
Mn										0,04

, e *; não significativo, significativo a $p < 0,05$ pelo teste de Tukey, respectivamente.

Correlações significativas entre nutrientes, com coeficiente de determinação que chamam a atenção, podem ser observadas entre Ca-Mg, P-S, N-S, N-P e P-Mg (Tabela 1).

Procedendo-se a divisão da população de referência, como indicado por Khiari et al. (2001b), a diagnose da composição nutricional dos 63 talhões comerciais validos apresentou como ponto médio de inflexão, na função cumulativa, a produtividade de 11.111 kg por ha^{-1} , valor que foi tomado como base para a determinação da subpopulação de alta produtividade, ou seja, de referência ($n=29$), como apresentado na Figura 3.

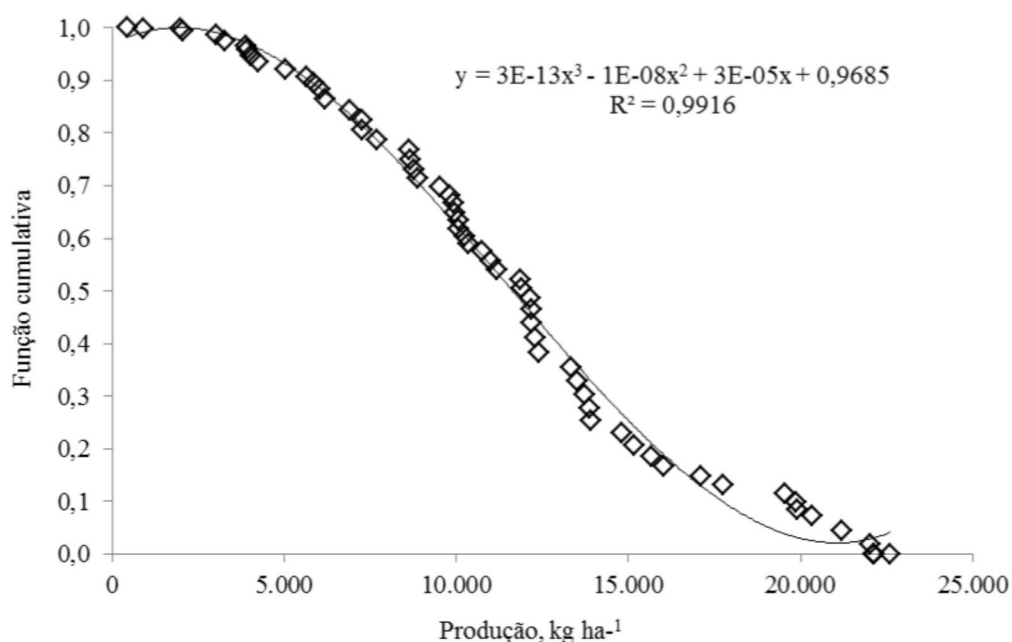


Figura 3 - Função cumulativa do banco de dados da cultura da videira ($n=63$).

Entre os 63 talhões amostrados, 29 (46%) apresentaram produtividade superior a 11.180 kg por ha^{-1} de uva (primeira produção após o ponto de inflexão) e constituíram a subpopulação de alta produtividade. 34 talhões (54%) constituíram a subpopulação de baixa produtividade.

Com a divisão das populações de alta e baixa produtividade é observado que nenhuma destas subpopulações (Tabelas 2 e 3) superou a quantidade de correlações observadas no banco de dados completo (Tabela 1), o que era esperado, visto a partição das observações, e assim um menor número de

ocorrências. Com a divisão das populações de alta e baixa produtividade, as principais relações destacadas no banco de dados completo (n=63), se mantiveram significativas (Tabelas 2 e 3), além de complementar com a relação S-Cu na população de alta produtividade e a relação Ca-S na população de baixa produtividade.

Tabela 2 - Correlação entre os teores foliares de nutrientes e a produtividade nos talhões de videiras de alta produtividade (n=29).

	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
Produção	-0,07	-0,05	-0,21	0,07	0,06	-0,12	-0,05	0,14	0,04	-0,12	-0,14
N		0,39*	-0,11	0,02	-0,03	0,64*	-0,10	0,30	-0,11	0,19	0,24
P			0,07	0,29	0,51*	0,64*	0,38*	0,71*	0,28	0,01	-0,10
K				-0,19	-0,05	-0,13	0,22	0,04	0,05	0,04	-0,07
Ca					0,78*	0,39*	0,47*	0,27	-0,15	0,09	0,10
Mg						0,34	0,43*	0,27	0,16	-0,03	0,08
S							0,35	0,61*	-0,06	0,43*	0,20
B								0,48*	-0,16	0,11	-0,13
Cu									0,12	0,27	-0,08
Fe										0,10	0,18
Mn											0,05

, e *; não significativo, significativo a $p < 0,05$ pelo teste de Tukey, respectivamente.

Tabela 3 - Correlação entre os teores foliares de nutrientes e a produtividade nos talhões de videiras de baixa produtividade (n=34).

	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
Produção	-0,10	-0,29	0,09	-0,21	-0,22	-0,12	-0,05	-0,09	0,12	0,18	-0,11
N		0,66*	-0,20	0,14	0,27	0,50*	0,20	0,20	0,18	-0,06	0,23
P			-0,01	0,39*	0,56*	0,60*	0,35*	0,23	0,27	0,10	0,19
K				0,10	0,15	0,25	0,22	0,23	-0,07	0,44*	0,07
Ca					0,75*	0,51*	0,36*	0,33	0,12	0,12	0,00
Mg						0,57*	0,40*	0,26	0,20	0,22	0,17
S							0,47*	0,26	0,00	0,29	0,46*
B								0,26	0,19	0,05	0,25
Cu									0,07	0,19	-0,06
Fe										0,16	0,03
Mn											0,03

, e *; não significativo, significativo a $p < 0,05$ pelo teste de Tukey, respectivamente.

A divisão das populações, em alta e baixa produtividade, não garante a indicação segura de faixas de teores nutricionais, as quais podem ser consideradas adequadas. A Tabela 4 apresenta os valores máximos, mínimos, médios e o desvio padrão, dos teores foliares das populações de alta e baixa produtividade.

Tabela 4 - Valores mínimos, máximos, médios, desvio-padrão (s) para teores de nutrientes em folhas de videiras e, produtividade (kg ha^{-1}) nas subpopulações de alta e baixa produtividade.

Nutriente	Alta produtividade				Baixa produtividade			
	Mínimo	Máximo	Média	s	Mínimo	Máximo	Média	s
N (g kg ⁻¹)	21,0	38,0	27,2	4,8	18,0	43,0	27,8	5,3
P (g kg ⁻¹)	2,2	5,3	3,3	0,8	1,9	4,6	3,2	0,7
K (g kg ⁻¹)	8,9	17,0	12,5	2,4	6,8	17,0	12,1	2,8
Ca (g kg ⁻¹)	8,4	20,0	14,0	2,9	8,6	19,0	13,4	2,4
Mg (g kg ⁻¹)	2,0	3,8	2,9	0,5	2,0	3,9	2,9	0,5
S (g kg ⁻¹)	2,4	4,4	3,5	0,6	2,4	4,8	3,6	0,6
B (mg kg ⁻¹)	19	66	34	10,8	15,0	61,0	32,3	9,7
Cu (mg kg ⁻¹)	8	20	12	2,6	9,0	25,0	13,4	3,3
Fe (mg kg ⁻¹)	67	221	115	30,1	67,0	299,0	113,4	44,0
Mn (mg kg ⁻¹)	236	808	499	135,3	292,0	905,0	502,3	147,3
Zn (mg kg ⁻¹)	84	419	210	71,8	94,0	504,0	201,6	86,4
Produtividade	11.180	22.598	16.312	3.964	436	11.007	6.559	3.278

Para melhor comparação e interpretação dos resultados do banco de dados, a Tabela 5 apresenta as interpretações de suficiência de nutrientes para as folhas completas de videira, analisadas no início do desenvolvimento dos frutos, ou seja, seguindo o mesmo padrão amostral dos dados apresentados para a cultura da videira nos estados do RS e SC (SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO, 2004).

Tabela 5 - Interpretação dos teores de nutrientes em folhas completas de videira pela SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO (2004).

Interpretação	N	P	K	Ca	Mg
	----- g kg ⁻¹ -----				
Abaixo do normal	< 16	< 1,2	< 8	< 16	< 2
Normal	16 – 24	1,2 – 4,0	8 – 16	16 – 24	2 – 6
Acima do normal	> 24	> 4,0	> 16	> 24	> 6
	B	Fe	Mn	Zn	
	----- mg kg ⁻¹ -----				
Abaixo do normal	< 30	< 60	< 20	< 25	
Normal	30 – 65	60 – 180	20 – 300	25 – 60	
Acima do normal	> 65	> 180	> 300	> 60	

Obs.: g kg⁻¹ ÷ 10 = %

Salienta-se que os teores mínimo, máximo e médio dos nutrientes avaliados nas subpopulações de alta e baixa produtividade (Tabela 4), não apresentaram diferenças quanto a sua classificação nas faixas de teores considerados adequados por SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO (2004) (Tabela 5), o que somado ao efeito entre as correlações entre nutrientes e produção (Tabela 4) evidenciam a necessidade da implantação de métodos bi ou multivariados para a diagnose do estado nutricional. Ressalta-se, inclusive, que com exceção do Mn e do Zn, que apresentam teores considerados excessivos, todos os demais nutrientes estão apresentados como interpretação normal.

Os teores de Mn e Zn apresentaram-se acima da normalidade indicada pela SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO (2004), o que pode não ser motivo de preocupação ao viticultor, visto que a carga de defensivos que contém estes micronutrientes aplicadas às videiras é alta e constante, em especial no período que antecede a amostragem foliar. Considere-se, ainda, que após a coleta das folhas, as mesmas são encaminhadas aos laboratórios e após serem lavadas (processo que não garante a completa limpeza de substâncias aderidas à superfície das folhas, ou seja, que não fazem parte da composição/maquinaria fotossintética

ativa), secas e moídas, são totalmente digeridas com $\text{HNO}_3 + \text{HClO}_4$, para determinação dos teores de micronutrientes, como o Mn e o Zn (TEDESCO et al., 1995), e deste maneira todo conteúdo presente na folha (ativo + passivo), passa a compor o extrato que depois de digerido será determinado.

Ainda há de se considerar a indicação de Boaretto et al. (2003), que, utilizando a técnica isotópica, constataram em plantas de citros, que o Mn e o Zn aplicados via foliar aumentaram os teores das folhas que receberam a pulverização; entretanto as brotações que surgiram seguintes à aplicação não apresentaram elevação no teor. Os autores relataram que menos de 10% das quantidades de Zn e Mn que são depositadas na superfície das folhas de laranjeira são absorvidas, e menos de 1% das quantidades depositadas são transportadas às partes novas das brotações que cresceram após a adubação foliar, sendo assim insuficientes para alterar significativamente os teores foliares destes micronutrientes.

Contudo, há que se considerar que a aplicação de defensivos e substâncias que contenham nutrientes em sua composição é uma realidade intrínseca às atuais bases de produção, e que deve-se considerá-las no diagnóstico nutricional.

Observa-se que a indicação univariada não está representando a contento os coeficientes de determinação, nem tampouco as correlações significativas. A indicação da relação entre o índice de desequilíbrio nutricional (CND-r^2) e a distância de Mahalanobis (D^2) na população de referência pode ser observada na Figura 4, evidenciando, assim que quanto maior a distancia (D^2) maior é o desequilíbrio nutricional (CND-r^2). Resultados semelhantes foram relatados por Khiari et al. (2001b) em batata, em pesquisa na qual os autores obtiveram $R^2 = 0,34$.

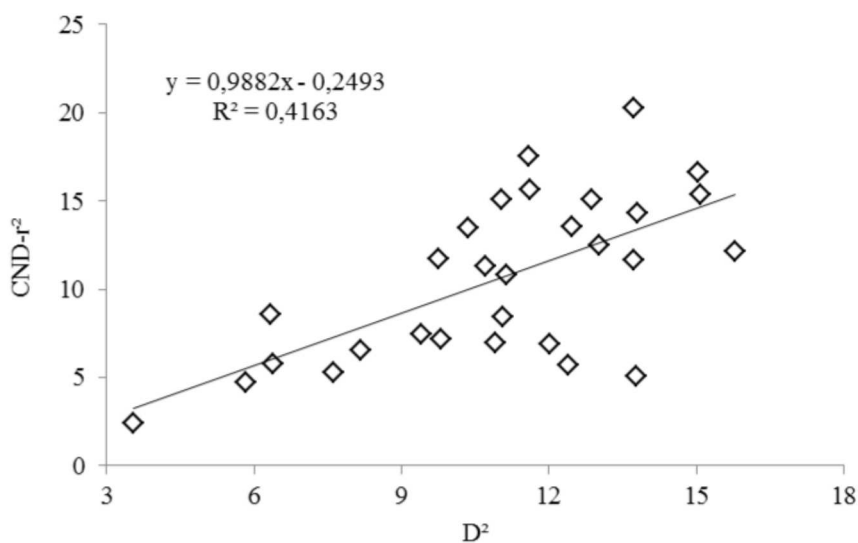


Figura 4 - Índice de desequilíbrio nutricional (CND-r^2) e distância de Mahalanobis (D^2) na população de referência ($n=29$) de videiras.

As normas CND foram elaboradas de acordo com Parent e Dafir (1992), Khiari et al. (2001a) e Parent et al. (2005; 2009), resultando no *software* CND-Uva, que está em fase de registro.

Com base nos teores médios sugeridos como adequados para videiras pela CQFS-RS/SC (2004) e, analisando os seus teores normais médios como amostra foliar

para comparação com os padrões avaliados pelas normas CND, observou-se que os índices IN, IP, IK, ICa, IMg, IB, IFe, IMn e IZn foram: -0,79; -0,35; 0,69; 3,08; 3,36; 2,12; 1,04; -3,78; -4,26, respectivamente, estando o $CND-r^2 = 63,72$. Nas condições em que a pesquisa foi realizada e, utilizando-se as normas elaboradas pelo método CND, verifica-se que há subestimação dos teores de Mn e Zn.

Alguns parâmetros estatísticos das normas CND para a videira estão apresentados na Tabela 6.

Tabela 6 - Normas da diagnose da composição nutricional (CND) da videira na população de referência (n=29).

Parâmetros	IN	IP	IK	ICa	IMg	IS	IB	ICu	IFe	IMn	IZn	CND-r ²
LMa	2,13	2,47	2,00	1,86	1,84	1,85	2,17	2,42	2,53	2,52	2,22	20,26
LMi	-1,73	-2,08	-1,69	-1,84	-1,73	-2,33	-1,81	-1,82	-1,96	-1,65	-2,19	2,41
SP_m	0,79	0,77	0,84	0,81	0,85	0,80	0,82	0,77	0,73	0,80	0,74	3,94
D	0,36	0,30	0,25	0,04	-0,01	-0,11	-0,01	0,40	0,41	0,32	-0,25	0,16
V	9,07	8,81	9,67	9,27	9,72	9,19	9,38	8,81	8,38	9,22	8,48	100,00

LMa = Limite Máximo; LMi = Limite Mínimo; DV_m = Desvio Padrão médio; D = Distorção; V = Variação percentual média dos índices nutricionais que compõem a variação média do $CND-r^2 = 10,62$.

7 Considerações finais

Estudos que contemplem as interações entre elementos, na avaliação do estado nutricional das plantas, é um desafio constante. O conceito de equilíbrio entre todos os nutrientes (CND-clr) e/ou entre grupos de nutrientes (CND-iltr), ou seja, relações multinutrientes é mais importante que a simples constatação de que a limitação de um dado elemento possa reduzir o crescimento e a produtividade dos vegetais. Além disso, a análise de multinutrientes possibilita o estudo de interações de interesse, permite definir matematicamente a população de alta produtividade, evitando distorções, visto que é possível identificar redundâncias, distribuição não-normal, *outliers* e escala dependente. Assim, sugere-se a imediata utilização do equilíbrio nutricional, entre todos os nutrientes, em relação ao uso dos métodos bivariados e/ou a abordagem do valor crítico.

8 Referências bibliográficas

- AGRIANUAL 2015: anuário da agricultura brasileira. São Paulo: FNP, 2016. 456 p.
- AITCHISON, J. **The statistical analysis of compositional data**. London: Chapman and Hall, 1986, 416 p.
- BATAGLIA, O. C. Métodos diagnósticos da nutrição potássica com ênfase no DRIS. In: YAMADA, T.; ROBERTS, T. L. SIMPÓSIO SOBRE POTÁSSIO NA AGRICULTURA BRASILEIRA, 2., 2004, São Pedro, SP. **Anais...**Piracicaba: Associação Brasileira para pesquisa da Potassa e do Fosfato, 2004.
- BOARETTO, A. E.; MURAOKA, T.; BOARETTO, R. M. Absorção e translocação de micronutrientes (⁶⁵Zn, ⁵⁴Mn, ¹⁰B), aplicados via foliar, pelos citros. **Laranja**, v. 24, n. 1, p. 177-198, 2003.
- BRUNETTO, G.; CERETTA, C. A.; KAMINSKI, J.; MELO, G. W. B. de; LOURENZI, C. R.; FURLANETTO, V.; MORAES, A. Aplicação de nitrogênio em videiras na Campanha Gaúcha: Produtividade e características químicas do mosto da uva. **Ciência Rural**, v. 37, n. 2, p. 389-393, mar./abr. 2007.

BRUNETTO, G.; BORGIGNON, C.; MATTIAS, J. L.; DEON, M.; MELO, G. W. B.; KAMINSKI, J.; CERETTA, C. A. Produção, composição da uva e teores de nitrogênio na folha e no pecíolo em videiras submetidas à adubação nitrogenada. **Ciência Rural**, v. 38, n. 9, p. 2622-2625, July 2008.

BRUNETTO, G.; MELO, G. W. B. de; KAMINSKI, J. Critérios de predição da adubação e da calagem em frutíferas. **Boletim Informativo da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, p. 24-29, 2011.

EGOZCUE, J. J.; PAWLOWSKY-GLAHN, V. Groups of parts and their balances in compositional data analysis. **Mathematical Geology**, New York, v. 37, n. 7, p. 795-828, Oct. 2005.

EPSTEIN, E.; BLOOM, A. J. **Nutrição mineral de plantas: princípios e perspectivas**. 2. ed. Londrina: Planta. 2006. 401 p.

GERALDSON, C. M.; KLACAN, G. R.; LORENZ, O. A. Plant analysis as an aid in fertilizing vegetable crops. in: WALSH, L. M.; BEATON, J. D. (Eds). **Soil testing and plant analysis**. Madison: Soil Science Society of America, p. 365-379. 1973.

GIAMPIETRO, M. **Multi-scale integrated analysis of agroecosystems**. Boca Raton: CRC Press, 2004.

GÜSEWELL S. N:P ratios in terrestrial plants: variation and functional significance. **New Phytologist**. v. 164, n. 2, p. 243-266, Nov. 2004.

HAIR, J. F.; TATHAM, F. R.; ANDERSON, R. E.; BLACK, W. Análise multivariada de dados. 5.ed. Porto Alegre: Bookman, 2005.

IFA. International Fertilizer Industry Association. **O uso de fertilizantes minerais e o meio ambiente**. 2000. Tradução: ANDA – Associação Nacional para Difusão de Adubos. Disponível em: <http://www.anda.org.br/multimedia/fertilizantes_meio_ambiente.pdf>. Acesso em: 01 jul. 2016.

KENWORTHY, A. L. Plant analysis and interpretation of analysis for horticultural crops. in: STELLY, M.; HAMILTON, H. (Eds.). **Soil testing and plant analysis. Part II: Plant Analysis**. Madison: Soil Science Society of America, p. 59-75, 1967.

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

KHIARI, L.; PARENT, L. E.; TREMBLAY, N. Selecting the high-yield subpopulation for diagnosing nutrient imbalance in crops. **Agronomy Journal**, Madison, v. 93, n. 4, p. 802-808, 2001b.

KREUZ, C. L.; SCHUCK, E.; SOUZA, A.; CUNHA, S. K. da. Custos de produção, expectativas de retorno e de riscos do agronegócio uva na região dos campos de palmas. **Alcance**, v. 11, n. 2, p. 239-258, 2004.

LAGATU, H; MAUME, L. Le diagsonitic foliaire de la pomme de terre. **Annual Ecole Nationale Superieure Agronomique de Montpellier**, v. 22, p. 50-158, 1934a.

LAGATU, H; MAUME, L. Recherches sur lê diagnostic foliaire. **Annual Ecole Nationale Superieure Agronomique de Montpellier**, v. 22, p. 257-306, 1934b.

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

- MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Editôra Agronômica Ceres. 2006. 638 p.
- MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plant**. London: Academic Press, 1986. 674 p.
- MARSHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. London: Academic Press, 1995. 674 p.
- MUNSON, R. D.; NELSON, W. L. Principles and practices in plant analysis. In: WESTERMAN R. L. (Ed.), **Soil testing and plant analysis**. 3thed. Madison: Soil Science Society of America Book , P. 359-387, 1990.
- NATALE, W.; ROZANE, D. E.; PRADO, R. de M. ; ROMUALDO, L. M.; SOUZA, H. A. de; HERNANDES, A. Viabilidade econômica do uso de calcário na implantação de pomar de goiabeiras. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 34, n. 3, p. 708-713, maio/jun. 2010.
- NATALE, W.; ROZANE, D. E.; PRADO, R. de M.; ROMUALDO, L. M.; SOUZA, H. A. de; HERNANDES, A. Dose econômica de calcário na produtividade de caramboleiras. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 33, n. 4, p. 1294-1299, Dec. 2011.
- NATALE, W.; ROZANE, D. E.; PARENT, L. E.; PARENT, S. E. Acidez do solo e calagem em pomares de frutíferas tropicais. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 34, n. 4, p. 1294-1306, Dec. 2012.
- NELSON, L. A.; ANDERSON, R. L. Partitioning of soil test-crop response probability. In: STELLY, M. (Ed.). **Soil testing: correlating and interpreting the analytical results**. Madison: American Society of Agronomy, p.19-38, 1984.
- PARENT, L. E.; DAFIR, M. A theoretical concept of compositional nutrient diagnosis. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, v. 117, n. 2, p. 239-242, Mar. 1992.
- PARENT, L. E.; KHIARI, L.; PETTIGREW, A. Nitrogen diagnosis of Christmas tree needle greenness. **Canadian Journal of Plant Science**, v. 85, n. 4,p. 939-947, 2005.
- 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**, v. 89, n. 4, p. 383-390, 2009.
- REDFIELD, A. C. On the proportions of organic derivatives in sea water and their relation to the composition of plankton. In: JOHNSTONE, J.; DANIEL, R. J.. James Johnstone Memorial Volume. Liverpool: University Press of Liverpool, p. 177-192, 1934.
- ROSS, S. M. **Introduction to probability and statistics for engineers and scientists**. Nova York: John Wiley & Sons, 1987.
- ROZANE, D. E.; MATTOS JR, 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**, v. 46, n. 15, p. 1948-1959, July 2015.
- ROZANE, D. E.; PARENT, L. E.; NATALE, W. Evolution of the predictive criteria for the tropical fruit tree nutritional status. **Cientifica**, v. 44, n. 1, p. 102-112, 2016.
- SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO. Comissão de Química e Fertilidade do Solo. **Manual de adubação e de calagem para os estados do Rio**

Grande do Sul e de Santa Catarina. 10. ed. Porto Alegre, RS: SBCS - Núcleo Regional Sul/UFRGS, 2004.

SOUZA, H. A. de; NATALE, W.; ROZANE, D. E. Avaliação agronômica da aplicação do resíduo da indústria processadora de goiabas em pomar comercial de goiabeiras. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, n. 3, p. 969-979, May/June 2011.

STEVENSON, F. J.; COLE, M. A. **Cycles of Soil; carbon, nitrogen, phosphorus, sulfur, micronutrients.** New York: Wiley, 1986.

TEDESCO, M. J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C. A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S. J. **Análise de solo, plantas e outros materiais.** 2.ed. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995. 174 p.

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

ULRICH, A.; HILLS, F. J. Principles and practices of plant analysis. In: STELLY, M.; HAMILTON, H. (Eds.). **Soil testing and plant analysis. Part II: Plant Analysis.** **Madison:** Soil Science Society of America, P. 11-24, 1967.

WEBB, R. A. Use of the boundary line in the analysis of biological data. *Journal of Horticultural Science*, v. 47, n. 3, p. 309-319, 1972.