

NICOLÁS IGNACIO STAHRINGER

**SISTEMA DE RECOMENDAÇÃO DE CORRETIVOS E FERTILIZANTES  
PARA A CULTURA DA LARANJEIRA COM BASE NO BALANÇO  
NUTRICIONAL (FERTICALC-LARANJA)**

Dissertação apresentada à  
Universidade Federal de Viçosa, como  
parte das exigências do Programa de  
Pós-Graduação em Solos e Nutrição  
de Plantas, para obtenção do título de  
*Magister Scientiae*.

VIÇOSA  
MINAS GERAIS – BRASIL  
2013

**Ficha catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e  
Classificação da Biblioteca Central da UFV**

T

S781s  
2013

Stahringer, Nicolás Ignacio, 1982-

Sistema de recomendação de corretivos e fertilizantes para a cultura da laranjeira com base no balanço nutricional (Ferticalc-Laranja) / Nicolás Ignacio Stahringer. – Viçosa, MG, 2013.

xii, 120 f. : il. ; 29 cm.

Orientador: Víctor Hugo Alvarez Venegas.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.

Referências bibliográficas: f. 100-120.

1. Adubos e fertilizantes. 2. Cítricos. 3. Laranja - Nutrição - Modelos matemáticos. 4. Plantas - Nutrição. 5. *Citrus sinensis*. 6. Nutrição - Necessidades. I. Universidade Federal de Viçosa. Departamento de Solos. Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas. II. Título.

CDD 22. ed. 631.8

NICOLÁS IGNACIO STAHRINGER

**SISTEMA DE RECOMENDAÇÃO DE CORRETIVOS E FERTILIZANTES PARA  
A CULTURA DA LARANJEIRA COM BASE NO BALANÇO NUTRICIONAL  
(FERTICALC-LARANJA)**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

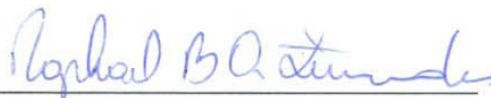
APROVADA: 21 de março de 2013.



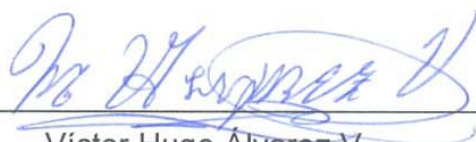
Julio César Lima Neves  
(Co-orientador)



José Maria Moreira Dias



Raphael Bragança Alves Fernandes



Víctor Hugo Álvarez V.  
(Orientador)

À minha querida família, pelo amor,  
infinita contenção e carinho.

À minha namorada María pelo amor,  
compreensão e companheirismo.

Dedico.

## **AGRADECIMENTOS**

Ao Departamento de Solos da Universidade Federal de Viçosa pela oportunidade de realizar este curso.

Ao Ministério das Relações Exteriores do Brasil pela bolsa de estudos outorgada a través do Programa de Estudantes-Convênio de Pós-Graduação (PEC-PG).

A minha amada María, por seu imenso amor e companhia, e por fazer me rir todos os dias.

Aos meus avós, em especial a meu Opa pelas longas conversas que ficaram por sempre na minha memória.

As minhas tias Cristina, Delia e Mercedes pelo amor e forças.

Aos meus pais pelo imenso carinho e por serem meus exemplos de vida.

Aos meus irmãos por serem meus melhores amigos e conselheiros.

Ao Prof. Víctor Hugo Alvarez V. pela orientação durante o curso de mestrado, por ter me dado a liberdade de trabalhar com a cultura que queria e por transmitir uma vocação tão grande pela docência.

Ao Prof. Júlio César Lima Neves pelo constante apoio e confiança transmitida e por me ajudar a clarear as ideias nos momentos mais complicados.

Ao Prof. Roberto Ferreira Novais, pelo exemplo de professor que conseguiu simplificar os conhecimentos de uma maneira única e pelo apoio nos momentos difíceis.

A todos os professores do DPS pelas contribuições para minha formação.

Aos Prof. Roberto Aquino Leite e Dalmo Lopes Sequeira pela coorientação.

Aos Professores que contribuíram para minha formação acadêmica de mestrado, entre os que gostaria de destacar ao Prof. Raphael Bragança Alves Fernandes e Prof. Fábio Murilo da Mata pelo excelente conteúdo e didática passados nas salas de aula.

Aos pesquisadores do Centro de Citricultura Sylvio Moreira do Instituto Agrônomo Campinas, Dr. Dirceu de Mattos Júnior e Dr. Rodrigo Marcelli Boaretto, pela grande contribuições que fizeram para esta dissertação.

Ao Prof. Víctor Antonio Rodríguez da Facultad de Ciencias Agrarias da Universidad Nacional del Nordeste (Corrientes – Argentina), quem me transmitiu essa paixão pela nutrição de citros e que tem colaborado muito nesta dissertação.

As secretarias do Programa de Pós-graduação em Solos e Nutrição de Plantas, Luciana e Claudinha pelo excelente trabalho e dedicação.

Aos amigos do DPS, em especial a Bárbara, Caio, Danilo, Fernando, Luciola, Luiz Felipe e Wedisson pelo companheirismo.

Aos meus amigos argentinos em Viçosa, Diego e Nico pelas conversas, churrascos e mates compartilhados que me fizeram sentir mais perto da minha terra.

Aos meus amigos brasileiros da república, Alci, Felipe, Conrado, Vitor, Augusto e Chambo pela excelente convivência e amizade.

## **BIOGRAFIA**

NICOLÁS IGNACIO STAHRINGER, filho de María del Carmen Josefa Villanueva e Rodolfo Carlos Stahringer, nasceu em 24 de dezembro de 1982, em Buenos Aires, Argentina.

Em agosto de 2009, graduou-se em Agronomia pela Facultad de Ciencias Agrarias da Universidad Nacional del Nordeste, Corrientes, Argentina.

Em fevereiro de 2011, iniciou o mestrado no Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, na Universidade Federal de Viçosa, sob orientação do Professor Víctor Hugo Alvarez V.

# ÍNDICE

	<b>PÁGINA</b>
RESUMO .....	ix
ABSTRACT.....	XI
1.0 INTRODUÇÃO .....	1
2.0 REFERENCIAL TEÓRICO.....	4
2.1 Características gerais da cultura.....	4
2.1.1 Origem, distribuição e importância econômica .....	4
2.1.2 Requerimentos edafo-climáticos e distribuição do sistema radicular.....	5
2.2 Aspectos nutricionais da cultura.....	7
2.2.1 Exigência nutricional da cultura .....	7
2.2.2 Macronutrientes.....	8
2.2.3 Micronutrientes .....	10
2.2.4 Dinâmica de absorção de nutrientes ao longo do ano.....	12
2.2.5 Calagem .....	14
2.2.6 Breve histórico para chegar às atuais formas de recomendação na adubação da laranjeira .....	15
2.3 Sistema Ferticalc.....	21
3.0 ESTRUTURA DO SISTEMA .....	22
3.1 Subsistema Requerimento.....	22
3.2 Subsistema Suprimento .....	22

4.0	DESENVOLVIMENTO DO SISTEMA FERTICALC-LARANJA .....	26
4.1	Recomendação de calagem .....	26
4.1.1	Método da neutralização do $Al^{3+}$ e elevação dos teores de $Ca^{2+}$ e de $Mg^{2+}$ .....	27
4.1.2	Método de saturação por bases .....	29
4.1.3	Cálculo da quantidade de calcário a ser aplicado .....	32
4.2	Recomendação de gessagem .....	32
4.2.1	Recomendação com base na textura do solo .....	33
4.2.2	Recomendação com base na determinação do P-rem .....	33
4.2.3	Recomendação com base na determinação da NC pelo método do $Al^{3+}$ , e do $Ca^{2+} + Mg^{2+}$ ou pelo método de saturação por bases.....	34
4.2.4	Cálculo da quantidade de gesso a ser aplicado .....	34
4.3	Recomendação de adubação de implantação e formação .....	35
4.4	Recomendação de adubação de produção .....	39
4.4.1	Subsistema Requerimento .....	39
4.4.1.1	Demanda de nutrientes pela planta.....	39
4.4.1.1.1	Estimativa da produção, partição e teor de biomassa vegetativa.....	40
4.4.1.1.2	Estimativa da produção de matéria seca de frutos .....	54
4.4.1.1.3	Estimativa dos coeficientes de utilização biológica do fruto para cada nutriente ( $CUBF_{Nut}$ ) .....	55
4.4.1.2	Taxa de recuperação de nutrientes pela planta .....	58
4.4.1.3	Demanda total de nutrientes pela planta (conteúdo total) .....	67
4.4.1.4	Requerimento total de nutrientes pela planta e requerimento de sustentabilidade .....	68
4.4.2	Subsistema Suprimento .....	71
4.4.2.1	Nutriente suprido pelo solo ( $Nut_{solo}$ ) .....	72
4.4.2.2	Nutriente suprido pelos resíduos vegetais ( $Nut_{res.veg.}$ ).....	79
4.4.2.3	N suprido pela matéria orgânica do solo ( $N_{MOS}$ ) .....	86
5.0	SIMULAÇÕES DE USO DO SISTEMA FERTICALC-LARANJA.....	89

5.1	Recomendação de calagem de implantação .....	90
5.1.1	Quantidade de calcário a ser aplicada e suprimento de Ca e Mg.....	90
5.2	Recomendação de gessagem na implantação .....	91
5.3	Recomendação de fertilização para um pomar em idade jovem (quatro anos).....	91
5.3.1	Estimativa do incremento anual de biomassa vegetativa .....	92
5.3.2	Produção de matéria seca de frutos.....	93
5.3.3	Demanda total de nutrientes.....	93
5.3.4	Taxas de recuperação de nutrientes pela planta.....	94
5.3.5	Requerimento total de nutrientes.....	94
5.3.6	Suprimento total de nutrientes.....	94
5.3.7	Quantidade de nutrientes a ser recomendada pelo Ferticalc-Laranja e comparação com as tabelas .....	95
5.4	Recomendações de fertilização para um pomar em idade adulta (10 anos) e comparação com as tabelas .....	96
6.0	CONCLUSÕES.....	99
7.0	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	101

## RESUMO

STAHNINGER, Nicolás Ignacio, M. Sc., Universidade Federal de Viçosa, março de 2013. **Sistema de recomendação de corretivos e fertilizantes para a cultura da laranjeira com base no balanço nutricional (Ferticalc-Laranja)**. Orientador: Víctor Hugo Alvarez V. Co-orientadores: Dalmo Lopes de Siqueira, Júlio César Lima Neves e Roberto de Aquino Leite.

Desde a década de 80, o Brasil é o maior produtor de laranjas do mundo, sendo que 85 % da produção nacional destina-se à indústria de suco. Na safra 11/12, o País participou com 57 % da produção mundial de suco de laranja, a qual se concentrou principalmente no Estado de São Paulo. O nutriente mais absorvido pela laranjeira é Ca, porém N e K são os mais exportados. As recomendações de corretivos e fertilizantes, no País, são feitas com base no uso de tabelas desenvolvidas pelo Grupo Paulista de Adubação e Calagem para Citros. Este trabalho objetivou desenvolver um sistema de recomendação de corretivos e fertilizantes para a cultura da laranjeira, baseado na modelagem do requerimento e do suprimento, além de revelar lacunas no conhecimento que indicam a necessidade de futuras pesquisas. O sistema, que recebe o nome de Ferticalc-Laranja, compõe-se dos módulos: calagem, gessagem, adubação de implantação e formação, e adubação de produção, que por sua vez está formado pelos subsistemas requerimento e suprimento. O subsistema requerimento engloba a demanda total (DT), a taxa de recuperação pela planta ( $TR_{pl}$ ) e o requerimento total (RT). A DT dos primeiros dois anos da cultura no campo se limita à demanda para incremento anual da biomassa vegetativa ( $D\Delta BV$ ), no entanto, a partir do terceiro ano a DT se constitui da  $D\Delta BV$  mais a demanda para produção de frutos (DPF). A  $D\Delta BV$  está em função da produção de BV, da partição e dos teores correspondentes ao ano considerado. A DPF varia em função da produtividade esperada e do coeficiente de utilização biológica de frutos (CUBF). A  $TR_{pl}$  indica que proporção do nutriente aplicado efetivamente é absorvido pela planta. Dividindo a DT de cada nutriente pela  $TR_{pl}$  do nutriente obtém-se o RT do nutriente. O subsistema suprimento está formado por: nutriente suprido pelo solo ( $Nut_{solo}$ ), nutriente suprido pelos

resíduos vegetais (Nut<sub>res.veg.</sub>) e para N também é levado em consideração o N proveniente da mineralização da matéria orgânica do solo (N<sub>MOS</sub>). Desta maneira, o suprimento de N se compõe do N<sub>res.veg.</sub> e N<sub>MOS</sub>, o suprimento de P, K, Ca e Mg pelo Nut<sub>solo</sub> e Nut<sub>res.veg.</sub> e o suprimento de S e micronutrientes pelo Nut<sub>solo</sub>. Com base nas simulações feitas observou-se que, dependendo do cenário, as recomendações podem ser maiores ou menores que as de tabelas utilizadas atualmente. Acredita-se que o sistema seja uma alternativa ao uso das tabelas e que da mesma maneira que estas deverá ser aprimorado constantemente. O desenvolvimento deste sistema evidencia que seria de interesse promover pesquisas para esta cultura em diversas áreas, tais como ciclagem interna e externa de nutrientes, nível crítico foliar segundo a idade, partição de matéria seca mais detalhada, etc.

## ABSTRACT

STAHNINGER, Nicolás Ignacio, M. Sc., Universidade Federal de Viçosa, March, 2013. **Liming and fertilizer recommendation system for orange crop based on nutritional balance (Ferticalc-Orange)**. Adviser: Víctor Hugo Alvarez V. Co-advisers: Dalmo Lopes de Siqueira, Júlio César Lima Neves and Roberto de Aquino Leite.

Since the 80's, Brazil is the world's largest orange producer. 85 % of its production goes to juice industry. In 11/12 season the country was responsible for 57 % of the world's orange-juice production, which harvested and manufactured mainly in the state of São Paulo. Ca is the most absorbed nutrient by orange crop, although N and K are the most exported. The recommendations for liming and fertilization in Brazil, are based on the use of tables developed by the Fertilization and Liming Group for Citrus of São Paulo. This study aimed to develop a liming and fertilizer recommendation system for orange crop, based on the modeling of nutrient requirements and supply, as well as revealing knowledge gaps that indicate the needs of future research. The system, called Ferticalc-Orange, is made up of modules: liming, gypsum application, fertilizer recommendations for non-bearing and bearing trees. The later module is formed by nutrient requirement and supply subsystems. Nutrient requirement subsystem includes total nutrient demand (TND), nutrient use efficiency (NUE) and total nutrient requirement (TNR). TND of the crop's first and second year in the field is calculated considering nutritional demand for annual vegetative biomass increase (NDAVBA), however, from the third year on, TND is made up of NDAVBA as well as nutritional demand for fruit production (NDFP). NDAVBA contemplates annual vegetative biomass production, its partitioning and nutrient contents corresponding to the considered year. NDFP depends on the expected yield and fruit biological utilization coefficient (FBUC). NUE indicates how much of the applied nutrient in fact is absorbed by the plant. TNR of each nutrient is calculated by dividing TND of the nutrient with NUE of the same nutrient. Supply subsystem consists of: nutrient supplied by soil (Soil\_Nut), nutrient supplied by litter (Litter\_Nut) and N mineralization from soil organic matter

(SOM<sub>N</sub>). Thus, N supply considers Litter<sub>N</sub> and SOM<sub>N</sub>, while P, K, Ca and Mg supply take in account Soil<sub>Nut</sub> and Litter<sub>Nut</sub>. S and micronutrients supply only Soil<sub>Nut</sub>. Based on the simulations made it was determined that depending on the circumstances the recommendations obtained with Ferticalc-Orange may be higher or lower than those found in the currently used tables. The system is an alternative to the use of tables and as well as these it has to be constantly improved. The development of this system shows that it would be of interest to promote research for this crop in different fields such as internal and external nutrient cycling, leaf nutrient content according to plant age, detailed dry matter partitioning, among others.

## 1.0 INTRODUÇÃO

A citricultura foi implantada no Brasil a partir do início do século XX, passando a ocupar espaço no cenário agrícola nacional ao lado de grandes culturas como a da cana-de-açúcar e do cafeeiro, por volta da década de 1960. Com mais de 1 Mha de plantas cítricas em seu território, o Brasil tornou-se, na década de 80, o maior produtor mundial de citros (Hasse, 1987; Neves *et al.* 2010)

Atualmente, o País detém 37,3 % da produção mundial de laranja e 57,2 % da de suco de laranja, sendo que no ano de 2012, liderou o ranking mundial de exportações deste produto com 81,3 % da participação no mercado internacional (USDA, 2012), o que indica claramente que a citricultura é um dos setores mais competitivos e de maior potencial de crescimento do agronegócio brasileiro.

As recomendações de calagem e adubação na cultura da laranja no Brasil baseiam-se no uso de tabelas dos manuais de recomendação de calagem e adubação dos diversos estados. Essas tabelas são empíricas, devido a que estão elaboradas a partir de trabalhos de calibração e com a experiência de técnicos e produtores, em locais específicos, sendo os resultados extrapolados para diferentes condições. Cabe destacar que, entre as tabelas de recomendação, as mais usadas na citricultura brasileira são as que foram desenvolvidas pelo Grupo Paulista de Adubação e Calagem para Citros, presentes, por exemplo, no *Boletim Técnico 100* do Instituto Agrônomo Campinas (Raij *et al.*, 1997), tendo em vista que São Paulo é o Estado maior produtor de laranja do Brasil, com 76,1 % de participação na produção nacional (IBGE, 2012).

Em razão da complexidade das relações solo-planta e de suas influências na disponibilidade dos nutrientes, sistemas de balanço nutricional para recomendar corretivos e fertilizantes têm sido desenvolvidos. Os sistemas Nutricalc e Ferticalc foram desenvolvidos e estão em aprimoramento no Departamento de Solos da Universidade Federal de Viçosa, sendo baseados no balanço nutricional, estabelecido entre a

demanda de nutrientes da cultura e o suprimento pelo solo, restos culturais e outras fontes naturais (Novais *et al.*, 2007).

O desenvolvimento de um sistema de recomendação de corretivos e fertilizantes, mediante a modelagem do balanço nutricional de determinada cultura, permite uma utilização mais ampla e uma evolução mais segura do processo de recomendação, o que leva a um distanciamento cada vez maior do modelo regional e uma aproximação do modelo universal (Novais & Smyth, 1999).

Os modelos apresentam uma síntese lógica do conhecimento sobre o sistema de produção e fornecem descrições quantitativas dos processos que acontecem no mesmo. A modelagem pode, desta maneira, revelar lacunas no conhecimento vigente e fornecer direções para futuras pesquisas (Rao *et al.*, 1982; Monteith, 1996; Dourado Neto *et al.*, 1998a). Determinadas lacunas podem ser completadas por pesquisadores de outras áreas, dando o sentido interdisciplinar ao modelo. Dessa forma, a modelagem permite a evolução segura de um sistema de recomendação de adubação, por sugerir mudanças cada vez mais refinadas, pela fundamentação lógica de sua constituição (Oliveira, 2002).

Quanto à complexidade, os modelos matemáticos, em geral, são classificados em mecanísticos e empíricos. Nos modelos mecanísticos, os processos são quantificados com base no conhecimento científico atual, tornando-os bastante complexos e demandam dados que, muitas vezes, são dificilmente obtidos na prática. Os modelos empíricos consistem de funções que descrevem relações entre variáveis, sem se referirem aos processos envolvidos. Um bom modelo deve ser resultante de uma combinação ideal entre mecanicidade (complexidade) e empirismo (simplicidade) e deve demandar poucas informações, as quais não devem ser de difícil obtenção na prática. Sua estrutura deve ser flexível o suficiente para permitir a introdução de novas informações ou ideias, à medida que o conhecimento científico for crescendo (Boote *et al.*, 1996; Monteith, 1996; Passioura, 1996; Dourado Neto *et al.*, 1998a,b).

Assim, um modelo é tanto mais consistente, quanto mais confiáveis forem as informações utilizadas para seu ajuste, sendo importante o estudo aprofundado das características nutricionais e fisiológicas da cultura, para

que se tornem claros os pontos de maior carência de informações e que deverão ser mais explorados por futuras pesquisas (Prezotti, 2001).

Dada a importância econômica da cultura da laranja para o Brasil, objetivou-se desenvolver um sistema de recomendação de corretivos e fertilizantes para esta cultura, por meio da modelagem do requerimento e do suprimento de nutrientes. Este sistema reúne grande volume de informações de pesquisa na área de solos e nutrição da laranjeira e tem como base, para o cálculo do balanço nutricional da lavoura, a demanda de nutrientes necessários para a obtenção da produtividade esperada. Como consequência do desenvolvimento do sistema, procurou-se revelar lacunas do conhecimento atual sobre o tema e apresentar caminhos para futuras pesquisas.

## **2.0 REFERENCIAL TEÓRICO**

### **2.1 Características gerais da cultura**

#### **2.1.1 Origem, distribuição e importância econômica**

De todas as árvores frutíferas, uma das mais cultivadas no mundo é a laranjeira, nativa da Ásia, embora com controvérsias, quanto ao local de origem. Alguns historiadores afirmam que os cítricos teriam surgido no leste asiático, nas regiões que incluem hoje Índia, China, Butão, Myanmar e Malásia. A fruta teria chegado à Europa ainda na Idade Média, sendo saboreada, naquele período, apenas por imperadores, nobres e eclesiásticos (Hasse, 1987).

No Brasil foi introduzida pelos portugueses no início do século XVI. A referência mais antiga sobre a laranja no Brasil data de 1540 e aponta a ilha de Cananéia (SP) como o berço da citricultura brasileira (Hasse, 1987).

O potencial citrícola ficou adormecido por cerca de 400 anos no Brasil. Somente no século XX, começou o plantio de citros em larga escala, estimulado pela crise do café no final da década de 1920. Assim, os anos 30 foram muito importantes para a laranja no Brasil. A decadência do café abriu espaço para o desenvolvimento da citricultura e, nesta década, a laranja já figurava como um dos dez produtos mais importantes da exportação. Porém, com o advento da Segunda Guerra Mundial, houve um bloqueio dos mercados importadores e a citricultura sentiu o seu primeiro impacto negativo, que foi superado com o término da guerra e com o retorno das exportações. Desde então, a laranja nunca mais perdeu o seu espaço e a sua vital importância para a economia brasileira, em especial com a instalação das indústrias processadoras de sucos (Hasse, 1987; CITROSUCO, 2012).

É conhecida a importância do suco concentrado de laranja na economia brasileira, principalmente no Estado de São Paulo, e na balança comercial do País, gerando divisas que ultrapassam um bilhão de dólares por ano. Por produto exportado, tem-se verificado que o suco, por diversos anos, tem se posicionado entre os principais produtos de exportação em termos de divisas geradas e, embora pouco conhecido, por diversos anos,

foi o primeiro lugar nas exportações paulistas até o ano 1999 (Neves *et al.*, 2001).

### **2.1.2 Requerimentos edafo-climaticos e distribuição do sistema radicular**

A necessidade hídrica dos citros, para que se obtenham altas produtividades, situa-se entre 600 a 1 300 mm/ano. A falta de chuvas ou a distribuição inadequada podem limitar a produção, sendo que os rendimentos máximos são, em geral, obtidos em áreas irrigadas (Malavolta & Violante Neto, 1989).

As exigências de temperatura são as seguintes:

Mínima: 10 °C

Ótima: 20-30 °C

Máxima: 35 °C

É sabido que as plantas cítricas possuem grande capacidade de adaptação em relação ao tipo de solo. Entretanto, isso não significa que elas se desenvolvam com o mesmo potencial em todos os tipos de solo, ou que não possuam preferências a determinado tipo de solo (Corá *et al.*, 2005). Assim, embora possa desenvolver-se em vários tipos de solos, de arenosos a argilosos, desde que sejam profundos e permeáveis, a laranjeira prefere os solos areno-argilosos e até argilosos porosos, profundos e bem drenados. Raramente são encontrados pomares com plantas crescendo satisfatoriamente em menos de 1 m de solo bem drenado (Oliveira, 1986).

As plantas cítricas são muito exigentes em Mg e, principalmente, em Ca (Smith, 1966; Rodrigues, 1980; Oliveira, 1986) e sensíveis à acidez e elevados teores de acidez trocável (Malavolta & Violante Neto, 1989), sendo uma das poucas espécies, na qual, observa-se teor foliar de Ca superior ao N (Gallo *et al.*, 1960; Hiroce, 1982). Contudo, apesar dos poucos estudos encontrados na literatura, o problema de  $Al^{3+}$  em teores elevados no solo parece ser mais importante para as plantas cítricas do que baixos teores de Ca e Mg (Corá *et al.*, 2005). Por sua vez, o pH ( $H_2O$ ) ideal situa-se na faixa 6,0 a 6,5 (Obreza *et al.*, 2008), e segundo Quaggio (1982) os valores são 5,5 para pH( $CaCl_2$ ) e 6 para pH ( $H_2O$ ).

É necessário entender o solo como meio ambiente do sistema radicular, onde a disponibilidade de nutrientes e de água é governada pelos atributos físicos, químicos e biológicos. Tal disponibilidade determina a distribuição e a extensão do sistema radicular, dos quais, por sua vez, resulta o desenvolvimento da parte aérea da planta (Corá *et al.*, 2005).

A distribuição e a quantidade de raízes depende do porta-enxerto, da copa, da idade da planta e das condições do solo. As raízes dos citros podem atingir profundidades de 120 a 150 cm em solos bem drenados (Moreira, 1983), porém, a maior concentração de raízes encontra-se até os 30-60 cm de profundidade (Quadro 1). No que se refere à distribuição horizontal das raízes, aproximadamente 90 % delas se encontram em um raio de até 2 m do tronco (Montenegro, 1960; Morgan *et al.*, 2007).

**Quadro 1.** Distribuição vertical do sistema radicular de laranjeira para diferentes idades e combinação copa/porta-enxerto

Profundidade cm	Autores / ano					
	Montenegro 1960 <sup>(1)</sup>	Moreira 1983 <sup>(2)</sup>	Gusmão 1984 <sup>(3)</sup>	Mattos Jr 2003b <sup>(4)</sup>	Morgan 2007 <sup>(5)</sup>	Morgan 2007 <sup>(6)</sup>
	-----Raízes Acumuladas (%)-----					
0-15		46	70	65	38	53
15-30	90	59		95	51	66
30-60		73		100	72	81
60-90		85			100	100
90-120		92				
120-180		100				

(1) Média de plantas de 10 anos com diferentes combinações de copa/porta-enxerto.

(2) Laranja "Pera" de 7 anos.

(3) Laranja "Natal".

(4) Hamlin/Citrumelo Swingle de 6 anos.

(5) Hamlin/Carrizo Citrange de 14 anos.

(6) Hamlin/Citrumelo Swingle de 14 anos.

Cabe destacar que no trabalho de Morgan *et al.* (2007), foi observado que laranjeiras de diversos tamanhos concentraram maior proporção de raízes fibrosas na camada de 0-15 cm, quando enxertadas sobre citrumelo Swingle, enquanto que ao ser enxertadas sobre carrizo Citrange, a maior quantidade de este tipo de raízes foi observada entre 15-75 cm. O entendimento do padrão de crescimento do sistema radicular possibilita localizar de maneira mais adequada os fertilizantes e com isso melhorar a

eficiência de absorção dos nutrientes e, conseqüentemente, reduzir a lixiviação por baixo da região com maior concentração de raízes (Morgan *et al.*, 2007).

De maneira geral, os solos mais recomendados para citros devem apresentar suficiente profundidade, não apresentar impedimento, físico ou químico, nos primeiros 150 cm de profundidade, e serem capazes de armazenar uma quantidade suficiente de água disponível para as plantas (Corá *et al.*, 2005).

## 2.2 Aspectos nutricionais da cultura

### 2.2.1 Exigência nutricional da cultura

O crescimento dos citros e a produção de frutos é resultante da assimilação de CO<sub>2</sub> (que depende de luz, temperatura, água, nutrientes, área foliar, etc.) e da partição do C, fixado para formação e manutenção dos seus vários órgãos. A ausência ou deficiência dos nutrientes minerais, absorvidos, principalmente pelas raízes resulta em injúria, desenvolvimento anormal ou morte da planta, embora esses representem apenas cerca de 5 % da matéria seca da biomassa das plantas (Mattos Jr *et al.*, 2009).

No quadro 2, apresenta-se a composição mineral da parte vegetativa da laranja; vê-se que o Ca é o elemento dominante, seguindo o N, K e Mg; o S ocupa um lugar intermediário entre o P e Mg (Kampfer & Uexkull, 1966; Rocuzzo *et al.*, 2012).

**Quadro 2.** Teores médios de macronutrientes nas partes vegetativas da laranja (matéria seca)

Órgão	N	P	K	Ca	Mg	S
	-----dag/kg-----					
Folhas	2,22	0,18	1,31	4,20	0,25	0,25
Ramos	1,02	0,17	0,15	1,82	0,28	-
Troncos	0,40	0,07	0,21	0,51	0,07	-
Raízes	0,82	-	0,28	0,10	0,05	-

Fonte: Kampfer & Uexkull (1966).

### 2.2.2 Macronutrientes

O N é o nutriente mais importante na produção de citros (Kato, 1986), com participação no crescimento, produção e qualidade dos frutos. É um nutriente-chave na formação de DNA, RNA, outras proteínas e aminoácidos essenciais na planta. A produção de frutos dos citros é largamente influenciada pelo suprimento de N (Alva & Paramasivam, 1998), pelo fato de esse nutriente regular a taxa fotossintética e a síntese de carboidratos (Kato, 1986), o peso específico das folhas (Syvertsen & Smith, 1984), a produção de biomassa total e a alocação de carbono em diferentes órgãos na planta (Lea-Cox *et al.*, 2001). Incrementa o teor de suco, assim como de sólidos solúveis e acidez, e diminui o tamanho dos frutos (Obreza & Morgan, 2011).

Os citros armazenam grande quantidade de N na biomassa, que pode ser redistribuída, principalmente, para órgãos em desenvolvimento como folhas e frutos (Legaz *et al.*, 1995; Mattos Jr *et al.*, 2003b; Fenilli *et al.*, 2004). Assim, o decréscimo no suprimento de N pode não afetar a produção de frutos imediatamente; contudo, quando fornecido em quantidade inferior à exportada com as colheitas, as árvores sofrerão redução gradativa na densidade de folhas e no crescimento da copa, com prejuízos na produção em anos posteriores (Mattos Jr *et al.*, 2007).

O P é constituinte das nucleoproteínas, imprescindível nos mecanismos de síntese da ATP, síntese e transporte de carboidratos e nos processos de absorção ativa de nutrientes (Magalhães, 2006). No fruto o P favorece o enverdecimento ao igual que o N, além de reduzir a concentração de ácidos e a espessura da casca (Obreza & Morgan, 2011).

A demanda por P é maior no plantio do pomar do que na fase de produção de frutos. Isso faz com que o teor crítico de P no solo para as árvores jovens seja superior aos 20 mg/dm<sup>3</sup> (utilizando como extrator a resina trocadora de íons) conforme reportado para árvores adultas (Quaggio *et al.*, 1998a). Isso se deve ao fato de que nos primeiros anos após o plantio dos citros, a taxa de crescimento da planta é maior quando comparada com a planta adulta e também porque o sistema radicular das árvores explora volume menor de solo e, com conseqüente menor absorção do nutriente cujo transporte ocorre por difusão (Mattos Jr *et al.*, 2009).

Junto com o N o K é o nutriente mais exportado pelos frutos de laranja (Bataglia *et al.*, 1977; Mattos Jr. *et al.*, 2003a), sendo que, tanto a quantidade, como a qualidade da fruta dependem fortemente da fertilização com estes nutrientes (Cantarella *et al.*, 2003; Alva *et al.*, 2006). O K é um ativador enzimático e atua como regulador osmótico influenciando sobre as relações hídricas. Também atua no transporte de carboidratos e manutenção do equilíbrio eletroquímico nas células (Mattos Jr *et al.*, 2005). Resulta de grande importância manter um adequado balance entre a adubação nitrogenada e potássica, dado que altas doses de N tendem a aumentar o número de frutos na planta em detrimento do tamanho dos mesmos, o que pode ser uma desvantagem para a comercialização de frutos *in natura*. Enquanto que a adubação com K também afeta o tamanho do fruto, contudo o excesso pode determinar perdas de produção dos citros, em virtude do desbalanço nutricional, marcado pelo decréscimo acentuado dos teores foliares de Ca e Mg (Mattos Jr. *et al.*, 2004). Altas doses de K provocam um aumento do tamanho do fruto e da espessura da casca (Alva *et al.*, 2006), que são qualidades desejadas para os frutos de mercado *in natura*; no entanto, plantas com alto suprimento de K tendem a produzir frutos com maior acidez e menor teor de sólidos solúveis, o que os deprecia para a indústria de suco.

Uma característica particular dos citros é que o Ca é o elemento mineral mais abundante na composição da planta como um todo, encontrando-se principalmente nos tecidos maduros e lenhosos como folhas velhas, ramos e raízes (Mattos Jr *et al.*, 2003a; Obreza & Morgan, 2011).

Já o Mg é um importante ativador enzimático, constituinte da molécula da clorofila. Segundo Oliveira (1986), as plantas cítricas são muito exigentes em Mg e, principalmente, em Ca.

No que se refere ao S é constituinte de aminoácidos (cisteína e metionina), componente estrutural de ferredoxinas, fitoquelatinas e outras proteínas, e também responsável pela síntese de clorofila. Na citricultura, as informações acerca deste nutriente são bastante limitadas, já que, tradicionalmente, o manejo da cultura no campo, com utilização de fertilizantes (sulfato de amônio, superfosfato simples e sulfato de micronutrientes metálicos entre outros) e insumos para tratamento

fitossanitário contendo S, parece suprir a demanda da planta (Mattos Jr *et al.*, 2007).

### 2.2.3 Micronutrientes

B, Mn e Zn são os micronutrientes mais importantes para a produção dos citros, cujos sintomas visuais de deficiência, também são mais frequentes no Brasil, devido aos baixos teores no material de origem do solo e pela capacidade de adsorção que ocorre na sua matriz coloidal (Quaggio & Piza Jr., 2001). A disponibilidade desses metais ainda é regulada pela reação do solo, sendo reduzida a valores de pH mais elevados (Lindsay, 1979).

Em países onde se cultiva citros em solos desenvolvidos sob substrato calcário, tais como Espanha, Itália e Marrocos, a deficiência de Fe torna-se limitante à produção (Mattos Jr *et al.*, 2009). No Brasil, a importância de Fe e Cu é destacada para a produção de mudas em viveiros, com o uso de substratos ou na formação de pomares recém plantados, quando, neste último caso, o uso de fungicidas cúpricos é relativamente menor e as doses de N altas (Ferrarezi *et al.*, 2007; Mattos Jr. *et al.*, 2005, 2010).

A deficiência de Zn é generalizada nos pomares brasileiros, principalmente na variedade Pêra, mais sensível ao vírus da tristeza, o qual prejudica o transporte do Zn na planta (Moreira, 1960). Plantas cítricas com carência de Zn brotam pouco e ficam com enfolhamento velho e pouco vigoroso apresentando clorose internerval devido à redução da concentração de clorofila, diminuição do tamanho do limbo foliar, dando origem a folhas pequenas e lanceoladas, o que leva a uma redução do crescimento da copa e da produção (Alloway, 2008). Segundo Sexton (2001), devido a deficiência de Zn, pode ocorrer queda de até 33 % de flores em laranjeiras. Os porta-enxertos como tangerina Cleópatra e Sunki são mais exigentes em Zn e, portanto, necessitam de aplicações complementares desse nutriente em relação ao limão Cravo (Mattos Jr *et al.*, 2009).

No referente à deficiência de Mn, também é comum em pomares cítricos, porém, somente quando severa, ela reduz a produtividade das plantas. Os sintomas são mais frequentes para a laranja Pêra,

principalmente em solos com calagem recente ou quando ocorre veranico (Quaggio *et al.*, 2005). As plantas com deficiência deste nutriente têm uma clorose pálida entre as nervuras geralmente em folhas recém maduras sem que haja redução do tamanho da lâmina foliar. Além das alterações anatômicas das folhas, as deficiências de Zn e Mn causam prejuízos ao aparato bioquímico e ao conteúdo de clorofila nos citros (Basiouny & Biggs, 1976).

A deficiência de B vem-se tornando mais frequente na citricultura em função da baixa disponibilidade do nutriente no solo e do efeito das condições climáticas, como períodos prolongados de seca ou excesso de chuvas que reduzem o transporte desse elemento no solo. Em regiões mais frias, a transpiração das plantas é menor, o que reduz diretamente a absorção de B (Brown & Shelp, 1997).

O sintoma de deficiência de B mais encontrado na literatura é a presença de bolsas de goma no albedo e na columela dos frutos, os quais são duros e caem prematuramente e, às vezes, têm sementes malformadas (Chapman, 1968). Esses sintomas, porém, ocorrem em condições severas de deficiência, provocando grandes perdas de produtividade, como reportado para a tangerina Ponkan (Quaggio *et al.*, 1996b). Sintomas menos severos têm sido mais frequentes e, pelo desconhecimento, têm causado grande prejuízo à citricultura brasileira: caracterizam-se por plantas pouco desenvolvidas, que brotam pouco, com folhas miúdas em ramos curtos e oriundos da brotação excessiva de gemas axilares, dando um aspecto de tufo, pela perda de dominância apical. A copa tende a apresentar um aspecto enfezado, sem lançamento expressivo de novos ramos. Já a aplicação do nutriente no solo reativa o sistema de condução de seiva para as raízes, que crescem rapidamente e provocam brotações exuberantes na parte aérea, com ramos longos, folhas maiores que as anteriores e com dominância apical (Mattos Jr *et al.*, 2009).

A baixa mobilidade no floema limita a redistribuição da maioria dos micronutrientes na planta. Apesar disso, a aplicação de micronutrientes nas plantas cítricas tem sido usualmente feita por meio de pulverizações foliares (Quaggio *et al.*, 2003). Na citricultura, existem pesquisas que demonstram a eficiência da aplicação foliar do Zn, Mn e Fe, porém é necessário aplicá-los

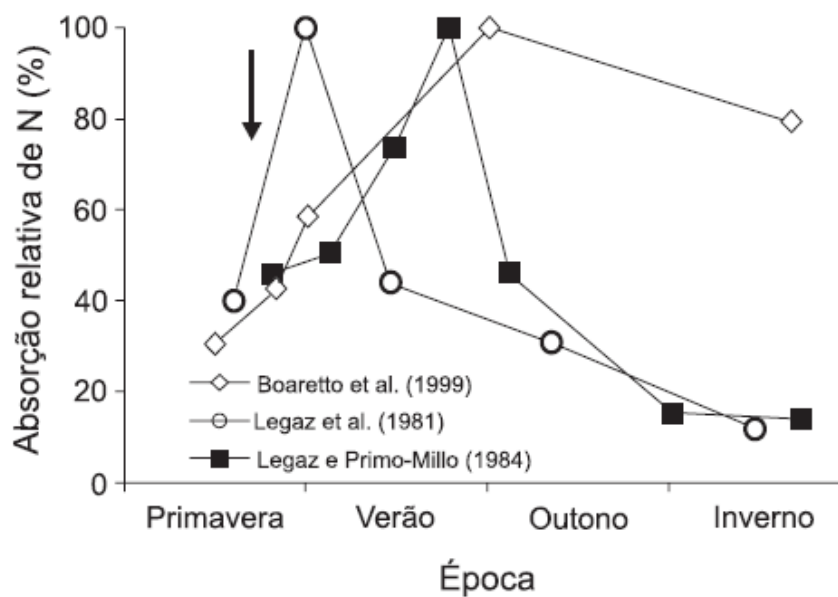
a cada fluxo de vegetação nova, já que os nutrientes aplicados na vegetação anterior não se redistribuem para os tecidos novos (Labanauskas *et al.*, 1964; Embleton *et al.*, 1965). No referente ao B, sua mobilidade varia entre as espécies vegetais, existindo aquelas com mobilidade reduzida do B e aquelas nas quais o B é altamente móbil (Brown & Shelp, 1997). A mobilidade deste nutriente ocorre em algumas espécies que produzem açúcares simples como poliois (sorbitol, manitol, ou dulcitol), que complexam o B e permitem o transporte pelo floema (Brown & Hu, 1996; Hu *et al.*, 1997). Os poliois estão presentes em varias espécies (Zimmermann & Ziegler, 1975); porém, não são sintetizados pelos citros, fazendo com que nestes o B não seja um elemento móbil pelo floema.

#### **2.2.4 Dinâmica de absorção de nutrientes ao longo do ano**

A absorção de elementos minerais pelos citros se dá durante todo o ano, porém é maior durante o florescimento e quando se formam as folhas e ramos novos, em setembro/dezembro e março/abril no hemisfério sul (Kampfer & Uexkull, 1966; Roccuzzo *et al.*, 2012), ou seja, nos períodos em que ocorrem os fluxos mais intensos de vegetação. Roy & Gardner (1945) observaram um comportamento similar ao longo do ano, e concluíram que a baixa taxa de absorção de água e nutrientes nos meses mais frios reflita, possivelmente, o período de repouso da atividade das árvores. Contudo, o efeito negativo das baixas temperaturas na absorção de nutrientes é menos acentuado nos casos do N e do Ca, e mais pronunciado nos do K e do Mg (Roy & Gardner, 1945). Isto faz com que na citricultura a adubação seja feita no período das águas em concordância com o momento de maior demanda por nutrientes pelos cítricos, porém, deve haver boa reserva e equilíbrio na biomassa das plantas para garantir os processos normais de floração e fixação dos frutos (Bustan & Goldschmidt, 1998).

A absorção do N tem sido estudada muito mais intensamente para aumentar a eficiência de utilização deste nutriente, ajustando as doses recomendadas e recomendando o parcelamento em função da demanda da cultura, o que possibilita também diminuir lixiviação deste nutriente. Estudos utilizando o isótopo estável <sup>15</sup>N como traçador, aplicado, tanto em pomares adultos, como em plantas em casa de vegetação, demonstram que a maior

absorção relativa de N coincide com a época de florescimento (Figura 1). Nota-se que mesmo nas condições controladas de casa de vegetação, onde as variações de temperatura são menos acentuadas e a disponibilidade de água é mais constante para o crescimento das plantas, os resultados são semelhantes. Vale acrescentar que, sob essas condições, o crescimento vegetativo é maior, daí a taxa de absorção do nutriente ser mais intensa (Mattos Jr *et al.*, 2007). Boaretto *et al.* (1999) estimaram que as taxas de absorção de N pela laranjeira Pêra, com um ano de idade, foram de 5 mg/planta/dia no período de 45 a 75 dias após o início da primavera, 27 mg/planta/dia no período de 120 a 180 dias e 6 mg/planta/dia no período entre 180 e 360 dias.



**Figura 1.** Absorção relativa de N por plantas de citros, avaliada em ensaios com adição de fertilizante marcado com o isótopo  $^{15}\text{N}$ . A seta indica a época aproximada do início do florescimento das plantas.

Fonte: Mattos Jr *et al.*, 2007.

### 2.2.5 Calagem

No início dos anos noventa, demonstrou-se a importância da correção da acidez do solo com o estabelecimento da curva de resposta dos citros à calagem, em ensaio de longa duração (Quaggio, 1991). Trabalhos sucessivos revelaram a importância fundamental do Ca e do Mg em solos tropicais na nutrição de plantas cítricas e seus efeitos sobre a produção e a qualidade dos frutos (Quaggio *et al.*, 1992a, b).

Os estudos sobre resposta dos citros à calagem são escassos na literatura internacional. Contudo, aqueles de Anderson (1987), Quaggio (1991) e Quaggio *et al.* (1992b) mostraram que os citros são plantas sensíveis à acidez do solo e responsivas à calagem (Quadro 3). Boa parte da resposta dos citros à calagem se deve à demanda elevada das árvores por Ca (Kampfer & Uexkull, 1966; Mattos Junior *et al.*, 2003a), pois são poucas as espécies de plantas que absorvem mais Ca do que N. Além disso, os citros possuem ainda forte demanda por Mg. No quadro 3 observa-se que a resposta da produção de laranja Valência foi muito mais acentuada ao calcário dolomítico (Quaggio, 1991; Quaggio *et al.*, 1992b). O aspecto mais importante da resposta dos citros à calagem é o longo efeito residual no solo e a resposta à produção (Anderson, 1987; Quaggio, 1991; Quaggio *et al.*, 1992b).

**Quadro 3.** Produção de frutos de laranja Valência em resposta à calagem, com calcário calcítico e dolomítico, nas fases de formação (1986-1989) e produção (1990-1994)

Calcário Calcítico (t/ha)	Calcário Dolomítico (t/ha)				Média <sup>a</sup>
	0	3	6	9	
<b>Produção de frutos</b>					
1986-1989					
-----t/ha-----					
0	14,2	21,6	23,4	22,1	20,3
3	18,2	22,3	21,3	23,0	21,5
6	22,1	20,6	25,7	23,5	23,0
9	23,4	22,8	25,0	23,8	23,4
Média <sup>b</sup>	19,7	21,8	23,9	23,1	22,1
	<b>0</b>	<b>3</b>	<b>6</b>	<b>9</b>	Média <sup>b</sup>
1990-1994					
0	29,3	38,7	46,9	45,3	40,1
3	38,0	45,7	44,7	47,4	44,0
6	36,6	41,0	47,9	44,0	42,4
9	38,8	44,2	44,8	43,6	42,8
Média <sup>c</sup>	35,7	42,4	46,1	45,0	42,3

<sup>a</sup> Resposta linear significativa por regressão polinomial

<sup>b</sup> Diferenças não significativas nas médias da coluna

<sup>c</sup> Resposta quadrática significativa por regressão polinomial

Fonte: Adaptado de Quaggio (1991)

### 2.2.6 Breve histórico para chegar às atuais formas de recomendação na adubação da laranjeira

As primeiras recomendações de adubação dos citros no Brasil foram adaptações das informações científicas e das recomendações de adubação disponíveis para os estados da Flórida e Califórnia, nos Estados Unidos, nos quais havia o maior volume de informações sobre este assunto. Contudo, diferenças inerentes às variedades de copas e de porta-enxertos usadas nos dois países e também diferenças entre solos – visto que os solos caracteristicamente usados para a citricultura brasileira têm acentuada acidez, baixa fertilidade natural e alta capacidade de adsorção e de fixação de fósforo – apontavam para a necessidade de desenvolvimento de tecnologia própria e adequada às condições brasileiras (Quaggio *et al.*, 2011).

Em 1982, formou-se o Grupo Paulista para Adubação e Calagem para os Citros no Estado de São Paulo, com a participação de produtores, técnicos, professores e pesquisadores, cujo trabalho inicial foi publicado no mesmo ano em um boletim de recomendações de adubação para os citros pela revista Laranja. Em 1984, publicou-se a segunda edição do boletim do Grupo Paulista, quando a recomendação de adubação por caixa produzida foi revista ante a tendência de adensamento dos plantios, e as doses de fertilizantes passaram a ser estimadas com base na produção por área. Em 1994, o Grupo Paulista editou a terceira edição das recomendações de calagem e adubação dos citros. Nesse boletim, incorporou-se grande número de informações resultantes de extensa experimentação desenvolvida, principalmente pelo IAC, nas principais regiões citrícolas paulistas. Destaca-se o reconhecimento da importância da adubação com P e o estabelecimento das curvas de calibração de análises de solo para P e K pelo método da resina (Quaggio *et al.*, 2005).

Posteriormente, modelos de regressão da resposta à adubação N, P e K foram ajustados aos resultados de ensaios de longa duração, o que permitiu introduzir o conceito de economicidade da adubação nas recomendações de adubação, considerando-se os resultados de análises de solo para P e K, análises foliar como critério para avaliação da disponibilidade de N e produção esperada como índice do balanço nutricional (Cantarella *et al.*, 1992). Novos conhecimentos científicos e inovações tecnológicas sobre nutrição e adubação de citros durante os últimos anos foram divulgadas no *Boletim Técnico 100* do IAC (Raij *et al.*, 1997).

Mais recentemente, foram atualizadas as tabelas de recomendações de corretivos e fertilizantes, divulgadas nas publicações citadas anteriormente, por meio da incorporação de informação gerada em contribuições científicas publicadas em diversos meios sobre nutrição e adubação da planta cítrica. Estas atualizações foram publicadas nos livros *Citros* do IAC (Mattos Jr *et al.*, 2005); *Adubando para alta produtividade e qualidade: fruteiras tropicais do Brasil*, da Embrapa Agroindústria Tropical e do Instituto Internacional da Potassa (Crisostomo & Naumov, 2009); *Boas*

*práticas para uso eficiente de fertilizantes* do IPNI (Prochnow *et al.*, 2011), entre outras publicações.

Outros boletins e livros têm sido publicados com tabelas de recomendação para adubação dos citros entre os que podemos citar:

- Nutrição mineral, calagem, gessagem e adubação dos citros. Publicado pela POTAFOS e editado por Eurípedes Malavolta e Antonio Violante Netto em Piracicaba, 1989. (Malavolta & Violante Netto, 1989).
- Boletim Citrícola Nº4. Nutrição e adubação de citros. Publicado pela Funep e editado por Godofredo Cesar Vitti e José Ricardo Moreira Cabrita em Jaboticabal, 1998. (Vitti & Cabrita, 1998).
- Circular Técnica 79. Nutrição Mineral e Adubação dos Citros Irrigados. Publicado pelo Embrapa Mandioca e Fruticultura Tropical e editado por Antonia Fonseca de Jesus Magalhães em Cruz das Almas, 2006. (Magalhães, 2006).

Uma característica comum em todas as publicações de recomendação de calagem e adubação para citros é que estas são distintas para as três fases da cultura: i) plantio; ii) formação - árvores jovens com idade até cinco anos, e iii) produção - árvores adultas. Por sua vez, para laranja, as recomendações de adubação consideram a qualidade e o destino da fruta, ou seja, indústria ou mercado *in natura*, e o porta-enxerto escolhido (Mattos Jr *et al.*, 2006; Quaggio *et al.*, 2011).

De todos os trabalhos citados o mais atualizado é o de Quaggio *et al.* (2011), no qual recomenda para adubação de plantio 90 g/m de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> no sulco, independente do teor do nutriente no solo, aplicado junto com o calcário no sulco de plantio e dando preferência a fosfatos solúveis em água, se possível, contendo Zn (0,5 %) em sua composição. Para adubação de formação (1 - 5 anos) a recomendação de N, P e K, com base na idade e na classe de interpretação, está no quadro 4. As doses de N e K devem ser parceladas, conforme a idade de três a seis vezes, entre setembro e março, sendo o maior parcelamento feito nos primeiros anos, após plantio das mudas no campo. O P deve ser aplicado preferencialmente em dose única no primeiro parcelamento (Quaggio *et al.*, 2011).

**Quadro 4.** Recomendações de adubação para citros em formação por idade e em função da análise de solo

Idade	N	P resina (mg/dm <sup>3</sup> )				K trocável (mmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> )			
		0-5	6-12	13-30	>30	0-0,7	0,8-1,5	1,6-3,0	>3,0
		P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>				K <sub>2</sub> O			
Anos	-----g/planta-----								
0-1	100	0	0	0	0	40	20	0	0
1-2	220	160	100	50	20	120	90	50	0
2-3	300	200	140	70	30	200	150	100	60
3-4	400	300	210	100	50	400	300	200	100
4-5	500	400	280	140	70	500	400	300	150

Observação: Para copas sobre tangerinas “Cleópatra” e “ Sunki”, aumentar a dose de P em 20 %; para citrumelo “Swingle”, aumentar a dose de K em 20 %.

Fonte: Quaggio *et al.*, (2005; 2011).

Na adubação para pomares em produção, além da disponibilidade do nutriente no solo, considera-se a produtividade esperada, o teor de N nas folhas e o destino final da fruta (indústria ou mercado *in natura*) como critério de ajuste das doses de fertilizantes aplicadas (Quadros 5 e 6), pois plantas em produção têm demanda extra de nutrientes para os frutos, além dos nutrientes necessários ao crescimento de folhas, ramos e raízes.

O parcelamento das doses de N e K em três ou quatro aplicações durante o ano aumenta a eficiência da adubação. Recomenda-se aplicar 30 a 40 % do N e K na época do florescimento e o restante dividido entre os meses de outubro a fevereiro ou março segundo a variedade seja precoce ou tardia, respectivamente (Quaggio *et al.*, 2011). O P pode ser aplicado em dose única no início da estação chuvosa (Mattos Jr *et al.*, 2009).

Finalmente, para os micronutrientes, em pomares com idade inferior a quatro anos, recomenda-se a aplicação foliar mensal, entre outubro e maio, de Zn, Mn, Cu e B. Em pomares em produção devem ser realizadas três ou quatro pulverizações no período das chuvas, sempre que houver brotações novas na planta, empregando sais formados por íons cloreto, sulfato ou nitrato para o Zn, Mn e Cu e ácido bórico para suprir o B. As caldas, para adubação foliar devem ser preparadas com esses sais e ureia (5 g/L) como coadjuvante, nas seguintes concentrações (em mg/L): Zn – 500 a 1 000, Mn – 300 a 700, B – 200 a 300 e Cu – 600 a 1 000. Para sais cloreto usar a menor concentração das faixas para evitar queimaduras nas folhas, e ter presente que as concentrações inferiores são para manutenção, enquanto

que as superiores devem ser empregadas, quando há sintomas visíveis de deficiência (Quaggio *et al.*, 2011).

A recomendação de Cu é mais importante para pomares em formação, pois aqueles em produção são sempre pulverizados com fungicidas à base deste micronutriente durante o florescimento, o que é suficiente para nutrir a planta com esse micronutriente (Quaggio *et al.*, 2005).

A aplicação de B na citricultura deve ser feita preferencialmente via solo (Quaggio *et al.*, 2003). Recomenda-se a aplicação anual de 2 kg/ha de B independentemente da idade do pomar e se o porta-enxerto for citrumelo “Swingle”, mais exigente em B, aumentar a dose para 3 kg/ha de B (Quaggio *et al.*, 2011).

**Quadro 5.** Recomendações de adubação para laranjas produzidas, visando utilização na indústria, em função das análises de folhas e solo, e classes de produção

Classe de produção	N foliar (g/kg)			P-resina (mg/dm <sup>3</sup> )				K-trocável (mmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> )			
	< 23	23-27	> 27	< 5	6-12	13-30	> 30	< 0,7	0,8-1,5	1,6-3,0	> 3,0
	N			P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>				K <sub>2</sub> O			
---t/ha---	-----kg/ha-----										
< 20	120	80	70	80	60	40	0	80	60	40	0
21-30	140	120	90	100	80	60	0	120	100	60	0
31-40	200	160	130	120	100	80	0	140	120	80	40
41-50	220	200	160	140	120	100	0	180	140	100	50
> 50	240	220	180	160	140	120	0	200	160	120	60

Fonte: Quaggio *et al.*, (2005; 2011).

**Quadro 6.** Recomendações de adubação para laranjas produzidas, visando utilização *in natura*, em função das análises de folhas e solo, e classes de produção

Classe de produção	N foliar (g/kg)			P-resina (mg/dm <sup>3</sup> )				K-trocável (mmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> )			
	< 23	23-27	> 27	< 5	6-12	13-30	> 30	< 0,7	0,8-1,5	1,6-3,0	> 3,0
	N			P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>				K <sub>2</sub> O			
---t/ha---	-----kg/ha-----										
< 20	100	80	60	80	60	40	0	140	120	100	40
21-30	120	100	80	120	100	60	0	160	140	120	80
31-40	160	140	100	140	120	80	0	200	180	160	100
> 40	180	160	120	160	140	100	0	220	200	180	120

Fonte: Quaggio *et al.*, (2005; 2011).

### 2.3 Sistema Ferticalc

O sistema tem sua origem no sistema de cálculos proposto por Barros *et al.* (1995) e Novais & Smyth (1999) para o cálculo da demanda e do suprimento de P. Com este sistema, busca-se a substituição do empirismo das tabelas por sistemas de cálculos que possuam maior base científica, permitindo uma aplicação mais abrangente, sem restrições regionalistas artificiais, e que sejam abertos a crescente aperfeiçoamento devido à lógica de sua constituição (Tomé Jr, 2004).

O sistema está fundamentado nos princípios do balanço nutricional entre as perdas e os ganhos de nutrientes no sistema solo-planta. O balanço nutricional é obtido pela diferença entre o requerimento do nutriente pela cultura e o suprimento pelo solo e pelos resíduos vegetais (Silva, 2006), levando em consideração a sustentabilidade em longo prazo (Deus, 2012).

Vários sistemas Ferticalc foram desenvolvidos e estão em aprimoramento no Departamento de Solos da Universidade Federal de Viçosa, entre os quais podemos citar os seguintes: arroz (Raffaelli, 2000); milho (Carvalho, 2000); tomate (Mello, 2000); café (Prezotti, 2001); cana-de-açúcar (Freire, 2001); banana (Oliveira, 2002); coco (Rosa, 2002); soja (Santos, 2002); algodão (Possamai, 2003); teca (Oliveira, 2003); pastagens (Santos, 2003); abacaxi (Silva, 2006); melão (Deus, 2012).

O sistema Ferticalc foi descrito, em termos genéricos, por Tomé Jr & Novais (2000) da seguinte maneira:

$$\text{Nut}_{\text{fert}} = ((\text{Nut}_{\text{planta}} - \text{Nut}_{\text{solo}}) + \text{Nut}_{\text{sust}}) / \text{Ef} \quad (\text{Eq. 1})$$

Em que,

$\text{Nut}_{\text{fert}}$  = nutriente a ser adicionado na forma de fertilizantes

$\text{Nut}_{\text{planta}}$  = demanda do nutriente pela cultura

$\text{Nut}_{\text{solo}}$  = oferta do nutriente pelo solo

$\text{Nut}_{\text{sust}}$  = demanda do nutriente para manter a sustentabilidade da exploração agrícola

Ef = índice de eficiência de absorção, pela cultura, do nutriente aplicado como fertilizante.

A lógica envolvida nesse modelo genérico de recomendação de adubação (Equação 1) é conceitualmente simples: as doses recomendadas de nutrientes dos fertilizantes seriam a diferença entre as quantidades necessárias para as plantas e o que é fornecido naturalmente pelo solo, considerando que devem continuar a existir teores mínimos dos nutrientes no solo, evitando o esgotamento de sua capacidade de sustentação de futuros cultivos, além da necessária correção de acordo com o aproveitamento do nutriente aplicado na forma de fertilizante (Tomé Jr, 2004).

### **3.0 ESTRUTURA DO SISTEMA**

O sistema Ferticalc permite chegar às doses recomendáveis de nutrientes por meio do balanço nutricional entre o requerimento da cultura para uma determinada produtividade esperada, estabelecida pelo usuário, e o suprimento que é disponibilizado pelo solo, matéria orgânica e resíduos vegetais. Em função do balanço, se indica a necessidade, ou não, da aplicação de corretivos e fertilizantes. Se for negativo, esse balanço deverá ser anulado pela adição de fertilizantes. Se for positivo, a fertilização pode não fazer sentido como fator de aumento de produtividade, mas ainda pode ser um instrumento de manutenção da sustentabilidade (Tomé Jr, 2004).

A estrutura do sistema está dividida nos subsistemas requerimento e suprimento.

#### **3.1 Subsistema Requerimento**

Este nos brinda o requerimento nutricional, que se compõe da demanda da cultura para atingir uma dada produtividade ajustada pela taxa de recuperação da planta para cada nutriente ( $TR_{pi}$ ), mais o componente de sustentabilidade. Para laranjeira, a demanda é calculada levando-se em consideração o incremento anual na biomassa vegetativa mais a produção anual de biomassa de frutos.

#### **3.2 Subsistema Suprimento**

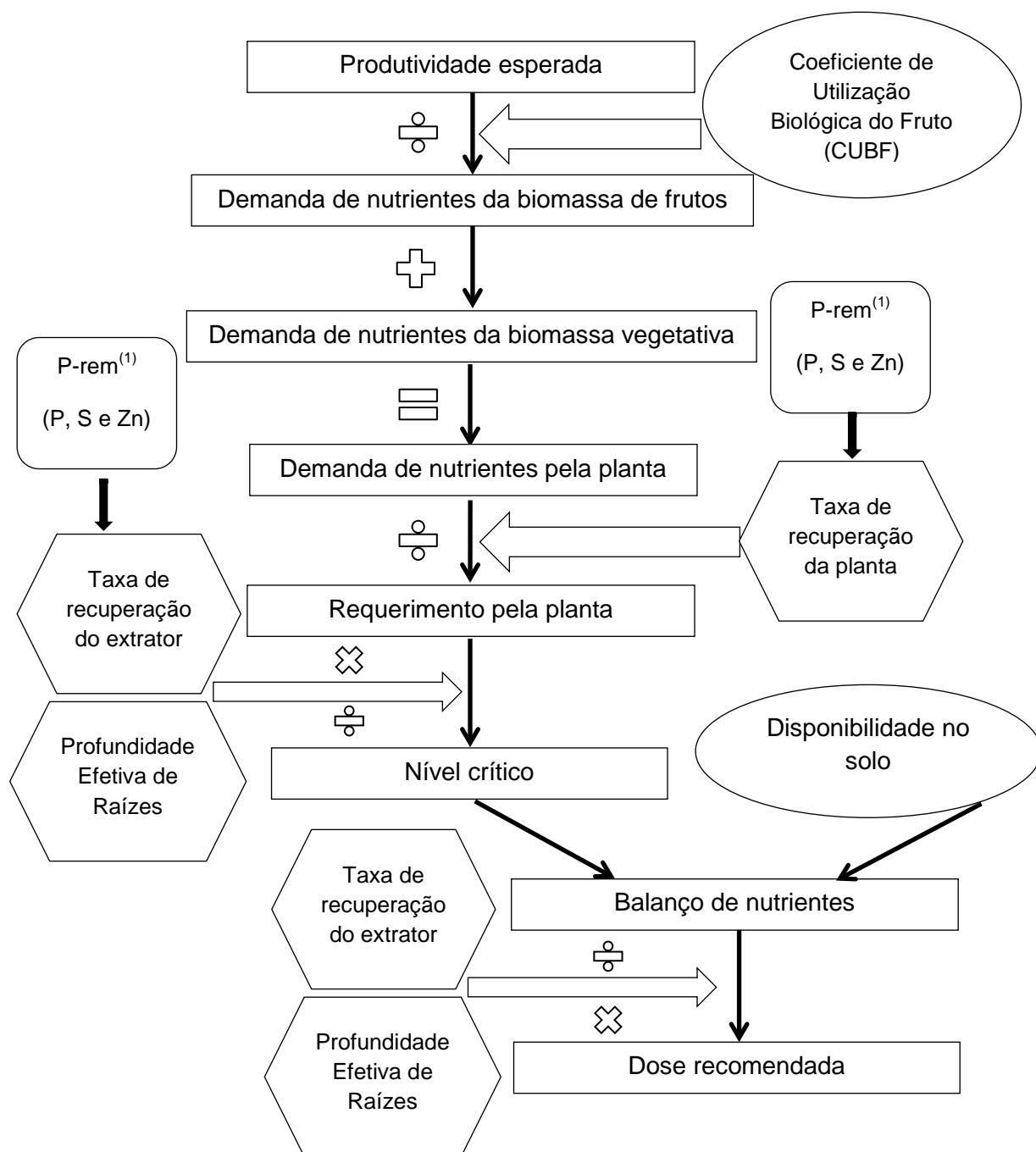
Compõe-se do suprimento dos nutrientes disponibilizados pelo solo, pela matéria orgânica e pelos resíduos orgânicos. Deve-se levar em

consideração a profundidade efetiva do sistema radicular (PER). Para laranja, consideramos que a PER é de 40 cm, dado que na maioria dos trabalhos que foram estudadas, as raízes mostram que a maior quantidade destas se encontra até essa profundidade (Montenegro, 1960; Moreira, 1983; Gusmão, 1984; Mattos Jr *et al.*, 2003b; Morgan *et al.*, 2007). Outro aspecto importante para estimar o suprimento pelo solo é a taxa de recuperação do nutriente aplicado ao solo pelos extratores ( $TR_{ext}$ ) utilizados nas análises químicas de laboratório.

Estes subsistemas serão explicados de maneira mais aprofundada no desenvolvimento do sistema.

Na figura 2, representa-se um fluxograma genérico que serve para entender como se chega à dose recomendada. Para uma melhor compreensão do sistema, este fluxograma será brevemente explicado a continuação.

Para obtenção da demanda nutricional da planta, faz-se necessário obter em campo e, ou, na bibliografia existente variáveis importantes, como a produtividade esperada e o coeficiente de utilização biológica do fruto (CUBF) para cada nutriente, o qual simplesmente é o inverso do teor de cada nutriente no fruto. O CUBF é uma medida da eficiência da utilização do nutriente pela planta. Dessa forma, plantas com elevados valores de CUBF são mais eficientes na produção de matéria seca de fruto por unidade de nutriente acumulada nesse órgão, sendo geralmente expresso em kg/kg (kg de matéria seca de fruto produzida / kg de nutriente acumulado no fruto). Então, dividindo-se a produtividade esperada pelos respectivos CUBF de cada nutriente se chega à demanda dos nutrientes para a produção da biomassa de frutos. Somando a esta a demanda de nutrientes para a formação da biomassa vegetativa, obtém-se a demanda de nutrientes da planta.



**Figura 2.** Fluxograma genérico para cálculo da dose a ser recomendada dos diversos nutrientes.

Fonte: Adaptado de Freire (2001).

<sup>(1)</sup>Teor de P da solução de equilíbrio, determinado após a agitação por uma hora de Terra Fina Seca ao Ar (TFSA) com  $\text{CaCl}_2$  10 mmol/L, contendo 60 mg/L de P, na relação solo:solução 1:10 (Alvarez V. *et al.*, 2000).

Para se chegar ao requerimento de cada nutriente pela planta, há necessidade de se considerar a taxa de recuperação pela planta do

nutriente aplicado ao solo como fertilizante ( $TR_{pl}$ ), pois a planta não absorve 100 % do nutriente aplicado, devido a perdas, competição da planta com o solo, etc. (Santos *et al.*, 2008).

A  $TR_{pl}$  varia dependendo do nutriente, da eficiência da planta na absorção do nutriente, da dose de fertilizante aplicada, da idade da planta e da relação do nutriente com a fase sólida do solo. No caso do P, S e Zn, a  $TR_{pl}$  é afetada também pelo poder tampão do solo, razão pela qual, para esses nutrientes torna-se necessário conhecer algum parâmetro como o teor de argila ou P-rem que forneça uma noção do poder tampão do solo. A  $TR_{pl}$ , pode ser definida como a quantidade de nutriente absorvida por unidade de nutriente aplicado (Equação 2).

$$TR_{pl} = (NAPCF - NAPCnF) / QNA \quad (\text{Eq. 2})$$

Em que,

$TR_{pl}$  = taxa de recuperação pela planta do nutriente aplicado

NAPCF = nutriente absorvido pela cultura fertilizada, em kg/ha

NAPCnF = nutriente absorvido pela cultura não fertilizada, em kg/ha

QNA = quantidade do nutriente aplicado, em kg/ha.

Para a obtenção da  $TR_{pl}$ , também são de grande utilidade trabalhos empregando isótopos marcados, entre os quais se destacam os de  $^{15}\text{N}$  pela ampla gama de trabalhos que têm usado esta técnica na cultura da laranja.

O requerimento pela planta é obtido ao dividir a demanda da planta de cada nutriente pela  $TR_{pl}$  do respectivo nutriente. Logo, para levar o requerimento à escala de teor (no caso de macronutrientes, por exemplo, passar de kg/ha a mg/dm<sup>3</sup>), para realizar o balanço de nutrientes, deve-se multiplicar o requerimento de cada nutriente pela  $TR_{ext}$ . Como se considera unicamente a PER, também se divide pela PER da cultura. Fazendo o balanço entre o nível crítico de cada nutriente e sua disponibilidade no solo se determina a necessidade, ou não, de recomendar corretivos e fertilizantes. Cabe destacar, que ao citar a disponibilidade do nutriente no solo, se faz referência ao valor obtido na análise do solo para cada nutriente, que se expressa em mg/dm<sup>3</sup>.

Por último, para levar novamente à escala de dose (kg/ha, no caso de macronutrientes), o resultado do balanço de cada nutriente se divide pela  $TR_{ext}$  do nutriente e multiplica pela PER para obter a dose recomendada.

#### **4.0 DESENVOLVIMENTO DO SISTEMA FERTICALC-LARANJA**

Na modelagem do sistema de recomendação de corretivos e fertilizantes para a cultura da laranja (Ferticalc-Laranja), combinam-se os modelos mecanísticos e empíricos, da mesma maneira que foi feito nos sistemas Ferticalc desenvolvidos para outras culturas, com o intuito de chegar a recomendações o mais exatas possíveis e com o menor volume de informações solicitadas ao usuário.

O Ferticalc-Laranja foi desenvolvido integralmente com informação disponível na literatura científica, objetivando ter uma base de dados altamente confiável.

Pela estrutura do sistema, permite que este seja atualizado facilmente com novas informações que venham a ser geradas no futuro. Isto permitirá melhorar o sistema introduzindo ou modificando informações na procura de chegar a recomendações cada vez mais acordes ao requerimento da planta.

#### **4.1 Recomendação de calagem**

A maioria dos solos brasileiros apresenta condições de acidez, particularmente acentuada no Cerrado (Malavolta, 1985). Além de ser ácidos nas condições naturais, a prática de adubação concorre para gerar mais acidez em termos de íons H e íons Al, Fe e Mn. Os primeiros são resultado da nitrificação e, os últimos, da troca efetuada entre o K dos adubos e o Al, Fe e Mn existente no complexo de troca (Malavolta & Violante Neto, 1989). Então o uso continuado de fertilizantes, bem como o controle de pragas com a utilização de grandes quantidades de S na forma elementar são as causas principais de acidificação dos solos nos pomares citrícolas (Quaggio *et al.*, 2011).

De acordo com Cohen (1983), as plantas cítricas podem crescer em solos com pH que varia entre 4 e 9. Entretanto, segundo Obreza (2008), a faixa ideal de pH (H<sub>2</sub>O) para solos citrícolas é 6 – 6,5; o que coincide com o relatado por Malavolta (1976) que cultivando mudas de laranjeira obteve o

maior crescimento em pH (H<sub>2</sub>O) = 6, valor este que também foi citado por Quaggio (1985).

No início dos anos noventa, confirmou-se a importância da correção da acidez do solo com o estabelecimento da curva de resposta dos citros à calagem, em ensaio de longa duração (Quaggio, 1991). Trabalhos sucessivos revelaram a importância fundamental do Ca e do Mg em solos tropicais na nutrição de plantas cítricas e seus efeitos sobre a produção e a qualidade dos frutos (Quaggio *et al.*, 1992a, b). Estes trabalhos foram de grande importância, já que até finais da década de oitenta a calagem era pouco utilizada na citricultura paulista (Rosseto *et al.*, 1988; Malavolta & Violante Neto, 1989). Sendo que um trabalho de levantamento dos arquivos de análise de solo, feitos no IAC (Raij, 1985) mostrava que nos anos 1983 e 1984 a maioria dos pomares de onde tinham sido retiradas as amostras de solo estavam sobre solos ácidos, com teores baixos de P e K.

No Ferticalc-Laranja, a determinação da necessidade de calagem (NC) é estimada pelo método da neutralização da acidez trocável (Al<sup>3+</sup>) e elevação dos teores de Ca<sup>2+</sup> e de Mg<sup>2+</sup> e pelo método da saturação por bases (Alvarez V. & Ribeiro, 1999).

#### **4.1.1 Método da neutralização do Al<sup>3+</sup> e elevação dos teores de Ca<sup>2+</sup> e de Mg<sup>2+</sup>**

Este método considera ao mesmo tempo características do solo e exigências das culturas. Procura-se, por um lado, corrigir a acidez do solo e para isto leva-se em conta a susceptibilidade, ou, a tolerância, da cultura à elevada acidez trocável (considerando a máxima saturação por Al<sup>3+</sup> tolerada pela cultura (m<sub>t</sub>)) e a capacidade tampão do solo (Ŷ) e, por outro, se quer elevar a disponibilidade de Ca e de Mg de acordo com a exigência da cultura nestes nutrientes (X). Para os citros, os valores correspondentes são: m<sub>t</sub> = 5 % e X = 3,0 cmol<sub>c</sub>/dm<sup>3</sup> (Alvarez V. & Ribeiro, 1999).

$$NC = \hat{Y} [Al^{3+} - (m_t \cdot t / 100)] + [X - (Ca^{2+} + Mg^{2+})] \quad (\text{Eq. 3})$$

Em que,

NC = necessidade de calagem, em t/ha

$\hat{Y}$  = capacidade tampão do solo

$Al^{3+}$  = acidez trocável, em  $cmol_c/dm^3$

mt = saturação por  $Al^{3+}$  tolerada pela cultura, em %

t = CTC efetiva, em  $cmol_c/dm^3$

X = valor relacionado à exigência da cultura em Ca e Mg, em  $cmol_c/dm^3$ .

$\hat{Y}$  varia em função da capacidade tampão da acidez do solo e pode ser estimado em função da textura do solo (Equação 4) ou do P-rem (Equação 5). Se for possível escolher entre estes dois estimadores da capacidade tampão da acidez do solo, no momento da análise do solo, aconselha-se optar pelo P-rem, já que este depende não somente do teor de argila, mas também, da sua mineralogia e do teor de matéria orgânica do solo (Alvarez V. & Ribeiro, 1999).

$$\hat{Y} = 0,0302 + 0,06532 \text{ Arg} - 0,000257 \text{ Arg}^2 \quad (\text{Eq. 4})$$

$$R^2 = 0,9996$$

Em que,

Arg = teor de argila, em %.

$$\hat{Y} = 4,002 - 0,125901 \text{ P-rem} + 0,001205 \text{ P-rem}^2 - 0,00000362 \text{ P-rem}^3 \quad (\text{Eq. 5})$$

$$R^2 = 0,9998$$

Em que,

P-rem = P remanescente, em mg/L.

Para ter uma noção dos valores de  $\hat{Y}$  estratificados em função dos teores de argila e do P-rem pode-se observar os quadros 7 e 8, respectivamente.

**Quadro 7.** Estratificação de Y em função do teor de argila

Solo	Argila	Y
	-----dag/kg-----	
Arenoso	0 a 15	0,0 a 1,0
Textura média	15 a 35	1,0 a 2,0
Argiloso	35 a 60	2,0 a 3,0
Muito argiloso	60 a 100	3,0 a 4,0

Fonte: Alvarez V. & Ribeiro, (1999).

**Quadro 8.** Estratificação de Y em função do P-rem

P-rem	Y
-----mg/L-----	
0 a 4	4,0 a 3,5
4 a 10	3,5 a 2,9
10 a 19	2,9 a 2,0
19 a 30	2,0 a 1,2
30 a 44	1,2 a 0,5
44 a 60	0,5 a 0,0

Fonte: Alvarez V. & Ribeiro, (1999).

#### 4.1.2 Método de saturação por bases

Este método considera a relação existente entre o pH e a saturação por bases (V). Quando se quer, com a calagem, atingir definido valor de saturação por bases, pretende-se corrigir a acidez do solo até definido pH, considerado adequado para a cultura (Alvarez V. & Ribeiro, 1999). O valor de V recomendado para citros por esses autores é 70 %, que coincide com o valor adequado para laranja, segundo Raij *et al.* (1997). Esse valor corresponde a pH 5,5 determinado em solução de CaCl<sub>2</sub> 10 mmol/L. Recomenda-se, também, o manejo da calagem para elevar e manter os teores de Mg no solo em pelo menos, 0,4 cmol<sub>c</sub>/dm<sup>3</sup> ou, idealmente 0,9 cmol<sub>c</sub>/dm<sup>3</sup> (Quaggio *et al.*, 1992a).

$$NC = T (V_e - V_a) / 100 \quad (\text{Eq. 6})$$

Em que,

NC = necessidade de calagem, em t/ha

$T = CTC \text{ a pH } 7 = SB + (H+Al)$ , em  $\text{cmol}_c/\text{dm}^3$

$SB = \text{soma de bases} = Ca^{2+} + Mg^{2+} + K^+ + Na^+$ , em  $\text{cmol}_c/\text{dm}^3$

$Va = \text{saturação por bases atual do solo} = (SB/T) 100$ , em %

$Ve = \text{saturação por bases esperada para a cultura}$  (70 % para laranja).

Dado que no cinturão citrícola (São Paulo e Triângulo Mineiro) possivelmente as análises de solo expressem o valor de T e SB em  $\text{mmol}_c/\text{dm}^3$ , nesse caso, deve-se dividir por 10 o valor expresso em  $\text{mmol}_c/\text{dm}^3$  para passar a  $\text{cmol}_c/\text{dm}^3$ .

Após estimar a necessidade de calagem pelos dois métodos citados anteriormente, o sistema calcula o incremento de pH em função das t/ha de calcário estimadas por cada método (Equações 3 e 6). Este incremento de pH é calculado por meio da Equação 7 de Mello (2000), que leva em consideração a acidez potencial.

$$\Delta\text{pH} = -0,0234647 + 1,49415^{**} [1 / (H+Al)] \quad (\text{Eq. 7})$$
$$R^2 = 0,814$$

Em que,

$\Delta\text{pH} = \text{variação estimada do pH por t/ha de } CaCO_3 \text{ (PRNT } 100 \%)$

$(H+Al) = \text{Acidez potencial, em } \text{cmol}_c/\text{dm}^3$ .

Como o incremento de pH é estimado por t/ha de  $CaCO_3$ , para obter o valor final de pH multiplica-se o  $\Delta\text{pH}$  pela NC, e o resultado é somado ao pH inicial do solo (Equação 8).

$$\text{pH final} = (NC \Delta\text{pH}) + \text{pH inicial} \quad (\text{Eq. 8})$$

Em que,

$\text{pH final} = \text{valor estimado do pH no solo para ambos métodos utilizados}$

$NC = \text{necessidade de calagem, em t/ha}$

$\text{pH inicial} = \text{valor de pH da análise de solo.}$

Por último, uma vez que a NC for estimada pelos dois métodos e os respectivos valores de pH final calculados, o sistema determina qual dos métodos faz a recomendação mais adequada para corrigir a acidez do solo, por meio de uma sequência de procedimentos detalhada a continuação.

I – Escolhe-se entre os valores calculados de NC qual é a menor e a maior dose, e faz-se o somatório de  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$  ( $\Sigma\text{CaMg}$ ) do resultado da análise de solo, em  $\text{cmol}_c/\text{dm}^3$ . Se  $\Sigma\text{CaMg} < X$ , opta-se pela recomendação de maior valor, caso  $\Sigma\text{CaMg} \geq X$ , segue para o procedimento II. Os valores de X estão tabelados no livro *Recomendações para uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais – 5ª Aproximação* (Alvarez V. & Ribeiro, 1999) e são utilizados também no método de neutralização de  $\text{Al}^{3+}$  e elevação dos teores de  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$ . Para citros,  $X = 3,0 \text{ cmol}_c/\text{dm}^3$ .

II – Estabelece-se o valor de T da análise de solo, em  $\text{cmol}_c/\text{dm}^3$ . Observa-se se ambas NC são menores que o valor de T, levando-se em consideração que 1 t/ha de  $\text{CaCO}_3$  equivale a  $1 \text{ cmol}_c/\text{dm}^3$ . Caso ambos valores de NC ultrapassem o valor de T, a NC será igual a T independente do método utilizado. Se apenas um dos valores de NC calculados é menor que T, recomenda-se esse valor, porém se ambas são menores que T, segue para o procedimento III.

III – Em função do pH final estimado com base nos cálculos da NC dos dois métodos, o sistema considera aquele que eleva o pH a um valor que esteja dentro da faixa ideal de pH da cultura ou o mais próximo desta. Para a cultura da laranjeira essa faixa para  $\text{pH}(\text{H}_2\text{O})$  é de 6,0 a 6,5 (Obreza *et al.*, 2008).

Este procedimento de seleção entre os métodos de correção da acidez do solo começou a ser implementado nos sistemas Ferticalc, a partir do Ferticalc-Melão (Deus, 2012). Cabe aclarar que, caso o usuário tenha preferência por um dos métodos poderá fazer a escolha manualmente.

Para uma cultura perene como a laranja é importante fazer uma boa calagem no plantio, caso as análises de solo indiquem que é necessário, e depois fazer um acompanhamento da evolução da acidez do solo com o decorrer dos anos, pelo fato de se utilizar importantes quantidades de adubos, principalmente, os nitrogenados, assim como uso da fertirrigação contribuem significativamente para o aumento da acidez do solo (Quaggio *et*

al., 2011). Assim, segundo estes autores, recomenda-se a aplicação de calcário em faixas, em pomares já implantados, para direcionar o insumo para a área mais acidificada do pomar. Estas aplicações devem ser feitas preferencialmente entre março e abril, distribuindo-se 70 % da dose sob a projeção da copa das plantas se o pomar não tem fertirrigação e 100 % da dose sob a projeção da copa se tiver fertirrigação.

#### 4.1.3 Cálculo da quantidade de calcário a ser aplicado

A NC calculada com os métodos anteriormente apresentados indica a quantidade de  $\text{CaCO}_3$  ou calcário PRNT = 100 % a ser incorporado por hectare, na camada de 0 a 20 cm de profundidade. Para calcular a quantidade de calcário a ser aplicada em função diversos fatores que serão mencionados a continuação, o sistema adota equação 9, de Alvarez V. & Ribeiro (1999).

$$QC = NC (SC / 100) (PF / 20) (100 / PRNT) \quad (\text{Eq. 9})$$

Em que,

QC = quantidade de calcário a ser aplicada, em t/ha

NC = necessidade de calagem, em t/ha

SC = superfície do terreno a ser coberta na calagem, em %

PF = profundidade até a qual será incorporado o calcário, em cm

PRNT = poder relativo de neutralização total do calcário a ser utilizado, %.

Observação: caso o calcário não seja incorporado, considerar 10 cm como profundidade de incorporação.

#### 4.2 Recomendação de gessagem

A presença de camadas subsuperficiais com baixos teores de  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$ , ou elevados teores de  $\text{Al}^{3+}$  pode determinar a perda de safras, principalmente em regiões susceptíveis à ocorrência dos “veranicos”, uma vez que conduzem ao menor aprofundamento do sistema radicular, refletindo em menor volume de solo explorado, ou seja, menos nutrientes e água disponíveis para a planta (Alvarez V. & Ribeiro, 1999). Se nas análises

das camadas subsuperficiais do solo a saturação por Al for maior que 20 % ou o teor de  $\text{Ca}^{2+}$  for menor que  $0,5 \text{ cmol}_c/\text{dm}^3$ , há grande probabilidade de resposta à aplicação do gesso (Souza *et al.*, 1992).

O uso de gesso na citricultura foi bastante discutido nos anos 80, sendo que alguns trabalhos não obtiveram resultados positivos no incremento da produção de frutos que justificasse seu emprego como condicionador de solo (Boaretto *et al.*, 1996; Quaggio *et al.*, 1998b). Por outro lado, diversos autores têm recomendado a aplicação de gesso em pomares de citros (Malavolta & Violante Neto, 1989; Vitti & Cabrita, 1998; Quaggio *et al.*, 2011).

No sistema, o cálculo da necessidade de gessagem poderá ser feito de três maneiras diferentes, sugeridas por Alvarez V. & Ribeiro (1999), conforme a informação disponível no resultado da análise de solo.

#### **4.2.1 Recomendação com base na textura do solo**

A necessidade de gesso pode ser apresentada, de forma contínua, como função do teor de argila (Equação 10).

$$\hat{NG} = 0,00034 - 0,002445 \text{ Arg}^{0,5} + 0,0338886 \text{ Arg} - 0,00176366 \text{ Arg}^{1,5} \text{ (Eq. 10)}$$
$$R^2 = 0,99$$

Em que,

$\hat{NG}$  = necessidade de gesso, em t/ha

Arg = teor de argila, em dag/kg

#### **4.2.2 Recomendação com base na determinação do P-rem**

Caso na análise de solo tenha sido feita a determinação do P-rem, indica-se o uso desta característica do solo nos cálculos para recomendar gessagem e calagem, em substituição ao teor de argila do solo (Souza *et al.*, 1992). Para isto, primeiro estima-se os valores de Ca a serem aplicados em função do P-rem (Equação 11) e, à continuação, a NG com base no Ca estimado e o teor de Ca no gesso a ser utilizado (Equação 12).

$$\hat{Ca} = 315,8 - 25,5066 \text{ P-rem}^{0,5} - 5,70675 \text{ P-rem} + 0,485335 \text{ P-rem}^{1,5} \quad \text{(Eq. 11)}$$

$$R^2 = 0,99$$

$$NG = \hat{C}_a / 10 (T_{Ca}) \quad (\text{Eq. 12})$$

Em que,

$\hat{C}_a$  = Ca a ser aplicado em função do P-rem, em kg/ha

P-rem = P remanescente, em mg/L

NG = necessidade de gesso, em t/ha

$T_{Ca}$  = teor de Ca do gesso a ser aplicado, em dag/kg.

#### 4.2.3 Recomendação com base na determinação da NC

Outra maneira de fazer a recomendação de gesso é diretamente em relação a necessidade de calagem (Equação 13). Esta forma resulta muito útil, por exemplo, quando na análise de solo não é especificado o teor de argila, nem o P-rem, sendo calculada a NG simplesmente como uma proporção da NC.

$$NG = 0,25 NC \quad (\text{Eq. 13})$$

Em que,

NG = necessidade de gesso, em t/ha

NC = necessidade de calagem, em t/ha.

#### 4.2.4 Cálculo da quantidade de gesso a ser aplicado

Independentemente da forma utilizada para determinar a NG, o cálculo da quantidade de gesso a ser aplicado é feito levando-se em consideração a espessura da camada subsuperficial que se pretende enriquecer com S e Ca, e a superfície que vai ser coberta com o gesso aplicado (Equação 14), uma vez que nem sempre a aplicação é feita em cobertura total.

$$QG = NG (EC / 20) (SC / 100) \quad (\text{Eq. 14})$$

Em que,

QG = quantidade de gesso, em t/ha

NG = necessidade de gessagem, em t/ha

EC = espessura da camada a ser enriquecida com gesso, em cm

SC = superfície a ser coberta com a aplicação, em %.

#### 4.3 Recomendação de adubação de implantação e formação

Na fase de implantação e formação, não se considera o balanço nutricional para fazer as recomendações de fertilizantes, devido a que a planta é muito pequena e tem um sistema radicular ainda pouco desenvolvido, fazendo com que sua taxa de recuperação seja menor que aquela que é considerada neste sistema para todos os nutrientes. Por sua vez, as exigências em P são mais elevadas no início, enquanto que as de N e K são menores. Assim, o sistema utiliza para a implantação, as recomendações sugeridas por Mattos Jr *et al.* (2009), que estão resumidas no quadro 9, sendo que se aconselha utilizar, preferencialmente, superfosfato simples

**Quadro 9.** Doses de P e Zn recomendadas para implantação de pomares de citros, de acordo com a análise de solo

Nutriente	Teor no solo	Dose recomendada
	-----mg/dm <sup>3</sup> -----	--g/m no sulco--
	P-resina	
	0 – 5	80
	6 – 12	60
P	13 – 30	40
	> 30	20
	DTPA	
Zn	< 1	1
	> 1	0

Fonte: Mattos Jr *et al.*, 2009

Para a implantação, recomenda-se aplicar entre 20 e 80 g/m de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> no sulco, dependendo do teor de P presente no solo (Quadro 9). Se o

distanciamento entrelinhas é de 7 m, essas doses equivalem a 29 e 115 kg/ha de  $P_2O_5$  para 20 e 80 g/m de  $P_2O_5$  no sulco, respectivamente. É conveniente aproveitar este momento para aplicar Zn (se for necessário, em função do teor no solo) junto com P em sulcos profundos o que melhora muito a absorção destes nutrientes. Mesmo que as exigências de N e K sejam menores que as de P nesta etapa, é recomendável a aplicação de um fertilizante do tipo 6-30-6 ou 10-30-10 para incluir uma pequena dose de arranque de N e K acompanhando o P que é o principal nutriente a ser fornecido na implantação.

O que se conhece como etapa de formação é um período posterior à implantação no qual o pomar se estabelece no campo. Durante esta etapa, as recomendações costumam ser feitas em g/planta, diferentemente das recomendações da fase de produção que são em kg/ha. Mattos Jr *et al.* (2009) e Quaggio *et al.* (2005, 2011) consideram recomendações de nutrientes diferenciadas para formação até o quinto ano após implantação, enquanto que Obreza & Morgan (2011) indicam recomendações diferenciadas para a etapa inicial posterior à implantação durante um período que abrange até o terceiro ano. No Ferticalc-Laranja, considera-se como etapa de formação até o terceiro ano após implantação, devido a que a partir do quarto ano a produção de frutos começa a ser mais considerável. Desta maneira, acredita-se que a partir do quarto ano seja mais adequado implementar o balanço nutricional para fazer as recomendações de fertilizantes.

Vale ressaltar, que para os primeiros três anos posteriores à implantação o sistema adota as recomendações de Mattos Jr *et al.* (2009) e Quaggio *et al.* (2005, 2011) detalhadas no quadro 12. Com base, em uma rede de ensaios de experimentação em plantas jovens (até o quinto ano após implantação), Mattos Jr *et al.* (2006) demonstraram a variabilidade de resposta à adubação com N, P e K, em função do porta-enxerto considerado, sendo que a tangerina Cleópatra mostrou-se mais responsiva ao P que o limão Cravo e citrumelo Swingle. Por outro lado, citrumelo Swingle manifestou maior resposta a fertilização potássica que os outros dois porta-enxertos. Isso leva a que as doses recomendadas para esta fase devem ser ajustadas segundo o porta-enxerto utilizado (Quadro 12).

Pretende-se que este sistema possa ser utilizado com dados de análise de solo feitos com diferentes extratores químicos. Assim, apresentam-se nos quadros 10 e 11 os valores das classes de interpretação de disponibilidade para P e K, correspondentes aos extratores Resina e Mehlich-1, respectivamente. Estes valores devem ser utilizados para interpretar a análise de solo e determinar a classe de interpretação para entrar no quadro 12 junto com a idade do pomar.

**Quadro 10.** Classes de interpretação da disponibilidade para P e K extraídos com Resina

Classificação			
Muito baixo	Baixo	Médio	Alto/Bom
----- $(\text{mg}/\text{dm}^3)$ -----			
P disponível			
0 - 5	6 - 12	13 - 30 <sup>1/</sup>	> 31
----- $(\text{cmol}_c/\text{dm}^3)$ -----			
K trocável			
0 - 0,07	0,08 - 0,15	0,16 - 0,30 <sup>1/</sup>	> 0,31

<sup>1/</sup> O limite superior desta classe indica o nível crítico.

**Quadro 11.** Classes de interpretação da disponibilidade para P, de acordo com o teor de argila do solo ou do valor de P-rem, e para K extraídos com Mehlich-1

Característica	Classificação			
	Muito baixo	Baixo	Médio	Alto/Bom
----- $(\text{mg}/\text{dm}^3)$ -----				
P disponível				
Argila (%)				
60 - 100	≤ 2,7	2,8 - 5,4	5,5 - 8,0 <sup>1/</sup>	8,1 - 12,0
35 - 60	≤ 4,0	4,1 - 8,0	8,1 - 12,0	12,1 - 18,0
15 - 35	≤ 6,6	6,7 - 12,0	12,1 - 20,0	20,1 - 30,0
0 - 15	≤ 10,0	10,1 - 20,0	20,1 - 30,0	30,1 - 45,0
P-rem <sup>2/</sup> (mg/L)				
0 - 4	≤ 3,0	3,1 - 4,3	4,4 - 6,0 <sup>1/</sup>	6,1 - 9,0
4 - 10	≤ 4,0	4,1 - 6,0	6,1 - 8,3	8,4 - 12,5
10 - 19	≤ 6,0	6,1 - 8,3	8,4 - 11,4	11,5 - 17,5
19 - 30	≤ 8,0	8,1 - 11,4	11,5 - 15,8	15,9 - 24,0
30 - 44	≤ 11,0	11,1 - 15,8	15,9 - 21,8	21,9 - 33,0
44 - 60	≤ 15,0	15,1 - 21,8	21,9 - 30,0	30,1 - 45,0
K disponível				
	≤ 15	16 - 40	41 - 70 <sup>3/</sup>	71 - 120

<sup>1/</sup> Nesta classe apresentam-se os níveis críticos de acordo com o teor de argila ou com o valor do fósforo remanescente. <sup>2/</sup> P-rem = teor de P da solução de equilíbrio, determinado após a agitação por uma hora de TFSA com  $\text{CaCl}_2$  10 mmol/L, contendo 60 mg/L de P, na relação solo:solução 1:10 (Alvarez V. *et al.*, 2000). <sup>3/</sup> O limite superior desta classe indica o nível crítico.

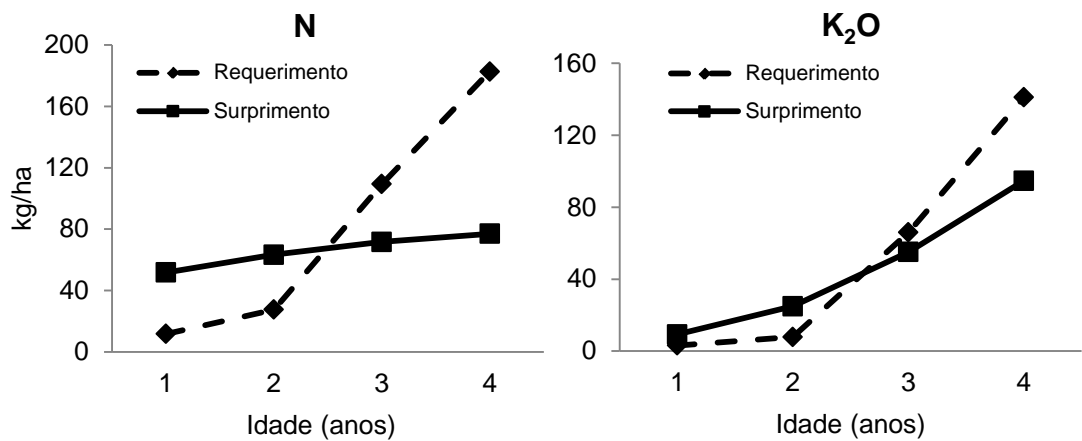
**Quadro 12.** Recomendação de adubação N, P e K para citros em fase de formação, por idade e em função da análise de solo

Idade	N	P				K			
		Muito baixo	Baixo	Médio	Alto/Bom	Muito Baixo	Baixo	Médio	Alto/Bom
		P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>				K <sub>2</sub> O			
anos		-----g/planta-----							
0 - 1	100	0	0	0	0	40	20	0	0
1 - 2	220	160	100	50	20	120	90	50	0
2 - 3	300	200	140	70	30	200	150	100	60

Observação: Para copas sobre tangerinas Cleópatra e Sunki, o sistema aumenta a dose de P em 20 %. Para copas sobre citrumelo Swingle o sistema aumenta a dose de K em 20 %.

Adaptado de: Mattos Jr *et al.* (2009) e Quaggio *et al.* (2005, 2011).

Nesta fase inicial de estabelecimento do pomar, recomendam-se doses mais elevadas do que as que seriam obtidas pelo balanço nutricional. No entanto, é de se esperar que tenha que ser assim devido a que o objetivo é implantar o pomar da melhor maneira possível e chegar com plantas em ótimas condições ao terceiro ano para que desde o início de sua fase produtiva estejam em condições de atingir boas produtividades. Para entender melhor porque se recomenda estas doses mais elevadas nos primeiros anos graficou-se o requerimento e suprimento de N e K<sub>2</sub>O (Figura 3) durante os primeiros quatro anos de um pomar implantado em um solo com 1,2 dag/kg de matéria orgânica na camada de 0 – 20 cm e um teor de K, de 0 – 20 e 20 – 40 cm, equivalente a 0,16 cmol<sub>c</sub>/dm<sup>3</sup> (62,4 mg/dm<sup>3</sup>).



**Figura 3.** Exemplo de requerimento e suprimento durante os primeiros anos de um pomar com 400 pl/ha, considerando uma produção de 8 e 20 t/ha no terceiro e quarto ano, respectivamente.

Observa-se como, mesmo em um solo com fertilidade razoável, a partir do terceiro ano o requerimento supera o suprimento de um pomar que no terceiro ano produziria 8 t/ha e, no quarto, 20 t/ha.

#### 4.4 Recomendação de adubação de produção

##### 4.4.1 Subsistema Requerimento

Este subsistema, também conhecido como módulo planta, nos fornece o requerimento nutricional, que se compõe da demanda da cultura para atingir uma dada produtividade, mais o componente de sustentabilidade, ajustadas pela taxa de recuperação da planta para cada nutriente ( $TR_{pl}$ ).

##### 4.4.1.1 Demanda de nutrientes pela planta

A laranjeira é uma espécie de hábito de crescimento perene, cuja vida útil é estimada em 20 anos (Paulillo *et al.*, 2006). Durante os primeiros anos após a implantação do pomar tem-se a etapa de formação da cultura, que vai aproximadamente até os 4 – 5 anos, sendo que a planta começa a produzir os primeiros frutos normalmente com 2 - 3 anos. Assim, para calcular a demanda de nutrientes pela planta, durante os primeiros dois anos após a implantação, considerar-se-á unicamente o incremento anual na biomassa vegetativa. A partir do terceiro ano, para calcular a demanda nutricional da planta, além do incremento anual de biomassa vegetativa,

será acrescentado o componente de produção anual de biomassa de frutos. Método similar a este para calcular a demanda nutricional foi implementado pela primeira vez no sistema Ferticalc para a cultura do café arábica por Prezotti (2001). Dadas as semelhanças entre o café e a laranja, principalmente por serem espécies perenes e com produção de frutos uma vez ao ano, optou-se por este método de dividir a planta em biomassa vegetativa por um lado e biomassa de frutos por outro.

#### **4.4.1.1.1 Estimativa da produção, partição e teor de biomassa vegetativa**

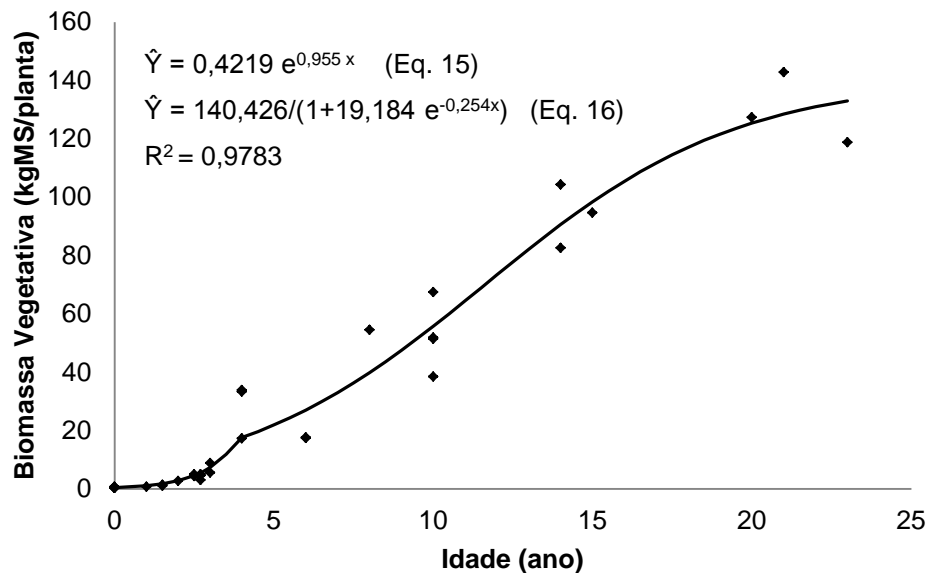
O cálculo da produção e partição de biomassa vegetativa foi feito sobre a base de diversos trabalhos conduzidos no mundo inteiro (Cameron & Appleman, 1935; Cameron & Copton, 1945; Nadir, 1973; Mohamed, 1992; Alva *et al.*, 2003; Boaventura, 2003; Mattos Jr. *et al.*, 2003a; Menino, 2005; Creste, 2006; Morgan *et al.*, 2006; Boaretto *et al.*, 2007b; Girardi *et al.*, 2010; Mattos Jr. *et al.*, 2010; Rezende *et al.*, 2010; Boaretto R. M., dados não publicados). Os dados referentes à produção de mudas foram conduzidos em casa de vegetação, enquanto que para plantas em fase de formação e produção considerou-se somente trabalhos de campo, não sendo levados em consideração aqueles feitos em lisímetros, por considerar que neles o crescimento está limitado pelo volume de solo explorado.

A estimativa da produção de biomassa vegetativa foi feita levando em consideração a idade das plantas e a densidade de plantio. Em função das idades contempladas nos trabalhos existentes e da vida útil dos pomares de laranja no Brasil, foi calculada a produção de biomassa vegetativa até a idade de 23 anos, porém, existe déficit de informação na fase entre 16 e 19 anos.

Para ter uma base das densidades de plantio a ser consideradas consultou-se o Censo Agropecuário realizado pela Secretaria de Agricultura e Abastecimento do Estado de São Paulo, por meio do Instituto de Economia Agrícola e da Coordenadoria de Assistência Técnica Integral (IEA-CATI, 2009). Neste documento, observa-se que nas regiões consideradas novas para a citricultura paulista a densidade de plantio chega a 561 plantas/ha, enquanto que nas regionais consideradas como

tradicionais essa relação é menor, chegando a valores de 230-250 plantas/ha, com uma média de 346 plantas/ha para o Estado de São Paulo. Segundo Coopercitrus (2010), a prática do adensamento de plantio vem sendo cada vez mais utilizada na citricultura, e, de uma maneira geral, as densidades entre 300 e 800 plantas por hectare são as mais indicadas.

Para estimar a produção de biomassa vegetativa em função da idade foi necessário fazer uma divisão em dois períodos com o intuito de obter um melhor ajuste das equações de regressão. Desta forma, ajustou-se um modelo descontínuo, que se compõe da equação 15 para o período de 0 - 3 anos, sendo que o ano 0 corresponde à muda recém transplantada no campo, e da equação 16 para o período de 4 – 23 anos (Figura 4).



**Figura 4.** Biomassa vegetativa por planta em função da idade.

A necessidade de utilizar este modelo descontínuo deve-se a que os incrementos de biomassa nos primeiros 3 anos são muito pequenos em relação aos incrementos observados do 4 ano em diante. Assim, se for utilizado o modelo Lógico no período inicial (até 3 anos) os incrementos seriam superestimados para essa faixa de idades iniciais.

Percebe-se que a produção de biomassa vegetativa em função da idade, a partir de 4 anos, ajustou-se ao modelo de crescimento Lógico (Equação 16). Os modelos não-lineares, como o Lógico, proporcionam

vantagens em relação aos modelos lineares, por apresentarem parâmetros com interpretação biológica (Maia *et al.*, 2009). Modelos como o Logístico e de Gompertz refletem o comportamento de crescimento de organismos vivos em ambiente com recursos limitados, seja esse espacial, hídrico, nutricional, dentre outros (Hunt, 1978). Curva de crescimento similar à da figura 4 foi obtida por Qu *et al.* (2012) em trabalho realizado na China, com a diferença que o *plateau* foi atingido aos 4 anos, possivelmente devido às elevadas densidades de plantio (750 – 1200 plantas/ha) utilizadas naquele país (Hulme, 2000).

Valendo-se das equações 15 e 16, o Ferticalc-Laranja estima a produção de biomassa vegetativa, em função da idade e para densidades de plantio em uma faixa entre 200 – 800 plantas/ha (Quadro 13).

Para estabelecer a percentagem de incremento anual da biomassa vegetativa, tomou-se como referência uma população de 400 plantas/ha (Quadro 14). Observa-se como esta percentagem se mantém constante durante os primeiros três anos, em que o incremento anual de matéria seca é maior que o dobro do peso inicial de cada ano. A partir do quarto ano, ocorre uma diminuição progressiva do incremento anual de matéria seca até o final do período considerado neste sistema. Situação diferente observou-se no sistema de recomendação de corretivos e fertilizantes para café arábica (Prezotti, 2001), onde a partir do sétimo ano o incremento anual de biomassa vegetativa se estabilizou em 15 %.

O conceito de incremento anual de biomassa vegetativa considera o crescimento da planta como um todo. Com o decorrer dos anos, tanto a parte aérea, quanto o sistema radicular crescem explorando um espaço definido pelo espaçamento do plantio adotado. Além disso, existe o crescimento secundário dos órgãos lenhosos (caule, ramos e raízes) que leva ao engrossamento dos mesmos e a renovação das folhas, as quais, segundo Smith (1966), têm uma duração que pode variar entre 1 e 3 anos.

**Quadro 13.** Produção cumulativa estimada de biomassa vegetativa (BV) de laranja (parte aérea + raiz) por planta e por hectare em função da idade e da densidade de plantio

Idade	BV por planta	Densidade de plantio (plantas/ha)												
		200	250	300	350	400	450	500	550	600	650	700	750	800
ano	kg MS	-----kg/ha de MS-----												
0 <sup>1/</sup>	0,42	84	105	127	148	169	190	211	232	253	274	295	316	338
1	1,10	219	274	329	384	439	493	548	603	658	713	767	822	877
2	2,85	570	712	855	997	1 140	1 282	1 425	1 567	1 709	1 852	1 994	2 137	2 279
3 <sup>2/</sup>	7,40	1 481	1 851	2 221	2 591	2 962	3 332	3 702	4 072	4 442	4 813	5 183	5 553	5 923
4 <sup>3/</sup>	17,65	3 531	4 414	5 296	6 179	7 062	7 945	8 827	9 710	10 593	11 475	12 358	13 241	14 124
5	21,96	4 391	5 489	6 587	7 684	8 782	9 880	10 978	12 075	13 173	14 271	15 369	16 467	17 564
6	27,07	5 415	6 768	8 122	9 476	10 829	12 183	13 536	14 890	16 244	17 597	18 951	20 305	21 658
7	33,05	6 610	8 263	9 915	11 568	13 220	14 873	16 525	18 178	19 830	21 483	23 136	24 788	26 441
8	39,88	7 977	9 971	11 965	13 959	15 954	17 948	19 942	21 936	23 930	25 925	27 919	29 913	31 907
9	47,50	9 501	11 876	14 251	16 627	19 002	21 377	23 752	26 128	28 503	30 878	33 253	35 629	38 004
10	55,77	11 155	13 944	16 732	19 521	22 310	25 098	27 887	30 676	33 464	36 253	39 042	41 831	44 619
11	64,48	12 897	16 121	19 345	22 569	25 794	29 018	32 242	35 466	38 690	41 915	45 139	48 363	51 587
12	73,38	14 675	18 344	22 013	25 681	29 350	33 019	36 688	40 356	44 025	47 694	51 363	55 031	58 700
13	82,17	16 433	20 541	24 650	28 758	32 866	36 975	41 083	45 191	49 299	53 408	57 516	61 624	65 732
14	90,59	18 117	22 647	27 176	31 705	36 235	40 764	45 293	49 823	54 352	58 881	63 411	67 940	72 469
15	98,41	19 683	24 603	29 524	34 444	39 365	44 286	49 206	54 127	59 048	63 968	68 889	73 809	78 730
16	105,48	21 097	26 371	31 645	36 919	42 194	47 468	52 742	58 016	63 290	68 565	73 839	79 113	84 387
17	111,71	22 342	27 928	33 514	39 099	44 685	50 271	55 856	61 442	67 027	72 613	78 199	83 784	89 370
18	117,08	23 415	29 269	35 123	40 977	46 830	52 684	58 538	64 392	70 246	76 100	81 953	87 807	93 661
19	121,61	24 321	30 402	36 482	42 562	48 643	54 723	60 803	66 884	72 964	79 044	85 125	91 205	97 285
20	125,37	25 074	31 343	37 611	43 880	50 149	56 417	62 686	68 954	75 223	81 491	87 760	94 029	100 297
21	128,46	25 691	32 114	38 537	44 960	51 383	57 806	64 229	70 651	77 074	83 497	89 920	96 343	102 766
22	130,96	26 192	32 740	39 287	45 835	52 383	58 931	65 479	72 027	78 575	85 123	91 671	98 219	104 767
23	132,97	26 593	33 242	39 890	46 538	53 187	59 835	66 483	73 132	79 780	86 428	93 077	99 725	106 374

<sup>1/</sup>A idade 0 corresponde à muda recém transplantada no campo.

<sup>2/</sup> Para estimar a biomassa vegetativa entre 0 e 3 anos utilizou-se a equação 15.

<sup>3/</sup> A partir dos 4 anos utilizou-se a equação 16 para estimar a biomassa vegetativa.

Fonte: Cameron & Appleman, 1935; Cameron & Copton, 1945; Nadir, 1973; Mohamed, 1993; Alva *et al.*, 2003; Boaventura, 2003; Mattos Jr. *et al.*, 2003a; Menino, 2005; Creste, 2006; Morgan *et al.*, 2006; Boaretto *et al.*, 2007b; Girardi *et al.*, 2010; Mattos Jr. *et al.*, 2010; Rezende *et al.*, 2010; Boaretto, R. M., dados não publicados.

**Quadro 14.** Produção cumulativa estimada e incremento anual de biomassa vegetativa de laranja (parte aérea + raiz) para uma população de 400 plantas/ha

Idade	Matéria Seca	Incremento de Matéria Seca	Incremento Anual
ano	kg/ha		%
0 <sup>1/</sup>	169		
1	439	270	159,9
2	1 140	701	159,9
3 <sup>2/</sup>	2 962	1 822	159,9
4 <sup>3/</sup>	7 062	4 100	138,4
5	8 782	1 720	24,4
6	10 829	2 047	23,3
7	13 220	2 391	22,1
8	15 954	2 733	20,7
9	19 002	3 048	19,1
10	22 310	3 308	17,4
11	25 794	3 484	15,6
12	29 350	3 556	13,8
13	32 866	3 516	12,0
14	36 235	3 368	10,2
15	39 365	3 130	8,6
16	42 194	2 828	7,2
17	44 685	2 491	5,9
18	46 830	2 146	4,8
19	48 643	1 812	3,9
20	50 149	1 506	3,1
21	51 383	1 234	2,5
22	52 383	1 000	1,9
23	53 187	803	1,5

<sup>1/</sup>A idade 0 corresponde à muda recém transplantada no campo.

<sup>2/</sup> Para estimar a biomassa vegetativa entre 0 e 3 anos utiliza-se a equação 15.

<sup>3/</sup> A partir dos 4 anos utiliza-se a equação 16 para estimar a biomassa vegetativa.

Fonte: Cameron & Appleman, 1935; Cameron & Copton, 1945; Nadir, 1973; Mohamed, 1993; Alva *et al.*, 2003; Mattos Jr. *et al.*, 2003a; Boaventura, 2003; Menino, 2005; Creste, 2006; Morgan *et al.*, 2006; Boaretto *et al.*, 2007b; Girardi *et al.*, 2010; Mattos Jr. *et al.*, 2010; Rezende *et al.*, 2010; Boaretto, R. M., dados não publicados.

Com base nos valores obtidos no quadro 13, foram estabelecidas equações de regressão para calcular biomassa vegetativa por ano em função da densidade de plantio (Quadro 15).

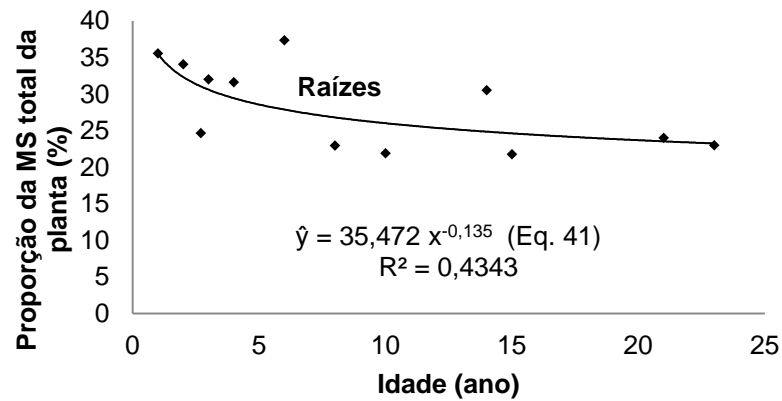
**Quadro 15.** Equações de regressão para estimar a biomassa vegetativa (BV, parte aérea + raiz, em kg/ha) de laranja por ano em função da densidade de plantio (DP)

Idade	Equação <sup>1/</sup>	
Ano		
< 1	BV = 0,4219 DP	(Eq. 17)
1	BV = 1,0964 DP	(Eq. 18)
2	BV = 2,8491 DP	(Eq. 19)
3	BV = 7,4039 DP	(Eq. 20)
4	BV = 17,654 DP	(Eq. 21)
5	BV = 21,955 DP	(Eq. 22)
6	BV = 27,073 DP	(Eq. 23)
7	BV = 33,051 DP	(Eq. 24)
8	BV = 39,884 DP	(Eq. 25)
9	BV = 47,505 DP	(Eq. 26)
10	BV = 55,774 DP	(Eq. 27)
11	BV = 64,484 DP	(Eq. 28)
12	BV = 73,375 DP	(Eq. 29)
13	BV = 82,166 DP	(Eq. 30)
14	BV = 90,587 DP	(Eq. 31)
15	BV = 98,413 DP	(Eq. 32)
16	BV = 105,48 DP	(Eq. 33)
17	BV = 111,71 DP	(Eq. 34)
18	BV = 117,08 DP	(Eq. 35)
19	BV = 121,61 DP	(Eq. 36)
20	BV = 125,37 DP	(Eq. 37)
21	BV = 128,46 DP	(Eq. 38)
22	BV = 130,96 DP	(Eq. 39)
23	BV = 132,97 DP	(Eq. 40)

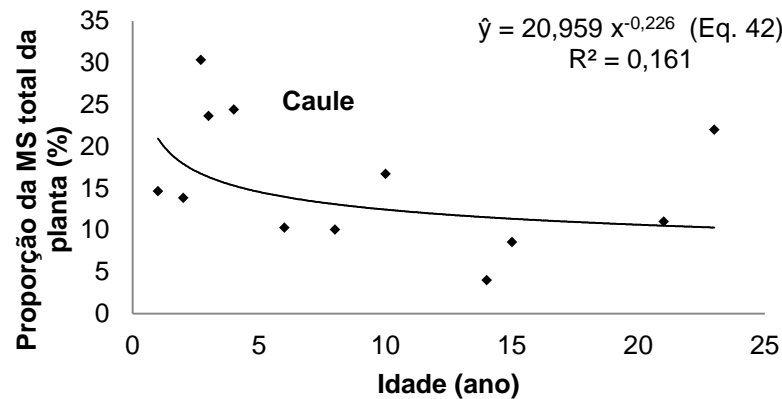
<sup>1/</sup>Os coeficientes de determinação ( $R^2 = 1$ ) das equações não são citados, em razão dos ajustes terem sido obtidos por cálculo matemático e não estatístico. As equações são validas para toda densidade de plantio entre 200 – 800 plantas/ha.

Os teores de nutrientes na laranjeira variam conforme os diferentes órgãos que a compõem (raízes, caule, ramos, folhas e frutos), por isso é importante definir, além da matéria seca produzida por ano, sua respectiva

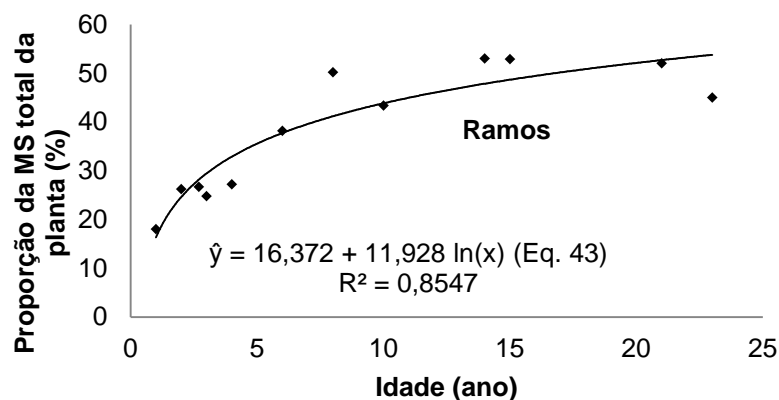
partição para poder estimar a demanda de nutrientes. Cabe destacar que nos trabalhos de Cameron & Appleman (1935); Cameron & Copton, (1945); Nadir, (1973); Mohamed, (1993); Alva *et al.*, (2003); Mattos Jr. *et al.*, (2003a); Menino, (2005); Morgan *et al.*, (2006); Boaretto *et al.*, (2007b) e Boaretto R. M. (dados não publicados) observa-se como a partição da matéria seca varia em função da idade da planta (Figuras 5, 6, 7 e 8).



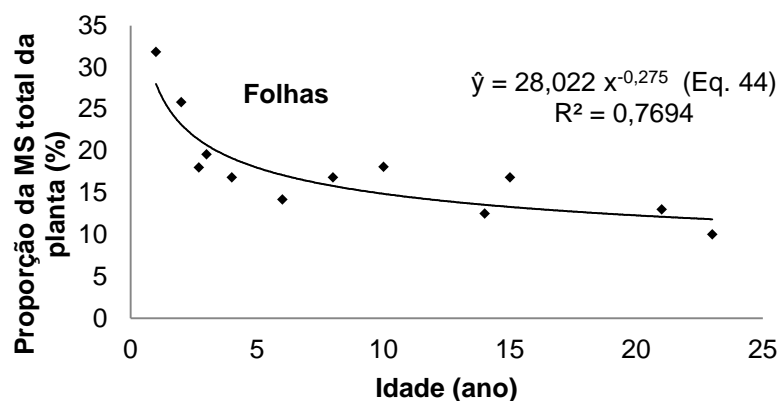
**Figura 5.** Proporção de MS de raízes em relação à MS total da planta ao longo da idade da laranjeira.



**Figura 6.** Proporção de MS de caule em relação à MS total da planta ao longo da idade da laranjeira.



**Figura 7.** Proporção de MS de ramos em relação à MS total da planta ao longo da idade da laranjeira.



**Figura 8.** Proporção de MS de folhas em relação à MS total da planta ao longo da idade da laranjeira.

Em linhas gerais, nota-se que a proporção de raízes, caule e folhas diminuem com a idade da cultura (Figura 5, 6 e 7), enquanto que a proporção de ramos aumenta (Figura 7). No caso das raízes e o caule (Figuras 5 e 6), a tendência não foi tão clara como para ramos e folhas (Figuras 7 e 8). Resultados similares foram obtidos por Morgan *et al.* (2006), que encontraram as mesmas tendências na partição da massa de matéria seca, só que, em lugar de trabalhar com idade das plantas, fizeram uso de variáveis que indicam tamanho das plantas (volume da copa e secção transversal do tronco). Já Caruso *et al.* (1999), trabalhando com pêsego [*Prunus persica* (L.) Batsch.], encontraram que a proporção de matéria seca de folhas e galhos em relação à matéria seca da planta inteira diminuiu com a idade das árvores, enquanto que a proporção dos tecidos lenhosos aumentou.

Por meio desta revisão, que junta o trabalho de diversos autores do mundo inteiro, é possível comprovar que as tendências que foram encontradas por Morgan *et al.* (2006) em trabalho local na Florida (EUA) com plantas entre 3 e 15 anos, se manifestam também para a cultura em um marco mais amplo.

Desta maneira, corrigindo a 100 % o somatório dos valores gerados com as equações 41, 42, 43 e 44 determinou-se a distribuição percentual da biomassa vegetativa entre as diferentes partes da planta ao longo dos anos (Quadro 16).

**Quadro 16.** Variação da partição da massa de matéria seca dos componentes vegetativos da laranjeira ao longo dos anos.

Idade	Parte da Planta				
	Folhas	Ramos	Caule	Parte Aérea <sup>(1)</sup>	Raízes
Ano	-----%				
1	27,9	16,3	20,8	65,0	35,0
2	23,6	25,1	18,2	66,9	33,1
3	21,2	30,2	16,8	68,2	31,8
4	19,7	33,8	15,7	69,2	30,8
5	18,5	36,6	15,0	70,1	29,9
6	17,6	38,8	14,4	70,8	29,2
7	16,9	40,7	13,9	71,4	28,6
8	16,2	42,3	13,5	72,0	28,0
9	15,7	43,7	13,1	72,5	27,5
10	15,2	44,9	12,8	72,9	27,1
11	14,8	46,0	12,5	73,3	26,7
12	14,5	47,0	12,2	73,7	26,3
13	14,1	47,9	12,0	74,0	26,0
14	13,8	48,7	11,8	74,3	25,7
15	13,5	49,5	11,6	74,6	25,4
16	13,3	50,3	11,4	74,9	25,1
17	13,1	50,9	11,2	75,2	24,8
18	12,8	51,5	11,1	75,4	24,6
19	12,6	52,1	10,9	75,7	24,3
20	12,4	52,7	10,8	75,9	24,1
21	12,3	53,2	10,6	76,1	23,9
22	12,1	53,7	10,5	76,3	23,7
23	11,9	54,2	10,4	76,5	23,5

<sup>(1)</sup>Parte Aérea corresponde ao somatório de folhas, ramos e caule.

Fonte: Cameron & Appleman, 1935; Cameron & Copton, 1945; Nadir, 1973; Mohamed, 1993; Alva *et al.*, 2003; Mattos Jr. *et al.*, 2003; Menino, 2005; Morgan *et al.*, 2006; Boaretto *et al.*, 2007b. Boaretto, R. M., dados não publicados.

Nota-se que no decorrer dos anos aumenta a parte aérea da planta em detrimento do sistema radicular, mesmo que o efeito não seja tão marcado, havendo uma diferença de 11,5 % entre os valores iniciais e finais da parte aérea e raízes (Quadro 16). Segundo Morgan *et al.* (2006), na medida que as árvores crescem, a quantidade relativa de biomassa alocada na parte aérea da laranjeira aumenta de 60 para 80 % aproximadamente. Da mesma maneira que no trabalho efetuado por esses autores, o aumento da relação parte aérea / sistema radicular deve-se exclusivamente ao incremento da acumulação de biomassa vegetativa nos ramos, já que a

proporção de folhas e caule diminuem com o passar dos anos. Por sua parte, Roccuzzo *et al.* (2012) destacaram que embora os órgãos lenhosos representavam a maior proporção da massa de matéria seca da parte aérea de laranjeiras de 7 a 40 anos de idade, as folhas continham mais de 38 % do N, 31 % do P, 44 % do K, 32% do Ca e 33 % do Mg.

Além da variação na partição da biomassa vegetativa com a idade da planta, para N, P e K, observou-se uma mudança nos teores dos nutrientes, dentro de cada compartimento, com o decorrer dos anos da cultura no campo (Figuras 9, 10 e 11). Para os três nutrientes a variação foi percebida até os 23 anos, uma vez que a informação disponível correspondia até essa idade. Porém, devido à diferença na quantidade de dados gerados para esses nutrientes, fica claro que para N a variabilidade nos teores segue uma tendência mais definida do que para P e K, e por sua vez pelos valores observados as tendências são mais nítidas para P quando comparado com K (Figuras 9, 10 e 11). Independente do órgão considerado, os três nutrientes apresentam queda nos teores ao longo do período considerado (0,5 – 23 anos para folhas e 2,7 – 23 anos para caule, ramos e raízes). A diferença na idade considerada no início do período deve-se simplesmente a informação disponível na literatura. Cabe destacar que, devido à falta de informação de teores de N, P e K em caule, ramos e raízes, para plantas jovens, o sistema considera os valores estimados para 2,7 anos (32 meses) para toda situação na qual a idade do cultivo seja igual ou inferior a esta.

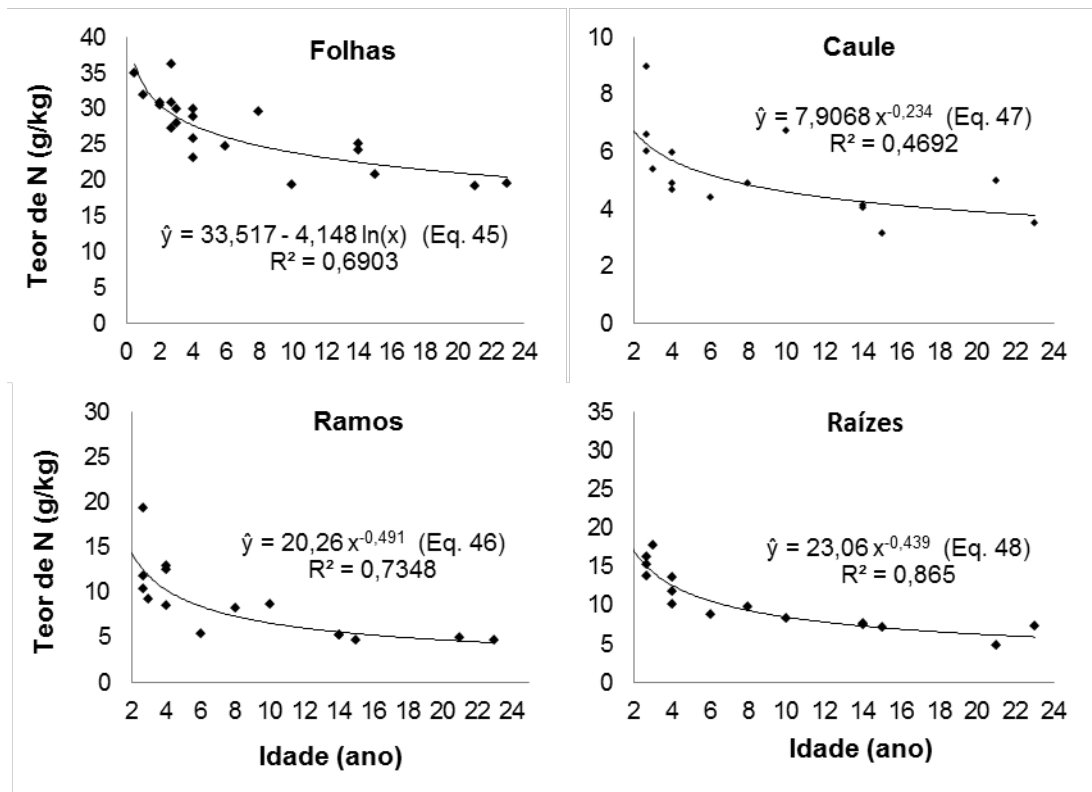


Figura 9. Teores de N em função da idade, nos órgãos vegetativos da laranjeira.

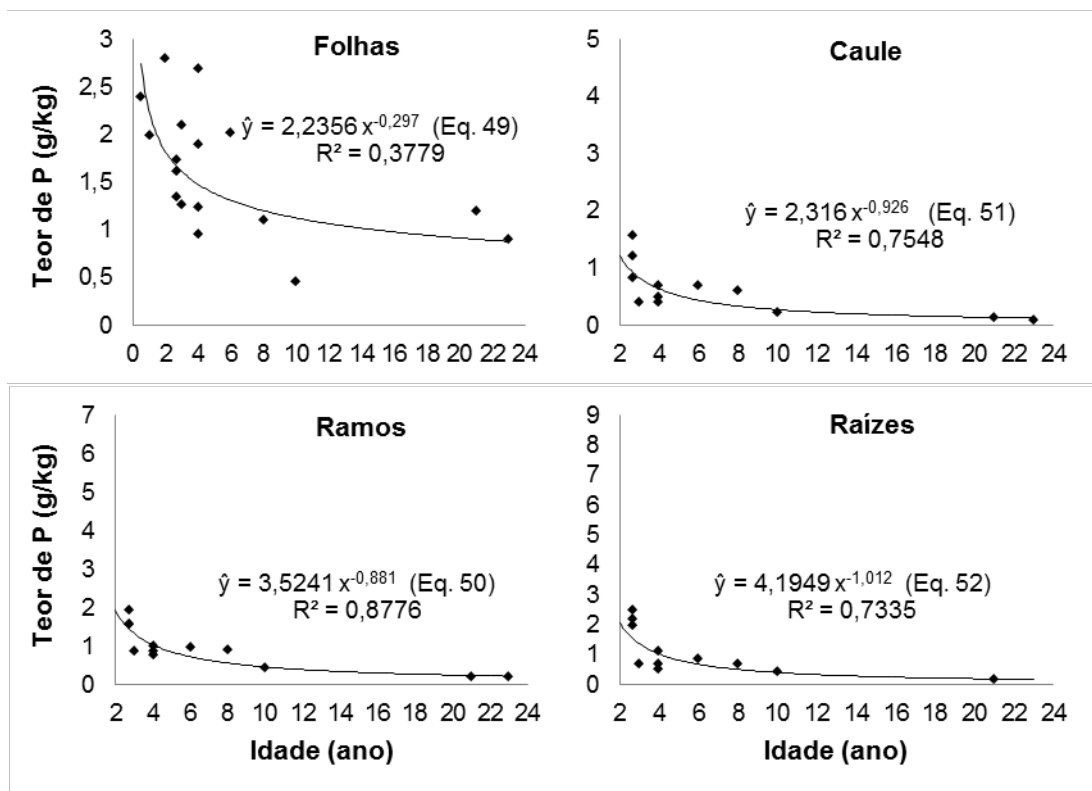
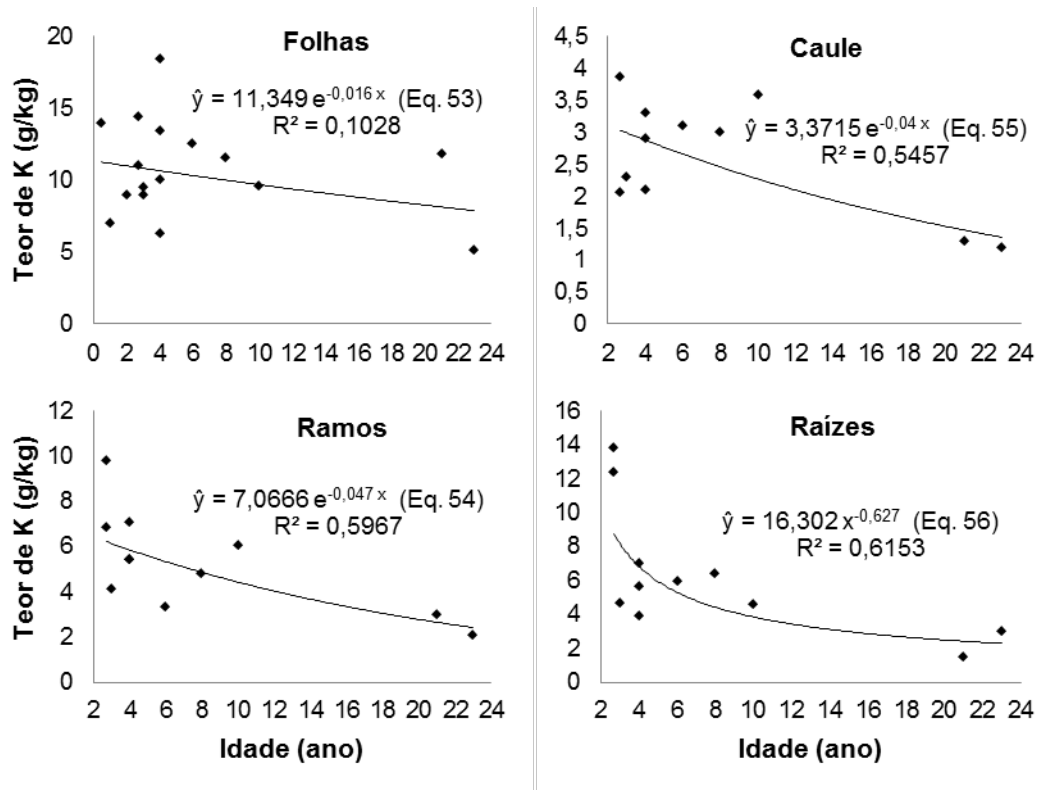


Figura 10. Teores de P em função da idade, nos órgãos vegetativos da laranjeira.



**Figura 11.** Teores de K em função da idade, nos órgãos vegetativos da laranjeira.

Menino (2005), ao avaliar a eficiência de utilização de N em laranjeiras jovens (trabalho conduzido a campo desde a implantação do pomar até 4,5 anos) encontrou que o teor de N foliar diminuiu conforme o passar do tempo até os 4,5 anos, ajustando-se os valores a um modelo logarítmico base dez. Já nos valores obtidos para o desenvolvimento do Ferticalc-Laranja, observou-se a mesma diminuição do N foliar com a idade da planta, mas o melhor ajuste foi obtido com o modelo logarítmico base e (Figura 9).

Segundo Cameron & Appleman (1935) e Cameron & Copton (1945) a casca dos ramos e das raízes da laranjeira apresenta entre duas e quatro vezes mais N que o lenho, e, por outro lado, na medida em que aumenta o diâmetro desses órgãos percebe-se uma diminuição na proporção de casca e um aumento na proporção de lenho. Isto permite entender porque na figura 9, com o aumento da idade da planta os teores de N dos órgãos lenhosos (ramos, caule e raízes) diminuem, assumindo que na medida em que a planta envelhece aumenta a proporção de lenho e diminui a de casca nestes órgãos.

Normalmente nas plantas lenhosas a casca possui teores de nutrientes maiores que o lenho. Assim, para P e K (Figuras 10 e 11) entende-se que, da mesma maneira que ocorre com o N (Figura 9), o aumento da proporção de lenho e diminuição da proporção de casca nos órgãos lenhosos que vão engrossando, faz com que os teores dos nutrientes nessas partes da planta manifestem uma queda com o decorrer dos anos.

É importante destacar que com a quantidade de dados disponíveis para realizar esta pesquisa, possivelmente não seja suficiente para estabelecer que os teores foliares de N, P e K diminuem na medida em que a planta envelhece, todavia em função da informação existente parece ser que esta tendência de fato existe. Acredita-se seja interessante desenvolver mais pesquisa nesta linha para estabelecer se seria mais adequado, ou não, pensar em diferentes limites para a faixa adequada de teores foliares da laranjeira com a idade. Os valores estimados pelas equações 45, 49 e 53 mostram que, a partir dos 15, 10 e 12 anos, os teores foliares de N, P e K respectivamente, estariam abaixo do nível crítico<sup>1</sup> (limite inferior da faixa de teor foliar considerado adequado para a cultura). Desta forma, os valores estimados para o final do período considerado no Ferticalc-Laranja (23 anos) são inferiores ao nível crítico em 8,7; 25 e 20 % para N, P e K, respectivamente.

Para Ca, Mg, S e micronutrientes, devido à escassez de informação e à falta de uma tendência clara dos dados disponíveis na literatura, não se encontraram modelos que explicassem a variação com a idade dos teores de nutrientes nos diferentes órgãos da laranjeira. Por este motivo, optou-se por utilizar um valor médio, por nutriente, para cada órgão, dos teores observados em diversos trabalhos (Quadro 17).

---

<sup>1</sup> Os níveis críticos considerados são 23; 1,2 e 10 g/kg para N, P e K respectivamente (Quaggio *et al.*, 2005).

**Quadro 17.** Teores médios de Ca, Mg, S e micronutrientes nos órgãos vegetativos da laranjeira

Órgão	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	-----g/kg-----			-----mg/kg-----				
Folhas	39	3,3	2,4	66,5	7,4	148,1	29,0	28,3
Ramos	16	1,4	0,9	24,5	10,5	82,9	10,2	22,1
Caule	8	0,6	0,4	15,1	5,3	81,0	6,3	14,9
Raízes	10	1,1	1,1	23,6	16,5	832,7	190,5	72,1

Fonte: Nadir, 1973; Mohamed, 1993; Mattos Jr. *et al.*, 2003; Menino, 2005; Boaretto *et al.*, 2007b, 2010. Boaretto, R. M., dados não publicados.

#### 4.4.1.1.2 Estimativa da produção de matéria seca de frutos

A produção de matéria seca de frutos no Ferticalc-Laranja é estimada de acordo com a produtividade esperada que o usuário ingresse no sistema, a qual pode variar de 4 até 50 t/ha. As menores produtividades (4 – 20 t/ha) foram colocadas para contemplar a fase de início de produção, entre 3 – 4 anos, enquanto que as restantes correspondem ao cultivo em plena produção.

Para estimar a produção de matéria seca de frutos, multiplica-se a produtividade esperada, expressa em matéria fresca, pelo coeficiente de matéria seca do fruto (Equação 57) obtido como média dos dados encontrados em diversos trabalhos (Quadro 18).

**Quadro 18.** Percentagem de matéria seca (m/m) de frutos de laranja de diversas copas e porta-enxertos.

<b>Autores</b>	<b>Ano</b>	<b>Copa</b>	<b>Porta-enxerto</b>	<b>% de MS (m/m)</b>
Bataglia <i>et al.</i>	1977	Pêra	Limão cravo ( <i>Citrus limonia</i> )	15,70
		Baianinha		17,80
		Hamlin		17,30
		Natal		18,40
		Valência		18,60
Malavolta <i>et al.</i>	1983, 1987	Hamlin		14,63
		Natal		17,54
		Pêra		16,88
Boaretto <i>et al.</i>	2007b	Pêra	Limão cravo ( <i>C. limonia</i> )	16,50
Labanauskas & Handy	1972	Valência	Laranja doce ( <i>C. sinensis</i> )	17,00
			Limão rugoso ( <i>C. jambhiri</i> )	18,00
Smith & Reuters	1953	Valência	Limão rugoso ( <i>C. jambhiri</i> )	17,60
				18,00
				18,20
				19,60
				17,40
		Pineapple		16,80
				16,10
				14,50
				17,60
				17,40
Rocuzzo <i>et al.</i>	2012	Tarocco	Citrange Troyer ( <i>P. trifoliata</i> x <i>C. sinensis</i> )	14,60
Nadir	1973	Washington-sanguine		14,40
		Valência		13,70
				13,50
<b>MÉDIA (C<sub>MMSF</sub>)</b>				<b>16,76</b>
CV (%)				9,62

$$\text{MMSF} = \text{PE} \cdot \text{C}_{\text{MMSF}} / 100 \quad (\text{Eq. 57})$$

Em que,

MMSF = massa de matéria seca de frutos, em kg/ha de MS

PE = produtividade esperada, em kg/ha de matéria fresca (MF)

C<sub>MMSF</sub> = coeficiente de massa de matéria seca do fruto, em kg MS / 100 kg MF.

#### 4.4.1.1.3 Estimativa dos coeficientes de utilização biológica do fruto para cada nutriente (CUB<sub>Nut</sub>)

O coeficiente de utilização biológica (CUB) representa a quantidade de matéria seca produzida por unidade de nutriente acumulada, sendo

expresso em kg/kg para macronutrientes e t/kg para micronutrientes (Barros *et al.*, 1986). O CUB é uma medida da eficiência da planta em converter nutriente absorvido em matéria seca. Dessa forma, pode-se dizer que plantas com valor de CUB maior para determinado nutriente seriam mais eficientes que plantas com valores menores (Santos, 2002).

O CUB varia dependendo do órgão da planta, sendo calculado pelo quociente entre a matéria seca do órgão e a quantidade de nutriente acumulado nele. Para calcular os valores de CUB do fruto para cada nutriente ( $CUBF_{Nut}$ ) da laranjeira procurou-se identificar, inicialmente, a quantidade de nutrientes exportados por tonelada de fruta fresca. Com os dados encontrados na literatura, foram elaborados os quadros 19 e 20, para macro e micronutrientes, respectivamente, considerando os valores de trabalhos feitos no Brasil por separado e junto com os dos EUA.

**Quadro 19.** Exportação de macronutrientes por tonelada de fruta fresca de laranja.

Lugar	N	P	K	Ca	Mg	S
-----kg / t de fruta <sup>3/</sup> -----						
Brasil <sup>1/</sup>	<b>2,012</b>	0,213	1,972	0,639	0,158	0,223
Brasil + EUA <sup>2/</sup>	1,581	<b>0,205</b>	<b>2,040</b>	<b>0,616</b>	<b>0,171</b>	<b>0,205</b>
CV Brasil	18,31	48,02	25,17	19,13	17,72	65,92
CV Brasil + EUA	26,85	31,33	22,07	31,32	23,52	69,11

CV = coeficiente de variação (%). <sup>1/</sup> Bataglia *et al.*, 1977; Malavolta *et al.*, 1983; Boaretto *et al.*, 2007b, 2010. Boaretto R. M., dados não publicados. <sup>2/</sup> Além dos trabalhos feitos no Brasil inclui os seguintes: Smith & Reuters, 1953; Chapman, 1968; Labanauskas & Handy 1972; Paramasivam *et al.*, 2000; Mattos Jr *et al.*, 2003a; Alva A. K., dados não publicados; realizados nos EUA. <sup>3/</sup> Matéria fresca.

**Quadro 20.** Exportação de micronutrientes por tonelada de fruta fresca de laranja.

Lugar	B	Cu	Fe	Mn	Zn
-----g / t de fruta <sup>3/</sup> -----					
Brasil <sup>1/</sup>	2,818	1,462	6,869	1,701	<b>1,023</b>
Brasil + EUA <sup>2/</sup>	<b>2,886</b>	<b>0,974</b>	<b>5,086</b>	<b>1,336</b>	1,571
CV Brasil	35,11	97,62	67,52	66,16	41,46
CV Brasil + EUA	54,83	94,03	64,04	64,73	51,39

CV = coeficiente de variação (%). <sup>1/</sup> Bataglia *et al.*, 1977; Malavolta *et al.*, 1987; Boaretto *et al.*, 2007b, 2010. Boaretto R. M., dados não publicados. <sup>2/</sup> Além dos trabalhos feitos no Brasil inclui os seguintes: Smith & Reuters, 1953; Chapman, 1968; Labanauskas & Handy 1972; Paramasivam *et al.*; 2000; Mattos Jr *et al.*, 2003a; Alva A. K., dados não publicados; realizados nos EUA. <sup>3/</sup> Matéria fresca.

Devido à escassez de trabalhos realizados no Brasil, optou-se por incluir dados de exportação de nutrientes por frutos de laranja provenientes

de trabalhos dos EUA. Isto é aceitável, pelo fato que os valores obtidos nos dois países são semelhantes e ao acrescentar estes se tem uma base de dados maior, o que proporciona mais confiabilidade ao sistema.

Para realizar os cálculos dos CUB do fruto, adotou-se os valores de nutrientes exportados, considerando todos os trabalhos encontrados na literatura, devido a que os valores são muito próximos aos obtidos no Brasil e os coeficientes de variação, em geral, são menores. Contudo, para N e Zn optou-se por trabalhar com o valor médio de trabalhos feitos no Brasil, porque o outro dado não se aproxima tanto dos valores encontrados em trabalhos feitos no País.

O  $CUBF_{Nut}$  indica a eficiência da planta para produzir massa de matéria seca de fruto a partir de cada kg de nutriente acumulado nele. Para calcular o  $CUBF_{Nut}$ , primeiro se calcula a MMSF contida em uma tonelada de fruta fresca e logo divide-se esse valor pela quantidade do nutriente exportada por tonelada (Equação 58).

$$CUBF_{Nut} = (1 \text{ t FF} * 16,76) / \text{Nut. Exp.} \quad (\text{Eq. 58})$$

Em que,

$CUBF_{Nut}$  = coeficiente de utilização biológica do fruto para cada nutriente, em kg/kg para macronutrientes e g/kg para micronutrientes

t FF = tonelada de fruta fresca

16,76 =  $C_{MMSF}$  = coeficiente de massa de matéria seca do fruto, em kg MS / 100 kg MF

Nut. Exp. = nutriente exportado por t FF, em kg para macronutrientes e g para micronutrientes.

Os valores de  $CUBF_{Nut}$  para cada nutriente estão apresentados no quadro 21.

**Quadro 21.** Coeficiente de utilização biológica do fruto (CUBF) para macro e micronutrientes da cultura da laranja

	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	-----kg / kg-----						-----t / kg-----				
CUBF	83	817	82	272	982	819	58	172	33	125	164

Fonte: Bataglia *et al.*, 1977; Malavolta *et al.*, 1983, 1987; Boaretto *et al.*, 2007b, 2010. Boaretto R. M., dados não publicados; Smith & Reuters, 1953; Chapman, 1968; Labanauskas & Handy 1972; Mattos Jr *et al.*, 2003a; Paramasivam *et al.*, 2000 e Alva A. K., dados não publicados.

Verifica-se que N e K são os macronutrientes exportados em maior quantidade, o que leva a que seu CUBF seja menor, enquanto que o Ca, nutriente que se encontra em maior concentração na planta, tem um CUBF consideravelmente maior, indicando uma menor demanda por este elemento em nível de fruto em comparação com N e K (Quadro 21). Porém, nos frutos de laranja a concentração de Ca é bastante elevada, em comparação com as frutas de caroço e de pepita (Tagliavini *et al.*, 2000).

#### 4.4.1.2 Taxa de recuperação de nutrientes pela planta

A  $TR_{pl}$  expressa a eficiência da planta na absorção do nutriente proveniente do adubo e foi definida como a quantidade de nutriente absorvida por unidade de nutriente aplicado (Craswell & Godwin, 1984), sendo determinada pela equação 2:

$$TR_{pl} = (NAPCF - NAPCnF) / QNA \quad (\text{Eq. 2})$$

Em que,

$TR_{pl}$  = taxa de recuperação pela planta do nutriente aplicado

NAPCF = nutriente absorvido pela cultura fertilizada, em kg/ha

NAPCnF = nutriente absorvido pela cultura não fertilizada, em kg/ha

QNA = quantidade do nutriente aplicado, em kg/ha.

Cabe destacar, que o método por detrás da equação 2 apresenta a desvantagem de que os valores de  $TR_{pl}$  podem ser superestimados, pelo fato de que as plantas que estão em ambientes com maior fertilidade do solo tem um maior crescimento do sistema radicular o qual levaria a uma maior absorção de nutrientes. Por outro lado, um método mais direto, porém de

uso menos prático, é a utilização de fertilizantes com isótopo marcado. Para a cultura da laranja existem vários trabalhos empregando este método especialmente com  $^{15}\text{N}$ , procurando otimizar a fertilização nitrogenada para aumentar a eficiência de uso destes fertilizantes e conseqüentemente diminuir as perdas por lixiviação (Feigenbaum *et al.*, 1987; Lea-Cox *et al.*, 2001; Natale & Marchal, 2002; Mattos Jr *et al.*, 2003b; Quiñones *et al.*, 2003, 2007; Boaretto *et al.*, 2007b).

A fonte de fertilizante empregada (Mattos Jr *et al.*, 2003b; Natale & Marchal, 2002), a dose (Rosolem & Nakagawa, 1985, Feigenbaum *et al.*, 1987), o parcelamento (Quiñones *et al.*, 2003, 2007), a capacidade tampão do solo (Bahia Filho, 1982; Muniz, 1983), a localização do fertilizante (Welch *et al.*, 1949), a idade da planta (Welch *et al.*, 1949), o porta-enxerto (Mattos Jr *et al.*, 2006; Zambrosi *et al.*, 2012), etc. são fatores que influenciam a taxa de recuperação pela planta do fertilizante aplicado ao solo.

Quanto à fonte de fertilizante empregada, Mattos Jr *et al.* (2003b), trabalhando com plantas de laranja Hamlin, de seis anos em experimento de campo, observaram que 280 d após a fertilização, as plantas recuperaram 25,5 % de ureia e 39,5 % de nitrato de amônio marcado com  $^{15}\text{N}$ .

Em relação à dose de fertilizante, Rosolem & Nakagawa (1985), em trabalho feito com soja em solo franco-arenoso, observaram que a  $\text{TR}_{\text{pl}}$  caiu de 79 % para 26 %, quando as doses de  $\text{K}_2\text{O}$  passaram de 40 kg/ha para 240 kg/ha. Feigenbaum *et al.* (1987) advertiram que laranjeiras de 22 anos de idade absorveram 62 % do N aplicado, quando a dose foi 82 kg N/ha e 56 % para a dose de 240 kg N/ha.

Segundo Quiñones *et al.* (2003, 2007), ao fertilizar plantas de laranja de oito anos de idade com nitrato de potássio enriquecido com  $^{15}\text{N}$ , a  $\text{TR}_{\text{pl}}$  foi de 63 %, quando a aplicação se fez em seis parcelas com irrigação por inundação e subiu para 75 % ao parcelar em 66 vezes e com irrigação por gotejamento.

Entre as características do solo, a capacidade tampão (CT) tem marcada influência para P, S e Zn, sendo que, quanto maior a CT, menor é a absorção desses nutrientes pela planta (Bahia Filho, 1982; Muniz, 1983), conseqüentemente, a  $\text{TR}_{\text{pl}}$  será menor, quanto maior a CT do solo.

Para nutrientes pouco móveis no solo e muito adsorvidos, como o P, Welch *et al.* (1949), trabalhando com soja, observaram maiores taxas de recuperação com o adubo aplicado de forma localizada, principalmente nos estádios iniciais de crescimento da planta, quando o sistema radicular abrange um pequeno volume de solo. Na aplicação localizada, a concentração do nutriente próximo à raiz é aumentada, o que favorece a absorção, pois o P é transportado, em sua grande maioria, pelo processo de difusão, o qual é governado pelo gradiente de concentração (Santos, 2002).

No que se refere à planta, sabe-se que nos estádios iniciais de crescimento da planta, a recuperação do nutriente aplicado é pequena, devido ao pequeno tamanho do sistema radicular e à menor demanda por nutrientes (Santos, 2002). Com o crescimento e desenvolvimento da planta e, conseqüentemente, do sistema radicular, a taxa de recuperação tende a aumentar (Welch *et al.*, 1949; Bureau *et al.*, 1953). Em laranja, por exemplo, o nível crítico de P para as árvores jovens é superior aos 20 mg/dm<sup>3</sup> (P-resina) reportado para árvores adultas, devido ao fato de que nos primeiros anos após o plantio dos citros, o sistema radicular das árvores é limitado a um volume menor de solo o que se traduz em uma menor absorção de P (Mattos Jr *et al.*, 2009). Por outro lado, tem sido demonstrado que existe variação na capacidade de absorção de alguns nutrientes entre os diferentes porta-enxertos utilizados. Mattos Jr *et al.* (2006) alertaram que, durante os primeiros cinco anos após a implantação, árvores sobre limão cravo foram mais eficientes na absorção de N, P e K, e conseqüentemente produziram mais frutos que outros enxertados sobre tangerina Cleópatra e citrumelo Swingle. No mesmo trabalho foi observado que a resposta das laranjeiras à adubação fosfatada foi maior para copas enxertadas sobre tangerina Cleópatra em comparação com limão cravo e citrumelo Swingle, e que o requerimento de N e K pelas árvores enxertadas sobre citrumelo Swingle foi maior nesta fase inicial do que para árvores sobre limão cravo e tangerina Cleópatra, informação esta que é condizente com o relatado por Wutscher (1989). Estes fatos levaram a incrementos das doses recomendadas para plantas em formação da ordem de 20 % em P para plantas sobre tangerina Cleópatra e Sunki, e de 20 % em K para aquelas sobre citrumelo Swingle. Posteriormente, em trabalho conduzido em solução

nutritiva, comparando quatro porta-enxertos, Zambrosi *et al.* (2012), observou em todos os tratamentos que o citrumelo Swingle foi o porta-enxerto com sistema radicular menos eficiente na absorção de P (EAP = quantidade de nutriente absorvido por MMS de raiz). No mesmo trabalho, o porta-enxerto limão cravo apresentou EAP igual ou mais elevada do que citrumelo Swingle e as tangerinas Cleópatra e Sunki ao longo de contrastantes disponibilidades de P. O sistema radicular do limão cravo teve um crescimento mais vigoroso e responsivo ao P, o que sugere sua maior adaptação a solos com baixos teores disponíveis de P.

Devido à dificuldade de encontrar trabalhos que permitissem calcular as  $TR_{pl}$  da maioria dos nutrientes (a exceção de N e B) para a cultura da laranja, optou-se nesta primeira versão do Ferticalc-Laranja por utilizar valores já calculados para outras culturas salvo para N e B (Quadros 22 e 23). Para N, K, Ca, Mg, Cu e Zn foram ajustadas equações relacionando  $TR_{pl}$  e dose do nutriente aplicado ao solo via fertilizante (Equações 59, 61, 62, 63, 65 e 66).

Vale ressaltar que é utilizado o conteúdo de nutrientes na planta (demanda da planta) como se esse valor fosse a dose a ser recomendada. Isto é devido a que a dose do nutriente a ser aplicada ainda não é conhecida, pois essa dose depende da taxa de recuperação pela planta do nutriente aplicado ao solo e de outras variáveis que entram no cálculo da dose a ser recomendada (requerimento de sustentabilidade e suprimento pelo solo, restos vegetais e matéria orgânica),

**Quadro 22.** Taxa de recuperação pela planta do nutriente aplicado ao solo via fertilizante ( $TR_{pl}$ ), em percentagem, para macronutrientes

Nutriente	Equação	$R^2$	
N	$TR_{pl\_N}^{1/} = 0,623955 e^{-0,0028 DN}$ (Parc./100) $\forall 30 \leq DN \leq 240$ kg/ha de N	-	(Eq. 59)
P	$TR_{pl\_P}^{2/} = (0,04508^{***} e^{0,0347 P\text{-rem}}) Fc$ $\forall 2,58 \leq P\text{-rem} \leq 40,18$ Sendo Fc = 1 para adubação a lanço, e Fc = 4,2 - 0,04 P-rem para adubação no sulco.	0,837	(Eq. 60)
K	$TR_{pl\_K}^{2/} = 0,816955 e^{-0,0015 DK}$ (Parc./100) $\forall 30 \leq DK \leq 220$ kg/ha de $K_2O$	-	(Eq. 61)
Ca	$TR_{pl\_Ca}^{3/} = 0,48 - 0,0002^{**}DCa$ $\forall 30 \leq DCa \leq 1000$ kg/ha de Ca	0,886	(Eq. 62)
Mg	$TR_{pl\_Mg}^{3/} = 0,68 - 0,0004^{**}DMg$ $\forall 21 \leq DMg \leq 700$ kg/ha de Mg	0,891	(Eq. 63)
S	$TR_{pl\_S}^{2/} = 0,38508 e^{0,0101 P\text{-rem}}$ $\forall 2 \leq P\text{-rem} \leq 55$	-	(Eq. 64)

<sup>1/</sup> Feigenbaum *et al.*, 1987; Mattos Jr *et al.*, 2003b; Quiñones *et al.*, 2003; Boaretto *et al.*, 2007b. <sup>2/</sup> Adaptado de Santos *et al.*, 2008. <sup>3/</sup> Adaptado de Freire, 2001. DN = dose de N. DK = dose de K. DCa = dose de Ca. DMg = dose de Mg. Parc. = parcela em %. P-rem = teor de P da solução de equilíbrio, determinado após a agitação por uma hora de TFSA com  $CaCl_2$  10 mmol/L, contendo 60 mg/L de P, na relação solo:solução 1:10 (Alvarez V. *et al.*, 2000).

\*\* , \*\*\* Significativo a 1 e 0,1 %

**Quadro 23.** Taxa de recuperação pela planta do nutriente aplicado ao solo via fertilizante ( $TR_{pl}$ ), em percentagem, para micronutrientes

Nutriente	Equação	$R^2$	
B	$TR_{pl\_B}^{1/} = 0,211$	-	
Cu	$TR_{pl\_Cu}^{2/} = 0,1 - 0,1418^{**}DCu$ $\forall 0,009 \leq DCu \leq 0,35$ kg/ha de Cu	0,970	(Eq. 65)
Fe	$TR_{pl\_Fe}^{3/} = 0,05$	-	
Mn	$TR_{pl\_Mn}^{3/} = 0,05$	-	
Zn	$TR_{pl\_Zn}^{2/} = 0,05 - 0,1136^{**}DZn + 0,0618^{**}DZn^2 + 0,002^{**}P\text{-rem} - 0,00001^{**}P\text{-rem}^2$ $\forall 0,028 \leq DZn \leq 0,700$ kg/ha	0,987	(Eq. 66)

<sup>1/</sup> Boaretto *et al.*, 2011. <sup>2/</sup> Adaptado de Freire, 2001. <sup>3/</sup> Santos *et al.*, 2008. DCu = dose de Cu. DZn = dose de Zn. P-rem = teor de P da solução de equilíbrio, determinado após a agitação por uma hora de TFSA com  $CaCl_2$  10 mmol/L, contendo 60 mg/L de P, na relação solo:solução 1:10 (Alvarez V. *et al.*, 2000).

\*\* , Significativo a 1 %

No Ferticalc-Laranja, consideram-se alguns dos fatores que afetam a taxa de recuperação pela planta, com o intuito de obter valores de  $TR_{pl}$  que se aproximem o máximo possível da realidade de cada caso. Porém, resulta

impossível levar em consideração todos os fatores que atuam sobre esta variável, devido ao escasso volume de trabalhos que se tem nesta linha de pesquisa e à infinita gama de situações que se podem apresentar.

Para N e K, o sistema contempla um parcelamento da dose em três vezes no ano (Equações 59 e 61), com uma parcela inicial de 34 % e as outras duas de 33 %. O parcelamento permite que se aplique a dose anual em três vezes, diminuindo a quantidade de fertilizante aplicado cada vez, o que leva a um incremento da  $TR_{pl}$  para os referidos nutrientes. No caso específico do N, a  $TR_{pl}$  de cada parcela é corrigida por um coeficiente que varia segundo o fertilizante nitrogenado utilizado na correspondente parcela, o qual recebe o valor de 1 caso o fertilizante seja sulfato de amônio ou nitrato de amônio e 1,5 para ureia. A seguir, é calculada uma média ponderada com as  $TR_{pl}$  das três parcelas (para N previamente corrigidas pela fonte de fertilizante) para obter as  $TR_{pl}$  médias de N e K.

As  $TR_{pl}$  para P, S e Zn (Equações 60, 64 e 66) levam em consideração o efeito que a capacidade tampão do solo exerce sobre a absorção desses nutrientes pela planta (Bahia Filho, 1982; Muniz, 1983). Para isto, o sistema utiliza o P-rem como um estimador dessa característica do solo. No caso particular da equação 60, para P, esta foi calculada por Santos *et al.* (2008), com base no trabalho de Muniz (1983) em soja, sendo considerado aplicação de fonte solúvel de fosfato. Esta equação inicialmente era para aplicação de P a lanço, mas posteriormente foi ajustada para fertilização em sulco por meio de um fator de correção ( $FC = 4,2 - 0,04 P\text{-rem}$ ).

Para Ca e Mg, a fonte de nutriente é o calcário e, na grande maioria das vezes, a prática de calagem atende às exigências das plantas, quanto a esses nutrientes. Caso se tenha uma situação, em que mesmo com a calagem, as exigências da planta em Ca e, ou, Mg não sejam atendidas, pode-se aplicar as fontes desses nutrientes no sulco de plantio (Santos, 2002).

Na citricultura, as informações acerca de S são bastante limitadas, já que, tradicionalmente, o manejo da cultura no campo, com utilização de fertilizantes e insumos para tratamento fitossanitário contendo S, parece suprir a demanda da planta (Mattos Jr *et al.*, 2007). No entanto, é importante

ter conhecimento de sua  $TR_{pl}$ , uma vez que o balanço de nutrientes pode vir a indicar a necessidade de adubar com este nutriente.

Como acontece na grande maioria das culturas, os micronutrientes são os elementos menos estudados. A baixa mobilidade no floema limita a redistribuição da maioria dos micronutrientes na planta. Apesar disso, a aplicação de micronutrientes nas plantas cítricas tem sido usualmente feita por meio de pulverizações foliares (Quaggio *et al.*, 2003). O principal inconveniente desta forma de aplicação, que se tem observado, é que existe a necessidade de aplicar os micronutrientes a cada fluxo de vegetação nova, já que os nutrientes aplicados na vegetação anterior não se redistribuem para os tecidos novos (Labanauskas *et al.*, 1964; Embleton *et al.*, 1965). Porém, estudos como o de Peliser *et al.* (1993), sobre eficiência da aplicação de Zn em solos do Rio Grande do Sul, constataram que depois de três anos de aplicar altas doses de Zn no solo, não houve reflexo desse nutriente nas folhas em teores adequados. Por outro lado, conforme estudo feito por Machanda *et al.* (1972), com aplicações de Zn via foliar e via solo em laranjeiras, verificaram-se aumento no teor do elemento nas folhas das plantas em ambas aplicações, porém na aplicação foliar não houve redistribuição de Zn para as partes novas, enquanto que a aplicação no solo garantiu o suprimento do elemento para os novos fluxos de crescimento. Já Quaggio *et al.* (2003) concluíram que a adubação complementar com B no solo foi mais eficiente do que a aplicação via foliar para a laranjeira Pêra, enquanto que a aplicação via foliar de Zn na laranjeira Pêra é mais eficiente do que a aplicação no solo. Resumindo, a aplicação de micronutrientes via solo em citros ainda tem grandes controvérsias. Contudo, atualmente está consolidada a aplicação de B via solo como a melhor alternativa para este nutriente em laranja e está sendo pesquisada a aplicação dos outros micronutrientes por esta via.

Esta disjuntiva, enquanto à maneira de aplicar micronutrientes na cultura da laranja, leva a que o Ferticalc-Laranja contemple tanto a aplicação via solo, quanto foliar. Para tal fim, além das  $TR_{pl}$  para micronutrientes aplicados via solo (Quadro 23), o sistema possui  $TR_{pl}$  para micronutrientes aplicados via foliar (Quadro 24).

No que se refere a  $TR_{pl}$  de micronutrientes via solo, Boaretto *et al.* (2011), trabalhando com  $^{10}B$  a campo com laranja Valência sobre citrumelo Swingle, obtiveram uma  $TR_{pl\_B} = 21,1 \%$ . Hippler *et al.* (2012), em trabalho em casa de vegetação, com aplicação via solo de  $ZnSO_4$  e  $ZnO$  enriquecido com  $^{68}Zn$ , encontraram que a maior taxa de recuperação de Zn pela planta de 4,12 % foi obtida com  $ZnSO_4$  em solo franco arenoso. Porém, pelo fato de que o porta-enxerto utilizado foi tangerina Cleópatra, esta  $TR_{pl}$  pode estar sendo subestimada em relação a outros porta-enxertos, já que como foi observado por Zambrosi *et al.* (2012), as tangerinas Cleópatra e Sunki possuem sistema radicular menos vigoroso em comparação com limão cravo e citrumelo Swingle. Desta forma, optou-se neste estudo por utilizar a equação 60 de  $TR_{pl\_Zn}$  calculada por Freire (2001) para a cana de açúcar, que leva em consideração a dose e a capacidade tampão do solo, com valores que variam entre 5 e 10 %.

Para Fe, Cu e Mn aplicados via solo não existem trabalhos em laranjeira que mencionem valores de  $TR_{pl}$  o que faz com que tenham que ser adotados valores gerados em outros Fertilizantes. Cabe destacar, que a deficiência de Fe torna-se limitante à produção apenas em países onde se cultiva citros em solos desenvolvidos sob substrato calcário (Mattos Jr *et al.*, 2009). No Brasil a importância de Fe e Cu é destacada só para a produção de mudas em viveiros com o uso de substratos ou na formação de pomares recém plantados quando, neste último caso, o uso de fungicidas cúpricos é relativamente menor e as doses de N altas (Ferrarezi *et al.*, 2007; Mattos Jr *et al.*, 2005, 2010). Fora essas situações particulares, nas condições atuais de manejo, dificilmente manifestem-se deficiência de Cu e Fe em pomares comerciais.

Por outro lado, na aplicação foliar de micronutrientes o sistema contempla três fontes diferentes para Zn e Mn devido a que a  $TR_{pl}$  varia segundo a fonte utilizada (Quadro 24).

**Quadro 24.** Taxa de recuperação pela planta do nutriente aplicado via fertilizante foliar ( $TR_{pl}$ ), em percentagem, para micronutrientes

Nutriente	Fonte	$TR_{pl}$
B	Acido bórico	0,081 <sup>1/</sup>
	Zn-EDTA	0,026 <sup>2/</sup>
Zn	ZnSO <sub>4</sub>	0,04 <sup>2/</sup>
	ZnCl <sub>2</sub>	0,60 <sup>2/</sup>
Mn	Mn-EDTA	0,015 <sup>3/</sup>
	MnSO <sub>4</sub>	0,03 <sup>3/</sup>
	MnCl	0,17 <sup>3/</sup>

<sup>1/</sup> Boaretto *et al.* (2007a e 2011). <sup>2/</sup> Boaretto *et al.* (2002) e Sartori *et al.* (2008). <sup>3/</sup> Mohamed *et al.* 1994

Percebe-se que, tanto para Zn, quanto para Mn, as  $TR_{pl}$  são marcadamente superiores, quando o cloreto foi o ânion acompanhante, seguido pelo sulfato. Entretanto, quando se utiliza ZnCl<sub>2</sub> deve-se ter especial cuidado com a dose. Boaretto *et al.* (2002) alertaram que a dose de 0,7 g/L de ZnCl<sub>2</sub> causou pontos necrosados nas folhas, indicando toxicidade. Além disso, essa dose, aumentou o teor nas folhas até 200 mg/kg, o qual é o dobro do limite superior da faixa de teor foliar considerado adequado (25-100 mg/kg). Já Sartori *et al.* (2008) informaram que a dose 0,73 g/L de ZnCl<sub>2</sub> não causou sintomas de toxicidade visíveis, porém o teor foliar atingiu o valor de 177 mg/kg; e que a dose de 1,43 g/L de ZnCl<sub>2</sub> ocasionou toxicidade, com teor foliar de 527 mg/kg.

Experimentos feitos com <sup>54</sup>Mn, <sup>65</sup>Zn e <sup>10</sup>B em laranja (Wallihan & Heimann-Herschberg 1956; Delmas *et al.*, 1974; Boaretto *et al.*, 2000, 2002, 2007a, 2011; Konsaeng *et al.*, 2005) indicam que a translocação destes nutrientes das folhas aplicadas para os novos órgãos e o resto da planta, é praticamente insignificante. Isto leva a que as aplicações foliares de micronutrientes na cultura da laranja devam ser feitas a cada novo fluxo vegetativo. Assim, Quaggio *et al.* (2011) recomendam em pomares com idade inferior a quatro anos, a aplicação mensal, entre outubro e maio, de Zn, Mn, Cu e B nas folhas e, para pomares em produção, três ou quatro pulverizações foliares no período das chuvas, sempre que houver brotações novas na planta.

#### **4.4.1.3 Demanda total de nutrientes pela planta (conteúdo total)**

Para obter a demanda total de nutrientes pela planta o Ferticalc-Laranja considera por separado a demanda nutricional requerida para produzir o incremento anual de biomassa vegetativa e a necessária para atingir a produtividade esperada de frutos. Esta separação é simplesmente por questões de praticidade, já que na realidade a demanda requerida para alcançar a produtividade esperada em cada safra é uma só, que é a total.

A demanda para produzir o incremento anual de biomassa vegetativa é obtida seguindo a seguinte sequência:

- I. Calcula-se a produção de biomassa vegetativa para dois anos subsequentes, por exemplo seis e sete, mediante as equações apresentados no quadro 15, que estão em função da idade e densidade de plantio. Logo, seguindo o exemplo, se faz a diferença entre a biomassa produzida no ano 7 com a do ano 6. Desta maneira, obtém-se o incremento de biomassa vegetativa para o ano considerado (exemplificado para uma população de 400 plantas/ha no quadro 14).
- II. Após obter o incremento de biomassa vegetativa para o ano considerado, faz-se a partição desse valor, expressado em matéria seca, com base na partição indicada para o correspondente ano (Quadro 16).
- III. Com a biomassa vegetativa de cada órgão da planta e seu respectivo teor, obtém-se o conteúdo ou demanda de nutrientes de cada parte vegetativa da planta. Os teores de N, P e K de cada órgão são estimados mediante as equações 45 a 56, enquanto que os de Ca, Mg, S e micronutrientes são valores médios detalhados no quadro 17.
- IV. Por último, se faz o somatório das demandas de todos os órgãos para obter a demanda nutricional necessária para produzir a biomassa vegetativa do correspondente ano.

Por outro lado, o sistema calcula a demanda necessária para atingir a produtividade esperada de frutos, definida previamente pelo usuário para a correspondente safra. Este cálculo é feito, para cada nutriente, por meio do

quociente entre a MMSF da produtividade esperada escolhida (Equação 57) e o CUBF de cada nutriente (Quadro 21).

Para os primeiros dois anos, após a implantação do pomar, a demanda total se restringe à demanda de nutrientes para produzir o incremento anual de biomassa vegetativa, por considerar que a cultura ainda não está produzindo frutos. A partir do terceiro ano, a demanda total é o resultado do somatório da demanda para incremento anual de biomassa vegetativa mais a demanda para atingir a produtividade esperada (Equação 67).

$$DT\_Nut = D\Delta BV\_Nut + DPF\_Nut \quad (\text{Eq. 67})$$

Em que,

DT\_Nut = demanda total do nutriente, em kg/ha e g/ha para macro e micronutrientes respectivamente.

D $\Delta$ BV\_Nut = demanda do nutriente para incremento anual de biomassa vegetativa, em kg/ha e g/ha para macro e micronutrientes, respectivamente.

DPF\_Nut = demanda do nutriente para atingir a produtividade esperada de frutos, em kg/ha e g/ha para macro e micronutrientes, respectivamente.

#### **4.4.1.4 Requerimento total de nutrientes pela planta e requerimento de sustentabilidade**

Para chegar ao requerimento de cada nutriente pela planta, há necessidade de se considerar a taxa de recuperação pela planta do nutriente aplicado ao solo como fertilizante ( $TR_{pl}$ ), pois a planta não absorve 100 % do nutriente aplicado, devido a fatores como perdas e competição da planta com o solo (Santos *et al.*, 2008).

Assim, fazendo o quociente entre a demanda total da planta para determinado nutriente e a taxa de recuperação pela planta para o respectivo nutriente obtém-se o requerimento total de cada nutriente (Equação 68).

$$RT\_Nut = DT\_Nut / TR_{pl\_Nut} \quad (\text{Eq. 68})$$

Em que,

RT\_Nut = requerimento total do nutriente, em kg/ha e g/ha para macro e micronutrientes respectivamente.

DT\_Nut = demanda total do nutriente, em kg/ha e g/ha para macro e micronutrientes respectivamente.

TR<sub>pl</sub>\_Nut = taxa de recuperação pela planta do nutriente aplicado.

No caso específico do P e K, o sistema tem a opção de acrescentar ao requerimento total do nutriente, uma dose extra que recebe o nome de requerimento de sustentabilidade (RSust\_Nut). Por exemplo, para K, faz-se o quociente entre a demanda de K para atingir a produtividade esperada de frutos (K exportado pelos frutos) e a taxa de recuperação pela planta para K (Equação 69).

$$RSust\_K = CF\_K / TR_{pl\_K} \quad (\text{Eq. 69})$$

Em que,

RSust\_K = requerimento de sustentabilidade de K, em kg/ha

CF\_K = conteúdo de K nos frutos, em kg/ha

TR<sub>pl</sub>\_K = taxa de recuperação pela planta para K.

A dose de sustentabilidade tem como intuito evitar o esgotamento das reservas dos nutrientes no solo ao longo do tempo e garantir uma produtividade mínima em cultivos subsequentes (Cantarutti *et al.*, 2007; Silva *et al.*, 2009). Além disso, o conceito de sustentabilidade contribui para a construção da fertilidade do solo.

Cabe destacar um fato que poucas vezes é levado em consideração, e é que quando se aplica um nutriente na forma de fertilizante, uma parte não é absorvida pela planta. Dessa fração que a planta não absorve, uma parte pode ser perdida, mas, o restante fica no solo e contribui para a

construção da fertilidade do solo. Em outras palavras, indiretamente, uma fração do nutriente aplicado que não foi absorvido pela planta, na safra do ano, acaba contribuindo para a “sustentabilidade nutricional” do sistema.

Continuando com o exemplo, tem-se que o requerimento total de K se obtém pela equação 70.

$$RT\_K = RPI\_K + RSust\_K \quad (\text{Eq. 70})$$

Em que,

RT\_K = requerimento total de K, em kg/ha

RPI\_K = requerimento de K pela planta sem o fator sustentabilidade, em kg/ha

RSust\_K = requerimento de sustentabilidade de K, em kg/ha.

Os motivos que levaram a não considerar o requerimento de sustentabilidade para os outros nutrientes variam de acordo com cada um deles, mas todos se baseiam no fato de que as perdas do nutriente suprido a mais para uma próxima safra não justificam que seja levado em consideração no âmbito do requerimento de sustentabilidade. O N que possa ser aplicado a mais, como dose de sustentabilidade, dificilmente chegue a ser aproveitado pela cultura no momento de maior demanda do ano seguinte, dado que sob condições tropicais, a adubação nitrogenada apresenta baixa eficiência, pois o  $\text{NO}_3^-$  é facilmente lixiviável dos horizontes superficiais por ser mais eletronegativos e, quando se utiliza ureia em superfície, as perdas por volatilização de  $\text{NH}_3$  em pomares podem variar de 15 a 45 % do N aplicado (Cantarella *et al.*, 2003; Mattos Jr *et al.*, 2003b, 2007).

Para Ca e Mg, não se considera o requerimento de sustentabilidade uma vez que estes nutrientes são fornecidos na prática da calagem. Já para o S, o fato de desconsiderar o requerimento de sustentabilidade deve-se a que, a utilização de fertilizantes nitrogenados, fosfatados e micronutrientes

que contem S, além de insumos para tratamento fitossanitário contendo esse nutriente, parece suprir a demanda da planta (Mattos Jr *et al.*, 2007).

Quanto aos micronutrientes, a exigência da planta é pequena, além destes apresentarem uma faixa estreita entre deficiência e toxidez na planta. No solo podem estar associados de diferentes formas, sendo que algumas como a adsorção específica aos óxidos e a formação de complexos com a matéria orgânica do solo reduzem significativamente a atividade dos íons (Abreu *et al.*, 2007).

#### 4.4.2 Subsistema Suprimento

Com base na informação disponível na literatura foi possível modelar o suprimento de nutrientes com um ou mais de um componente, segundo o nutriente. Assim, o suprimento de N leva em consideração o suprimento de N dos resíduos vegetais e o suprimento de N pela mineralização da matéria orgânica do solo (Equação 71).

$$\text{Sup}_N = N_{\text{res.veg.}} + N_{\text{MOS}} \quad (\text{Eq. 71})$$

Em que,

$\text{Sup}_N$  = suprimento total de N, em kg/ha

$N_{\text{res.veg.}}$  = N suprido pelos resíduos vegetais, em kg/ha

$N_{\text{MOS}}$  = N suprido pela matéria orgânica do solo, em kg/ha.

Para os demais macronutrientes, à exceção do S, o suprimento total é calculado pelo somatório do suprimento do nutriente pelo solo e pelos resíduos vegetais (Equação 72), enquanto que para S e os micronutrientes considera-se somente o suprimento do nutriente pelo solo.

$$\text{Sup}_{\text{Nut}} = \text{Nut}_{\text{solo}} + \text{Nut}_{\text{res.veg.}} \quad (\text{Eq. 72})$$

Em que,

Sup\_Nut = suprimento total do nutriente (exceto N), em kg/ha e g/ha para macro e micronutrientes respectivamente. Para micronutrientes desconsiderar Nut<sub>res.veg.</sub>

Nut<sub>solo</sub> = nutriente suprido pelo solo, em kg/ha e g/ha para macro e micronutrientes respectivamente.

Nut<sub>res.veg.</sub> = macronutriente suprido pelos resíduos vegetais, em kg/ha.

Vale ressaltar, que se for efetuada calagem, após a análise de solo, deve-se acrescentar ao suprimento pelo solo e resíduos vegetais o importante suprimento de Ca e Mg feito por esta prática. Para determinar o suprimento destes pela calagem, utiliza-se a equação 73.

$$\text{Nut}_{\text{calagem}} = \text{QC} (\text{T}_{\text{Nut}} / 100) \text{FC} \cdot 1\ 000 \quad (\text{Eq. 73})$$

Em que,

Nut<sub>calagem</sub> = quantidade de Ca ou Mg suprida pela calagem, em kg/ha

QC = quantidade de calcário a ser aplicado, em t/ha

T<sub>Nut</sub> = teor de CaO ou de MgO no calcário, em %

FC = fator de conversão da forma de óxido para forma elementar, sendo igual a 0,7147 e 0,6030 para Ca e Mg, respectivamente

1 000 = fator de conversão de t/ha para kg/ha.

Caso a calagem tenha sido feita com anterioridade à análise de solo, não se considera o suprimento de nutrientes por esta prática, tendo em vista que os teores já estarão sendo contabilizados no resultado da análise.

Quando se aplica gesso, além do aporte de Ca que pode ser calculado com a equação 73, estima-se o suprimento de S utilizando a mesma equação, somente desconsiderando o FC.

#### **4.4.2.1 Nutriente suprido pelo solo (Nut<sub>solo</sub>)**

Para calcular o nutriente suprido pelo solo (Nut<sub>solo</sub>), o sistema leva em consideração a profundidade efetiva do sistema radicular (PER). Para laranjeira, consideramos que a PER é de 40 cm, dado que na maioria dos

trabalhos que foram estudadas, as raízes mostram que a maior quantidade destas se encontra até essa profundidade (Montenegro, 1960; Moreira, 1983; Gusmão, 1984; Mattos Jr *et al.*, 2003b; Morgan *et al.*, 2007).

Outro aspecto importante para estimar o nutriente suprido pelo solo é a taxa de recuperação do nutriente aplicado ao solo, ou mesmo do solo, pelos extratores geralmente utilizados nas análises de laboratório ( $TR_{ext}$ ). Estas taxas são apresentadas no quadro 25 para macronutrientes e, no quadro 26, para micronutrientes.

**Quadro 25.** Taxa de recuperação pelos extratores dos macronutrientes aplicados ( $TR_{ext}$ )

Nutriente	Extrator	Equação	R <sup>2</sup>
P	Mehlich-1	$TR_{ext} = 0,0672821 + 0,0121615^{**} P\text{-rem}$	0,681 (Eq. 74)
	Resina	$TR_{ext} = 0,419^{***} P\text{-rem}^{0,128099}$	0,694 (Eq. 75)
K	Mehlich-1	$TR_{ext} = 0,6555 + 0,0068^{**} P\text{-rem}$ $\forall 1 \leq P\text{-rem} \leq 30$	0,744 (Eq. 76)
	Mehlich-3	$TR_{ext} = 0,9863 - 0,00364^{***} Arg$	0,763 (Eq. 77)
	Resina	$TR_{ext} = 0,6619 + 0,014355^{*} P\text{-rem} - 0,000293^{o} P\text{-rem}^2$ $\forall 1 \leq P\text{-rem} \leq 30$	0,754 (Eq. 78)
Ca	KCl 1 mol/L	$TR_{ext} = 0,766102$	
Mg	KCl 1 mol/L	$TR_{ext} = 0,798972$	
S	$Ca(H_2PO_4)_2$ em HOAc	$TR_{ext} = 0,04 + 0,0057^{**} P\text{-rem}$	0,955 (Eq. 79)

A unidade da  $TR_{ext}$  é  $mg/dm^3 / mg/dm^3$ . Arg. = teor de argila, em %. P-rem = teor de P da solução de equilíbrio, determinado após a agitação por uma hora de TFSA com  $CaCl_2$  10 mmol/L, contendo 60 mg/L de P, na relação solo:solução 1:10 (Alvarez V. *et al.*, 2000).

<sup>o</sup>, <sup>\*</sup>, <sup>\*\*</sup> e <sup>\*\*\*</sup> Significativo a 10, 5, 1 e 0,1 %, respectivamente.

Fonte: Possamai (2003) e Santos *et al.* (2008).

Como se pode observar nos quadros 25 e 26, o sistema considera a influência da capacidade tampão do solo sobre a disponibilidade de P, K, S e Zn, fazendo uso de estimadores desta característica do solo como o P-rem ou teor de argila. Para os demais, optou-se por considerar valores fixos de taxas de recuperação pelo extrator, por serem estes pouco influenciados pela capacidade tampão do solo, além de terem sido consolidados em versões anteriores do Ferticalc. Seria aconselhável realizar pesquisas para verificar a influencia da dose aplicada e de características do solo como pH na  $TR_{ext}$ .

Outro aspecto que deveria ser levado em consideração é o tempo de contato do fertilizante fosfatado com o solo. Com base nos dados de Gonçalves (1988), que trabalhou com a cinética de transformação de P-lábil em não-lábil em amostras de solos de Cerrado, foi possível modelar o efeito do tempo na  $TR_{ext}$  para P. Considerando que o fertilizante fosfatado foi aplicado como fonte solúvel e que os extratores utilizados foram Mehlich-1 (M-1) e Resina de Troca Anionica (RTA), observou-se para ambos extratores que a  $TR_{ext}$  para P decresceu de modo curvilíneo com o tempo, conforme o Modelo de Bleasdale (Equação 80).

$$TR_{ext\_P} = (a + b \cdot t)^{-1/c} \quad (\text{Eq. 80})$$

Em que,

$TR_{ext\_P}$  = taxa de recuperação pelo extrator químico (M-1 e RTA) para P, em  $\text{mg/dm}^3/\text{mg/dm}^3$

t = tempo, em dias

a, b e c = parâmetros empíricos do modelo.

A título de exemplo, para RTA, no solo com menor P-rem (7,1 mg/L), transcorridos 300 d de incubação, a  $TR_{ext}$  para P decresceu 78,1 %. Já, no solo com maior P-rem (20,6 mg/L), dentre os solos testados, observou-se para o extrator RTA, um decréscimo de 55,6 % no mesmo intervalo de tempo de incubação. Nessa mesma linha, para P extraído por M-1, as reduções nas  $TR_{ext}$ , após incubação por 300 d, foram de 79,5 % e 60,5 % para o solos de menor e maior P-rem, respectivamente. Assim, foi constatado que o decréscimo na  $TR_{ext}$  para P em função do tempo de incubação existe. Cabe destacar, que o trabalho de Gonçalves (1988) foi conduzido em condições controladas em casa de vegetação. Acredita-se que em condições de campo o decréscimo também existirá, porém, em menor magnitude. Desta maneira, sugere-se que no desenvolvimento de sistemas de balanço futuros, este ponto seja considerado na modelagem, visando maior acurácia na estimativa do suprimento do nutriente pelo solo.



**Quadro 26.** Taxas de recuperação pelos extratores dos micronutrientes aplicados ( $TR_{ext}$ )

Nutriente	Extrator	Equação	$R^2$
B	Água quente	$TR_{ext} = 0,7081$	
Cu	Mehlich-1	$TR_{ext} = 0,3863$	
	Mehlich-3	$TR_{ext} = 0,3463$	
	DTPA	$TR_{ext} = 0,3119$	
Fe	Mehlich-1	$TR_{ext} = 0,3508$	
	Mehlich-3	$TR_{ext} = 0,2174$	
	DTPA	$TR_{ext} = 0,0956$	
Mn	Mehlich-1	$TR_{ext} = 0,8441$	
	Mehlich-3	$TR_{ext} = 0,6781$	
	DTPA	$TR_{ext} = 0,6641$	
Zn	Mehlich-1	$TR_{ext} = 0,36025 - 0,00234^{ns} P\text{-rem} + 0,0001198^{**} P\text{-rem}^2$	0,932 (Eq. 81)
	DTPA	$TR_{ext} = 0,48 - 0,004^{**} Arg$	0,31 (Eq. 82)

A unidade da  $TR_{ext}$  é  $mg/dm^3 / mg/dm^3$ . Arg. = teor de argila, em %. P-rem = teor de P da solução de equilíbrio, determinado após a agitação por uma hora de TFSA com  $CaCl_2$  10 mmol/L, contendo 60 mg/L de P, na relação solo:solução 1:10 (Alvarez V. *et al.*, 2000).

<sup>ns</sup>, <sup>\*\*</sup> Não significativo e significativo a 1 %, respectivamente.

Fonte: Santos *et al.* (2008) e <sup>2</sup>Rampoldi (dados não publicados).

No Ferticalc-Laranja estão consideradas  $TR_{ext}$  por diversos extratores, com o intuito de que possam ser utilizadas análises de solo de laboratórios que usem diferentes métodos de extração, sem que isto seja uma limitante para o sistema. Para Ca e Mg extraídos por resina, devido a falta do valor de  $TR_{ext}$  para esses casos, utiliza-se nesta primeira versão do Ferticalc-Laranja a mesma  $TR_{ext}$  estimada para KCl, devido a que, tanto a resina, quanto o KCl extraem Ca e Mg trocáveis.

Partindo do teor do nutriente para uma dada profundidade, é possível calcular a quantidade de nutriente suprido por essa camada de solo, ao afetar o teor pela taxa de recuperação do nutriente pelo extrator utilizado na análise ( $TR_{ext}$ ). Cabe destacar, que o sistema considera unicamente a fração do nutriente acima do nível crítico de manutenção (NCM), ou seja, se o teor do nutriente é menor que o NCM, não é considerado o suprimento pelo solo para esse nutriente.

<sup>2</sup> Dr. Edgar Ariel Rampoldi. Estación Experimental Agropecuaria Manfredi – Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria – Córdoba, Argentina.

Por outro lado, para o cálculo do suprimento de nutrientes pelo solo, não se considera todo o volume de solo nas camadas de 0-20 e 20-40 cm que se tem por hectare, senão unicamente aquele que efetivamente é explorado pelas raízes. Para poder estimar isto, considera-se que as raízes exploram o solo que está abaixo da área limitada pela projeção da copa. Com o intuito de estimar o volume de solo efetivamente ocupado pelas raízes, e por tanto que contribui como suprimento solo, considera-se que a copa de plantas implantadas, com 7 m na entrelinha, atingem 4 m de diâmetro, aproximadamente, ao décimo ano. Desta maneira, a superfície coberta pela copa (SCC) corresponde a aproximadamente 60 % do hectare, quando o pomar está no décimo ano, após implantado. Isso leva a considerar esta variável para obter o verdadeiro suprimento pelo solo ( $Nut_{solo}$ ), de acordo com volume de solo que está sendo explorado pelo sistema radicular da cultura. A SCC varia com a idade da planta, incrementando na medida em que a planta cresce (Equação 83).

$$SCC = 60 \cdot FTF \quad (\text{Eq. 83})$$

Em que,

SCC = superfície coberta pela copa, em %

60 = percentagem do hectare coberto por um pomar de 10 anos, com um diâmetro médio de copa de 4 m e 7 m de distancia entrelinhas.

FTF = fração do tamanho final atingido pela planta de laranja aos 10 anos.

Para poder contemplar o crescimento na SCC com o passar dos anos, esta variável contem um termo fracionário, que varia entre 0 e 1, segundo a idade da planta, o qual é calculado como se indica no quadro 27 .

**Quadro 27.** Fração do tamanho final (FTF) atingido pela planta de laranja aos 10 anos após implantação

Intervalo de tempo (anos)	FTF <sup>1/</sup>
0-1	0,012
1-2	0,044
2-3	0,126
3-4	0,311
4-5	0,389
5-6	0,481
6-7	0,589
7-8	0,713
8-9	0,851
9-10	1,000

<sup>1/</sup> Calculado com base nas equações 15 e 16 do modelo descontínuo utilizado para estimar a produção de biomassa vegetativa em função da idade.

Se o usuário preferir calcular a SCC correspondente a seu pomar, fazendo uso da equação 84, facilmente poderá obter este valor.

$$SCC = DMC (100/DEL) \quad (\text{Eq. 84})$$

Em que,

SCC = superfície coberta pela copa, em %.

DMC = diâmetro médio de copa do pomar

DEL = distância entre linha.

Como, normalmente, a amostragem de solo, para laranjeira é feita de 0 – 20 cm e de 20 – 40 cm, na análise obtém-se os teores referentes a cada profundidade. Isto leva a que seja estimado o nutriente suprido pelo solo na camada de 0 – 20 cm e 20 – 40 cm por separado (Equações 85 e 86), considerando que as camadas têm diferentes teores, posteriormente o sistema soma os dois para obter o nutriente total suprido pelo solo até a PER (Equações 87).

$$Nut_{\text{solo } 0-20} = (\text{Teor\_Nut } 0-20 / TR_{\text{ext}}) (PER / 2) (SCC/100) \quad (\text{Eq. 85})$$

$$Nut_{\text{solo } 20-40} = (\text{Teor\_Nut } 20-40 / TR_{\text{ext}}) (PER / 2) (SCC/100) \quad (\text{Eq. 86})$$

$$\text{Nut}_{\text{solo}} = \text{Nut}_{\text{solo } 0 - 20} + \text{Nut}_{\text{solo } 20 - 40} \quad (\text{Eq. 87})$$

Em que,

$\text{Nut}_{\text{solo}}$  = nutriente total suprido pelo solo até a PER, em kg/ha e g/ha para macro e micronutrientes respectivamente

$\text{Nut}_{\text{solo } 0 - 20}$  = nutriente suprido pela camada de 0 – 20 cm, em kg/ha e g/ha para macro e micronutrientes respectivamente

$\text{Nut}_{\text{solo } 20 - 40}$  = nutriente suprido pela camada de 20 – 40 cm, em kg/ha e g/ha para macro e micronutrientes respectivamente

$\text{Teor}_{\text{Nut } 0 - 20}$  = teor do nutriente, acima do NCM, na camada 0 – 20 cm, em  $\text{mg}/\text{dm}^3$

$\text{Teor}_{\text{Nut } 20 - 40}$  = teor do nutriente, acima do NCM, na camada 20 – 40 cm, em  $\text{mg}/\text{dm}^3$

$\text{TR}_{\text{ext}}$  = taxa de recuperação pelo extrator do nutriente aplicado, em  $\text{mg}/\text{dm}^3/\text{mg}/\text{dm}^3$

PER = profundidade efetiva do sistema radicular da laranjeira, em dm

SCC = superfície coberta pela copa, em %.

#### 4.4.2.2 Nutriente suprido pelos resíduos vegetais ( $\text{Nut}_{\text{res.veg.}}$ )

A laranjeira é uma planta perene que anualmente descarta flores, frutos, órgãos lenhosos e folhas, além do material de poda que normalmente é deixado no campo. Segundo Smith (1966), uma árvore adulta pode ter entre 50 000 - 100 000 folhas e produzir desde 10 000 até 100 000 flores cada primavera, sendo que após os primeiros meses só 1 000, aproximadamente, chegam à fase de frutos maduros. O mesmo autor cita que as folhas têm uma persistência na árvore dentre um e três anos e que a queda de folhas pode ocorrer a qualquer momento diante de condições adversas, mas que normalmente é cíclica e mais intensa nas primeiras semanas após o advento de uma brotação. Além disso, deve-se considerar que as árvores de citros têm uma ampla distribuição de raízes fibrosas que são substituídas a cada dois anos, geralmente poucos meses depois da brotação de raízes (Feng *et al.*, 1990).

Devido a pouca informação disponível na literatura para a cultura da laranja, no que se refere a nutrientes supridos pelos resíduos vegetais (Nut<sub>res.veg.</sub>), considerou-se unicamente N, P, K, Ca e Mg. Acredita-se que seja interessante estimular futuras pesquisas para gerar conhecimento referido à deposição anual de resíduos vegetais, dada a importância que estes têm na ciclagem biogeoquímica de nutrientes para a cultura.

Para calcular o aporte dos outros macronutrientes pelos resíduos vegetais, o Ferticalc-Laranja tem como base que a quantidade de *litter*<sup>3</sup> depositada por um pomar de sete anos de idade, em Fuzhou – China, que foi de 1682 kg/ha, do qual aproximadamente 60 % corresponde a folhas (Wu *et al.*, 2010), e o 40 % restante o sistema assume que corresponde a ramos. Cabe destacar, que esta última é uma simplificação pela qual se optou nesta primeira versão do Ferticalc-Laranja pelo fato de que resulta difícil saber, com a informação disponível, que proporção do 40 % restante corresponde a flores e frutos caídos prematuramente. Até o presente esta é a única medição deste tipo que tem sido encontrada na literatura para esta cultura. Assim, nesta primeira versão do sistema, estima-se uma queda anual de *litter* equivalente a 0, 50 e 80 % do valor encontrado por Wu *et al.* (2010) para o primeiro, segundo e terceiro ano, após a implantação da cultura respectivamente, e, a partir do quarto ano em diante, considera-se um volume de queda anual de *litter* de 1 682 kg/ha. Conforme os mesmos autores, 21,5 % é a quantidade de massa remanescente do *litter* após um ano, o que indica que a taxa de decomposição anual (k) equivale a 0,785 (1 - 0,215). Em trabalho feito sobre controle de pinta preta em laranja “Pera” orgânica com agentes de biocontrole e produtos alternativos (*Bacillus subtilis*, *Trichoderma harzianum*, leite e biofertilizante), Bernardo & Bettiol (2010) encontraram valores de massa remanescente, aos 180 d, variando entre 10 e 16 % e com tendência à estabilização. No presente trabalho adotou-se o valor encontrado por Wu *et al.* (2010) pelo fato de não ter a carga microbiana além da normal que certamente tinham as folhas em decomposição do trabalho de Bernardo & Bettiol (2010).

---

<sup>3</sup> No texto do presente trabalho, consideram-se para fins práticos as palavras *litter* e resíduos vegetais como sinônimos.

Com o valor da constante k e a deposição anual de *litter* calcula-se o volume acumulado anualmente (Quadro 28). Para o segundo ano este se obtém multiplicando-se a deposição do ano pela constante k, e para os anos subsequentes é calculado somando o valor acumulado no ano anterior mais a deposição do ano e logo afetando esse resultado pela constante k.

**Quadro 28.** Deposição e acumulação anual de *litter* na cultura da laranja, em kg/ha

Idade	Deposição anual de <i>litter</i>	<i>Litter</i> acumulado por ano
Ano	-----kg/ha-----	-----kg/ha-----
0	-	-
1	841	-
2	1345,6	180,81
3	1682	328,18
4	1682	432,19
5	1682	454,55
6	1682	459,36
≥ 7	1682	460,39

Fonte: adaptado de Wu *et al.* (2010).

No quadro 28, percebe-se que a partir do sexto ano o volume de *litter* acumulado por ano estabiliza-se em 460 kg/ha.

Tendo o valor de deposição anual de resíduos vegetais e sua partição em folhas caídas e ramos, o passo seguinte é conhecer a quantidade de N, P, K, Ca e Mg liberados anualmente, a partir destes resíduos vegetais (Quadro 29). Comparando os teores nas folhas caídas de laranja “Tarocco” (em Sicília – Itália) encontrados por Rocuzzo *et al.* (2012) com os teores considerados ótimos para folhas de laranja na Itália (Intrigliolo *et al.*, 1998), os primeiros guardam uma relação de 64, 71, 22, 180 e 83 % para N, P, K, Ca e Mg respectivamente, quando confrontados com os ótimos. O fato de que o Ca se concentre nas folhas caídas e que o K tenha um teor marcadamente menor que o de uma folha com teor ótimo evidencia claramente a variabilidade na ciclagem interna dos nutrientes (ciclagem bioquímica). Fazendo uma escala de ciclagem interna destes nutrientes de maior a menor teríamos  $K > N > P > Mg > Ca$ . Assim, multiplicando as relações percentuais citadas anteriormente para N, P, K, Ca e Mg com os

teores de folhas obteve-se os teores de folhas caídas, que junto com os teores dos ramos e o volume de *litter* depositado anualmente permitem chegar aos valores de nutriente depositado no *litter* por ano (Equação 88 e Quadro 29). Cabe ressaltar, que os teores foliares de N, P e K foram calculados com as equações 45, 49 e 53 respectivamente e, os de Ca e Mg foram obtidos do quadro 17. Em todos os casos os teores de ramos utilizados corresponderam aos encontrados por Roccuzzo *et al.* (2012) em ramos ladrões podados.

$$\text{NDL} = \text{VLD} \cdot 0,6 (\text{TFC}/1000) + \text{VLD} \cdot 0,4 (\text{TR}/1000) \quad (\text{Eq. 88})$$

Em que,

NDL = nutriente depositado no *litter*, em kg/ha/ano

VLD = volume de *litter* depositado, em kg/ha/ano

0,6 = coeficiente utilizado porque 60 % do *litter* corresponde a folhas caídas

TFC = teor do nutriente nas folhas caídas, em g/kg

0,4 = coeficiente utilizado porque 40 % do *litter* corresponde a ramos

TR = teor do nutriente nos ramos, em g/kg

1 000 = valor utilizado para passar de g/ha/ano a kg/ha/ano.

**Quadro 29.** Quantidade de N, P, K, Ca e Mg depositado no *litter*, acumulado e liberado (Nut<sub>res.veg.</sub>) anualmente pela cultura da laranja

Idade	N			P			K			Ca			Mg		
	Dep. no <i>litter</i>	Acum.	Lib.	Dep. no <i>litter</i>	Acum.	Lib.	Dep. no <i>litter</i>	Acum.	Lib.	Dep. no <i>litter</i>	Acum.	Lib.	Dep. no <i>litter</i>	Acum.	Lib.
Ano	-----kg/ha/ano-----														
0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1			-			-			-			-			-
2	14,83	3,19	<b>11,64</b>	1,16	0,25	<b>0,91</b>	3,56	0	<b>3,56</b>	42,25	19,01	<b>23,24</b>	2,05	0,44	<b>1,61</b>
3	22,24	5,47	<b>19,96</b>	1,62	0,40	<b>1,46</b>	5,67	0	<b>5,67</b>	67,60	38,98	<b>47,64</b>	3,29	0,80	<b>2,93</b>
4	26,71	6,92	<b>25,26</b>	1,87	0,49	<b>1,78</b>	7,04	0	<b>7,04</b>	84,50	55,57	<b>67,91</b>	4,11	1,06	<b>3,86</b>
5	25,94	7,06	<b>25,79</b>	1,78	0,49	<b>1,78</b>	7,01	0	<b>7,01</b>	84,50	63,03	<b>77,04</b>	4,11	1,11	<b>4,06</b>
6	25,34	6,97	<b>25,44</b>	1,71	0,47	<b>1,72</b>	6,97	0	<b>6,97</b>	84,50	66,39	<b>81,14</b>	4,11	1,12	<b>4,10</b>
7	24,85	6,84	<b>24,98</b>	1,66	0,46	<b>1,67</b>	6,93	0	<b>6,93</b>	84,50	67,90	<b>82,99</b>	4,11	1,12	<b>4,11</b>
8	24,44	6,73	<b>24,56</b>	1,62	0,45	<b>1,63</b>	6,90	0	<b>6,90</b>	84,50	68,58	<b>83,82</b>	4,11	1,13	<b>4,11</b>
9	24,08	6,62	<b>24,19</b>	1,58	0,44	<b>1,59</b>	6,86	0	<b>6,86</b>	84,50	68,89	<b>84,20</b>	4,11	1,13	<b>4,11</b>
10	23,77	6,53	<b>23,86</b>	1,55	0,43	<b>1,56</b>	6,82	0	<b>6,82</b>	84,50	69,03	<b>84,37</b>	4,11	1,13	<b>4,11</b>
11	23,49	6,45	<b>23,57</b>	1,52	0,42	<b>1,53</b>	6,79	0	<b>6,79</b>	84,50	69,09	<b>84,44</b>	4,11	1,13	<b>4,11</b>
	23,23			1,50			6,76			84,50			4,11		

Continua...

Quadro 29. Cont.

Idade	N			P			K			Ca			Mg		
	Dep. no litter	Acum.	Lib.	Dep. no litter	Acum.	Lib.	Dep. no litter	Acum.	Lib.	Dep. no litter	Acum.	Lib.	Dep. no litter	Acum.	Lib.
Ano	-----kg/ha/ano-----														
12		6,38	<b>23,30</b>		0,41	<b>1,51</b>		0	<b>6,76</b>		69,12	<b>84,48</b>		1,13	<b>4,11</b>
	23,00			1,48			6,72			84,50			4,11		
13		6,32	<b>23,06</b>		0,41	<b>1,49</b>		0	<b>6,72</b>		69,13	<b>84,49</b>		1,13	<b>4,11</b>
	22,78			1,46			6,69			84,50			4,11		
14		6,26	<b>22,84</b>		0,40	<b>1,47</b>		0	<b>6,69</b>		69,13	<b>84,50</b>		1,13	<b>4,11</b>
	22,58			1,45			6,66			84,50			4,11		
15		6,20	<b>22,64</b>		0,40	<b>1,45</b>		0	<b>6,66</b>		69,14	<b>84,50</b>		1,13	<b>4,11</b>
	22,40			1,43			6,62			84,50			4,11		
16		6,15	<b>22,45</b>		0,39	<b>1,44</b>		0	<b>6,62</b>		69,14	<b>84,50</b>		1,13	<b>4,11</b>
	22,23			1,42			6,59			84,50			4,11		
17		6,10	<b>22,27</b>		0,39	<b>1,42</b>		0	<b>6,59</b>		69,14	<b>84,50</b>		1,13	<b>4,11</b>
	22,06			1,41			6,56			84,50			4,11		
18		6,06	<b>22,11</b>		0,39	<b>1,41</b>		0	<b>6,56</b>		69,14	<b>84,50</b>		1,13	<b>4,11</b>
	21,91			1,40			6,53			84,50			4,11		
19		6,01	<b>21,95</b>		0,38	<b>1,40</b>		0	<b>6,53</b>		69,14	<b>84,50</b>		1,13	<b>4,11</b>
	21,77			1,38			6,50			84,50			4,11		
20		5,97	<b>21,81</b>		0,38	<b>1,39</b>		0	<b>6,50</b>		69,14	<b>84,50</b>		1,13	<b>4,11</b>
	21,63			1,37			6,47			84,50			4,11		
21		5,93	<b>21,67</b>		0,38	<b>1,38</b>		0	<b>6,47</b>		69,14	<b>84,50</b>		1,13	<b>4,11</b>
	21,50			1,37			6,44			84,50			4,11		
22		5,90	<b>21,53</b>		0,37	<b>1,37</b>		0	<b>6,44</b>		69,14	<b>84,50</b>		1,13	<b>4,11</b>
	21,37			1,36			6,41			84,50			4,11		
23		5,86	<b>21,41</b>		0,37	<b>1,36</b>		0	<b>6,41</b>		69,14	<b>84,50</b>		1,13	<b>4,11</b>

Considera-se que a idade 0 anos corresponde ao momento que a cultura é implantada no campo.

Fonte: Cameron & Appleman, 1935; Cameron & Copton, 1945; Nadir, 1973; Mohamed, 1993; Alva *et al.*, 2003; Mattos Jr. *et al.*, 2003a; Menino, 2005; Morgan *et al.*, 2006; Boaretto *et al.*, 2007b; Boaretto R. M., dados não publicados; Rocuzzo *et al.*, 2012.

Para calcular a quantidade de nutriente liberado anualmente pelo *litter* ( $Nut_{res.veg.}$ ) e a que se acumula por não ter sido liberado no ano (NNLib), é necessário conhecer as taxas de liberação de cada nutriente a partir dos resíduos vegetais ( $k_{Nut}$ ). Em trabalhos conduzidos com eucalipto, no Brasil, e com maçã e pêsego, na Itália, observou-se que estas taxas ( $k_{Nut}$ ) não necessariamente têm o mesmo valor que a constante  $k$  (Neves, 2000; Tagliavini *et al.*, 2007; Ventura *et al.*, 2010). Devido à falta de informação sobre taxa de liberação dos nutrientes dos resíduos vegetais da laranjeira, optou-se por estimar estes valores em relação ao valor conhecido de constante  $k$  desta cultura. Isto foi feito considerando as relações entre a constante  $k$  e as taxas de liberação dos nutrientes ( $k_{Nut}$ ) em plantios de eucalipto no Espírito Santo (Neves, 2000). Desta maneira, a constante de liberação do N, P e Mg é aproximadamente igual a constante  $k$ , enquanto que para o Ca a constante  $k_{Ca}$  é da ordem de 0,7 vez o valor de  $k$  e, no outro extremo, a  $k_K$  equivale a 2,3 vezes o valor de  $k$ . Estas diferenças entre os valores de  $k_{Nut}$  fazem com que nutrientes como N, P, Mg e Ca sejam liberados dos resíduos vegetais em um período superior a um ano, enquanto o K é liberado em menos de um ano. Os cálculos das quantidades de nutrientes liberados ( $Nut_{res.veg.}$ ) e acumulados anualmente (Quadro 29) são efetuados com as equações 89 e 90.

$$NAL = (NALAA + NDL) * (1 - k_{Nut}) \quad (\text{Eq. 89})$$

$$Nut_{res.veg.} = NALAA + NDL - NNLlib \quad (\text{Eq. 90})$$

Em que,

NAL = nutriente acumulado no *litter*, em kg/ha/ano

NALAA = nutriente acumulado no *litter* no ano anterior, em kg/ha/ano

NDL = nutriente depositado no *litter*, em kg/ha/ano

$k_{Nut}$  = constante de liberação do nutriente, em 1/ano

$Nut_{res.veg.}$  = nutriente liberado pelo *litter*, em kg/ha/ano

NNlib = nutriente não liberado pelo *litter*, em kg/ha/ano.

No quadro 29 pode-se observar que as quantidades de P e K aportadas anualmente pelos resíduos orgânicos não são tão expressivas, porém, a contribuição por ano de N, Mg e, especialmente, Ca realmente são importantes; quando comparados com o requerimento anual desses nutrientes. As causas que podem explicar tal fato são os elevados teores de Ca nas folhas e ramos ladrões, que superam amplamente os de N, P, K e Mg, e o fato do Ca ser um elemento estrutural, o que leva a concentrar-se nos tecidos senescentes em razão de sua virtual imobilidade na planta (Neves, 2000), diferentemente do que acontece com os outros nutrientes que são móveis na planta sugerindo que sua ciclagem interna seja mais significativa do que a ciclagem biogeoquímica, especialmente para o K. Cabe ressaltar que, segundo Roccuzzo *et al.* (2012), 69 % do Ca e 51 % do Mg requeridos pela parte aérea da planta de laranja foi recuperado nas folhas caídas, dando uma noção da importância que a ciclagem biogeoquímica tem para estes nutrientes.

Considera-se uma taxa de recuperação pela planta de 100 % para estes nutrientes devido a que a laranjeira é uma planta perene e a liberação dos nutrientes dos resíduos vegetais é gradativa ao longo do ano.

#### 4.4.2.3 N suprido pela matéria orgânica do solo (N<sub>MOS</sub>)

Existem diversas maneiras de quantificar o N disponibilizado pela matéria orgânica do solo (N<sub>MOS</sub>), considerando a taxa de mineralização do N da MOS. No Ferticalc-Laranja optou-se por utilizar o método desenvolvido por Stanford & Smith (1972), adaptado para condições de solos tropicais com base no trabalho de Gonçalves *et al.* (2001), que consiste no seguinte:

$$N_{MOS} = (1\ 000\ 000\ PER\ DS\ ((MOS/100/1,724)/10)\ 0,04)\ (1 - e^{-0,031*t}) \quad (\text{Eq. 91})$$

Em que,

1 000 000 = valor que multiplicado pela PER, em dm, permite obter o volume de solo por hectare em dm<sup>3</sup>/ha

N<sub>MOS</sub> = N mineralizado da MOS, em kg/ha/ano

PER = profundidade efetiva do sistema radicular, em dm

DS = densidade do solo, em kg/dm<sup>3</sup>

MOS = teor de MOS, em dag/kg

100 = valor que ao dividir a MOS, em dag/kg, permite calcular os kg MOS por kg de solo

1,724 = valor utilizado para estimar o C orgânico do solo a partir da MOS, considerando que esta última possui 58 % de C orgânico

10 = valor utilizado para estimar o N orgânico, considerando que na MOS a relação C/N = 10 obtida por Kiehl (1979) para os mesmos solos utilizados por Gonçalves *et al.* (2001)

0,04 = N potencialmente mineralizável da MOS, estimado por Gonçalves *et al.* (2001) para 16 solos de ecossistemas florestais naturais e implantados do Estado de São Paulo.

e = base do logaritmo neperiano

0,031 = constante de mineralização de N média para 16 solos de ecossistemas florestais naturais e implantados do estado de São Paulo estimada por Gonçalves *et al.* (2001), a partir da equação de Stanford & Smith (1972).

t = tempo em semanas que a cultura absorve N no ano. Para a cultura da laranja foram consideradas 52 semanas. A laranjeira absorve N durante todo o ano (Figura 1), sendo que tem um período de maior absorção de N no ano, desde a primavera até outono, e outro de absorção muito menor de mediados do outono até o final do inverno (Figura 1).

Caso o valor de MOS esteja expresso em dag/dm<sup>3</sup> simplesmente não se leva em consideração a DS na equação 91.

Vale ressaltar, que a cultura sempre estará utilizando o N mineralizado da MOS, porém, deve-se ter especial cuidado se computamos este aporte indiscriminadamente ano após ano. Segundo Brye *et al.* (2003), o teor de MOS decresce quando o solo é cultivado sem a adição de N, enquanto que pode aumentar com a utilização de fertilizantes nitrogenados. Porém, existe grande divergência nos resultados de trabalhos científicos no que se refere o efeito da fertilização nitrogenada sobre o teor de MOS. Para entender melhor esta problemática Ladha *et al.* (2012) fizeram uma meta-análise considerando 135 estudos provenientes de 114 experimentos de longa duração implantados em 100 lugares diferentes no mundo inteiro. Eles observam que, quando as culturas não foram fertilizadas com N o teor de

carbono orgânico do solo (COS) diminuiu 16 %, após um tempo chamado “tempo de resposta”. Transcorrido o mesmo tempo, se as culturas foram adubadas com uma fonte de N mineral, a diminuição no teor de COS caiu para 10 %. Mas, quando a fonte foi N orgânico, houve aumento no teor de COS de 12 %, e ao fertilizar com N mineral e N orgânico, o incremento foi de 21%. Este tipo de estudo deve servir para alertar sobre as consequências de não se fertilizar com N, assim como sobre a necessidade de se entender melhor a dinâmica da mudança do teor de MOS em função das práticas de fertilização nitrogenada adotadas.

## 5.0 SIMULAÇÕES DE USO DO SISTEMA FERTICALC-LARANJA

Para testar o sistema, é feita à continuação, uma simulação com base na análise de um Latossolo de textura média de Avaré - SP (Quadro 30). Os Latossolos e Argissolos são as classes de solos predominantes na citricultura de São Paulo, que por sua vez é o estado que detém 85 % de esta atividade no Brasil (Corá *et al.*, 2005).

**Quadro 30.** Resultados de análises químicas e físicas de um Latossolo de textura media de Avaré –SP

Característica	0 - 20 cm	20 - 40 cm	Extrator
pH	4,6	4,3	CaCl <sub>2</sub>
MOS (dag/dm <sup>3</sup> )	1,3	1,2	Método Walkley & Black
P (mg/dm <sup>3</sup> )	4	4	Resina
K <sup>+</sup> (cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> )	0,05	0,03	Resina
Ca <sup>2+</sup> (cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> )	0,9	0,7	Resina
Mg <sup>2+</sup> (cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> )	0,5	0,3	Resina
H+Al (cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> )	1,8	2,0	Tampão SMP
SB (cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> )	1,45	1,03	-
T (cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> )	3,25	3,03	-
V (%)	45	34	-
B (mg/dm <sup>3</sup> )	0,61	-	Água quente
Cu (mg/dm <sup>3</sup> )	0,8	-	DTPA
Fe (mg/dm <sup>3</sup> )	41	-	DTPA
Mn (mg/dm <sup>3</sup> )	1,1	-	DTPA
Zn (mg/dm <sup>3</sup> )	0,8	-	DTPA
P-rem	36,70*	35,15*	-
<sup>1/</sup> Argila (dag/kg)	18	20	-
<sup>1/</sup> Areia (dag/kg)	76,7	74,9	-
<sup>1/</sup> Silte (dag/kg)	5,3	5,1	-

<sup>1/</sup> Valor estimativos por falta da análise física do solo. \*Valor estimado pela equação: P-rem = 52,44 - 0,9646\*\* Arg + 0,005\*\* Arg<sup>2</sup>; R<sup>2</sup> = 0,747 (Freire, 2001), sendo Arg = teor de argila (%)

Fonte: adaptado de Mattos Jr (comunicação pessoal)

Dependendo de onde for feita a análise de solo, nem sempre nos resultados se tem os valores de P-rem ou teor de argila. Desta maneira, se a análise apresenta o P-rem, utiliza-se esta variável. Caso não se tenha P-rem, mas sim teor de argila, usa-se esta ultima. Se a análise de solo não tem P-rem nem teor de argila, opta-se por estimar o teor de argila com base na CTC a pH 7 (T). Para isto, o sistema assume que para valores de T ≤ a 3,9 cmol<sub>c</sub>/kg o teor de argila é 20 dag/kg. Para T entre 4 e 7 o teor de argila

varia entre 25 e 40 dag/kg. E se o valor de T é  $\geq 7,1$  o teor de argila considerado é de 45 dag/kg.

### 5.1 Recomendação de calagem de implantação

Se a análise de solo inclui os valores de  $Al^{3+}$  e  $CTC_{efetiva}$ , o sistema calcula a necessidade de calagem (NC) pelo método da neutralização da acidez trocável ( $Al^{3+}$ ) e elevação dos teores de  $Ca^{2+}$  e de  $Mg^{2+}$  e pelo método da saturação por bases (Alvarez V. & Ribeiro, 1999). E posteriormente seguindo a sequência de procedimentos citados no ponto 4.1, é escolhido o valor de NC mais adequado para cada situação. Porém, se estas informações não estão detalhadas na análise e sim o valor de V, o sistema calcula a NC só pelo método da saturação por bases. Assim, para a análise de solos do quadro 30 a sequência de cálculos seria a seguinte:

$$NC = T (Ve - Va) / 100 \quad (\text{Eq. 6})$$

$$NC = 3,25 (70-45) / 100$$

$$NC = 0,81 \text{ t/ha}$$

#### 5.1.1 Quantidade de calcário a ser aplicada e suprimento de Ca e Mg

Supondo que se utilize um calcário com PRNT igual a 85 % e teores de CaO e MgO iguais a 38 e 12 % respectivamente, aplicado em área total e incorporado até uma profundidade de 20 cm, a quantidade de calcário a ser utilizada será:

$$QC = NC (SC / 100) (PF / 20) (100 / PRNT) \quad (\text{Eq. 9})$$

$$QC = 0,8125 \text{ t/ha} (100/100) (20/20) (100/85)$$

$$QC = 0,9558 \text{ t/ha} = 1 \text{ t/ha}$$

Em função da QC estimada e das características do calcário a ser aplicado, obtém-se o suprimento de Ca e Mg.

$$Ca_{calagem} = QC (T_{CaO} / 100) 0,7147 \cdot 1\ 000 \quad (\text{Eq. 73})$$

$$Ca_{calagem} = 1 (38 / 100) 0,7147 \cdot 1\ 000$$

$$\text{Ca}_{\text{calagem}} = 271,6 \text{ kg/ha de Ca}$$

$$\text{Mg}_{\text{calagem}} = \text{QC} (T_{\text{MgO}} / 100) 0,6030 \cdot 1\ 000 \quad (\text{Eq. 73})$$

$$\text{Mg}_{\text{calagem}} = 1 (12 / 100) 0,6030 \cdot 1\ 000$$

$$\text{Mg}_{\text{calagem}} = 72,36 \text{ kg/ha de Mg}$$

### 5.1.2 Estimativa do pH final

Com o valor de acidez potencial estima-se a variação de pH para cada t/ha de calcário PRNT = 100 % a ser aplicada (Equação 7).

$$\Delta\text{pH} = -0,0234647 + 1,49415^{**} [1 / (\text{H}+\text{Al})] \quad (\text{Eq. 7})$$

$$\Delta\text{pH} = -0,0234647 + 1,49415 [1 / (1,8)]$$

$$\Delta\text{pH} = 0,8066$$

Conhecendo a variação do pH, pode-se prever qual será o pH atingido com a calagem, na camada de 0-20 cm, somando o pH inicial do solo e a variação estimada do pH (Equação 8).

$$\text{pH}_{\text{final}_{0-20}} = (\text{NC} \cdot \Delta\text{pH}) + \text{pH}_{\text{inicial}} \quad (\text{Eq. 8})$$

$$\text{pH}_{\text{final}_{0-20}} = (0,8125 \cdot 0,8066) + 4,6$$

$$\text{pH}_{\text{final}_{0-20}} = 5,25$$

### 5.2 Recomendação de gessagem na implantação

Como na análise de solo o teor de  $\text{Ca}^{2+}$  na camada de 20-40 cm é maior que  $0,5 \text{ cmol}_c/\text{dm}^3$ , não se recomenda a aplicação de gesso na implantação do pomar.

### 5.3 Recomendação de fertilização para um pomar em idade jovem (quatro anos)

Considerando que, a partir do quarto ano a planta começa a produzir frutos em quantidade mais considerável (entre 0,5 e 1,5 caixas/planta<sup>4</sup>), a

---

<sup>4</sup> Prof. Dirceu de Mattos Junior Pesquisador do Instituto Agronômico Campinas. Comunicação pessoal.

Caixa = 40,8 kg.

recomendação para fertilização deste ano em diante será feita atendendo a estimativa do incremento anual de biomassa vegetativa (neste caso do terceiro para o quarto ano) e a produção esperada de frutos.

### 5.3.1 Estimativa do incremento anual de biomassa vegetativa

Para fazer o cálculo da fertilização do quarto ano do pomar o sistema precisa estimar o incremento da biomassa vegetativa produzido entre o terceiro e quarto ano após a implantação da cultura ( $\Delta BV_{3-4}$ ). Estes cálculos são feitos considerando um pomar com uma densidade de plantio de 400 pl/ha.

$$BV_{\_3 \text{ ano}} = 7,4039 \text{ DP} \quad (\text{Eq. 20})$$

$$BV_{\_3 \text{ ano}} = 7,4039 \cdot 400$$

$$BV_{\_3 \text{ ano}} = 2\,961,56 \text{ kg/ha de MS}$$

$$BV_{\_4 \text{ ano}} = 17,654 \cdot \text{DP} \quad (\text{Eq. 21})$$

$$BV_{\_4 \text{ ano}} = 17,654 \cdot 400$$

$$BV_{\_4 \text{ ano}} = 7\,061,6 \text{ kg/ha de MS}$$

$$\Delta BV_{3-4} = BV_{\_4 \text{ ano}} - BV_{\_3 \text{ ano}}$$

$$\Delta BV_{3-4} = 7\,061,6 \text{ kg/ha de MS} - 2\,961,56 \text{ kg/ha de MS}$$

$$\Delta BV_{3-4} = 4\,100,04 \text{ kg/ha de MS}$$

Como os teores dos nutrientes não são os mesmos na planta toda, é necessário saber a partição nos diferentes órgãos da estimativa do incremento anual de biomassa vegetativa (Quadro 31).

**Quadro 31.** Quantidade de massa de matéria seca, dos diferentes órgãos da laranjeira, produzida entre o terceiro e quarto ano de um pomar com 400 pl/ha

Parte da planta	Proporção da BV total <sup>1/</sup>	Biomassa correspondente ao órgão
	----%----	----kg MS/ha----
Folhas	19,7	806,42
Ramos	33,8	1386,53
Caule	15,7	645,56
Raízes	30,8	1261,53
TOTAL	100	4100,04

<sup>1/</sup> valores correspondentes à partição de BV de uma planta de quatro anos (Quadro 16).

### 5.3.2 Produção de matéria seca de frutos

Considerando que é um pomar de quatro anos, que está começando a produzir frutos, supõe-se uma produtividade esperada de 20 t/ha de MF (aproximadamente 1,2 caixas/planta), sendo que em matéria seca seria:

$$\text{MMSF} = \text{PE} \cdot C_{\text{MMSF}} / 100 \quad (\text{Eq. 57})$$

$$\text{MMSF} = 20\,000 \text{ kg/ha de MF} \cdot 16,76 \text{ kg MS} / 100 \text{ kg MF}$$

$$\text{MMSF} = 3\,352 \text{ kg/ha de MS}$$

### 5.3.3 Demanda total de nutrientes

Para que um pomar com 400 pl/ha consiga produzir 20 t/ha de MF no quarto ano, a demanda total de nutrientes, calculada por meio da equação 67, será a que está especificada no quadro 32. Para entender melhor os componentes dessa demanda total especifica-se a demanda por órgão, que é simplesmente o conteúdo de nutrientes por cada parte da planta expressado em kg/ha.

**Quadro 32.** Demanda nutricional de um pomar de 400 pl/ha para produzir 20 t/ha de MF no quarto ano, particionada nos diferentes órgãos que a compõem

Parte da planta	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	-----kg/ha-----						-----g/ha-----				
Folhas	22,4	1,2	8,6	31,8	2,7	1,9	53,6	6,0	119,4	23,4	22,8
Ramos	14,2	1,4	8,1	22,8	2,0	1,3	33,9	14,5	114,9	14,2	30,7
Caule	3,7	0,4	1,9	5,1	0,4	0,2	9,7	3,4	52,3	4,0	9,6
Raízes	15,8	1,3	8,6	12,7	1,4	1,4	29,8	20,8	1050,5	240,3	90,9
Frutos	40,2	4,1	40,8	12,3	3,4	4,1	57,7	19,5	101,7	26,7	20,5
TOTAL	96,4	8,5	68,0	84,6	9,9	8,9	184,8	64,1	1438,9	308,6	174,5

### 5.3.4 Taxas de recuperação de nutrientes pela planta

A partir das equações apresentadas nos quadros 22, 23 e 24, foram estimadas as taxas de recuperação pela planta dos nutrientes (Quadro 33).

**Quadro 33.** Taxas de recuperação pela planta ( $TR_{pi}$ ) para a cultura da laranja, supondo uma produtividade estimada de 20 t/ha de MF e um P-rem = 36,7 mg/L

N <sup>1/</sup>	P	K <sup>1/</sup>	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn <sup>2/</sup>	Zn <sup>2/</sup>
-----%-----										
38,0	43,3	79,0	46,3	67,6	55,4	21,1	9,1	5,0	5 - 17,5	9,2 - 60

<sup>1/</sup> Considerou-se o parcelamento da aplicação do fertilizante em três vezes e no caso particular do N, supõe-se que o fertilizante utilizado nas três parcelas seja ureia. <sup>2/</sup> O primeiro valor corresponde à aplicação via solo do fertilizante e o segundo a aplicação foliar de MnCl e ZnCl<sub>2</sub> para Mn e Zn respectivamente.

### 5.3.5 Requerimento total de nutrientes

Devido a que a planta não consegue recuperar todo o nutriente aplicado via fertilizante, os valores obtidos como demanda de nutrientes (Quadro 32) devem ser “corrigidos” pela  $TR_{pi}$  de cada nutriente (Quadro 33) para aplicar uma quantidade maior, que é o requerimento (Quadro 34), que permitirá à planta absorver os respectivos nutrientes nas quantidades que são necessárias para atingir a produtividade esperada. Para construir o quadro 34, utiliza-se a equação 68 para todos os nutrientes e só para o P e K é adicionado o requerimento de sustentabilidade (Equações 69 e 70) para obter o requerimento total do nutriente.

**Quadro 34.** Requerimento total de nutrientes de um pomar de 400 pl/ha, implantado em um Latossolo de textura media de Avaré – SP (Quadro 30), para produzir 20 t/ha de MF no quarto ano

N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn <sup>1/</sup>	Zn <sup>1/</sup>
-----kg/ha-----					-----g/ha-----					
253	29	138	183	15	16	876	706	28 777	6 172 1 763	1 897 291

<sup>1/</sup> O primeiro valor corresponde à aplicação via solo do fertilizante e o segundo a aplicação foliar de MnCl e ZnCl<sub>2</sub> para Mn e Zn respectivamente.

### 5.3.6 Suprimento total de nutrientes

Para poder fazer o balanço de nutrientes e assim chegar à dose recomendada para cada um deles, é necessário saber qual é o suprimento total de cada nutriente (Quadro 35). O suprimento de N (Sup\_N) para a

camada de 0-20 cm se obtém somando o  $N_{res.veg.}$  e o  $N_{MOS\ 0-20}$  (Equação 71), enquanto que o  $Sup\_N$  de 20 – 40 cm considera apenas o  $N_{MOS\ 20-40}$ . Para o suprimento de P, K, Ca e Mg leva-se em conta o  $Nut_{solo}$  mais o  $Nut_{res.veg.}$  (Equação 72). O suprimento de micronutrientes é feito considerando apenas o  $Nut_{solo}$ . Vale lembrar que o  $Nut_{solo}$ , em kg/ha, correspondente às camadas de 0-20 e 20-40 cm, calculado pelas equações 85 e 86, respectivamente.

Para estimar o suprimento de N, P, K, Ca e Mg pelos resíduos vegetais adotou-se um aporte anual de 1 682 kg/ha de *litter* (Quadro 28), sendo que os valores liberados de cada nutriente no quarto ano estão indicados no quadro 29.

**Quadro 35.** Suprimento total de nutrientes de um pomar de 400 pl/ha no quarto ano após implantado em um Latossolo de textura média de Avaré – SP (Quadro 30)

Nutriente	Extrator	Teor	Teor	Taxa de	Suprimento	Suprimento	Suprimento
		0-20 cm	20-40 cm	recuperação pelo extrator			
		---mg/dm <sup>3</sup> ---		mg/dm <sup>3</sup> / mg/dm <sup>3</sup>		-----kg/ha-----	
N	-	-	-	-	71,86	44,58	116,44
P	Resina	4	4	0,66	1,56	6,19	7,75
K	Resina	19,6	11,7	0,80	6,82	2,76	9,58
Ca	Resina	180	140	0,77	407,60	328,82	736,42
Mg	Resina	60,8	36,5	0,80	144,96	88,53	233,49
S	-	-	-	0,24	-	-	-
B	Água quente	0,61	-	0,71	1,72	-	1,72
Cu	DTPA	0,8	-	0,31	5,13	-	5,13
Fe	DTPA	41	-	0,10	857,74	-	857,74
Mn	DTPA	1,1	-	0,66	3,31	-	3,31
Zn	DTPA	0,8	-	0,44	3,64	-	3,64

### 5.3.7 Quantidade de nutrientes a ser recomendada pelo Ferticalc-Laranja e comparação com as tabelas

No quadro 36 apresenta-se o balanço de nutrientes que permite obter a dose recomendada pelo sistema para um pomar de 400 pl/ha que está no quarto ano, após ter sido implantado.

**Quadro 36.** Quantidade de nutrientes a ser aplicada em um pomar de 400 pl/ha, implantado em um Latossolo de textura media de Avaré – SP (Quadro 30), para produzir 20 t/ha de MF no quarto ano

Balanco de Nutrientes	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn <sup>1/</sup>	Zn
	-----kg/ha-----										
Requerimento	253,4	29,0	137,7	182,8	14,6	16,0	0,9	0,7	28,8	6,2 1,8	1,9 0,3
Suprimento	116,4	7,7	9,6	736,4	233,5	-	1,7	5,1	857,7	3,3	3,6
<b>Recomendação</b>	<b>137</b>	<b>48</b>	<b>154</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>16</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>2,9</b>	<b>0</b>

<sup>1/</sup>Para Mn recomenda-se a aplicação deste nutriente via foliar mesmo que o balanço (1,8 - 3,3) indique o contrario, devido a que deve-se considerar sempre o requerimento com base na TR<sub>pl</sub> via solo.

Por outro lado, as recomendações das tabelas publicadas por Quaggio *et al.* (2011) para um pomar de 400 pl/ha no quarto ano após implantação (supondo que este fosse implantado no mesmo local) seriam 160, 120 e 160 kg/ha de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e K<sub>2</sub>O, respectivamente. Lembrando que segundo essas tabelas, as recomendações correspondentes a esta idade, expressas em g/planta, seriam variáveis de acordo com o teor do nutriente no solo para P e K, e fixas para N, independentemente da produtividade esperada. Ao comparar as recomendações das tabelas com as obtidas pelo Ferticalc-Laranja percebe-se que as do sistema são levemente inferiores para N e K, porém, marcadamente inferiores para P.

Neste exemplo não se considera a recomendação de S, por não ter sido analisado o nutriente (Quadro 30).

#### **5.4 Recomendações de fertilização para um pomar em idade adulta (10 anos) e comparação com as tabelas**

Para este exemplo de simulação do sistema, consideram-se dois cenários de produtividade, para um pomar no décimo ano após implantação no mesmo local do exemplo descrito no ponto 5.3, cuja análise de solo é apresentada no quadro 30. Um cenário corresponde a uma produtividade media-baixa, para esta idade, (20 t/ha) e o outro a uma produtividade alta (50 t/ha).

Como no ponto 5.3 foi apresentada detalhadamente a sequência de passos que o sistema segue para chegar à dose recomendada, optou-se por

mostrar os resultados deste exemplo de maneira mais resumida nos quadros 37 e 38, levando em consideração só os macronutrientes.

**Quadro 37.** Valores resultantes da simulação com o Ferticalc-Laranja e valores recomendados pelas tabelas para o cenário de 20 t/ha

Nutriente	D $\Delta$ BV	DPF	DT	TR <sub>pl</sub>	RT	Sup.	Rec. Ferticalc-Laranja	Rec. Quaggio <i>et al.</i> , 2011
	-----kg/ha-----			$\frac{\text{mg/dm}^3}{\text{mg/dm}^3}$	-----kg/ha-----			
N	31,51	39,58	71,08	0,39	182,61	116,44	66,17	80,00
P	1,74	4,19	5,93	0,43	23,36	8,91	<sup>1/</sup> 33,08	<sup>1/</sup> 80,00
K	15,84	38,79	54,63	0,79	117,52	12,56	<sup>2/</sup> 126,43	<sup>2/</sup> 80,00
Ca	56,59	12,57	69,17	0,47	148,37	771,46	-	-
Mg	5,07	3,11	8,19	0,68	12,10	235,58	-	-
S	3,68	4,38	8,06	0,55	14,57	-	-	-

D $\Delta$ BV = demanda para incremento anual de biomassa vegetativa. DPF = demanda para produção de frutos. DT = demanda total. TR<sub>pl</sub> = taxa de recuperação pela planta. RT = requerimento total. Sup. = suprimento total. Rec = recomendação de nutrientes. <sup>1/</sup> expresso em P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. <sup>2/</sup> expresso em K<sub>2</sub>O.

**Quadro 38.** Valores resultantes da simulação com o Ferticalc-Laranja e valores recomendados pelas tabelas para o cenário de 50 t/ha

Nutriente	D $\Delta$ BV	DPF	DT	TR <sub>pl</sub>	RT	Sup.	Rec. Ferticalc-Laranja	Rec. Quaggio <i>et al.</i> , 2011
	-----kg/ha-----			$\frac{\text{mg/dm}^3}{\text{mg/dm}^3}$	-----kg/ha-----			
N	31,51	98,94	130,45	0,37	354,21	116,44	237,77	200
P	1,74	10,48	12,22	0,43	52,39	3,13	112,88	140
K	15,84	96,97	112,81	0,77	271,69	6,79	319,09	180
Ca	56,59	31,43	88,03	0,46	190,37	729,46	-	-
Mg	5,07	7,78	12,85	0,67	19,04	228,62	-	-
S	3,68	10,96	14,64	0,55	26,44	-	-	-

D $\Delta$ BV = demanda para incremento anual de biomassa vegetativa. DPF = demanda para produção de frutos. DT = demanda total. TR<sub>pl</sub> = taxa de recuperação pela planta. RT = requerimento total. Sup. = suprimento total. Rec = recomendação de nutrientes. <sup>1/</sup> expresso em P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. <sup>2/</sup> expresso em K<sub>2</sub>O.

Cabe destacar, que os valores recomendados pelas tabelas (Quaggio *et al.*, 2011) nos quadros 37 e 38 correspondem a um pomar com um teor de N foliar adequado (23-27 g/kg), e teores de P e K muito baixos, segundo as faixas de interpretação dos teores<sup>5</sup>.

<sup>5</sup> Tabelas apresentadas por Mattos Jr *et al.* (2009), adaptadas de Grupo Paulista (1994); Quaggio *et al.* (1997) e Quaggio *et al.* (2003)

Comparando os quadros 37 e 38, observa-se que a  $D\Delta BV$  é a mesma, no entanto, a DPF sofre um incremento proporcional à diferença entre a produtividade de 20 t/ha e 50 t/ha. A  $TR_{pl}$  de N, K e Mg manifestam uma leve queda para a produtividade de 50 t/ha, produto do aumento da demanda desses nutrientes, quando comparados com a produtividade de 20 t/ha. A dose recomendada de N pelo Ferticalc-Laranja foi semelhante para a produtividade de 20 t/ha e superior no caso de 50 t/ha, porém, para poder fazer uma comparação mais correta deste nutriente é necessário conhecer o valor real do teor foliar de N, devido a que as recomendações das tabelas (Quaggio *et al.*, 2011) variam em função dele. Percebe-se também que nos dois cenários as recomendações de P obtidas pelo sistema foram menores que as sugeridas pelas tabelas (Quaggio *et al.*, 2011), mas essa diferença foi notadamente maior para a menor produtividade. No que se refere às recomendações de K o sistema recomendou doses maiores, em comparação com as tabelas (Quaggio *et al.*, 2011), nos dois cenários considerados, sendo a diferença entre as doses maior para a produtividade de 50 t/ha.

Neste exemplo não se considera a recomendação de S, por não ter sido analisado o nutriente (Quadro 30).

## 6.0 CONCLUSÕES

Até o presente, as recomendações de corretivos e fertilizantes vêm sendo feitas com base no uso de tabelas. Com este trabalho não se pretende desacreditar a pesquisa e vasta experiência que está por trás das tabelas de recomendação, senão apresentar um sistema fundamentado na modelagem do balanço nutricional e desenvolvido com base em grande quantidade de pesquisa do mundo inteiro. O qual considera-se que seja uma alternativa com forte embasamento científico, para fazer recomendações de corretivos e fertilizantes para a cultura da laranja. Diferentemente das tabelas, este sistema permite fazer recomendações para qualquer produtividade que se pretenda atingir, uma vez que não trabalha com faixas de rendimento, senão com a produtividade esperada que o usuário pretende alcançar.

O desenvolvimento deste sistema permitiu observar que o N proveniente da matéria orgânica do solo, assim como os nutrientes liberados pelos resíduos vegetais, especialmente Ca e Mg, constituem importantes fontes de suprimento destes nutrientes para a cultura, o que leva a pensar que seria de grande interesse estudar com mais detalhe o aporte de nutrientes pelos resíduos vegetais e a liberação destes para entender melhor a ciclagem biogeoquímica desta cultura. Por sua vez, acredita-se que seja importante entender a ciclagem interna, principalmente do K.

Também deve-se destacar que, com base nos dados encontrados na literatura, observou-se uma clara tendência à diminuição nos teores foliares de N, P e K com a idade da planta. Isto leva a pensar que os níveis críticos foliares possam ser diferentes em função da idade da planta, pelo menos para estes nutrientes, o qual indica que seria aconselhável pesquisar este assunto.

Como se pode ver, além de gerar um novo sistema de recomendação para a cultura da laranja, neste caso, a modelagem permite detectar lacunas no conhecimento que leva a orientar futuras pesquisas em áreas ainda pouco exploradas e que se acredita sejam de grande interesse para o aprimoramento das recomendações de corretivos e fertilizantes.

Esta primeira versão do sistema foi feita com base na idade da planta devido à informação disponível na literatura, porém, é fato que plantas de

uma mesma idade podem ter tamanhos diferentes. Por este motivo, acredita-se que uma maneira de melhorar o sistema seria fazendo as recomendações em função de parâmetros de crescimento.

Vale ressaltar que, dependendo das circunstâncias, as recomendações do Ferticalc-Laranja podem ser maiores ou menores que as das tabelas, e que ao igual que estas o sistema deverá ser aprimorado constantemente com a pesquisa gerada, com o intuito de obter recomendações cada vez mais exatas e que levem em consideração a maior quantidade de variáveis.

## 7.0 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABREU, C.A.; LOPES, A.S.; SANTOS, G.C.G. Micronutrientes. NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B; NEVES, J.C.L. (Eds.). Fertilidade do solo. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 645-736.
- ALLOWAY, B.J. Zinc in soils and crop nutrition. 2.ed. Brussels: International Zinc Association, 2008. 135p.
- ALVA, A. K.; FARES, A.; DOU, H. Managing citrus trees to optimize dry mass and nutrient partitioning. *Journal of Plant Nutrition*. 26(8): 1541-1559, 2003.
- ALVA, A. K.; PARAMASIVAM, S. Nitrogen management for high yield and quality of citrus in sandy soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 62:1335-1342, 1998.
- ALVA, A.K.; MATTOS JR., D.; PARAMASIVAM, S.; PATIL, B.; DOU, H.; SAJWAN, K. Potassium management for optimizing citrus production and quality. *International Journal of Fruit Science* 6:3-43, 2006.
- ALVAREZ V., V. H.; NOVAIS, R. F.; DIAS, L. E. & OLIVEIRA, J. A. Determinação e uso do fósforo remanescente. *B. Inf. SBCS*, 25:27-32, 2000.
- ALVAREZ V., V. H.; RIBEIRO, A. C. Calagem. ALVAREZ V., V. H.; RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G., (Eds.) CFSEMG. Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais. Viçosa, MG. 1999. 359 p.: il. (5<sup>ta</sup> Aproximação).
- ALVAREZ V., V. H.; RIBEIRO, A. C. Calagem. In: ALVAREZ V., V. H.; RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G., (Eds.) CFSEMG. Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais (5<sup>ta</sup> Aproximação). Viçosa, MG. 1999. p. 43-60.

- ALVAREZ V., V. H.; RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G., (Eds.)  
CFSEMG. Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em  
Minas Gerais. Viçosa, MG. 1999. 359 p.: il. (5<sup>ta</sup> Aproximação).
- ANDERSON, C.A. Fruit yields, tree size, and mineral nutrition relationship in  
Valencia orange trees as affected by liming. *J. Plant Nutr.*, 10:1907-1916,  
1987.
- BAHIA FILHO, A.F.C. Índices de disponibilidade de fósforo em solos  
Latossolos de planalto central com diferentes características texturais e  
mineralogias. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1982. 179p. (Tese  
de Doutorado).
- BARROS, N.F.; NOVAIS, R.F.; CARMO, D.N. & NEVES, J.C.L.  
Classificação nutricional de sítios florestais – Descrição de uma  
metodologia. *Rev. Árvore*, 10:106-112, 1986.
- BARROS, N.F.; NOVAIS, R.F.; TEIXEIRA, J.L.; FERNANDES FILHO,  
E.I. NUTRICALC 2.0 - Sistema para cálculo del balance nutricional y  
recomendación de fertilizantes para el cultivo de eucalipto. *Bosque*,  
16(1):129-131, 1995.
- BASIOUNY, F.M.; BIGGS, R.H. Rates of photosynthesis and the Hill reaction  
in citrus seedlings affected by Fe, Mn nutrition. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.*  
101:193-196, 1976.
- BATAGLIA, O.C.; RODRIGUEZ, O.; HIROCE, R.; GALLO, J. R.; FURLANI,  
P. R.; FURLANI, A. M. Composição mineral de frutos cítricos na colheita.  
*Bragantia*, 36:215-221, 1977.
- BERNARDO, E.R.A.; BETTIOL, W. Controle da pinta preta dos frutos  
cítricos em cultivo orgânico com agentes de biocontrole e produtos  
alternativos. *Tropical Plant Pathology*. 35(1): 37-42, 2010.
- BOARETTO, A. E.; MURAOKA, T.; RÊGO, I. C. Calagem e gessagem na  
citricultura. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL DE CITROS: Nutrição e

Adubação, 4., 1996, Bebedouro. Anais... Campinas: Fundação Cargill, 1996. p. 115-130.

BOARETTO, A. E.; SCHIAVINATTO NETO, P.; MURAOKA, T.; TRIVELIN, P. O. C.; BISSANI, C. A. Eficiência da aplicação de  $^{15}\text{N}$ -uréia no solo e nas folhas de laranjeiras jovens. *Laranja*. 20:477-502, 1999.

BOARETTO, A.E.; BOARETTO, R.M.; MURAOKA, T.; NASCIMENTO FILHO, V.F.; TIRITAN, C.S. & MOURÃO FILHO, F.A.A. Foliar micronutrient application effects on citrus fruit yield, soil and leaf  $^{65}\text{Zn}$  concentrations and mobilization within the plant. *Acta Horticulturae*. 594:203-209, 2002.

BOARETTO, A.E.; MURAOKA, T.; NASCIMENTO FILHO, V.F.; BOARETTO, R.M. & LUCCA, E.F. Foliar absorption of  $^{54}\text{Mn}$  and its translocation in orange and corn plants. In: INTERNATIONAL COLLOQUIUM FOR THE OPTIMIZATION OF PLANT NUTRITION, 2000. Cairo. Abstracts... p.230-231, 2000.

BOARETTO, R. M.; MATTOS JR, D.; QUAGGIO, J. A.; CANTARELLA, H.; TRIVELIN, P. C. O. Nitrogen-15 uptake and distribution in two citrus species. *Proceedings of the 19th World Congress of Soil Science*. 156-159, 2010.

BOARETTO, R.M., MURAOKA, T.; GINÉ, M.F.; BOARETTO; A.E. Absorption of foliar sprayed boron and its translocation in the citrus plants when applied at different phenological phases. In: XU, F.; GOLDBACH, H. E.; BROWN, P. H.; BELL, R. W.; FUJIWARA, T.; HUNT, C. D.; GOLDBERG, S. SHI, L. (Eds.). *Advances in Plant and Animal Boron Nutrition*. p. 125–131. Dordrecht, 2007a.

BOARETTO, R.M.; MATTOS JR, D.; TRIVELIN, P.C.O.; MURAOKA, T.; BOARETTO, A.E. Acúmulo de nutrientes e destino do nitrogênio ( $^{15}\text{N}$ ) aplicado em pomar jovem de laranjeira. *Revista Brasileira de Fruticultura*. 29(3): 600-605, 2007b.

- BOARETTO, R.M.; QUAGGIO, J.A. Boron uptake and distribution in field grown citrus trees. *Journal of Plant Nutrition*. 34: 839-849, 2011.
- BOAVENTURA, P.S.R. Demanda por nutrientes de porta-enxertos e mudas cítricas produzidas em substrato em ambiente protegido. Campinas, Instituto Agronômico de Campinas, 2003. 63 p. (Dissertação de Mestrado).
- BOOTE, K.J.; JONES, J.W. & PICKERING, N.B. Potential uses and limitations of crop models. *Agron. J.*, 88:704-716, 1996.
- BROWN, P.; SHELP, B.J. Boron mobility in plants. *Plant Soil*, 93:85-101, 1997.
- BROWN, P.H. & HU, H. Phloem mobility of boron is species dependent: Evidence of boron mobility in sorbitol-rich species. *Annals of Botany*. 77(5):497–505, 1996.
- BRYE, K.R.; NORMAN, J.M.; GOWER, S.T.; BUNDY, L.G. Effects of management practices on annual net N-mineralization in a restored prairie and maize agroecosystems. *Biogeochemistry*. 63:135-160, 2003.
- BUREAU, M.F.; MEDERSKI, J.; EVANS, C.E. The effects of phosphatic fertilizer materials and soil phosphorus level on the yield and phosphorus uptake of soybeans. *Agron. J.* 45:150-154, 1953.
- BUSTAN, A.; GOLDSCHMIDT, E.E. Estimating the cost of flowering in a grapefruit tree. *Plant Cell and Environment*. 21:217-224, 1998.
- CAMERON, S.H.; APPLEMAN, D. The distribution of total nitrogen in the orange tree. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 30:341–348, 1935.
- CAMERON, S.H.; COMPTON, O.C.. Nitrogen in bearing orange trees. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 46:60–68, 1945.
- CANTARELLA, H., MATTOS JR., D.; QUAGGIO, J. A.; RIGOLIN, A.T. Fruit yield of Valencia sweet orange fertilized with different N sources and the loss of applied N. *Nutr. Cycling Agroecosystems*. 67:1-9, 2003.

- CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; BATAGLIA, O. C.; van RAIJ, B. Response of citrus to NPK fertilization in a network of field trials in São Paulo State, Brazil. Proceedings of International Society of Citriculture. 2:607–612, 1992.
- CANTARUTTI, R.B; BARROS, N.F.; MARTINEZ, H.E.P.; NOVAIS, R.F. Avaliação da fertilidade do solo e recomendação de fertilizantes. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B; NEVES, J.C.L. (Eds.). Fertilidade do solo. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 645-737.
- CARUSO, T.; INGLESE, P.; SOTTILE, F.; MARRA, F. P. Effect of planting system on productivity, dry-matter partitioning and carbohydrate content in above- ground components of 'Flordaprince' peach trees. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 124:39–45, 1999.
- CARVALHO, F. T. Sistema de interpretação de análise de solo para recomendação de corretivos e fertilizantes para a cultura do milho. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 2000. 93 p. (Dissertação de Mestrado).
- CHAPMAN, H.D. The mineral nutrition of citrus. In: REUTHER, W.; BATCHELOR, L.D.; WEBBER, H.J. (Eds.). The citrus industry. Riverside: University of California, 1968. v.2, p.127-289.
- CITROSUCO, 2012. Disponível em <http://www.citrosuco.com.br/fischer/fischer/sites/fischer/citrosuco/pomares/laranja/trajetoria.html>
- COHEN, A. Fertilización de los cítricos. Berna, Instituto Internacional de la Potasa, 1983. 48 p.
- COOPERCITRUS. Adensamento de plantio é estratégia para melhorar produtividade e lucratividade da laranja. Revista Agropecuária Coopercitrus, 2010. 5 p. Disponível em:

- CORÁ, J. E.; SILVA, G. O.; MARTINS FILHO, M. V. Manejo do solo sob citros. In: MATTOS JR, D. de; NEGRI, J.D.; PIO, R.M.; POMPEU JR, J. (Eds.). Citros. Campinas: Instituto Agronômico; Fundag, 2005. p.347-369.
- CRASWELL, E.T.; GODWIN, D.C. The efficiency of nitrogen fertilizers applied to cereals in different climates. In: P.B. TINKER; A. LAUCHLI (Eds.). Advances in plant nutrition. Praeger Scientific, New York, 1984. v. 1, p. 1-55.
- CRESTE, A.L.T. Doses de nitrogênio e cálcio no desenvolvimento e na composição mineral de mudas de laranjeira Valência (*Citrus sinensis* L. Osbeck) enxertadas em citrumelo Swingle. Botucatu, UNESP, Instituto de Biociência, 2006. 89 p. (Tese de Doutorado).
- CRISOSTOMO, L. A. & NAUMOV, A. Adubando para alta produtividade e qualidade: fruteiras tropicais do Brasil. Fortaleza, 2009. p. 237.
- DELMAS, J.; GRAUBY, A.; BLONDEL, L.; GUENNELON, R. Contamination expérimentale de l'oranger par quelques radionucléides. Fruits. 29:303-309, 1974.
- DEUS, J. A. L. Sistema de recomendação de corretivos e fertilizantes para o meloeiro com base no balanço nutricional. Fortaleza, Universidade Federal do Ceará, 2012. 123 p. (Dissertação de Mestrado).
- DOURADO NETO, D. TERUEL, D.A.; REICHARDT, K.; NIELSEN, D.R.; FRIZZONE, J.A. & BACCHI, O.O.S. Principles of crop modeling and simulation: I. Uses of mathematical models in agricultural science. Sci. Agric., 55:46-50, 1998a.
- DOURADO NETO, D. TERUEL, D.A.; REICHARDT, K.; NIELSEN, D.R.; FRIZZONE, J.A. & BACCHI, O.O.S. Principles of crop modeling and simulation: II. The implications of the objective in model development. Sci. Agric., 55:51-57, 1998b.
- EMBLETON, T.W.; WALLIHAN, E.F.; GOODALL, G.E. Effectiveness of soil vs. foliar applied zinc and of foliar applied manganese on California

- lemons. Proceeding America Society Horticulture Science. 86:253-25, 1965.
- FEIGENBAUM, S., BIELORAI, H.; ERNER, Y.; DASBERG, S. The fate of <sup>15</sup>N labeled nitrogen applied to mature citrus trees. Plant Soil. 97:179–187, 1987.
- FENILLI, T. B.; BOARETTO, A. E.; BENDASSOLLI, J. A.; TRIVELIN, P. C. O.; MURAOKA, T. Dinâmica do nitrogênio em laranjeiras jovens cultivadas em solução nutritiva. Laranja. 25:461-472, 2004.
- FERRAREZI, R.S.; BATAGLIA, O.C.; FURLANI, P.R.; SCHAMMASS, E.A. Iron sources for citrus rootstock development grown on pine bark vermiculite mixed substrate. Scientia Agricola, Piracicaba., 64:520-531, 2007.
- FREIRE, F. J. Sistema para cálculo do balanço nutricional e recomendação de corretivos e fertilizantes para cana-de-açúcar. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 2001. 87p. (Tese de Doutorado).
- GALLO, J.R.; MOREIRA, S.; RODRIGUEZ, O.; FRAGA JÚNIOR, C.G. Composição inorgânica das folhas de laranjeira Baianinha, com referência à época de amostragem e adubação química. Bragantia, 19:229-246, 1960.
- GIRARDI, E.A.; MOURÃO FILHO, F.A.A.; ALVES, A.S.R. Mudanças de laranjeira “valência” sobre dois porta-enxertos e sob diferentes manejos de adubação. Revista Brasileira de Fruticultura. 32(3):855-864, 2010.
- GONÇALVES, J. L. de M. Cinética de transformação de fósforo-lábil em não-lábil em amostras de solos de Cerrado. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa. 1988. 62 p. (Tese de Mestrado).
- GONÇALVES, J.L.M.; MENDES, K.C.F.S.; SASAKI, C.M. Mineralização de nitrogênio em ecossistemas florestais naturais e implantados do estado de São Paulo. Revista Brasileira de Ciência do Solo. 25(3): 601-616, 2001.

GRUPO PAULISTA DE ADUBAÇÃO E CALAGEM PARA CITROS.  
Recomendações de adubação e calagem para citros no Estado de São Paulo. 3. ed. (edição especial). Cordeiropolis, Laranja, 1994. 27p.

GUSMÃO, E.M. Efeitos de herbicidas residuais aplicados por vários anos consecutivos na distribuição do sistema radicular da laranjeira Natal (*Citrus sinensis* (L.) Osbeck). Jaboticabal, Unesp, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 1984. 56p. Trabalho (Graduação).

HASSE, G. A Laranja no Brasil. Edição de Duprat & Iobe Propaganda. São Paulo, 1987. 296p.

HIPPLER, F.V.R. Eficiência fertilizante de zinco e manganês aplicados via solo em citros. Campinas, Instituto Agronômico Campinas, 2012. 94 p. (Dissertação de Mestrado).

HIROCE, R. Fatores que afetam a composição mineral de citros. In: TEÓFILO SOBRINHO, J. (Ed.). Planta cítrica. 1982. p. 29-42.

<http://www.revistacoopercitrus.com.br/?pag=materia&codigo=5921>

HU, H.; PENN, S. G.; LEBRILLA, C. B.; BROWN, P. H. Isolation and characterization of soluble boron complexes in higher plants. *Plant Physiology*. 113(2):649–655, 1997.

HULME, V. A. Visit to the Seagram Citrus Technology Center. *China Business Review*, 2000. 11 p. Disponível em: <https://www.chinabusinessreview.com/public/0009/hulme.html>

HUNT, T. *Plant growth analysis*. London, Edward Arnold, 1978. 67p.

IBGE 2012. Levantamento Sistemático da Produção Agrícola. Disponível em: [http://www.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/noticia\\_visualiza.php?id\\_noticia=2233&id\\_pagina=1](http://www.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/noticia_visualiza.php?id_noticia=2233&id_pagina=1)

IEA-CATI. Laranja: 1ª Previsão da Safra Agrícola 2008/09, Estado de São Paulo, 2009. 4 p.

- INTRIGLIOLO, F.; TITTARELLI, F.; ROCCUZZO, G.; CANALI, S. Fertilizzazione degli agrumi. *L'informatore agrario*. 9: 79-84, 1998.
- KALAKI, R. O retrato da citricultura brasileira. 1. ed. Ribeirão Preto: CitrusBR, 2010. 137 p.
- KAMPFER, M.; UEXKULL, H. R. von. Nuevos conocimientos sobre la fertilización de los cítricos. 3. ed. Hannover, Verlag Gessellschaft fur Ackerbau, 1966. 104 p.
- KATO, T. Nitrogen metabolism and utilization in citrus. *Horticultural Reviews*, 8:181-216, 1986.
- KIEHL, E. J. Manual de Edafologia. Relações solo-planta. Agronômica Ceres. São Paulo, 1979. 264 p.
- KONSAENG, S.; DELL, B.; RERKASEM, B. A survey of woody tropical species for boron retranslocation. *Plant Production Science*. 8:338–341, 2005.
- LABANAUSKAS, C.K.; HANDY, M.F. Mineral nutrient removal by California Valências. *Citrograph*. 58:44-60, 1972.
- LABANAUSKAS, C.K.; JONES, W.W.; EMBLETON, T.W. Effects of foliar applications of manganese, zinc and urea on yield and fruit quality of Valencia oranges and nutrient concentrations in the leaves, peel and juice. *Proceeding America Society Horticulture Science*. 82:143-153, 1964.
- LADHA, J.K.; REDDY, C.K.; PADRE, A.T.; van KESSEL, C. Role of nitrogen fertilization in sustaining organic matter in cultivated soils. *Better Crops*. 96(4):24-25, 2012.
- LEA-COX, J.D.; SYVERTSEN, J.P.; GRAETZ, D.A. Springtime 15 Nitrogen up-take, partitioning, and leaching losses from young bearing citrus trees of differing nitrogen status. *J. Amer. Soc. Hort. Sci*. 126:242– 251, 2001.

- LEGAZ, F.; PRIMO-MILLO, E. Influence of flowering, summer and autumn flushes on the absorption and distribution of nitrogen compounds in citrus. Proceedings of the International Society of Citriculture, v. 1, p. 224-233, 1984.
- LEGAZ, F.; PRIMO-MILLO, E.; YÚFERA, E. P.; GIL, C. Dynamics of <sup>15</sup>N-labelled nitrogen nutrients in 'Valencia' orange trees. Proceedings of the International Society of Citriculture, v. 2, p. 575-582, 1981.
- LEGAZ, F.; SERNA, M.D.; PRIMO-MILLO, E. Mobilization of the reserve N in citrus. Plant and Soil. 173:205-210, 1995.
- LINDSAY, W.L. Chemical equilibria in soils. New York: John Wiley & Sons, 1979. 545p.
- MACHANDA, H.R.; RANDHAWA, N.S.; SHUKLA, V.C. Relative efficacy of soil versus foliar applications of zinc to "Blood Red" variety of sweet orange (*Citrus sinensis* (L.) Osbeck). Indian Journal Agricultural Science. 42(4):347-351, 1972.
- MAGALHÃES, A. F. de J. Nutrição mineral e adubação de citros irrigados. Cruz das Almas: EMBRAPA - CNPMF, 2006, 12 p. (Circular Técnica, 79).
- MAIA, E.; SIQUEIRA, D. L.; PETERNELLI, L. A. Método de comparação de modelos de regressão não-lineares em bananeiras. Ciência Rural. 39(5): 1380-1386, 2009.
- MALAVOLTA, E. Manual de química agrícola; nutrição de plantas e fertilidade do solo. São Paulo, Editora Agronômica Ceres, 1976. 528 p.
- MALAVOLTA, E. Reação do solo e crescimento das plantas. In: Seminario sobre corretivos agrícolas. Piracicaba, 1985. Fundação Cargill. p. 3-66.
- MALAVOLTA, E.; SILVA, A.Q.; CESAR, M.J.A.; TEÓFILO SOBRINHO, J.; POMPEU JR, J. Variação de matéria seca e de macronutrientes nos frutos de cinco variedades de citros durante o seu crescimento. VII Congresso Brasileiro de Fruticultura. 2:424-434, 1983.

- MALAVOLTA, E.; SILVA, A.Q.; SILVA, H.; CESAR, M.J.A.; TEÓFILO SOBRINHO, J.; POMPEU JR, J. Variação de matéria seca e de micronutrientes nos frutos de cinco variedades de citros durante o seu crescimento. IX Congresso brasileiro de fruticultura. 1:205-208, 1987.
- MALAVOLTA, E.; VOLANTE NETTO, A. Nutrição mineral, calagem, gessagem e adubação dos citros. Piracicaba-SP, Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1989. 153p.
- MATTOS JR, D. de; NEGRI, J.D.; PIO, R.M.; POMPEU JR, J. Citros. Campinas: Instituto Agronômico; Fundag, 2005. p. 929.
- MATTOS JR, D., GRAETZ, D.A., ALVA, A.K. Biomass distribution and nitrogen-15 partitioning in citrus trees on a sandy Entisol. Soil Sci. Soc. Am. J. 67:555–563, 2003b.
- MATTOS JR, D.; ALVA, A.K.; PARAMASIVAM, S.; GRAETZ, D.A. Nitrogen volatilization and mineralization in sandy Entisol of Florida under citrus. Communications in Soil Science and Plant Analysis. 34: 1803-1824, 2003c.
- MATTOS JR, D.; BATAGLIA, O. C.; QUAGGIO, J. A. Nutrição de citros. In: MATTOS JR, D. de; NEGRI, J.D.; PIO, R.M.; POMPEU JR, J. (Eds.). Citros. Campinas: Instituto Agronômico; Fundag, 2005. p.197-219.
- MATTOS JR, D.; QUAGGIO, J. A.; CANTARELLA, H. Citros. In: CRISOSTOMO, L. A., NAUMOV, A. (Eds.). Adubando para alta produtividade e qualidade: fruteiras tropicais do Brasil. Fortaleza, 2009. p. 70-88.
- MATTOS JR, D.; QUAGGIO, J. A.; CANTARELLA, H.; ALVA, A. K. Nutrient content of biomass components of Hamlin sweet orange trees. Sci. Agric., 60:155-160, 2003a.
- MATTOS JR, D.; QUAGGIO, J. A.; CANTARELLA, H.; BOARETTO, A. E. Nitrogênio e Enxofre na Cultura dos Citros. In: YAMADA, T.; STIPP, A. S.

- R.; VITTI, G. C. (Eds.). Nitrogênio e Enxofre na Agricultura Brasileira. Piracicaba, International Plant Nutrition Institute, 2007. p. 722.
- MATTOS JR, D.; QUAGGIO, J.A.; CANTARELLA, H.; ALVA, A.K.; GRAETZ, D.A. Response of young citrus trees on selected rootstocks to nitrogen, phosphorus, and potassium fertilization. *J. Plant Nutr.*, 29:1371-1385, 2006.
- MATTOS JR, D.; QUAGGIO, J.A.; CANTARELLA, H.; CARVALHO, S. A. Modelos de resposta do tangor Murcott à fertilização com N, P e K. *Rev. Bras. Frutic.* 26:164-167, 2004.
- MATTOS JR, D.; RAMOS, U.M.; FURLANI, P.R.; QUAGGIO, J.A. Nitrogênio e cobre na produção de mudas de citros em diferentes porta-enxertos. *Bragantia.* 69(1):135-147, 2010.
- MELLO, M. S. Sistema de interpretação de análise de solo e de recomendação de calagem e fertilizante para a cultura de tomate. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 2000. 91 p. (Dissertação de Mestrado).
- MENINO, M. R. R. S. B. G. V. Eficiência da utilização do azoto em jovens laranjeiras 'Lane Late' enxertadas em citranjeira 'Carrizo', na campina de faro. Lisboa, Universidade Técnica de Lisboa, 2005. 249f. (Tese de Doutorado).
- MOHAMED, F.A.; SHARAF, A.N.M.; MOHSEN, A.M. Response of orange plants to foliar application of manganese using <sup>54</sup>Mn. In: International Symposium on Nuclear and Related Techniques in Soil-Plant and Environmental Agriculture, 1994. Viena. Proceedings... Viena: IAEA-SM-334/26, 1994. p.507-517.
- MOHAMED, T. Diagnostic Approaches to evaluate nutrient status. Partitioning. Mineral dynamics, and relationships with yield and fruit quality of Valencia orange trees. Oregon State University, 1992. 198 p. (Tese de Doutorado).

- MONTEITH, J. L.; The quest for balance in crop modeling. *Agron. J.*, 88:695-697. 1996.
- MONTENEGRO, H.W.S. Contribuição ao estudo do sistema radicular das plantas cítricas. Piracicaba, USP, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 1960. 189p. (Tese de Doutorado).
- MOREIRA, C.S. Estudo da distribuição do sistema radicular da laranjeira “Pêra” *Citrus sinensis* (L.) Osbeck, com diferentes manejos de solo. Piracicaba, USP, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 1983. 97p. (Tese de Livre-Docência).
- MOREIRA, S. Um novo problema para nossa citricultura. *Rev. Agric.*, 35:77-82, 1960.
- MORGAN, K. T.; OBREZA, T. A.; SCHOLBERG, J. M. S. Orange Tree Fibrous Root Length Distribution in Space and Time. *Journal of the American Society for Horticultural Science*. 132 (2):262-269, 2007.
- MORGAN, K.T.; SCHOLBERG, J.M.S.; OBREZA, T.A. & WHEATON, T.A. Size, biomass, and nitrogen relationships with sweet orange tree growth. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 131:149–156, 2006.
- MUNIZ, A.S. Disponibilidade de fósforo avaliada por extratores químicos e pelo crescimento de soja (*Glycine max* (L.) Merrill) em amostras de solos com diferentes valores do fator capacidade. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1983. 79p. (Tese de Mestrado).
- NADIR, M. Partitioning and level of mineral elements in different parts of producing citrus trees. *Proceedings of the International Society of Citriculture*. 1:193-205, 1973.
- NATALE, W.; MARCHAL, J. Absorção e redistribuição de nitrogênio (<sup>15</sup>N) em *Citrus mitis* Bl. *Revista Brasileira de Fruticultura*. 24:183-188, 2002.

- NEVES, E. M.; DAYOUB, M; DRAGONE, D. S.; NEVES, M. F. Citricultura brasileira: efeitos econômico-financeiros, 1996 – 2000. Rev. Bras. Frutic., 23(2):432-436, 2001.
- NEVES, J.C.L. Produção e partição de biomassa, aspectos nutricionais e hídricos em plantios clonais de eucalipto na região litorânea do Espírito Santo. Campos dos Goytacazes, Universidade Estadual do Norte Fluminense, 2000. 202 p. (Tese de Doutorado).
- NEVES, M. F.; TROMBIN, V. G.; MILAN, P.; LOPES, F. F.; CRESSONI, F.; KALAKI, R, (Eds.). O retrato da Citricultura Brasileira. 2010. 71 p.
- NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V., V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L., (Eds.). Fertilidade do solo. Viçosa-MG, SBCS, 2007. 1017 p.
- NOVAIS, R. F.; SMYTH, T. J. Fósforo em solo e planta em condições tropicais. Viçosa- MG, Universidade Federal de Viçosa, 1999. 399p.
- OBREZA, T A; COLLINS, M E. Common Soils Used for Citrus Production in Florida. SL 193. University of Florida- IFAS. Soil and Water Science Department, 2008. 12p.
- OBREZA, T. A.; MORGAN, K. T. Nutrition of Florida Citrus Trees. SL 253. University of Florida-IFAS. Soil and Water Science Department, 2011. 90p.
- OLIVEIRA, F.H.T. Sistema para recomendação de calagem e adubação para a cultura da bananeira. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 2002. 78p. (Tese de Doutorado).
- OLIVEIRA, J. B. Solos para a citricultura no Estado de São Paulo. Laranja, 7(1):337-351, 1986.
- OLIVEIRA, J.R.V. Sistema para cálculo de balanço nutricional e recomendação de calagem e adubação de povoamentos de teca –

- Nutriteca. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 2003. 76 p. (Dissertação de Mestrado).
- PARAMASIVAM, S.; ALVA, A.K.; HOSTLER, K.H.; EASTERWOOD, G.W.; SOUTHWELL, J.S. Fruit nutrient accumulation of four orange varieties during fruit development. *J. Plant Nutr.*, 32:313-327, 2000.
- PASSIOURA, J.B. Simulation models: science, snake oil, education, or engineering? *Agron. J.*, 88:690-694, 1996.
- PAULILLO, L. F.; VIEIRA, A. C.; LAMBERT, A.; ALMEIDA, L. M.; MACHADO, M. D.; CARVALHO, M. S. Agroindústria e citricultura no Brasil: diferenças e dominâncias. E-papers. Rio de Janeiro, 2006. 481 p.
- PELISER, O.; KOLLER, O.C.; ANGHINONI, I. Rendimento e qualidade de frutos da laranjeira Valência submetida à adubação com magnésio, manganês, zinco e boro no solo. *Revista Brasileira de Fruticultura*. 15:55-61, 1993.
- POSSAMAI, J. M. Sistema de recomendação de corretivos e fertilizantes para o cultivo do algodoeiro. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 2003. 91 p. (Dissertação de Mestrado).
- PREZOTTI, L. C. Sistema para recomendação de corretivos e fertilizantes para a cultura do Café Arábica. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 2001. 104p. (Tese de Doutorado).
- PROCHNOW, L.I.; CASARIN, V.; STIPP, S.R. Boas práticas para uso eficiente de fertilizantes. Piracicaba, 2011. 1 ed. p. 1291.
- PROCHNOW, L.I.; CASARIN, V.; STIPP, S.R. (Eds.). Boas práticas para uso eficiente de fertilizantes 1 Ed. V. 3. Piracicaba: International Plant Nutritional Institute, 2011. 467p.
- QU, H.; NORMAN, D.; LU, Z. Digital orange tree: An intelligent agent based simulation model. *African Journal of Agricultural Research*. 7(5): 690-710, 2012.

- QUAGGIO, J. A.; CANTARELLA, H.; RAIJ, B. van. Resposta da laranjeira 'Valência' à aplicação de calcário e gesso. *Laranja*. 19:383-398, 1998b.
- QUAGGIO, J. A.; MATTOS JR, D.; CANTARELLA, H; TANK JR, A. Fertilização com boro e zinco no solo em complementação à aplicação via foliar em laranjeira Pêra. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. 38(5):627-634, 2003.
- QUAGGIO, J. A.; MATTOS JR., D.; CANTARELLA, H. Manejo da fertilidade do solo na citricultura. In: MATTOS JR, D. de; NEGRI, J.D.; PIO, R.M.; POMPEU JR, J. (Eds.). *Citros*. Campinas: Instituto Agrônômico; Fundag, 2005. p. 483-507.
- QUAGGIO, J.A. Calagem para citros. *Laranja*. 6:167-178, 1985.
- QUAGGIO, J.A. Resposta da laranjeira Valência à calagem e ao equilíbrio de bases num Latossolo de textura argilosa. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, ESALQ, USP. 1991. 107p. (Tese de Doutorado).
- QUAGGIO, J.A.; CANTARELLA, H.; RAIJ, B. van. Phosphorus and potassium soil test and nitrogen leaf analysis as a basis for citrus fertilization. *Nutr. Cycling in Agroecosystems*, 52:67-74, 1998a.
- QUAGGIO, J.A.; MATTOS JR, D.; BOARETTO, R. M. Citros. In: PROCHNOW, L.I.; CASARIN, V.; STIPP, S.R. (Eds.). *Boas práticas para uso eficiente de fertilizantes*. Piracicaba, 2011. 1 ed. v. 3. p. 371-409.
- QUAGGIO, J.A.; PIZA JR, C.T. Micronutrientes para frutíferas tropicais. In: FERREIRA, M. E.; CRUZ, M. C. P.; RAIJ, B. van; ABREU, C. A. (Eds.). *Micronutrientes tóxicos e metais pesados na agricultura*. Jaboticabal: CNPq/Fapesp/Potafos, 2001. p. 459-491.
- QUAGGIO, J.A.; RAIJ, B. van; PIZZA JR, C. T. Frutíferas. In: RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. (Eds.). *Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo*. 2. ed. Campinas, Instituto Agrônômico e Fundação IAC, 1997. p.121-153.

- QUAGGIO, J.A.; ROSSETTI, V.; CHAGAS, C.M. Anormalidades de tangerinas Ponkan no Estado de Minas Gerais, provocadas por deficiência de boro. *Bragantia*, 55:157-162, 1996b.
- QUAGGIO, J.A.; TEÓFILO SOBRINHO, J.; DECHEN, A.R. Magnesium influences on fruit yield and quality of 'Valencia' sweet orange on Rangpur lime. In: INTERNATIONAL CITRUS CONGRESS, 7, Italy, 1992. *Proc. Int. Soc. Citriculture*, 1992a. 2:633-637.
- QUAGGIO, J.A.; TEÓFILO SOBRINHO, J.; DECHEN, A.R. Response to liming of 'Valencia' orange tree on Rangpur lime: effects of soil acidity on plant growth and yield. In: INTERNATIONAL CITRUS CONGRESS, 7, Italy, 1992. *Proc. Int. Soc. Citriculture*, 1992b. 2:628-632.
- QUIÑONES, A.; BAÑULS, J.; PRIMO-MILLO, E.; LEGAZ, F. Effects of <sup>15</sup>N application frequency on nitrogen uptake efficiency in Citrus trees. *Journal of Plant Physiology*.160:1429-1434, 2003.
- QUIÑONES, A.; MARTÍNEZ-ALCÁNTARA, B.; LEGAZ, F. Influence of irrigation system and fertilization management on seasonal distribution of N in the soil profile and on N-uptake by citrus trees. *Agriculture, ecosystems & environment*. 122:399-409, 2007.
- RAFFAELI, V. Sistema de interpretação de análise de solo e de recomendação de nutrientes para arroz irrigado. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa. 2000. 76p. (Tese de Mestrado).
- RAIJ, B. van; CANTARELLA, H., QUAGGIO, J. A. & FURLANI A. M.C., (Eds.). Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo. 2 ed. Campinas, Instituto Agronômico e Fundação IAC, 1997. 285p. (Boletim Técnico, 100).
- RAIJ, B. van; SILVA, N.M. da; BATAGLIA, O.C.; QUAGGIO, J.A.; HIROCE, R.; CANTARELLA, H.; BELLINAZZI JR., D.; DECHEN, A.R.; TRANI, P.E. Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo. Campinas, Instituto Agronômico, 1985. 107 p. (Boletim Técnico, 100).

- RAO, P.S.C.; JESSUP, R.E. & HORNSBY, A.G. Simulation of nitrogen in agro- ecosystems: criteria for model selection and use. *Plant Soil*, 67:35-43, 1982.
- REITZ, H. J. & STILES, W. C. Fertilization of high producing orchards. In: DINAUER, R. C., ed. *Changing patterns of fertilizer use*. Madison, Soil Science Society of America, 1968. p. 353-78.
- REZENDE, C.F.A.; FERNANDES, E.P.; SILVA, M.F.; LEANDRO, W.M. Crescimento e acúmulo de nutrientes em mudas cítricas cultivadas em ambiente protegido. *Bioscience Journal*. 26(3): 367-375, 2010.
- ROCCUZZO, G.; ZANOTELLI, D.; ALLEGRA, M.; GIUFFRIDA, A.; TORRISI, B. F.; LEONARDI, A.; QUIÑONES, A.; INTRIGLIOLO, F.; TAGLIAVINI, M. Assessing nutrient uptake by field-grown orange trees. *Europ. J. Agronomy* 41:73–80, 2012.
- RODRIGUES, O. Nutrição e adubação dos citros. In: RODRIGUES, O.; VIEGAS, F. (Eds.). *Citricultura Brasileira*. Fundação Cargill, Campinas, 1980. p. 341-387.
- ROSA, G. N. G. P. Sistema de recomendação de corretivos e fertilizantes para a cultura do coqueiro. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 2002. 76 p. (Tese de Doutorado).
- ROSOLEM, C.A.; NAKAGAWA, J. Potassium uptake by soybean as affected by exchangeable potassium in soil. *Commun. in Soil Sci. Plant Anal.* 16:707-726, 1985.
- ROSSETO, J.; LORENA, B.; COUTINHO, E.L.M.; SOUZA E.C.A.; FERREIRA, M.E.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; CARMELLO, Q.A.; SILVEIRA, R.I. Projeto produtividade – os primeiros números. *Laranja & Cia.* 11:4-5, 1988.
- ROY, W.R.; GARDNER, F.E. Seasonal absorption of nutrient ions by orange trees in sand culture. *Proc. Fla. State Hortic. Soc.* 58:25–36, 1945.

- SANTOS, F. C. Sistema de recomendação de corretivos e fertilizantes para a cultura da soja. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 2002. 64p. (Tese de Mestrado).
- SANTOS, F. C.; NEVES, J. C. L.; NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V., V. H.; SEDIYAMA, C. S. Modelagem da recomendação de fertilizantes para a cultura da soja. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. 32(4):1661-1674, 2008.
- SANTOS, H. Q. Sistema para cálculo do balanço de nutrientes e recomendação de calagem e adubação de pastagem para bovinos de corte. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 2003. 138 p. (Tese de Doutorado).
- SARTORI, R.H.; BOARETTO, A.E.; VILLANUEVA, F.C.V.; FERNANDES, H.M.G. Absorção radicular e foliar de <sup>65</sup>Zn e sua redistribuição em laranjeiras. *Revista Brasileira de Fruticultura*. 30(2):523-527, 2008.
- SEXTON, R. Abscission. In: PESSARAKLI, M. (Ed.) *Handbook of plant and crop physiology*. 2.ed. New York, Marcel Dekker, 2001, p. 205-222.
- SILVA, A. P. Sistema de recomendação de fertilidade e corretivos para a cultura do abacaxizeiro. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 2006. 169 p. (Tese de Doutorado).
- SILVA, A. P.; ALVAREZ V., V. H.; SOUZA, A. P.; NEVES, J. C. L.; NOVAIS, R. F.; DANTAS, J. P. Sistema de recomendação de fertilizantes e corretivos para a cultura do abacaxi – Fertcalc-Abacaxi. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. 33(5):1269-1280, 2009.
- SMITH, P.F. Citrus nutrition. In: CHILDERS, N.F. (Ed.). *Nutrition of fruit crops: temperate to tropical fruit*. New Brunswick: Rutgers the State of Universit, 1966. p.174-207.
- SMITH, P.F.; REUTHER, W. Mineral content of oranges in relation to fruit age and some fertilizer practices. *Proc. Fla. State Hort. Soc.* 66:80-85,1953.

- SOUZA, D.M.G.; REIN, T.A.; LOBATO, E.; RITCHEY, K.D. Sugestões para diagnose e recomendação de gesso em solos de cerrado. In: SEMINÁRIO SOBRE O USO DO GESSO NA AGRICULTURA, II. Uberaba-MG, 1992. Anais... São Paulo. IBRAFOS, 1992. p.139-158.
- STANFORD, G.S.; SMITH, S.J. Nitrogen mineralization potentials of soils. Soil Sci. Soc. Am. Proc., 36:465-472, 1972.
- SYVERTSEN, J. P.; SMITH, M. L. Light acclimation in Citrus leaves. I. Changes in physical characteristics, chlorophyll, and nitrogen content. J. Am. Soc. Hortic. Sci. 109:807-812, 1984.
- TAGLIAVINI, M., ZAVALLONI, C., ROMBOLÀ, A.D., QUARTIERI, M., MALAGUTI, D., MAZZANTI, F., MILLARD, P., MARANGONI, B. Mineral nutrient partitioning to fruits of deciduous trees. Acta Horticulturae. 512:131–140, 2000.
- TAGLIAVINI, M.; TONON, G.; SCANDELLARI, F.; QUIÑONES, A.; PALMIERI, S.; MENARBIN, G.; GIOACCHINI, P.; MASIA, A. Nutrient recycling during the decomposition of apple leaves (*Malus domestica*) and mowed grasses in an orchard. Agriculture, ecosystems & environment. 118: 191-200, 2007.
- TOMÉ JR, J. B. & NOVAIS, R. F. Utilização de modelos como alternativas às tabelas de recomendação de adubação. Boletim Informativo da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. 25(3):8-11, 2000.
- TOMÉ JR, J. B. Uma nova abordagem nas recomendações de adubação. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 2004. 133 p. (Tese de Doutorado).
- USDA 2012. Citrus : World Markets and Trade. Disponível em: <http://usda01.library.cornell.edu/usda/fas/citruswm//2010s/2012/citruswm-07-26-2012.pdf>

- VENTURA, M.; SCANDELLARI, F.; BONORA, E.; TAGLIAVINI, M. Nutrient release during decomposition of leaf litter in a peach (*Prunus persica* L.) orchard. *Nutr. Cycl. Agroecosyst.* 87: 115-125, 2010.
- VITTI, G.C. & CABRITA, J.R.M. Nutrição e adubação de citros. Funep. Jaboticabal, 1998. (Boletim Citrícola N°4).
- WALLIHAN, E.F.; HEIMANN-HERSCHBERG, L. Some factors affecting absorption and translocation of zinc in citrus plants. *Plant Physiology.* 31:294-299, 1956.
- WELCH, C.D.; HALL, N.S. & NELSON, W.L. Utilization of fertilizer and soil phosphorus by soybeans. *Soil Sc. Soc. Proc.*, 14:231-235, 1949.
- WU, Z.-D.; WANG, Y.-X.; CAI, Z.-F.; YOU, Z.-M.; ZHANG, W.-J.; WENG, B.-Q. Amount and decomposition characteristics of litters in citrus orchard in Fuzhou, China. *Journal of Ecology and Rural Environment.* 26(3): 231-234, 2010.
- WUTSCHER, H. K. Alteration of fruit tree nutrition through rootstocks. *HortScience* 24: 578–584, 1989.
- ZAMBROSI, F.C.B.; MATTOS JR, D.; FURLANI, P.R.; QUAGGIO, J.A.; BOARETTO, R.M. Eficiência de absorção e utilização de fósforo em porta-enxertos cítricos. *R. Bras. Ci. Solo.* 36:485-496, 2012.
- ZIMMERMANN, M.H.; ZIEGLER, H. List of sugars and sugar alcohols in sieve-tube exudates. In: ZIMMERMANN, M.H. & MILBURN, J.A. (Eds.). *Encyclopedia of plant physiology.* Berlin: Springer-Verlag, 1975. p. 480–503.