

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU

**MONITORAMENTO DO ESTADO NUTRICIONAL E DA SOLUÇÃO
DO SOLO EM LARANJEIRAS ‘HAMLIN’ FERTIRRIGADAS**

THOMAS FIORE DE ANDRADE

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências
Agronômicas da UNESP – Campus de Botucatu,
para obtenção do título de Mestre em Agronomia
(Irrigação e Drenagem)

BOTUCATU-SP

Fevereiro - 2012

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU

**MONITORAMENTO DO ESTADO NUTRICIONAL E DA SOLUÇÃO
DO SOLO EM LARANJEIRAS ‘HAMLIN’ FERTIRRIGADAS**

THOMAS FIORE DE ANDRADE

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências
Agronômicas da UNESP – Campus de Botucatu,
para obtenção do título de Mestre em Agronomia
(Irrigação e Drenagem)

BOTUCATU-SP

Fevereiro - 2012

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA SEÇÃO TÉCNICA DE AQUISIÇÃO E TRATAMENTO DA INFORMAÇÃO -
SERVIÇO TÉCNICO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - UNESP - FCA
- LAGEADO - BOTUCATU (SP)

Andrade, Thomas Fiore de, 1985-
A553m Monitoramento do estado nutricional e da solução do solo em laranjeiras
'Hamlin' fertirrigadas / Thomas Fiore de Andrade. - Botucatu : [s.n.], 2012
viii, 63 f. : il. color., fots. color., gráfs. color.,
tabs.

Dissertação (Mestrado)- Universidade Estadual Paulista,
Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 2012
Orientador: Roberto Lyra Villas Bôas
Co-orientador: Thais Regina de Souza
Inclui bibliografia

1. Laranja. 2. Citros. 3. Laranjeira *Hamlin*. 4. Solução do solo. 5.
Fertirrigação. 6. Seiva - Análise. I. Villas Bôas, Roberto Lyra. II. Souza,
Thais Regina de. III. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita
Filho" (Campus de Botucatu). Faculdade de Ciências Agrônômicas. IV. Título.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: "MONITORAMENTO DO ESTADO NUTRICIONAL E DA SOLUÇÃO DO SOLO EM LARANJEIRAS 'HAMLIN' FERTIRRIGADAS"

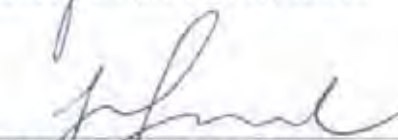
ALUNO: THOMAS FIORI DE ANDRADE

ORIENTADOR: PROF. DR. ROBERTO LYRA VILLAS BÓAS
CO-ORIENTADORA: PROF^a DR^a THAÍS REGINA DE SOUZA

Aprovado pela Comissão Examinadora



PROF. DR. ROBERTO LYRA VILLAS BÓAS



PROF. DR. JOÃO CARLOS CURY SAAD



PROF. DR. ERVAL RAFAEL DAMATTO JÚNIOR

Data da Realização: 28 de fevereiro de 2012.

AGRADECIMENTOS

À minha família por todo apoio e força dados durante este período;

Aos meus amigos de Piracicaba, de Botucatu, da FCA e da república Artrópodos;

Ao Prof. Dr. Roberto Lyra Villas Bôas pela oportunidade, confiança, apoio, motivação e ensinamentos;

À Dr^a Thais Regina de Souza pela atenção e ajuda dedicada ao desenvolvimento deste experimento;

À Faculdade de Ciências Agronômicas (FCA/UNESP) pela infra-estrutura e oportunidade de realizar este curso, em especial ao Departamento de Engenharia Rural e ao Departamento de Recursos Naturais/Ciência do Solo;

Aos funcionários do Departamento de Recursos Naturais/Ciência do Solo por toda ajuda dedicada durante este período;

À empresa Citrovita-Votorantim/Agroindústria por ceder a área, alguns materiais e funcionários que auxiliaram na condução deste experimento;

Ao Instituto Agronômico de Campinas (IAC) pela infra-estrutura oferecida para realização das análises de seiva;

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes) pela bolsa de estudos concedida;

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pelos recursos financeiros concedidos para o desenvolvimento deste projeto;

Aos colegas Diógenes e Letícia, que estiveram sempre juntos comigo durante as coletas e análises realizadas;

E por fim, à todos que não foram citados, mas de alguma forma ajudaram para que este experimento fosse realizado.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS	VI
LISTA DE FIGURAS	VII
LISTA DE APÊNDICES	VIII
RESUMO	1
SUMMARY	3
1. INTRODUÇÃO	5
2. REVISÃO DE LITERATURA	7
2.1. Dificuldades encontradas na recomendação da adubação na fertirrigação	7
2.2. Alternativas para melhorar a recomendação das doses e do parcelamento dos nutrientes aplicados via fertirrigação	8
2.2.1 Análise da seiva da planta	9
2.2.2. Determinação indireta do teor de clorofila nas folhas através de clorofilômetro	10
2.2.3. Análise da solução do solo	11
3. MATERIAL E MÉTODOS	13
3.1. Caracterização da área experimental	13
3.2 Delineamento experimental e tratamentos	13
3.3. Manejo da adubação e da calagem	14
3.4. Manejo da irrigação	16
3.5. Análises realizadas durante o ensaio	18
3.5.1. Amostragem e análise de solo	18
3.5.2. Amostragem e análise da solução do solo	18
3.5.3. Amostragem e análise de folhas	19
3.5.4. Amostragem de folhas para avaliação da intensidade de coloração verde	20
3.5.5. Amostragem de ramos para análise da seiva	20
3.6. Precipitação e temperatura	22
3.7. Colheita	23
3.8. Análise estatística dos resultados	23
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	24
4.1. Análise de solo	24

4.2. Análise da solução do solo	27
4.2.1. Comportamento dos nutrientes em função dos tratamentos	27
4.2.2. Perdas de nutrientes por lixiviação	32
4.3. Análise Foliar	35
4.4. Determinação do índice de coloração verde nas folhas	39
4.4.1. Variação do índice de coloração verde nas folhas em relação aos tratamentos	39
4.4.2. Variação do índice de coloração verde nas folhas em relação aos meses	42
4.4.3. Índice de suficiência de nitrogênio	43
4.5. Análise de seiva	45
4.5.1. Comportamento dos nutrientes em função dos tratamentos	45
4.5.2. Comportamento do nitrogênio e potássio na seiva em relação ao ciclo de desenvolvimento da cultura	50
4.7 Quantificação da produção	53
5. CONCLUSÕES	55
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	56
7. APÊNDICES	63
7.1. Apêndice 1	63

LISTA DE TABELAS

1. Resultados da análise de solo realizada em junho de 2010, em relação aos tratamentos, nas profundidades 0-20, 20-40 e 40-60	15
2. Resultado da análise de textura do solo.....	17
3. Resultados da análise de solo realizada em junho de 2011, em relação aos tratamentos, nas profundidades 0-20, 20-40 e 40-60	25
4. Resultados da análise de solução do solo, em relação aos tratamentos, nas profundidades 30 e 60 cm, referente à média dos oito meses de amostragem	28
5. Resultados da análise foliar realizada em março de 2011	36
6. Correlações entre a concentração de nutrientes na solução do solo (30 cm) e na folha	37
7. Resultados dos valores de medida indireta da clorofila (SPAD), em relação aos tratamentos, nos 12 meses de amostragem.....	41
8. Resultados da análise de seiva, em relação aos tratamentos, referente a média dos 12 meses de amostragem	46
9. Correlações entre as concentrações dos nutrientes na solução do solo (30 cm) e na seiva	48
10. Resultados da análise de seiva, em relação aos tratamentos, nos 12 meses de amostragem	51
11. Quantificação da produção, em relação aos tratamentos	54

LISTA DE FIGURAS

1. Localização da linha de gotejo, caracterização da posição dos emissores e da faixa molhada.....	16
2. Localização dos tensiômetros instalados em três profundidades	16
3. Curva de retenção de água no solo nas profundidades 0-20 cm, 20-40cm e 40-60 cm	17
4. Posição dos extratores de solução do solo em relação ao emissor (A) e aplicação de tensão nos extratores através de bomba de vácuo (B)	19
5. Folhas analisadas (A) e medidas com o aparelho SPAD – 502 da Minolta (B)	20
6. Ramo de brotação nova retirado para a análise de seiva	21
7. Precipitação acumulada nos meses durante o período de realização do ensaio	22
8. Temperaturas máxima, mínima e média do período de realização do experimento .	22
9. Condutividade elétrica na solução do solo, nas profundidades de 30 e 60 cm, e valores de precipitação para os diferentes meses de amostragem	34
10. Concentração de nitrato na solução do solo, nas profundidades de 30 e 60 cm, e valores de precipitação para os diferentes meses de amostragem	34
11. Concentração de potássio na solução do solo, nas profundidades de 30 e 60 cm, e valores de precipitação para os diferentes meses de amostragem	35
12. Valores de leitura SPAD (média dos 12 meses) e teor de nitrogênio nas folhas, em função dos tratamentos	39
13. Relação entre leitura SPAD e teor de N nas folhas	40
14. Índice de coloração verde nas folhas (SPAD) e parcelamento da adubação (%)	43
15. Índice de suficiência de nitrogênio (ISN) calculado pelo quociente entre o valor SPAD de uma parcela e o de outra que recebe alta dose de N (área de referência), durante o período de adubação	45
16. Nitrogênio na seiva nos diferentes meses de amostragem	52
17. Potássio na seiva nos diferentes meses de amostragem	53

APÊNDICES

1. Quantificação da produção, em relação aos tratamentos, para a safra 2009/2010 63

MONITORAMENTO DO ESTADO NUTRICIONAL E DA SOLUÇÃO DO SOLO EM LARANJEIRAS ‘HAMLIN’ FERTIRRIGADAS. Botucatu, 2012. 63f. Dissertação (Mestrado em Agronomia / Irrigação e Drenagem) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista.

Autor: Thomas Fiore de Andrade

Orientador: Roberto Lyra Villas Bôas

Co-orientador: Thais Regina de Souza

RESUMO

A citricultura é um segmento de grande importância para o Brasil, que é o maior produtor mundial de laranja. A fertirrigação é uma prática que está cada vez mais se expandindo no cenário da citricultura, sendo esta técnica geralmente realizada através de doses preestabelecidas, sem qualquer monitoramento do estado nutricional da planta e do solo. O manejo inadequado da fertirrigação pode ocasionar certos desequilíbrios nas condições de solo e no estado nutricional da planta ao longo do tempo. As técnicas tradicionais de monitoramento da condição do solo e da planta não permitem o fornecimento de dados com rapidez, para que possa ser realizada uma alteração na adubação, desperdiçando assim este grande potencial da fertirrigação. O objetivo deste trabalho foi de avaliar o efeito de cinco doses de N e K sobre a produção e estado nutricional de plantas cítricas, correlacionando os resultados de análise da seiva, análise do teor de clorofila e solução do solo com os resultados da análise do solo e foliar, assim observando a sensibilidade destes métodos com relação à variação das doses destes nutrientes. Para isso foi conduzido um experimento em campo, na cidade de Reginópolis-SP/Brasil, utilizando-se laranjeiras da variedade ‘Hamlin’, sobre porta-enxerto citrumelo Swingle. Os tratamentos consistiram de cinco doses de N e K, aplicadas via fertirrigação: T1 - controle (sem nutriente); T2 - 25%; T3 - 50%; T4 - 100% e T5 - 200% da dose de N e K. A dose 100%, oficialmente recomendada, foi definida com base no histórico de análises de solo e folhas e também em função da produtividade esperada. A partir desta dose foram calculadas as outras. Para monitorar o estado nutricional das plantas foram realizadas análises de folha e seiva e também foi determinada a medida indireta da clorofila. A dinâmica dos nutrientes no solo foi monitorada pela amostragem do solo e também pela coleta da

solução do solo, com o auxílio de extratores de cápsula porosa. Também foi quantificada a produção. Na solução do solo foi observada queda nos valores de pH e aumento na condutividade elétrica e nos teores de amônio, nitrato, potássio, manganês e zinco na solução do solo, com aumento das doses de N e K aplicadas via fertirrigação, além de uma potencial perda de nitrato, potássio e boro por lixiviação. A leitura do índice de coloração verde nas folhas (SPAD) se correlacionou de forma significativa com as doses de N e K aplicadas, assim como as concentrações de N e K na seiva. As maiores produtividades para esta safra ocorreram nos tratamentos T4 (100%) e T2 (25%), quando aplicados, respectivamente, 220 e 110 kg de N ha⁻¹ e 140 e 70 kg de K₂O ha⁻¹. A utilização do índice SPAD, da análise de solução do solo e da análise de seiva para o monitoramento da solução do solo e do estado nutricional da planta, se mostraram técnicas eficientes, pois discriminaram os tratamentos de N e K aplicados na maioria das variáveis analisadas.

Palavras-chave: citros, fertirrigação, seiva, clorofilômetro, solução do solo.

MONITORING OF NUTRITIONAL STATUS AND SOIL SOLUTION IN ‘HAMLIN’ CITRUS TREES FERTIGATED. Botucatu, 2012. 63f. Dissertação (Mestrado em Agronomia / Irrigação e Drenagem) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista.

Author: Thomas Fiore de Andrade

Adviser: Roberto Lyra Villas Bôas

Co-adviser: Thais Regina de Souza

SUMMARY

The citrus industry is a segment of great importance to Brazil, which is the world largest producer of orange. Fertigation is a technique that is increasingly expanding in the citriculture, but this technique is usually performed using predetermined doses without monitoring the nutritional status of plant and soil. The mismanagement of fertigation can cause imbalances in soil conditions and plant nutritional status over time. Traditional techniques for monitoring the condition of the soil and the plant does not allow the provision of data quickly, wasting this great potential of fertigation. This research aimed to evaluate the effect of five N and K rates on the yield and nutritional status of citrus plants, correlating the results of sap analysis, indirect measurement of the chlorophyll and soil solution analysis with the results of the leaf and soil analysis, thereby observing the sensitivity of these methods. The experiment occurred out in the city of Reginópolis-SP/Brasil, using ‘Hamlin’ trees, grafted on citrumelo Swingle rootstock. The treatments consisted of five N and K rates, applied through fertigation: T1 - control (no nutrient), T2 - 25%, T3 - 50%, T4 - T5 and 100% - 200% of N and K. The 100% rate, officially recommended, was established based on historical of soil and leaf analysis and also in accordance with the expected productivity. The remaining rates was calculated from it. To monitor the nutritional status of the plants, leaf analysis, sap analysis and the indirect measurement of the chlorophyll were employed. The nutrients dynamics in the soil was evaluated by soil sampling and by the soil solution analysis, with the help of porous covering soil solution extractors. The yield was also quantified. In the soil solution was observed decrease in pH and increase in electrical conductivity and in ammonium, nitrate, potassium, manganese and zinc with increasing rates of N and K applied by fertigation, in

addition to a potential loss of nitrate, potassium and boron by leaching. A narrow correlation with the SPAD measures was observed in the applied nitrogen rates and in the N-leaf level. The N and K concentrations in the sap correlated significantly with the doses of N and K applied. Higher yields for this harvest occurred in treatments T2 and T4, when applied, respectively, 220 and 110 kg N ha⁻¹ and 140 and 70 kg K₂O ha⁻¹. The indirect measurement of the chlorophyll, the soil solution analysis and the sap analysis for the monitoring of soil solution and plant nutritional status, proved to be efficient techniques, because it discriminated the treatments of N and K applied in most of the variables.

Keyword: citrus, fertigation, sap, chlorophyllometer, soil solution.

1. INTRODUÇÃO

Os citros são originários das zonas tropicais úmidas do sudeste do continente asiático, porém a produção comercial em grande escala encontra-se nas zonas subtropicais, sob irrigação (DOORENBOS & KASSAM, 1994). A citricultura é um segmento de grande importância para a estrutura sócio-econômica brasileira, sendo esta caracterizada como uma das mais típicas atividades agro-industriais do país. O Brasil é o maior produtor de laranja do mundo, sendo responsável por 33% da produção mundial (LOHBAUER, 2010). O estado de São Paulo é considerado como referência em citricultura, se destacando como maior produtor nacional, participando com 87,44% da produção brasileira (AGRIANUAL, 2009).

A utilização da técnica da irrigação localizada aumentou muito nos últimos anos na citricultura brasileira, não só pelo aumento de produtividade que o sistema proporciona, devido ao fornecimento de água principalmente nas fases de pós-florescimento e pegamento de frutos, mas também por promover a antecipação da floração e a produção de frutos fora do pico da safra. Em função dessa grande expansão da área de citros com sistema de irrigação localizada, houve também um aumento no número de produtores que passaram a utilizar a técnica da fertirrigação para fornecer nutrientes as plantas.

A fertirrigação é a aplicação de fertilizantes através do sistema de irrigação e a utilização dessa técnica em citros, principalmente pelo sistema de irrigação localizada, é crescente e apresenta muitas vantagens, das quais Salomão (1999) destaca o ganho de eficiência devido ao maior parcelamento da adubação, o que reduz as perdas por

lixiviação e principalmente pelo melhor ajuste entre a demanda por nutrientes pelas plantas, nos diferentes estádios de desenvolvimento.

Porém, a adoção rápida da técnica de fertirrigação em muitas regiões fez com que a prática se adiantasse às investigações e com isso apareceram problemas. Infelizmente, este fato tem implicado em redução de produtividade e desestímulo ao uso por parte de alguns produtores. O manejo inadequado da fertirrigação, além de reduzir a produtividade e a qualidade do produto, por efeito do desequilíbrio nutricional, pode aumentar o custo de produção, ampliar a perda de água e de fertilizantes, causar a salinização dos solos devido à aplicação excessiva e ainda, por meio de lixiviação, contaminar mananciais de águas (VILLAS BÔAS et al., 2001).

De acordo com Salomão (1999), uma das principais limitações da fertirrigação é a escassez de informações quanto às curvas de crescimento e de absorção de nutrientes, nos diferentes estádios de desenvolvimento da cultura, para se definir doses e estabelecer parcelamentos de fertilizantes no programa de fertirrigação. Atualmente, os critérios de recomendação de adubação para pomares fertirrigados baseiam-se em padrões estabelecidos para cultura adubada convencionalmente, ou seja, utilizando como parâmetros a análise de solo e planta. Alguns produtores mais cuidadosos realizam análise do tecido foliar com frequência maior, permitindo que ajustes na adubação possam ser realizados. No entanto, seria interessante que análises que avaliem o estado nutricional da planta e a fertilidade do solo pudessem ser realizadas rapidamente e com baixo custo, permitindo o monitoramento e consequentemente os ajustes das adubações, de modo tão frequente quanto a fertirrigação.

Portanto, o objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito de cinco doses de N e K, fornecidas via fertirrigação, sobre a produção e a qualidade da laranja e o estado nutricional da planta.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Dificuldades encontradas na recomendação da adubação na fertirrigação

A utilização da fertirrigação na cultura dos citros apresenta muitas vantagens, como o melhor aproveitamento dos equipamentos de irrigação, economia de mão-de-obra, distribuição uniforme e localizada dos fertilizantes, aplicação de adubo em qualquer fase de desenvolvimento da cultura, eficiência do uso e economia de fertilizantes, redução da compactação do solo e dos danos mecânicos à cultura, controle da profundidade de aplicação e possibilidade de aplicação de micronutrientes (FRIZZONE, 1985).

Esta técnica foi adotada de forma muito rápida, sendo que por falta de informações a utilização da fertirrigação de forma inadequada ocasionou muitos problemas, provocando a redução da produtividade e o desestímulo da sua utilização por parte dos produtores. O manejo inadequado da fertirrigação pode provocar diminuição da produtividade e da qualidade de frutos em função do desequilíbrio nutricional, além do desperdício de água e fertilizantes, salinização dos solos em função da aplicação excessiva e contaminação de mananciais por meio da lixiviação de nutrientes (VILLAS BÔAS et al., 2001).

Tais problemas normalmente ocorrem em função da aplicação de quantidades preestabelecidas de fertilizantes (pacotes de recomendação), sem qualquer monitoramento do estado nutricional da planta durante o período de cultivo (BLANCO, 2004). Além disso, pode-se ressaltar que as necessidades nutricionais da planta podem variar em

função de diversos fatores, como a expressão genética de cada cultivar, porta-enxerto utilizado, condições ambientais (solo e clima), e práticas fitotécnicas como poda, densidade e cobertura do solo.

No cálculo das concentrações finais de nutrientes no sistema de fertirrigação, além das demandas pela planta, devem ser consideradas ainda que as dissoluções de fertilizantes interagem com a matriz coloidal, o que resulta em grandes variações na disponibilidade de nutrientes para as plantas na solução do bulbo úmido. Essa interação depende da textura e mineralogia do solo e deve ser considerada no cálculo das dissoluções. Por essas razões e pela fertirrigação ser uma técnica que exige alterações rápidas e precisas nas quantidades de nutrientes aplicados, é importante o monitoramento de modo a promover os ajustes necessários ainda durante o ciclo da cultura (VILLAS BÔAS et al. 2005).

Sendo assim, para se realizar uma recomendação mais eficiente e precisa é necessário que se realizem pesquisas levantando informações quanto à avaliação das condições de solo e do estado nutricional de culturas perenes submetidas à fertirrigação em diferentes períodos durante o ciclo, além de buscar ferramentas que possam contribuir com informações mais rápidas e precisas sobre o estado nutricional das plantas, assim possibilitando que se faça ajustes no programa de adubação de modo a aumentar a eficiência de uso dos nutrientes aplicados.

2.2. Alternativas para melhorar a recomendação das doses e do parcelamento dos nutrientes aplicados via fertirrigação

Uma das vantagens atribuídas a fertirrigação é o aumento da eficiência do uso dos nutrientes pelas plantas devido, principalmente, ao maior parcelamento da adubação que ocorre sem custo adicional de aplicação, uma vez que o veículo para transporte de nutrientes até as plantas é a água de irrigação. Portanto, diferente da adubação sólida, o parcelamento poderá atender melhor a demanda da planta, principalmente considerando a quantidade e qualidade dos nutrientes aplicados, diferenciando estes dois aspectos ao longo do ciclo da cultura.

Porem a maneira mais utilizada para a realização da recomendação de adubação é através dos resultados de análise de solo e folhas. Tais métodos apresentam

viabilidade questionável quanto a sua utilização, em função do alto custo e da demanda de grande quantidade de tempo, desde a coleta das amostras, até a obtenção de resultados. Portanto, há interesse por buscar ferramentas que possibilitem a obtenção de informações mais rápidas sobre as condições de solo e estado nutricional das plantas. Tais ferramentas, aliadas as análises de solo e foliar, podem auxiliar na obtenção de dados que possam fornecer subsídios para a realização de ajustes necessários ao programa de adubação com o objetivo de atender as necessidades nutricionais das plantas nas condições locais de cultivo.

2.2.1. Análise da seiva da planta

A análise de seiva é um método que consiste na análise do líquido extraído dos tecidos condutores da planta. Na análise da seiva obtém-se o extrato somente de uma parte específica da planta (normalmente o pecíolo), que pode ser analisado em laboratório ou no próprio campo, utilizando kits específicos para análise de N-NO₃, P-PO₄ e K.

Esta técnica tem sido considerada uma nova ferramenta para determinar e quantificar o que a planta está absorvendo no momento da amostragem, conforme observado por Lozano (1996), citado por Cadahía e Lucena (1998). Segundo estes últimos autores é uma técnica bastante precisa e sensível para se determinar a demanda por nutrientes de plantas lenhosas nos diferentes estádios fenológicos, que é a base fundamental do programa de nutrição via fertirrigação. A determinação química da análise da seiva é vantajosa, devido a sua rapidez e precisão, tornando mais ágeis as mudanças na adubação, quando necessárias.

De acordo com Cadahía e Lucena (2005), este método apresenta várias vantagens em relação á análise foliar como: reflete a concentração de nutrientes no momento da coleta de amostra e não durante um período que antecede a mesma; possibilidade de realizar correções de nutrição rapidamente após determinar a diminuição da concentração dos nutrientes na seiva; possibilidade de controle de deficiências e excessos de nutrientes em cada momento fenológico e possibilidade de definir níveis de referência para o diagnóstico de nutrição; relacionar os nutrientes da seiva, com as características do tipo de solo, com a finalidade de conhecer a causa de um problema de nutrição; a análise da seiva é menos afetada

pelos efeitos de concentração, diluição e principalmente idade das folhas em relação às análises foliares, portanto oferece um diagnóstico mais correto.

Alguns trabalhos foram desenvolvidos no Brasil, utilizando a análise de seiva como um método de avaliação do estado nutricional das plantas, utilizando culturas como tomate (BLANCO, 2004), rúcula (PURQUEIRO, 2005), alface (FREIRE et al., 2008), citros (SOUZA, 2010) e mini tomate (ABRAHÃO, 2011). Na maioria dos casos, os resultados demonstram efeitos significativos quanto á utilização desta técnica, pois o método se mostrou sensível á variação da quantidade de nutrientes fornecida ás plantas.

2.2.2. Determinação indireta do teor de clorofila nas folhas através de clorofilômetro

O teor de clorofila na folha é utilizado para predizer o nível nutricional de nitrogênio (N) em plantas, devido ao fato de a quantidade desse pigmento correlacionar-se positivamente com teor de N na planta (BOOIJ et al., 2000). Essa relação é atribuída, principalmente, ao fato de que 50 a 70 % do N total das folhas ser integrante de enzimas que estão relacionadas com os cloroplastos (CHAPMAN e BARRETO, 1997).

O aumento da eficiência da adubação nitrogenada pode ser obtido com a sincronização, ou melhor, a relação da disponibilidade do N no solo e a quantidade de N da planta. Sendo assim alguns métodos que proporcionam a determinação indireta de quantidades de nutrientes nas plantas são fundamentais.

Os métodos utilizados em laboratórios para a determinação do teor de clorofila são muito demorados e trabalhosos, mas com a medição através de um medidor portátil (Minolta SPAD-502, Minolta Corporation LTD, Osaka, Japão, 1989) que mensura a intensidade da coloração verde da folha é possível obter valores indiretos do teor de clorofila das folhas, de um modo rápido e fácil.

O medidor SPAD-502 possibilita a amostragem de uma área de produção em minutos, assim obtendo resposta imediata sobre sua situação. Este aparelho pode não ser acessível para alguns produtores em função do seu custo de aquisição, porém este equipamento pode ser utilizado por grandes produtores, empresas de consultoria e associação ou cooperativas de produtores (PIEKIELEK et al., 1992).

Este medidor portátil tem sido utilizado para várias culturas como uma ferramenta auxiliar na indicação da necessidade de nitrogênio, como milho (Argenta et al., 2001), batata (Gil et al., 2002), tomate (Guimarães et al., 1999) e arroz (Turner e Jund, 1991), porém poucos trabalhos foram feitos envolvendo plantas cítricas.

2.2.3. Análise da solução do solo

Os solos são constituídos das fases sólida, líquida e gasosa. A porção líquida do solo se trata de uma solução, contendo diversos solutos, principalmente nutrientes. Essa solução é denominada solução do solo e é ela que fornece os nutrientes que serão absorvidos pelas raízes das plantas.

A absorção dos nutrientes N, P e K pelas plantas se dá na forma iônica dos mesmos, que estão dissolvidos na solução do solo. Portanto, determinar a concentração desses íons em solução do solo nos fornece uma estimativa da taxa de perdas e ganhos desses nutrientes, bem como se há lixiviação e uma posterior contaminação de recursos hídricos pelos mesmos (CRUZ et al., 2008).

A fertirrigação é uma técnica que permite uma alteração no manejo da adubação de forma bastante rápida, visando corrigir deficiências ou excessos que possam ocorrer durante o ciclo da cultura. Porém, para realizar essas correções é necessário um acompanhamento mais freqüente da condição nutricional do solo, e a análise de solo, que é o método mais utilizado para recomendação da adubação, não é viável economicamente nesse caso, além de não ser uma técnica de metodologia que possibilite a tomada de decisões de forma imediata.

Portanto, no caso da fertirrigação, a análise da solução do solo passa a ser uma alternativa mais interessante, uma vez que a mesma pode ser realizada a qualquer momento e a informação da concentração de determinados nutrientes pode ser obtida rapidamente, com a utilização de aparelhos portáteis utilizados na medição de pH, condutividade elétrica, nitrato e potássio.

Avaliando a solução do solo em citros sob fertirrigação, Souza (2010) afirmou que desde a primeira coleta a solução já discriminava os tratamentos para muitas

variáveis analisadas, enquanto a análise de solo passou a discriminar melhor os tratamentos somente depois de quase dois anos.

Wolt (1994) comenta que existem diversos métodos para extração da solução do solo como o deslocamento de solução em coluna pela adição ou retirada de gases ou adição de líquidos, centrifugação a alta e a baixa pressão, câmara de pressão, vácuo no extrato saturado e soluções aquosas, métodos de adsorção molecular e extratores providos de cápsulas porosas.

A utilização de extratores de solução do solo de cápsula porosa é uma importante ferramenta alternativa para a verificação da disponibilidade de nutrientes no solo, possibilitando ainda, as vantagens de ser um aparelho de manejo fácil, de custo relativamente baixo, além de ser obtido um extrato que não requer tratamentos prévios às determinações físico-químicas e à quantificação de seus componentes (MORAES e DYNIA, 1990).

Os extratores de solução têm sido muito utilizados em cultivo protegido, onde tem proporcionado bons resultados, o que tem evitado problemas de salinização e desequilíbrio nutricional das plantas (DIAS et al., 2006). Este instrumento também apresenta uso promissor em cultivos a céu aberto, principalmente quanto aos problemas relacionados à acidificação, salinização e manejo nutricional de pomares fertirrigados.

Segundo Bar-Yousef (1991), existe a necessidade de pesquisas visando o desenvolvimento de métodos que permitam detectar pequenas variações no estado nutricional das plantas e na concentração de nutrientes na solução do solo, para que estas possam ser corrigidas assim que forem observadas. Silva (2002) comenta que a obtenção da solução do solo, por meio de cápsula porosa é complexa, tornando-se necessários estudos visando avaliar a precisão e a possibilidade da utilização desta metodologia, para diferentes cultivos, no auxílio ao manejo da fertirrigação.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Caracterização da área experimental

O presente experimento foi conduzido na fazenda Emu, pertencente à Citrovita-Votorantim/Agroindústria, localizada no município de Reginópolis-SP, a uma latitude de 21°49'45" sul, longitude de 49°08'27" oeste e altitude de 460 m. De acordo com a classificação de Koppen, o clima da região é do tipo Cwa, clima mesotérmico tropical de altitude, com inverno seco e temperatura média do mês mais quente superior a 22°C.

O pomar era composto por laranjeiras da variedade Hamlin, sobre o porta-enxerto citrumelo 'Swingle', com oito anos, em espaçamento de 7m x 4m. O ensaio foi iniciado em 2007 e conduzido por três safras (até agosto de 2010). Os resultados obtidos neste trabalho referem-se à safra 2010/2011, sendo os dados coletados no período de setembro de 2010 a agosto de 2011.

3.2. Delineamento experimental e tratamentos

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso, com cinco tratamentos e quatro repetições. Os tratamentos foram definidos por cinco diferentes doses de N e K₂O, onde as mesmas foram estabelecidas com base no histórico de análises de solo, folha e produtividade esperada (mais de 50 t ha⁻¹) (QUAGGIO et al., 2005). A partir

desta dose foram definidas as outras que corresponderam a 0, 25, 50 e 200% da dose oficialmente recomendada. Portanto, os tratamentos foram distribuídos da seguinte forma:

T1 - Tratamento apenas irrigado (não recebeu nutriente)

T2 - Tratamento fertirrigado com 25% da dose de N e K₂O

T3 - Tratamento fertirrigado com 50% da dose de N e K₂O

T4 - Tratamento fertirrigado com 100% da dose de N e K₂O

T5 - Tratamento fertirrigado com 200% da dose de N e K₂O

As parcelas foram constituídas por três linhas de doze plantas, sendo avaliadas apenas as dez plantas da linha central, onde a bordadura era formada pelas duas linhas laterais e pelas duas plantas nos extremos da linha central, com o intuito evitar a contaminação entre os tratamentos, totalizando assim 36 árvores por parcela.

3.3. Manejo da adubação e da calagem

A dose correspondente ao Tratamento T4 (100% da recomendação), definida com base na análise de solo (Tabela 1), folha e também produtividade esperada (acima de 50 t ha⁻¹), foi de 220 kg de N ha⁻¹ e 140 kg de K₂O ha⁻¹. O N e o K₂O foram aplicados respectivamente nas formas de nitrato de amônio (33% de N) e cloreto de potássio branco (60% K₂O). Não se fez a adubação fosfatada, devido ao alto teor de fósforo contido no solo (Tabela 1).

As adubações foram efetuadas durante 32 semanas no ano, sendo iniciadas em setembro e finalizadas no final do mês de abril, em duas aplicações semanais, atingindo 64 aplicações durante o ciclo. O parcelamento da adubação foi realizado da seguinte forma: 25% da dose calculada para cada tratamento nos meses de setembro e outubro, 50% entre os meses de novembro a março e 25% em abril.

A calagem foi feita utilizando-se calcário dolomítico, com poder de reação e neutralização (PRNT) de 90%, de forma localizada (na largura da faixa molhada) e superficial, visando elevar a saturação por bases a 70%. As doses para cada tratamento foram definidas de acordo com a análise de solo (Tabela 1) e a aplicação foi parcelada, sendo que 50% da dose foi aplicada em setembro de 2010 e 50% da dose em dezembro de 2010.

Tabela 1. Resultados da análise de solo realizada em Junho de 2010, em relação aos tratamentos, nas profundidades 0-20, 20-40 e 40-60.

Tratamento	pH CaCl ₂	M.O. g dm ⁻³	Presina g dm ⁻³	H+Al -----	K -----	Ca mmole dm ⁻³	Mg -----	S -----	CTC -----	V %	B -----	Cu -----	Fe mg dm ⁻³	Mn -----	Zn -----
Prof. 0-20 cm															
T1 (0%)	5,1	13	100	20	0,8	16	6	4	43	54	0,4	2,1	39,2	7,3	5,2
T2 (25%)	4,9	15	62	21	0,9	16	8	7	45	53	0,5	2,5	39,0	12,7	41,6
T3 (50%)	4,2	13	75	29	1,2	8	3	9	41	29	0,5	2,4	98,6	14,1	30,9
T4 (100%)	4,6	14	95	30	1,2	12	4	8	47	37	0,5	2,2	100,5	8,7	17,5
T5 (200%)	4,0	14	102	34	1,6	4	2	13	41	20	0,5	2,3	116,5	11,0	17,2
Teste F	2,3 ns	0,9 ns	1,0 ns	1,8 ns	5,5 **	3,5 *	2,3 ns	3,8 *	0,5 ns	3,2 *	2,5 ns	0,2 ns	3,5 *	3,1 ns	6,5 **
CV %	13,5	14,3	44,7	33,6	23,1	47,5	73,2	41,2	17,9	42,2	21,6	32,3	50,2	29,5	48,9
Regressão	L *	L ns	Q ns	L *	L **	L **	L *	L **	Q ns	L **	Q ns	Q ns	L **	Q ns	Q ns
R ²	0,65	0,14	0,33	0,78	0,92	0,71	0,66	0,87	0,34	0,73	0,68	0,08	0,70	0,07	0,16
Prof. 20-40 cm															
T1 (0%)	4,7	13	81	23	0,6	10	4	5	37	39	0,5	1,6	42,2	9,6	4,5
T2 (25%)	4,7	13	67	21	0,7	11	4	8	36	43	0,6	1,2	36,4	15,0	31,5
T3 (50%)	3,9	13	79	33	1,0	5	2	14	40	19	0,8	1,1	69,0	15,3	17,5
T4 (100%)	4,2	13	87	34	0,8	7	3	13	45	26	0,6	0,8	82,9	8,9	9,9
T5 (200%)	3,8	12	102	37	1,4	4	1	16	44	17	0,8	1,1	94,1	11,7	14,8
Teste F	2,2 ns	0,1 ns	0,6 ns	2,5 ns	7,7 **	1,9 ns	1,9 ns	8,7 **	2,3 ns	2,0 ns	2,2 ns	2,8 ns	3,4 *	2,6 ns	9,9 **
CV %	13,9	15,7	41,4	30,8	23,8	53,4	70,5	29,3	12,0	56,7	24,4	27,1	41,7	30,8	41,3
Regressão	L *	L ns	L ns	L *	L **	L ns	L ns	L **	L *	L ns	Q ns	Q *	L **	Q ns	Q ns
R ²	0,63	0,58	0,77	0,68	0,80	0,60	0,55	0,71	0,66	0,57	0,43	0,99	0,80	0,04	0,02
Prof. 40-60 cm															
T1 (0%)	4,3	13	46	25	0,5	7	3	5	36	29	0,6	1,0	40,1	10,5	3,5
T2 (25%)	4,6	12	26	21	0,6	8	4	8	34	37	0,9	0,8	35,5	13,3	16,5
T3 (50%)	4,0	11	48	29	0,8	5	2	15	37	22	0,8	0,7	47,7	17,0	17,8
T4 (100%)	4,0	13	52	33	0,7	5	2	16	40	21	0,9	0,6	69,5	13,1	13,2
T5 (200%)	3,6	11	61	38	1,1	3	1	22	42	11	1,0	0,6	79,0	8,3	22,5
Teste F	3,7 *	2,7 ns	0,7 ns	2,3 ns	2,9 ns	3,3 *	3,8 *	19,1 **	1,7 ns	2,5 ns	2,5 ns	3,2 ns	2,0 ns	2,0 ns	2,1 ns
CV %	8,9	11,1	65,0	28,7	32,9	42,5	53,6	23,1	14,4	51,8	23,3	24,8	49,2	37,2	67,1
Regressão	L **	L ns	L ns	L *	L **	L **	L *	L **	L *	L *	L *	L *	L *	Q ns	Q ns
R ²	0,70	0,09	0,54	0,81	0,90	0,83	0,60	0,87	0,84	0,73	0,74	0,63	0,88	0,75	0,56

(**) significativo a 1%, (*) significativo a 5% e (ns) não significativo, L - ajuste linear, Q - ajuste quadrático.

3.4. Manejo da irrigação

O sistema de irrigação utilizado foi o de gotejamento, onde as parcelas possuíam uma linha de gotejo instalada ao lado do tronco das árvores, paralelamente a linha de plantio. A mangueira de gotejo apresentava emissores autocompensantes, com vazão de $2,3 \text{ L h}^{-1}$, espaçados entre si a $0,6 \text{ m}$, que trabalhavam com pressão de serviço entre 5 a 30 mca e proporcionavam uma faixa irrigada de $0,8 \text{ m}$ de largura (Figura 1).

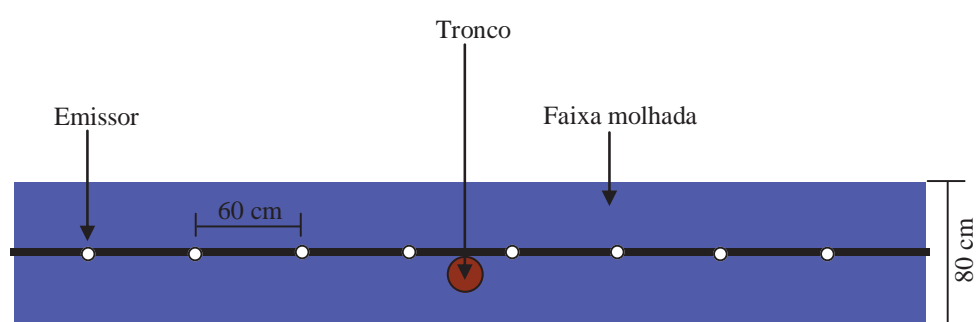


Figura 1. Localização da linha de gotejo, caracterização da posição dos emissores e da faixa molhada.

A umidade do solo foi monitorada por meio de tensiômetros, sendo instaladas três baterias compostas por três tensiômetros cada, localizadas na projeção da copa a 20 cm do emissor nas profundidades de 30 , 60 e 90 cm (Figura 2), sendo a irrigação feita para atingir a capacidade de campo.

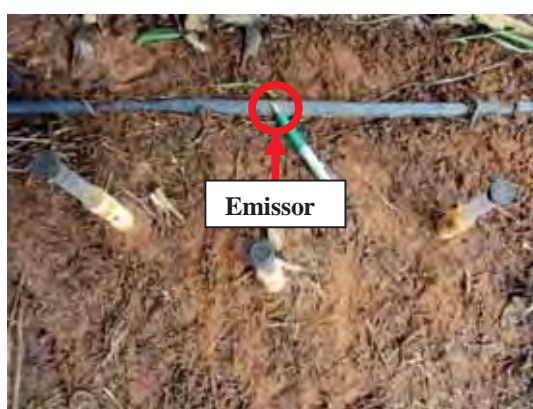


Figura 2. Localização dos tensiômetros instalados em três profundidades.

Para a análise granulométrica e a curva de retenção de água no solo foram feitas coletas de amostras indeformadas de solo, nas camadas de 0-20, 20-40 e 40-60 cm, sendo sua determinação feita através dos métodos descritos por Camargo (1986), sendo a curva de retenção de água ajustada pelo modelo proposto por Van Guenuchten (1980), (Tabela 2 e Figura 3).

Tabela 2. Resultado da análise de textura do solo.

Profundidade Cm	Areia	Argila	Silte	Textura do solo
	----- g kg ⁻¹ -----			
0-20	816	128	57	Arenosa
20-40	820	124	57	Arenosa
40-60	805	139	57	Arenosa

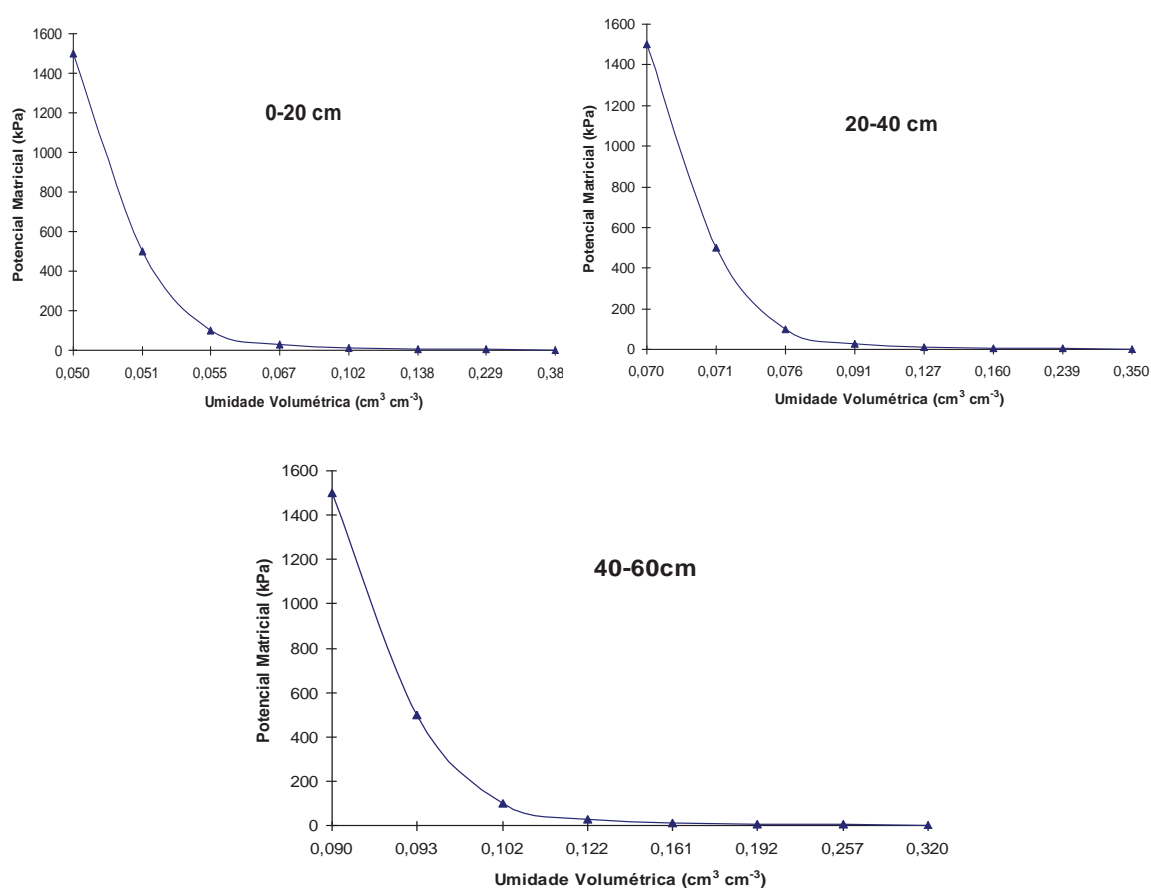


Figura 3. Curva de retenção de água no solo nas profundidades 0-20 cm, 20-40cm e 40-60 cm.

3.5. Análises realizadas durante o ensaio

3.5.1. Amostragem e análise de solo

Foram realizadas duas amostragens de solo, no mês de junho de 2010 e no mês de junho de 2011, aproximadamente um mês após o término das fertirrigações, nas camadas de 0-20, 20-40 e 40-60 cm. Estas amostras foram retiradas na projeção da copa a 20 cm do emissor de gotejo. As amostras foram obtidas através da homogeneização de cinco amostras simples de cada parcela.

Estas amostras foram acondicionadas em sacos plásticos, levadas ao laboratório devidamente identificadas, submetidas à secagem e passadas em peneira de malha de 2mm, sendo depois efetuadas as análises de matéria orgânica, pH, H+Al, macro e micronutrientes, pelas metodologias descritas por Raij et al. (2001). De posse destes resultados, também foram calculados os valores de soma de bases (SB), capacidade de troca de cátions (CTC) e saturação por bases (V%).

3.5.2. Amostragem e análise da solução do solo

O monitoramento da concentração de íons da solução do solo foi efetuado através de extratores de solução do solo instalados nas parcelas em profundidades de 30 e 60 cm, localizados a 20 cm da linha de gotejo, sob a projeção da copa, totalizando 40 extratores (Figura 4A).

Cada extrator de solução do solo era composto de um tubo de PVC, conectado em sua extremidade inferior a uma cápsula de cerâmica porosa, a qual foi enterrada até a profundidade em que se desejava obter a solução do solo. Na extremidade superior o extrator era vedado com uma rolha e por esta passavam dois tubos de nylon, sendo que em um deles se aplicava o vácuo e o outro ficava conectado a uma seringa por onde se coletava a solução.

As coletas de solução do solo foram realizadas a cada 30 dias, exceto nos meses em que a cultura esteve em estresse (maio a agosto), portanto sem receber irrigação. Para a coleta de solução do solo era aplicada uma tensão de aproximadamente 80 kPa nos

extratores 12 horas após a fertirrigação e, cerca de 6 horas após, era efetuada a coleta da solução (Figura 4B).

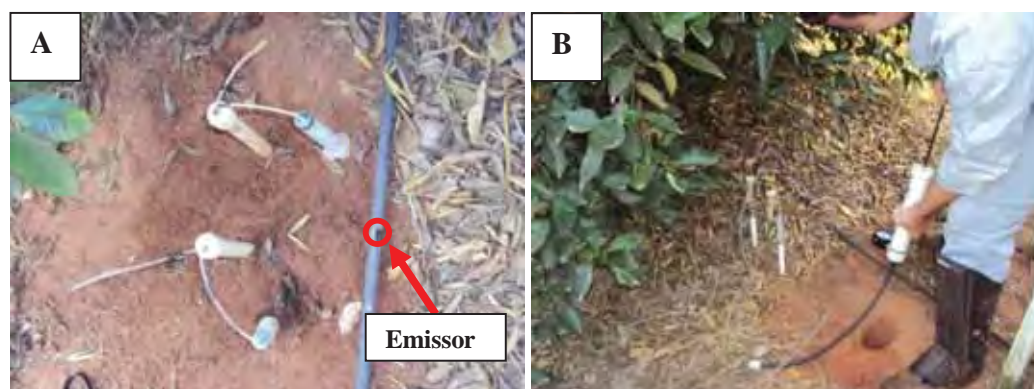


Figura 4. Posição dos extratores de solução do solo em relação ao emissor (A) e aplicação de tensão nos extratores através de bomba de vácuo (B).

A partir da solução extraída, foram obtidos os valores de pH, condutividade elétrica, nitrogênio mineral (NO_3^- e NH_4^+) e os teores de macro e micronutrientes, que foram determinados diretamente sem filtração ou digestão, de acordo com os métodos descritos por Raij et al. (2001).

3.5.3. Amostragem e análise de folhas

Para a análise foliar foi realizada uma coleta em março de 2011, sendo coletadas 40 folhas por parcela, retirando-se a 3ª e a 4ª folha de ramos que continham fruto terminal de 2 a 4 cm de diâmetro, sendo coletadas quatro folhas por planta, uma para cada quadrante.

Estas folhas foram lavadas com uma solução de água e detergente (0,1% v/v) e depois em água deionizada. Após a lavagem, as mesmas foram submetidas à secagem em estufa de ventilação forçada com temperatura de 60°C até atingirem massa constante, sendo depois moídas e passadas em peneira de 1 mm. Depois de processadas, essas amostras foram submetidas à análise de macro e micronutrientes, determinada pelos métodos descritos por Bataglia et al. (1983).

3.5.4. Amostragem de folhas para avaliação da intensidade de coloração verde

Para a avaliação da intensidade de coloração verde das folhas foram coletadas mensalmente a 3^a e a 4^a folha de ramos que continham fruto terminal (Figura 5A), sendo retiradas quatro por planta, uma para cada quadrante, totalizando 40 folhas por parcela.

Estas folhas eram condicionadas em sacos de papel e caixas de isopor e levadas ao laboratório. Em no máximo 24 horas era feita a leitura com as folhas viradas para cima, em apenas um lado da nervura e, aproximadamente no centro da folha.

A obtenção da intensidade da coloração verde das folhas foi realizada através do equipamento SPAD – 502 da empresa Minolta, que realiza a determinação deste parâmetro de forma instantânea (Figura 5B).

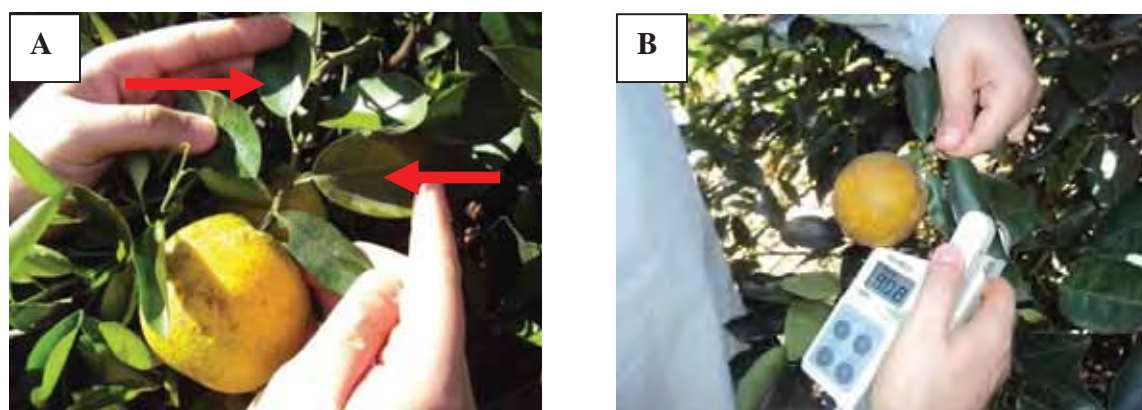


Figura 5. Folhas amostradas (A) e medidas com o aparelho SPAD – 502 da Minolta (B).

3.5.5. Amostragem de ramos para análise da seiva

A análise da solução extraída da brotação nova com éter etílico, que neste trabalho foi denominada de seiva, foi realizada mensalmente sendo retirados 40 ramos da brotação nova por parcela (Figura 6). Considerando as 10 plantas úteis, se retirou um ramo por quadrante, na altura mediana da planta e sempre no período da manhã. As folhas foram

separadas dos ramos e estes foram acondicionados em sacos de papel e levados ao laboratório em caixas de isopor.



Figura 6. Ramo de brotação nova retirado para a análise de seiva.

No laboratório os ramos foram limpos utilizando-se algodão umedecido com água destilada e secados com papel de filtro, sendo então cortados em frações de 1 a 2 cm e depois introduzidos em éter etílico e congelados para interromper o metabolismo e extrair a seiva.

A amostra foi submetida ao processo de extração da seiva após o descongelamento, que consiste em colocar o líquido obtido em um funil de separação, para separar o éter da seiva, pois as duas substâncias não se misturam. A seiva, por ser mais densa, fica situada na parte inferior do funil de separação. A seiva não foi filtrada devido à pequena quantidade extraída.

Para a determinação de K, P, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn e Zn foi utilizado um espectrômetro de plasma argônio, com a seiva diluída em 10 vezes (9:1). O nitrogênio, nas formas de NH_4 e NO_3 , foi determinado por destilação a vapor, sem diluição, segundo metodologia descrita por Cantarella & Trivelin (2001).

3.6. Precipitação e temperatura

Os dados de precipitação foram obtidos do banco de dados da fazenda e podem ser visualizados na Figura 7.

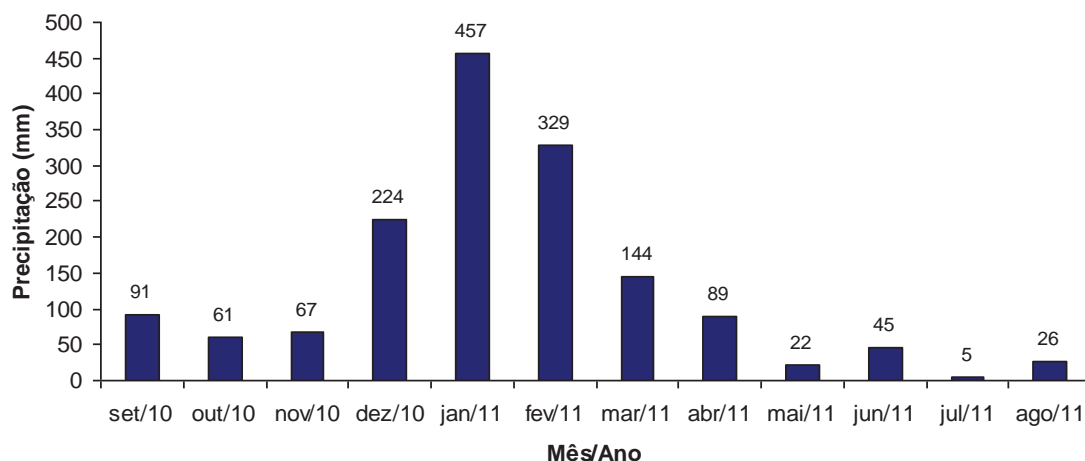


Figura 7. Precipitação acumulada nos meses durante o período de realização do experimento.

As temperaturas máxima, mínima e média mensal durante o período de realização do ensaio, podem ser observadas na Figura 8. Estes dados foram obtidos do Instituto de Pesquisas Meteorológicas (UNESP) de Bauru-SP, que é uma cidade próxima do local onde foi desenvolvido o experimento.

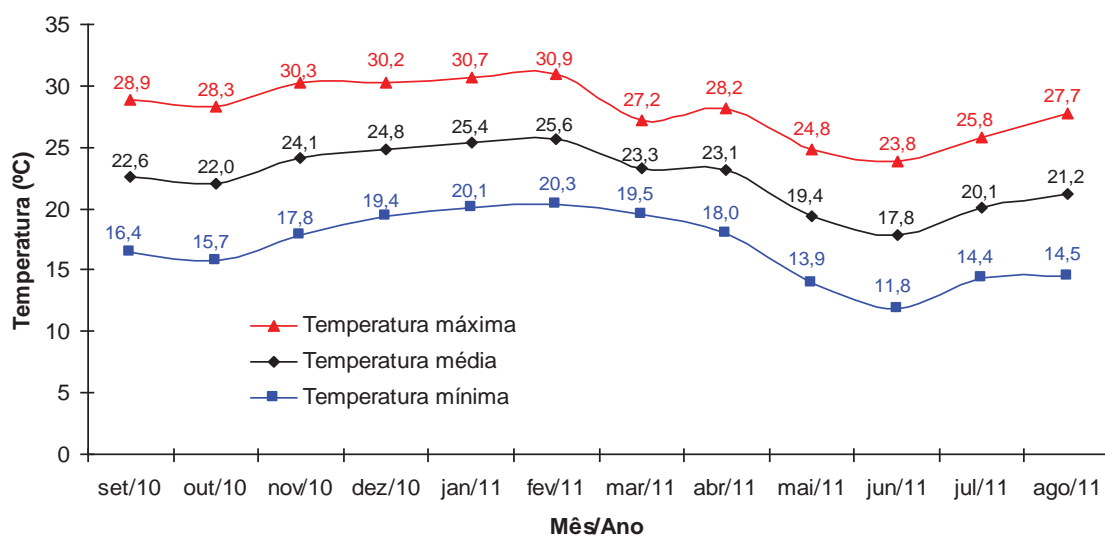


Figura 8. Temperaturas máxima, mínima e média do período de realização do experimento.

3.7. Colheita

A colheita foi realizada em junho de 2011 e a produção foi quantificada considerando a massa e o número de frutos. O cálculo da produção foi feito a partir da multiplicação do número de frutos por planta pela massa média dos frutos, obtendo assim a produção em kg planta⁻¹. Considerando o número de plantas por área, se obteve a produção em kg ha⁻¹.

De cada parcela foi determinado o número total de frutos de cinco plantas. Para a avaliação da massa dos frutos, foram consideradas as 10 plantas úteis por parcela, sendo retirados quatro frutos por planta, dois mais externos e dois mais internos, alternando entre os quatro quadrantes e na altura mediana da planta, totalizando 40 frutos por parcela, que foram pesados individualmente.

3.8. Análise estatística dos resultados

Os dados coletados foram submetidos à análise de variância, posteriormente a análise de regressão e teste de Tukey. As análises foram realizadas pelo programa computacional Sistema para Análise de Variância – SISVAR (FERREIRA, 2008).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Análise de solo

Na Tabela 3 podem ser observados os resultados da análise de solo realizada durante o experimento (junho de 2011). De maneira geral se observou, até mesmo em profundidade, queda nos valores de pH, Ca, Mg e V% e aumento nos teores de H+Al, K, S, B e Fe, conforme o aumento da dose de N e K₂O.

Os baixos valores de pH, observados nas doses mais elevadas de N e K₂O, ocorreram devido à utilização de nitrato de amônio como fonte de nitrogênio nesta safra e também à utilização de ácido fosfórico como fonte de P durante as três safras anteriores. Além da reação destes fertilizantes no solo proverem acidificação (VILLAS BÔAS et al., 1999), foram aplicados via fertirrigação por gotejo, ou seja, em um volume de solo restrito pelo bulbo úmido, potencializando esse efeito de acidificação. Utilizando diferentes sistemas de irrigação, Laurindo (2005) observou maior acidificação do solo no gotejamento de uma linha em comparação com duas linhas ou microaspersão.

Pode-se observar neste trabalho uma redução do pH não só superficialmente, como também nas profundidades 20-40 e 40-60, mostrando o grande efeito acidificante das fontes utilizadas num sistema de irrigação localizada. Resultados semelhantes também foram encontrados por Zanini et al. (2007), Souza et al. (2006) e Souza (2010).

Tabela 3. Resultados da análise de solo realizada em junho de 2011, em relação aos tratamentos, nas profundidades 0-20, 20-40 e 40-60.

Tratamento	pH	M.O.	Presina	H+Al	K	Ca	Mg	S	CTC	V	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	CaCl ₂	g dm ⁻³	g dm ⁻³	mmole dm ⁻³					%	mg dm ⁻³					
Prof. 0-20 cm															
T1 (0%)	5,7	11	44	13	1,0	20	8	2	42	68	0,3	4,2	22,4	7,2	6,6
T2 (25%)	5,0	10	40	18	1,4	14	6	3	39	54	0,3	3,5	43,5	12,1	11,2
T3 (50%)	4,9	9	72	19	1,1	17	7	4	45	55	0,3	3,8	55,9	10,2	7,1
T4 (100%)	4,7	10	62	21	1,1	14	7	5	43	50	0,4	3,6	61,7	8,1	5,9
T5 (200%)	4,0	10	86	28	1,8	10	3	9	43	33	0,5	3,4	97,3	8,0	5,9
Teste F	9,1 **	1,4 ns	4,1 *	13,0**	3,5 *	3,2 ns	2,2 ns	34,4 **	0,7 ns	6,2 **	12,3**	0,2 ns	5,2 *	2,8 ns	2,0 ns
CV %	8,26	7,9	31,5	15,5	29,0	28,3	38,4	18,2	12,4	19,2	12,4	33,8	43,1	26,1	42,2
Regressão	L **	Q ns	L *	L **	L *	L *	L *	L **	L ns	L **	L **	L ns	L **	Q ns	L ns
R ²	0,88	0,79	0,74	0,96	0,74	0,74	0,85	0,97	0,13	0,91	0,88	0,52	0,95	0,17	0,24
Prof. 20-40 cm															
T1 (0%)	4,7	9	44	20	1,1	13	6	2	40	44	0,4	1,7	36,9	10	4,0
T2 (25%)	4,4	10	55	24	1,1	10	4	3	40	40	0,4	1,5	50,7	10	14,6
T3 (50%)	4,2	10	74	25	1,1	10	3	5	39	37	0,5	1,4	63,5	11	5,5
T4 (100%)	3,8	9	73	31	1,2	6	2	8	41	31	0,5	1,3	75,0	9	2,4
T5 (200%)	3,5	9	90	34	1,6	5	2	10	43	18	0,6	0,9	87,7	5	1,8
Teste F	14,2 **	1,9 ns	2,8 ns	7,4 **	1,7 *	4,6 ns	3,3 ns	31,4 **	0,4 ns	7,9 **	4,4 *	1,2 ns	5,7 **	2,4 ns	24,5 **
CV %	6,1	7,1	31,8	15,6	28,5	33,5	48,9	20,8	13,2	23,5	16,3	39,6	26,7	36,9	37,0
Regressão	L **	Q ns	L *	L **	L *	L *	L *	L **	L ns	L **	L **	L ns	L **	L *	L **
R ²	0,89	0,22	0,83	0,91	0,91	0,83	0,76	0,97	0,89	0,91	0,95	0,96	0,89	0,89	0,29
Prof. 40-60 cm															
T1 (0%)	4,6	9	35	19	0,9	12	4	3	37	47	0,5	1,4	29,9	12	4,0
T2 (25%)	4,3	9	45	23	1,2	8	4	3	37	36	0,5	1,2	48,2	9	7,0
T3 (50%)	4,2	10	48	22	1,1	7	3	5	34	36	0,5	1,3	51,8	11	7,5
T4 (100%)	3,9	8	42	27	1,1	7	3	10	38	29	0,6	1,1	59,2	10	4,0
T5 (200%)	3,5	8	75	34	1,4	5	2	13	42	20	0,7	0,7	82,5	3	1,3
Teste F	7,3 **	1,5 ns	1,7 ns	8,3 **	1,3 ns	2,3 ns	1,3 ns	50,8 **	1,5 ns	4,7 *	2,7 ns	1,4 ns	4,6 *	2,3 ns	2,3 ns
CV %	7,3	11,1	47,2	15,8	27,7	47,0	46,6	17,9	12,8	27,6	25,4	39,2	32,9	53,3	71,1
Regressão	L **	L ns	L *	L **	L ns	L *	L *	L **	L ns	L **	L **	L *	L **	L *	L ns
R ²	0,96	0,40	0,83	0,96	0,66	0,90	0,90	0,94	0,74	0,91	0,98	0,93	0,94	0,76	0,52

(**) significativo a 1%, (*) significativo a 5% e (ns) não significativo, L - ajuste linear, Q - ajuste quadrático.

De acordo com Souza et al., (2006), a acidificação do solo em camadas mais profundas, provocada pela aplicação de nitrato de amônio em fertirrigação via gotejo, deve-se a limitação do processo de nitrificação em condições irrigadas por gotejamento, pois sendo o bulbo úmido uma região pouco arejada, esse processo se torna mais lento, o que favorece a movimentação do NH_4^+ em maior profundidade no solo, provocando a elevação da acidez nestas camadas.

Devido aos teores de P encontrados no solo (acima de 30 mg dm^{-3}), considerados altos por Quaggio et al. (2005), nesta safra não se efetuou a aplicação deste nutriente, porém a utilização do ácido fosfórico nas três safras anteriores contribuiu tanto para a acidificação do solo como para a elevação dos teores de fósforo nas camadas mais profundas, como também observado por Zanini et al. (2007). Os mesmos autores relatam que este comportamento se deve ao efeito da saturação dos sítios de adsorção do solo provocada pela aplicação de fósforo via irrigação localizada, que promove o maior caminhamento do fósforo no perfil do solo.

Os níveis de P foram altos independente dos tratamentos e os altos valores de P observados nos tratamentos que receberam as menores doses deste nutriente (T1, T2 e T3), provavelmente ocorreram devido aos maiores valores de pH observados nestes tratamentos, associado aos elevados valores de P encontrados no solo desde o início do trabalho (Tabela 1). De acordo com Quaggio (2000), a calagem favorece o aumento de P no solo, devido a elevação do pH. Solos com elevados valores de pH, em torno de 7, apresentam maior disponibilidade de P.

A concentração de K variou de forma significativa, ocorrendo elevação do teor de K no solo conforme a elevação das doses aplicadas, exceto na profundidade 40-60.

Os teores de K no solo nunca superaram os teores de Ca e Mg, mesmo no tratamento T5, que recebeu uma alta dose de cloreto de potássio (280 kg ha^{-1} de K_2O), obedecendo sempre a série liotrópica. Isso ocorre devido as características dos íons Ca e Mg, que possuem maior carga e quando hidratados apresentam menor diâmetro em relação ao K e portanto ficam mais retidos ao complexo de troca do solo (RAIJ, 1991). Além disso, o Ca e o Mg são aplicados via calagem em dosagens muito superiores às dosagens de K.

Os baixos valores de pH observados com o aumento da dose de N e K_2O , refletiram diretamente na concentração de H^+Al no solo, que aumentou em função dos tratamentos, variando de forma significativa nas três profundidades analisadas.

Neste trabalho, também foi observada a elevação dos teores de S conforme a elevação das doses. Este aumento é um reflexo do uso de ácido fosfórico nas três safras anteriores, uma vez que concentrações de S residual são encontradas no ácido fosfórico devido à utilização do ácido sulfúrico no seu processo de fabricação. Também pode ser observada a sua maior concentração nas camadas mais profundas, em função da forma de enxofre presente no solo (SO_4^{-2}) que, segundo Venegas et al. (2007), quando dissolvido na solução apresenta boa mobilidade no solo, o que favorece sua perda por lixiviação. Além de o enxofre, como ânion, ser repellido na camada superior, pois nessa camada há pouca carga positiva para retê-lo, o que normalmente aumenta com a profundidade.

O aumento nas concentrações de B e Fe também foi observado com a elevação das doses, concomitantemente com a elevação da acidez, devido a o aumento da disponibilidade destes nutrientes em condições de pH reduzido, provocado pelo potencial acidificante dos fertilizantes utilizados.

São observados teores de B mais elevados nas camadas mais profundas (20-40 cm e 40-60cm) em relação a camada superficial (0-20 cm). Este resultado também foi observado por Quaggio et al. (2003), onde estes constataram a maior concentração de B na camada de 20-40 cm após as aplicações de B no solo. Os mesmos autores justificaram esse comportamento do nutriente devido a sua forma presente no solo, que é predominantemente na forma de ácido bórico, não iônica, apresentando boa mobilidade.

4.2. Análise da solução do solo

4.2.1. Comportamento dos nutrientes em função dos tratamentos

Os resultados da análise da solução do solo estão presentes na Tabela 4 e os valores são referentes às médias dos oito meses de amostragem: setembro, outubro, novembro e dezembro de 2010 e janeiro, fevereiro, março e abril de 2011.

Tabela 4. Resultados da análise de solução do solo, em relação aos tratamentos, nas profundidades 30 e 60 cm, referente à média dos oito meses de amostragem.

Tratamento	pH	CE dS m ⁻¹	N-NH4	N-NO3	K	Ca	Mg	P	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
			----- mg L ⁻¹ -----											
Prof. 30 cm														
T1 (0%)	6,9	0,2	4,0	5,7	0,8	4,9	1,4	1,9	0,2	0,1	0,8	0,03	0,1	1,0
T2 (25%)	5,0	0,4	10,0	17,0	7,9	4,7	2,5	3,2	1,1	0,2	1,1	0,02	0,6	1,8
T3 (50%)	5,0	0,6	7,7	44,5	27,9	7,2	3,9	3,0	0,8	0,3	1,2	0,02	0,6	2,0
T4 (100%)	4,6	0,7	10,6	40,4	22,8	12,5	6,6	4,1	0,9	0,4	1,3	0,02	0,7	2,1
T5 (200%)	4,0	1,3	51,8	121,9	38,7	7,6	5,4	2,6	0,8	0,3	1,2	0,02	0,8	2,5
Teste F	19,0**	12,0**	23,4 **	55,9 **	6,5 **	12,9**	4,5 *	1,9 ns	48,7**	4,0 *	40,7**	2,3 ns	4,4 *	4,4 *
CV %	10,0	37,5	48,5	26,5	61,2	23,5	50,6	41,8	12,6	38,5	5,8	31,2	47,2	27,7
Regressão	Q **	L **	Q **	L **	L **	Q **	Q *	Q *	Q **	Q **	Q **	Q ns	L **	L **
R ²	0,83	0,97	0,98	0,93	0,77	0,77	0,97	0,89	0,47	0,98	0,84	0,14	0,55	0,72
Tukey (Prof.)	5,1 a	0,6 a	16,8 a	45,9 a	19,6 a	7,4 a	3,9 a	3,0 a	0,8 a	0,2 a	1,1 a	0,02 a	0,6 b	1,9 a
Prof. 60 cm														
T1 (0%)	6,9	0,2	3,3	6,3	2,0	3,0	1,4	1,6	0,2	0,1	0,7	0,03	0,3	0,9
T2 (25%)	5,4	0,3	6,5	19,1	5,3	3,2	1,2	1,8	0,9	0,2	1,2	0,02	1,4	1,5
T3 (50%)	4,9	0,5	3,7	21,9	14,3	8,1	2,7	1,6	1,4	0,2	1,2	0,02	1,9	1,8
T4 (100%)	4,8	0,6	5,9	25,4	12,5	5,5	3,6	1,9	0,9	0,4	1,2	0,02	2,1	2,0
T5 (200%)	4,3	1,1	76,7	122,4	69,5	5,3	3,2	1,7	1,1	0,2	1,3	0,02	1,5	3,4
Teste F	26,5**	27,3**	35,2 **	105,6**	14,1**	7,3 **	2,3 ns	0,2 ns	18,2**	16,5**	72,5**	1,8 ns	1,8 *	20,4**
CV %	7,5	26,7	56,4	23,5	71,2	30,5	58,8	30,4	23,4	29,0	4,9	39,2	72,6	21,3
Regressão	Q **	L **	Q **	Q **	L **	Q **	L *	Q ns	Q **	Q **	Q **	L ns	Q *	L **
R ²	0,86	0,97	0,98	0,98	0,88	0,43	0,57	0,48	0,45	0,66	0,67	0,66	0,91	0,97
Tukey (Prof.)	5,3 a	0,5 b	19,2 a	39,0 a	20,7 a	5,0 a	2,4 a	1,7 b	0,9 a	0,2 a	1,1 a	0,02 a	1,4 a	1,9 a

(**) significativo a 1%, (*) significativo a 5% e (ns) não significativo, L - ajuste linear, Q - ajuste quadrático. Médias seguidas de letras iguais (entre profundidades) não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

O Teste F apenas não foi significativo, em função dos tratamentos, para os teores de P e Fe na profundidade de 30 cm, porém com alto valor de coeficiente de determinação ($R^2 = 0,89$) para o P, e também para os teores de P, Mg e Fe na profundidade de 60 cm.

Os valores de pH da solução do solo diminuíram com o aumento da dose de nutrientes. Essa variação ocorre, de maneira bastante similar, tanto a 30 cm quanto a 60 cm de profundidade, resultado também observado por Souza (2010). Segundo Malavolta (1997), variações nos valores de pH afetam direta ou indiretamente a maioria dos nutrientes e sua disponibilidade para as plantas.

Com a utilização da fertirrigação por gotejamento, o fertilizante fica concentrado na zona de molhamento que é um volume de solo restrito, e como a fonte de nitrogênio utilizada (nitrato de amônio) possui caráter ácido (VILLAS BÔAS, et al., 1999), quanto maior a dose desta fonte aplicada, maior o efeito acidificante observado na solução do solo. Souza (2006), trabalhando com a técnica de fertirrigação na cultura da laranja, observou queda nos valores de pH da solução do solo nos tratamentos fertirrigados em relação aos tratamentos que receberam adubação sólida convencional ou foram somente irrigados e adubados de forma convencional.

Conforme se observa na Tabela 4, os valores de condutividade elétrica da solução do solo aumentaram conforme o aumento da dose de nutrientes, sendo que a 30 cm de profundidade os valores passaram de $0,2 \text{ dS m}^{-1}$ para $1,3 \text{ dS m}^{-1}$, do T1 para o T5 e a 60 cm de profundidade houve um aumento de $0,2 \text{ dS m}^{-1}$ para $1,1 \text{ dS m}^{-1}$. Esse aumento era esperado visto que a medida da condutividade elétrica de uma solução é função direta da quantidade de íons presentes nesta solução.

O valor de condutividade elétrica limiar para a cultura do citros é de $1,6 \text{ dS m}^{-1}$ (HOLANDA & AMORIN, 1997). Este valor não foi alcançado em nenhum dos tratamentos, porém o valor de condutividade elétrica observado no tratamento T5, a 30 cm de profundidade ($1,3 \text{ dS m}^{-1}$), ficou muito próximo do limiar. Souza (2010), avaliando a condutividade elétrica da solução do solo a 30 cm de profundidade em citros da variedade Valência, encontrou o valor de $1,6 \text{ dS m}^{-1}$ quando aplicado o dobro da dose de N, P_2O_5 e K_2O recomendada a partir de análise de solo.

Valores de condutividade elétrica acima do limiar da cultura afetam sua produção. Pires et al. (2005) comentam que valores de condutividade elétrica acima de $3,0 \text{ dS m}^{-1}$ afetam muito a produção dos citros.

As fontes de nitrogênio e potássio utilizadas neste experimento, respectivamente nitrato de amônio e cloreto de potássio, possuem alto índice salino (LORENZ & MAYNARD, 1988) e o aumento da dose aplicada destes fertilizantes, associado a uma aplicação localizada, pode promover danos salinos as plantas, contudo neste trabalho não foram atingidos valores que causassem danos à cultura.

Observa-se que a quantidade de nitrato na solução do solo apresenta aumento conforme os tratamentos, sendo mais expressivo para o tratamento T5 que recebeu a maior dose de nitrato de amônio.

O aumento do teor de amônio na solução do solo, principalmente no tratamento T5, tanto a 30 como a 60 cm de profundidade, ocorreu provavelmente pela acidificação da solução observada nestes tratamentos, o que interferiu diretamente no processo de nitrificação. Apesar de, em geral, ser um processo rápido em solos bem drenados, ocorrendo em poucas semanas, valores de pH baixos e má aeração desfavorecem a nitrificação, pois os microorganismos responsáveis pelo processo são sensíveis a valores baixos de pH e requerem este na faixa da neutralidade para atingirem seu crescimento ideal (TSAI et al., 1992).

Como o nitrogênio é um nutriente com uma dinâmica complexa, o manejo adequado da adubação nitrogenada é dos mais difíceis. Para Raij (1991), as pesquisas com nitrogênio são difíceis, pois deveriam ser realizadas no campo e para isso exigem amostragens constantes e uma boa infraestrutura.

Por este ensaio ter sido realizado no campo e a determinação de nitrogênio mineral (NH_4 e NO_3) através solução do solo ter mostrado resultados coerentes com os tratamentos aplicados, pode-se sugerir que esta metodologia de análise poderá auxiliar na melhora do manejo da adubação nitrogenada, principalmente em sistemas de fertirrigação.

Observa-se que a quantidade de potássio na solução do solo apresentou aumento linear conforme os tratamentos, sendo mais expressivo para o tratamento T5 que recebeu a maior dose de cloreto de potássio.

Segundo Raij (1991), a disponibilidade de K no solo é afetada pelo teor de água no solo e por sua relação com os elementos cálcio e magnésio. Diferente da análise do solo (Tabela 3), a concentração de potássio na solução do solo se mostrou maior que a concentração de Ca e Mg, refletindo melhor os tratamentos aplicados. Isto deve estar relacionado a solubilidade do íon na solução e também ao pH, que afeta a solubilidade pelas diferentes formas que estes cátions podem formar no solo.

Não houve diferença significativa para o fósforo na solução do solo, em relação aos tratamentos, diferente do que ocorreu na análise de solo (Tabela 3). Esse comportamento mostra que a análise da solução do solo pode ser uma técnica mais eficaz para avaliar a concentração de fósforo no solo, uma vez que ela demonstrou resultados coerentes, pois não foi aplicado fósforo durante essa safra.

Segundo Raij (1991), os teores de P na solução do solo são baixos, em torno de $0,1 \text{ mg L}^{-1}$, sendo muitas vezes inferior a este valor. Neste trabalho, mesmo sem a aplicação deste nutriente, em todos os tratamentos se observam na solução do solo concentrações superiores a citada pelo autor, mesmo a 60 cm de profundidade, porém os valores são menores do que os encontrados por Souza (2010), quando estava sendo feita aplicação de ácido fosfórico. Isso ocorre, pois conforme os dados de Souza (2010), a concentração de P já estava alta desde o início do experimento e, mesmo assim, durante três safras houve aplicação deste nutriente no solo. Além do fato de que na fertirrigação os fertilizantes são aplicados de forma localizada, em uma menor superfície do solo e os sítios de fixação de fósforo são preenchidos mais rapidamente, proporcionando aumentos da concentração deste nutriente na solução do solo. Souza (2006) observou maiores teores de P na solução do solo em sistema de fertirrigação, quando comparado ao sistema de adubação sólida convencional.

As concentrações de Ca e Mg na solução do solo aumentaram conforme os tratamentos, nas duas profundidades amostradas, até o tratamento T4 e depois apresentaram queda no tratamento T5, sendo esta mais expressiva para a profundidade de 30 cm. Tanto o Ca como o Mg foram fornecidos apenas via calagem.

A concentração de enxofre na solução do solo, apesar de variar significativamente entre os tratamentos, não apresentou comportamento coerente com as doses de fertilizantes aplicadas, diferente do ocorrido com a análise de solo (Tabela 3). Conforme

discutido na análise de solo, o S é encontrado como resíduo no ácido fosfórico, fazendo com que este nutriente variasse conforme os tratamentos enquanto foi aplicado ácido fosfórico como fonte de P. Porém nesta safra, como não foi aplicado ácido fosfórico, também não deveria haver uma relação da concentração do S com os tratamentos, e a solução do solo conseguiu demonstrar essa situação, ao contrário da análise de solo.

Os micronutrientes boro, cobre, manganês e zinco apresentam sua disponibilidade afetada pelo pH, pois em valores de pH baixos estes elementos se tornam mais disponíveis (FONTES et al., 2001). A queda nos valores de pH, que ocorreu em função das doses de nitrato de amônio aplicadas, aumentou de forma significativa os valores destes nutrientes na solução do solo, em ambas as profundidades estudadas, sendo que estes micronutrientes foram aplicados em doses iguais para todos os tratamentos.

Os teores Fe na solução do solo não apresentaram diferença significativa para os tratamentos aplicados. Este micronutriente foi observado em baixíssimas concentrações na solução do solo, independente dos tratamentos, em torno de $0,02 \text{ mg L}^{-1}$, enquanto que no solo foram observadas altas concentrações (Tabela 3).

4.2.2. Perdas de nutrientes por lixiviação

Visando observar a possibilidade de perdas de nutrientes por lixiviação, foi aplicado o teste de Tukey a 5% de probabilidade, para comparar as concentrações de nutrientes nas duas profundidades. Maiores concentrações de P e menores concentrações de Mn foram observados a 30 cm de profundidade. Para todas as outras variáveis analisadas na solução do solo, não foram observadas diferenças significativas entre as profundidades amostradas (Tabela 4).

A concentração de fósforo na solução do solo foi maior a 30 cm de profundidade ($3,0 \text{ mg L}^{-1}$), devido à forte interação que existe deste nutriente com o solo, apresentando baixa mobilidade e assim dificilmente sendo lixiviado.

Observa que a concentração de NO_3 na solução do solo em relação à média dos 11 meses de amostragem, a 30 cm de profundidade, foi ligeiramente maior que a concentração de NO_3 a 60 cm de profundidade, e observa-se também que as concentrações de K e B a 30 e a 60 cm de profundidade ficaram bastante semelhantes, mesmo estes três íons

sendo bastante móveis no solo. Isso ocorreu, provavelmente, pelo elevado parcelamento da adubação, sendo esta uma das grandes vantagens do sistema de fertirrigação.

Porem, valores similares como os de K, NO_3 e B, entre as profundidades de 30 e 60 cm, geram preocupação, pois demonstram alto potencial de perda destes nutrientes por lixiviação, principalmente nos meses mais chuvosos do ano.

Teixeira et al., (2007), trabalhando com a aplicação de K em bananeira via sólida e via fertirrigação, encontrou maiores perdas por lixiviação no sistema fertirrigado. Segundo o autor, em solos com significativa movimentação de água no seu perfil, a perda de água por percolação advinda da chuva durante ano é muito grande, principalmente em cultivos irrigados em que há uma maior disponibilidade de água, com isso também há o aumento das perdas de potássio por lixiviação.

Precipitações elevadas como as que ocorreram nos meses de dezembro de 2010 e janeiro e fevereiro de 2011, respectivamente 224, 457 e 329 mm (Figura 7), promoveram diluição na concentração de íons presentes na solução e promoveram uma maior concentração de íons na solução do solo a 60 cm, gerando assim possíveis perdas por lixiviação. Isso pode ser observado nas Figuras de 9, 10 e 11, que mostram a condutividade elétrica da solução e as concentrações de NO_3 e K na solução do solo em relação aos meses de amostragem. Nos períodos mais chuvosos se observam maiores concentrações destes nutrientes e maior condutividade elétrica na profundidade de 60 cm em relação aos meses menos chuvosos.

Como as variáveis analisadas se correlacionaram de forma significativa com os tratamentos aplicados, o uso de extratores de cápsula porosa demonstrou ser uma técnica promissora para a avaliação da concentração de nutrientes na solução do solo, bem como para avaliar possíveis perdas por lixiviação.

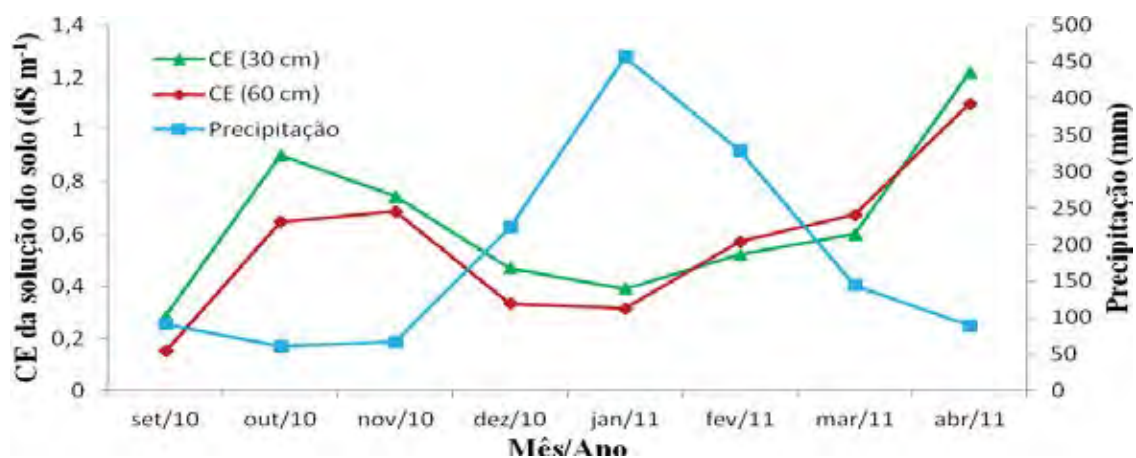


Figura 9. Condutividade elétrica na solução do solo, nas profundidades de 30 e 60 cm, e valores de precipitação para os diferentes meses de amostragem.

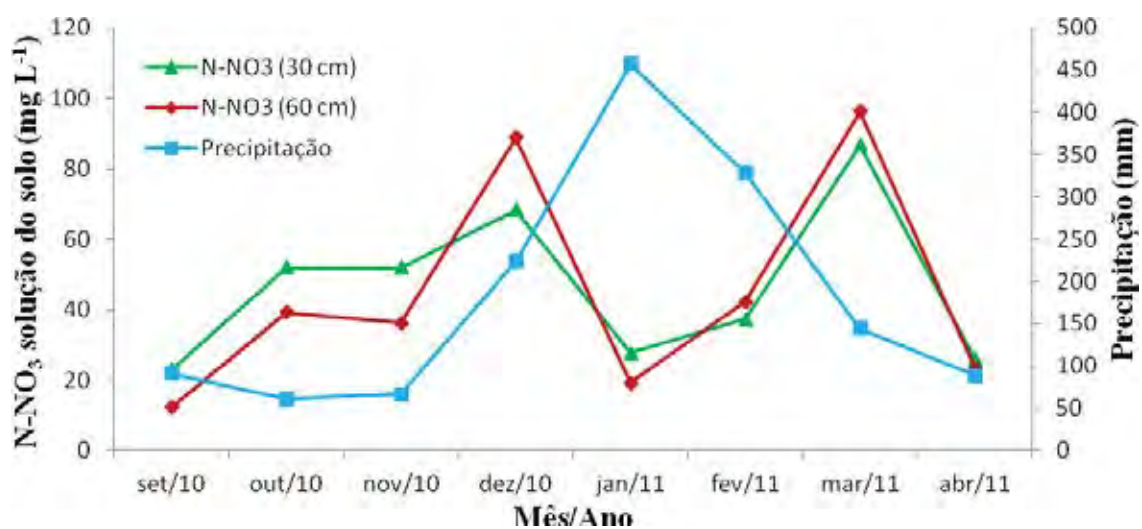


Figura 10. Concentração de nitrato na solução do solo, nas profundidades de 30 e 60 cm, e valores de precipitação para os diferentes meses de amostragem.

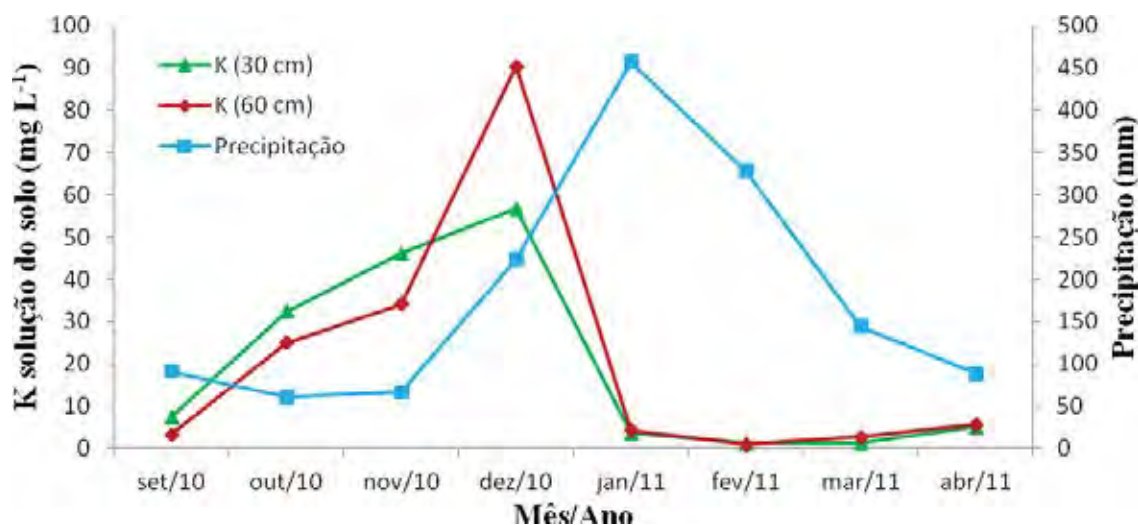


Figura 11. Concentração de potássio na solução do solo, nas profundidades de 30 e 60 cm, e valores de precipitação para os diferentes meses de amostragem.

4.3. Análise Foliar

Na Tabela 5 estão presentes os resultados da análise foliar realizada em março de 2011, sendo o resultado do teste F para análise foliar significativo apenas para as variáveis N, Mg, S, B, Mn e Zn.

Os valores de N, P, K, Ca, Mg, S, Fe e Mn estão dentro da faixa considerada adequada por Quaggio (1997), exceto o teor de N e Mn no tratamento T5 que estão acima. Já os valores de B, Cu e Zn estão acima da faixa adequada, independente dos tratamentos.

Maiores teores de N, B, Mn e Zn ocorreram nas folhas, em função das doses de N e K₂O aplicadas via fertirrigação. O aumento no teor destes nutrientes, observado na solução do solo, em função dos tratamentos, refletiu diretamente na concentração destes nutrientes na folha (Tabela 6).

Tabela 5. Resultados da análise foliar, em relação aos tratamentos, realizada em março de 2011.

Tratamento	g kg ⁻¹						mg kg ⁻¹				
	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
Faixa Recomendada	23-27	1,2-1,6	10-15	35-45	3,0-4,0	2,0-3,0	50-100	4,1-10	50-120	35-50	35-50
T1 (0%)	25	1,3	10	37	3,8	2,4	119	80	106	75	104
T2 (25%)	26	1,3	10	38	3,9	2,2	133	81	102	85	122
T3 (50%)	26	1,3	10	38	3,9	2,2	139	95	100	156	120
T4 (100%)	27	1,3	11	40	3,9	2,2	134	84	113	266	146
T5 (200%)	28	1,3	12	35	3,1	2,4	130	99	123	379	139
Teste F	6,6 **	2,5 ns	1,2 ns	1,7 ns	4,4 *	6,1 **	4,4 *	1,4 ns	1,2 ns	61,1 **	11,4 **
CV %	3,8	2,3	10,22	7,81	9,1	4,4	5,4	17,2	15,3	17,2	7,8
Regressão	L **	Q *	L ns	Q *	Q *	Q **	Q **	L ns	L ns	L **	Q **
R ²	0,88	0,69	0,67	0,96	0,99	0,78	0,65	0,58	0,77	0,97	0,89

(**) significativo a 1%, (*) significativo a 5% e (ns) não significativo, L - ajuste linear, Q - ajuste quadrático.

Tabela 6. Correlações entre a concentração de nutrientes na solução do solo (30 cm) e na folha.

	N		K		Ca		Mg		S	
	Solução mg L ⁻¹	Folha g kg ⁻¹	Solução mg L ⁻¹	Folha g kg ⁻¹	Solução mg L ⁻¹	Folha g kg ⁻¹	Solução mg L ⁻¹	Folha g kg ⁻¹	Solução mg L ⁻¹	Folha g kg ⁻¹
T1 (0%)	9,7	25	0,8	10	4,9	37	1,4	3,8	0,2	2,4
T2 (25%)	27	26	7,9	10	4,7	38	2,5	3,9	1,1	2,2
T3 (50%)	52,2	26	27,9	10	7,2	38	3,9	3,9	0,8	2,2
T4 (100%)	51	27	22,8	11	12,5	40	6,6	3,9	0,9	2,2
T5 (200%)	173,7	28	38,7	12	7,6	35	5,4	3,1	0,8	2,4
Correlação	0,89		0,76		0,53		-0,30		-0,71	

	B		Cu		Fe		Mn		Zn	
	Solução mg L ⁻¹	Folha mg kg ⁻¹	Solução mg L ⁻¹	Folha mg kg ⁻¹	Solução mg L ⁻¹	Folha mg kg ⁻¹	Solução mg L ⁻¹	Folha mg kg ⁻¹	Solução mg L ⁻¹	Folha mg kg ⁻¹
T1 (0%)	0,1	119	0,8	80	0,03	106	0,1	75	1	104
T2 (25%)	0,2	133	1,1	81	0,02	102	0,6	85	1,8	122
T3 (50%)	0,3	139	1,2	95	0,02	100	0,6	156	2	120
T4 (100%)	0,4	134	1,3	84	0,02	113	0,7	266	2,1	146
T5 (200%)	0,3	130	1,2	99	0,02	123	0,8	379	2,5	139
Correlação	0,74		0,51		-0,17		0,74		0,85	

Apesar de os tratamentos já serem aplicados há quatro safras, não houve diferença significativa para o teor de potássio na composição da folha em relação aos tratamentos. Duenhas et al. (2005) também não observou variação na concentração de potássio nas folhas após 3 safras de laranja valência. Isso pode ser explicado pelo efeito diluição, em que a planta, em situações de deficiência de algum nutriente, diminui a taxa de crescimento, fazendo com que a concentração deste nutriente se mantenha dentro do nível adequado.

No caso do fósforo, que também foi aplicado em cinco diferentes doses durante as últimas três safras, não houve diferença significativa entre os tratamentos para o seu teor na folha. Isso é devido ao alto teor de fósforo encontrado no solo (Tabela 3), que ultrapassa os 30 mg kg^{-1} em todos os tratamentos e todas as profundidades, além do fato de não ter sido aplicado fósforo durante a safra em que foi desenvolvido este trabalho.

O Ca e o Mg, apesar de apresentarem diferença significativa em relação aos tratamentos na solução do solo (Tabela 4), não apresentam este comportamento na folha. Isso pode ter ocorrido devido à competição entre o íon K^+ com os íons Mg^{2+} e Ca^{2+} no solo, onde maiores teores de K podem afetar a absorção do Mg e Ca, refletindo no comportamento da sua concentração nas folhas.

Em relação à faixa adequada de nutrientes na folha para a cultura da laranja, observando-se os teores de N, Ca e Mg, nota-se que os teores de N e Mg estão mais próximos do limite máximo e os teores de Ca e K estão mais próximos do limite mínimo. Isso mostra novamente que ocorreram problemas na absorção de Ca pelas plantas nos últimos anos, pois no solo (Tabela 3) foram observadas altas concentrações de Ca.

Os teores de enxofre nas folhas apresentam diferença significativa, porém não mostram comportamento relacionado aos tratamentos, diferente do que ocorreu no solo (Tabela 3) e na solução do solo (Tabela 4).

Foram encontrados altos teores de B na folha, mesmo sendo encontrados baixos teores de B no solo (Tabela 3). Isso se deve principalmente a maior absorção de B por laranjeiras sobre o porta-enxerto Citrumelo 'Swingle' em comparação as copas sobre limoeiro 'Cravo' como observado por Setin et al. (2009). Assim, com o uso deste porta-enxerto, são encontrados teores mais elevados de B em relação as recomendações, pois

as mesmas se baseiam principalmente em concentrações obtidas em folhas advindas de copa sobre o porta-enxerto limoeiro ‘Cravo’.

Com relação ao Cu, foram observados valores excessivos (acima de 80 mg kg^{-1}) para todos os tratamentos, onde este teor elevado também foi observado por Duenhas et al. (2002) e Souza (2006), que justificaram este resultado em função da aplicação de fungicidas cúpricos, que dependendo da frequência com que é aplicado, pode promover a elevação do seu teor à concentrações muito elevadas nas folhas.

Em relação aos teores de Zn e Mn nas folhas, observa-se valores muito acima da faixa recomendada para o Zn e para o Mn no tratamento T5. Esses valores se correlacionaram diretamente com aumento das doses de N e K_2O aplicadas (Tabela 6).

4.4. Determinação do índice de coloração verde nas folhas

4.4.1. Variação do índice de coloração verde nas folhas em relação aos tratamentos

Os valores de leitura do índice de coloração verde nas folhas (SPAD), determinada pelo clorofilômetro, e a análise foliar de nitrogênio, apresentaram alta correlação com os tratamentos aplicados, com valores de R^2 de 0,95 para ambos (Figura 12).

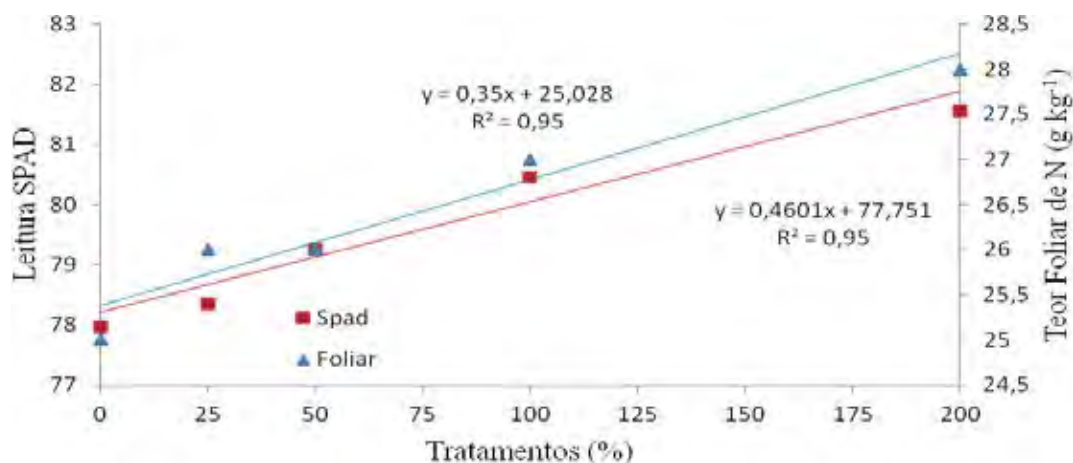


Figura 12. Valores de leitura SPAD (média dos 12 meses) e teor de nitrogênio nas folhas, em função dos tratamentos.

Tal resultado pode ser explicado devido ao fato de a quantidade de clorofila correlacionar-se positivamente com o teor de N na planta (BOOIJ et al., 2000). Isso é atribuído principalmente ao fato de 50 a 70% do N total das folhas ser integrante de enzimas (CHAPMAN e BARRETO, 1997) que estão relacionadas com os cloroplastos (STOCHING & ONGUN, 1962). Assim, pode-se dizer que quando se eleva o teor de nitrogênio nas folhas, também há uma elevação do índice SPAD.

Quando foram correlacionadas as leituras do medidor de clorofila com a concentração de N foliar, ocorreu uma correlação positiva de 0,97, conforme pode ser observado na Figura 13.

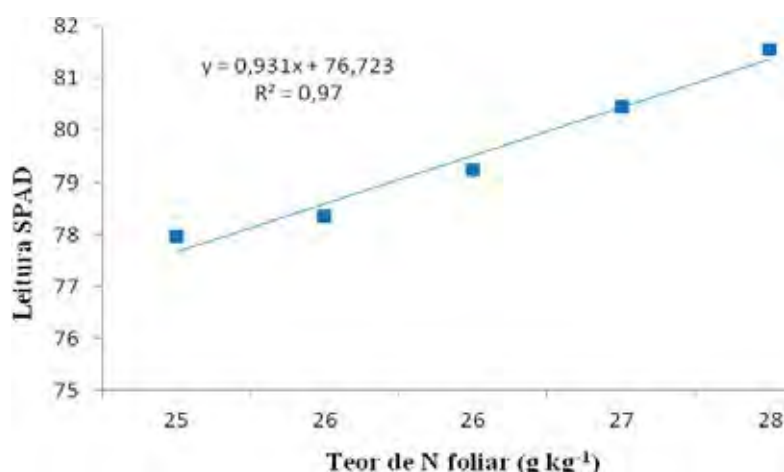


Figura 13. Relação entre leitura SPAD e teor de N nas folhas.

Diversos autores também observaram relação direta entre os valores de medida indireta da clorofila e a concentração de nitrogênio nas folhas em distintas culturas, como citros (SOUZA, 2010), café (GODOY et al., 2008), alho (BACKES et al., 2008), milho (GODOY et al., 2007), pimentão (GODOY et al., 2003), feijão (SILVEIRA et al., 2003), batata (GIL et al., 2002), cereais (ARGENTA et al., 2001), tomate (GUIMARÃES et al., 1999), manga, goiaba, tangerina e uva (SHAAHAN et al., 1999), entre outras.

Conforme se observa na Tabela 7, houve diferença significativa em relação ao índice de coloração verde das folhas (SPAD), para todos os meses amostrados, exceto para os meses Março e Abril de 2011, sendo os resultados dos meses de Setembro e Outubro de 2010 enquadrados à regressão quadrática e dos meses de Novembro e

Tabela 7. Resultados dos valores de medida indireta da clorofila (SPAD), em relação aos tratamentos, nos 12 meses de amostragem.

Tratamento	Set	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago
	----- 2010 -----				----- 2011 -----							
T1 (0%)	65,8	66,9	75,1	81,1	76,9	78,9	82,8	81,9	80,9	76,4	73,3	72,3
T2 (25%)	70,7	73,8	75,8	80,4	76,8	79,6	83,3	82,4	81,9	77,3	73,9	72,1
T3 (50%)	72,6	75,1	77,8	80,7	77,2	80,7	83,5	82,2	82,8	79,0	75,3	73,3
T4 (100%)	73,7	75,8	78,3	82,3	78,7	81,0	83,9	83,1	84,3	79,6	78,1	75,3
T5 (200%)	76,2	77,6	79,5	83,4	79,9	81,1	84,9	83,2	84,3	82,5	79,9	76,9
Média	71,8 g	73,8 fg	77,3 e	81,6 abc	77,9 de	80,3 bcd	83,7 a	82,6 ab	82,8 ab	78,9 cde	76,1 ef	74,0 fg
Teste F	32,6 **	18,7 **	9,7 **	6,3 **	4,2 *	2,6 *	2,2 ns	1,4 ns	5,9 **	14,6 **	4,4 *	5,4 **
CV %	1,9	2,6	1,5	1,23	1,7	1,5	1,2	1,2	1,5	1,6	3,5	2,4
Regressão	Q **	Q **	L **	L **	L **	L *	L *	L ns	L **	L **	L **	L **
R ²	0,92	0,84	0,84	0,84	0,94	0,66	0,98	0,81	0,76	0,97	0,94	0,94

(**) significativo a 1%, (*) significativo a 5% e (^{ns}) não significativo, L - ajuste linear, Q - ajuste quadrático. Médias seguidas por letras iguais, na horizontal, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Dezembro de 2010 e Janeiro, Fevereiro, Março, Abril, Maio, Junho, Julho e Agosto de 2011 ajustados ao modelo linear.

Souza (2010) em laranjeira e Reis et al. (2006) em cafeeiro, também observaram esse comportamento linear e alta relação do teor de N nas folhas com a leitura SPAD, porém o comportamento quadrático dos resultados dos meses de Setembro e Outubro, indicam que esta relação apresenta um certo limite.

Quando a absorção de nitrogênio pela planta é muito alta, esse nitrogênio se acumula como nitrato e, nesta forma, não se associa à molécula de clorofila, portanto não pode ser quantificado pelo medidor de clorofila (DWYER, 1995). Ou seja, o teor clorofila aumenta ou diminui em função da quantidade de nitrogênio presente nas folhas, porém até certo ponto, onde ocorre a manutenção ou decréscimo do teor de clorofila.

Tais resultados também foram observados por Pôrto (2006), que trabalhando com alface, observou que teores foliares mais elevados de nitrogênio nas folhas não resultaram em teores mais elevados de clorofila.

4.4.2. Variação do índice de coloração verde nas folhas em relação aos meses

Quanto à variação do índice SPAD durante os meses, foi aplicado o teste de Tukey, a 5% de probabilidade, para a média dos tratamentos em cada mês (Tabela 7).

Pode-se observar na Tabela 7 e na Figura 14 que o valor mais baixo foi encontrado no início da safra, no mês de setembro, quando a adubação está sendo iniciada. A partir deste mês, há um aumento no índice SPAD, chegando aos valores mais altos nos meses de Dezembro, Março, Abril e Maio.

De março a maio ocorreu o período de maturação do fruto e nesse período o crescimento do endocarpo é paralisado. Três transformações são fundamentais no fruto nessa fase: aumento do conteúdo de sólidos solúveis, principalmente açúcares e compostos nitrogenados, redução da acidez total do suco e pigmentação da casca, que se torna laranja, amarela ou permanece verde, dependendo da espécie e das condições climáticas (REUTHER, 1977). Os valores de leitura SPAD são altos neste período, resultado semelhante ao encontrado por Souza (2010).



Figura 14. Índice de coloração verde nas folhas (SPAD) e parcelamento da adubação (%).

Dominguez et al. (2005), avaliando a dinâmica do N foliar na variedade tangerina Clementina ‘Oronules’, observaram que os níveis de nitrogênio no inverno se mantiveram constantes e apresentaram queda no início da primavera. Os autores atribuíram esta queda à mobilização das reservas para órgãos em formação (folhas, flores e frutos). Os autores também notaram que os valores de N na folha foram máximos em Março e Abril (outubro e novembro no hemisfério norte) e na entrada do inverno foi observada queda na concentração de N nas folhas devido à menor atividade metabólica neste período (estresse).

4.4.3. Índice de suficiência de nitrogênio

A determinação de uma recomendação ideal no valor da leitura SPAD é difícil, pois existem outros fatores além do teor de N que podem afetar na a medida da clorofila, como condições edafoclimáticas, estágio fenológico da cultura, variedade utilizada, entre outros.

Em experimento com videiras, Tecchio et al. (2011) confirmam a variação dos valores da medida em função das condições edafoclimáticas, porta-enxerto, entre outros fatores que podem variar de ano a ano e de região para região. Os autores constataram um índice relativo de clorofila médio distinto quando comparado entre variedades, regiões e safras.

Além desses fatores de variação, ainda pode ocorrer o efeito de diluição, que é quando existe deficiência de nitrogênio no solo e com isso, a planta não

desenvolve todo seu potencial em tamanho e acaba ficando uma planta de menor porte, com produtividade menor, porém com concentração de N na folha dentro da faixa adequada, mascarando a deficiência de nitrogênio.

Um exemplo dessa dificuldade são os valores de índice SPAD encontrados neste trabalho. Em seu experimento, Souza (2010) constatou que os valores do índice SPAD encontrados na faixa adequada de N na folha (23 a 27 g kg^{-1}) de laranjeiras variedade Hamlin estão na entre $69,5$ e $75,1$. Porém neste trabalho, mesmo com o teor de N foliar estando dentro do adequado, foram encontrados valores de SPAD superiores a essa faixa para o mês de março, quando foi realizada análise foliar, até mesmo no tratamento em que não está sendo aplicado N há quatro anos (Tabela 7).

Por isso, deve-se utilizar metodologias para auxiliar numa melhor utilização deste aparelho, evitando interferências que não sejam a concentração de N no solo. Com este intuito, Schepers et al. (1992) sugeriram, para a cultura do milho, a utilização de uma área de referência na própria lavoura e Godoy et al. (2003) e Godoy et al. (2008) recomendam a definição do Índice de suficiência de nitrogênio (ISN). Neste método, se faz a relação entre a medida do clorofilômetro nas plantas da lavoura e a medida das plantas de referência (sem deficiência de nitrogênio), onde o fertilizante nitrogenado é aplicado somente quando o ISN for menor do que $0,95$ (Godoy et al., 2010). Portanto, escolhe-se uma área em que será aplicada uma dose de N maior que a recomendada e os valores de índice SPAD observados nesta área serão considerados como 100% . Caso os valores de índice SPAD nas outras áreas esteja 5% abaixo dos valores da área de referência, é recomendado um aumento na adubação nitrogenada.

Isso reduz a interferência de outros fatores, pois os dados de referência são da mesma área, conseqüentemente com as mesmas condições edafoclimáticas e de manejo, sendo o nitrogênio, o único fator de variação. O comportamento dos valores SPAD transformados em ISN nos meses em que a adubação foi aplicada, podem ser observados na Figura 15.

Neste trabalho, os valores de índice SPAD do tratamento T5 foram considerados como referência, uma vez que neste tratamento foi aplicada 200% da dose de N recomendada. Portanto, os tratamentos T3 (50% de N) e T4 (100% de N), apresentaram-se dentro faixa de suficiência durante todos os meses, indicando que a aplicação de nitrogênio foi

suficiente para o desenvolvimento das plantas. O tratamento T2, correspondente a 25% da dose recomendada, proporcionou valores de ISN dentro da faixa adequada durante todos os meses, com exceção de setembro, indicando a necessidade de uma adubação com maior quantidade de N neste mês. No tratamento T1, em que não houve aplicação de N, o ISN permaneceu abaixo de 0,95 durante os meses de setembro, outubro e novembro, indicando uma maior necessidade de nitrogênio pela planta durante estes meses.

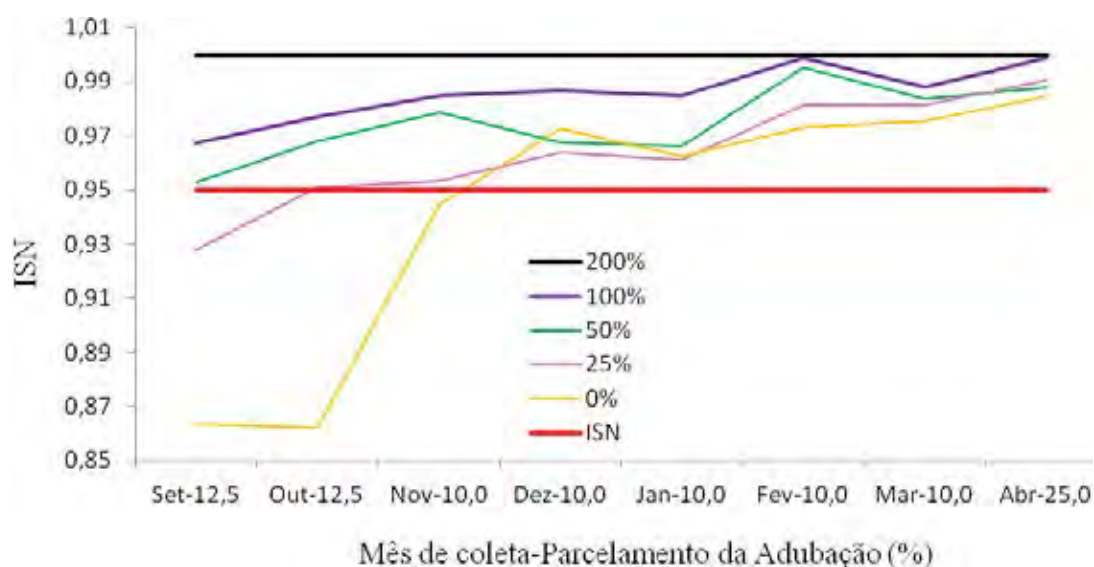


Figura 15. Índice de suficiência de nitrogênio (ISN) calculado pelo quociente entre o valor SPAD de uma parcela e o de outra que recebe alta dose de N (área de referência), durante o período de adubação.

4.5. Análise de seiva

4.5.1. Comportamento dos nutrientes em função dos tratamentos

As médias dos resultados da análise de seiva para os 12 meses de amostragem podem ser observadas na Tabela 8.

Tabela 8. Resultados da análise de seiva, em relação aos tratamentos, referente à média dos 12 meses de amostragem.

Tratamento	K		P		N-NH ₄		N-NO ₃		NT		Ca		Mg		S		B		Cu		Fe		Mn		Zn			
	g L ⁻¹		g L ⁻¹		mg L ⁻¹		mg L ⁻¹		mg L ⁻¹		mg L ⁻¹		mg L ⁻¹		mg L ⁻¹		mg L ⁻¹		mg L ⁻¹		mg L ⁻¹		mg L ⁻¹		mg L ⁻¹			
T1 (0%)	2,5	0,3	8,4	104,4	112,8	921,5	388,5	116,0	1,4	3,9	1,2	1,0	1,6															
T2 (25%)	2,5	0,3	9,1	156,2	165,3	876,4	364,4	103,1	1,4	4,3	1,3	1,2	2,4															
T3 (50%)	2,8	0,3	15,8	165,4	181,2	898,6	429,0	129,3	1,5	5,7	1,3	2,4	3,4															
T4 (100%)	2,7	0,3	19,3	202,0	221,3	753,7	376,9	126,9	1,4	6,5	1,1	3,9	4,4															
T5 (200%)	3,0	0,3	16,4	197,6	214,0	775,8	373,3	142,6	1,5	6,2	1,0	5,9	4,5															
Teste F	5,0 *	4,3 *	7,2 **	43,4**	52,2**	5,5 **	1,7 ns	6,2 **	1,0 ns	8,9 **	7,0 **	53,9**	40,2**															
CV %	6,2	7,1	26,1	7,2	6,7	7,6	10,1	9,7	7,8	14,4	7,4	19,3	12,3															
Regressão	L **	Q ns	Q **	Q **	Q **	L **	Q ns	L **	L ns	Q **	L **	L **	Q **															
R ²	0,67	0,02	0,91	0,96	0,98	0,67	0,13	0,69	0,69	0,96	0,69	0,98	0,99															

(**) significativo a 1%, (*) significativo a 5% e (ns) não significativo, L - ajuste linear, Q - ajuste quadrático.

O resultado do teste F para a análise da seiva, em relação aos tratamentos, não foi significativo apenas para os valores de Mg e B.

De forma geral a concentração de N, K, Cu, Mn e Zn na seiva aumentaram conforme as doses de N e K₂O aplicadas e se correlacionaram de forma positiva com os teores, respectivamente, de N, K, Mn e Zn encontrados na solução do solo (Tabela 8). O teor de nitrato e amônio aumentou de acordo com a dose de N e K₂O aplicada, apresentando variação significativa entre os tratamentos. O teor de nitrogênio nas folhas (Tabela 5) apresentou a mesma variação observada na seiva.

A acidificação observada no solo (Tabela 3) e na solução do solo (Tabela 4) nos tratamentos T3, T4 e T5, podem ser a explicação para os maiores teores de NH₄ na seiva destes tratamentos, pois a acidificação do solo inibe o processo de nitrificação, promovendo acúmulo de amônio no solo e na solução do solo e, conseqüentemente, na planta.

Segundo Dou et al. (1999), a forma absorvida, amônio ou nitrato, pode influenciar a resposta dos citros. Em um ensaio com solução nutritiva, demonstraram que o fornecimento contínuo de amônio causou redução do crescimento de mudas de citrumelo Swingle e tangerina Cleópatra, comparado ao fornecimento de nitrato. Estes autores verificaram sintomas de toxicidade de amônio a concentrações maiores que 15 mg L⁻¹ na solução, que foram associados à injúrias na estrutura dos cloroplastos e acúmulo de amido e fitoferritina, causando prejuízos ao sistema fotossintético. Neste trabalho, foram encontradas concentrações de amônio maiores que 15 mg L⁻¹ na solução do solo. Estes valores chegaram a 76,7 mg L⁻¹ (Tabela 4) no tratamento T5, onde houve maior acidificação.

No vacúolo o pH é sempre mantido menor que o pH do citoplasma. Neste compartimento, o NH₄⁺ absorvido pelas plantas reage com OH⁻ para formar NH₃, sendo esta permeável à membrana do tonoplasto e assim, se difunde de acordo com seu gradiente de concentração. Dentro do vacúolo a NH₃ reage com H⁺ para formar NH₄ novamente, desequilibrando assim os valores de pH na célula (TAIZ & ZEIGER, 2004). Em função disso, altos níveis de amônio são tóxicos tanto para plantas como para animais, porque o amônio pode dissipar os gradientes de prótons trans-membrana requerido tanto para o transporte elétrico fotossintético quanto respiratório e para o isolamento de metabólitos nos vacúolos (EPSTEIN & BLOOM, 2006).

Tabela 9. Correlações entre as concentrações dos nutrientes na solução do solo (30 cm) e na seiva.

	N		K		Ca		Mg		S	
	Solução mg L ⁻¹	Seiva mg L ⁻¹	Solução mg L ⁻¹	Seiva g L ⁻¹	Solução mg L ⁻¹	Seiva mg L ⁻¹	Solução mg L ⁻¹	Seiva mg L ⁻¹	Solução mg L ⁻¹	Seiva mg L ⁻¹
T1 (0%)	9,7	112,8	0,8	2,5	4,9	921,5	1,4	388,5	0,2	116,0
T2 (25%)	27	165,3	7,9	2,5	4,7	876,4	2,5	364,4	1,1	103,1
T3 (50%)	52,2	181,2	27,9	2,8	7,2	898,6	3,9	429,0	0,8	129,3
T4 (100%)	51	221,3	22,8	2,7	12,5	753,7	6,6	376,9	0,9	126,9
T5 (200%)	173,7	214,0	38,7	3,0	7,6	775,8	5,4	373,3	0,8	142,6
Correlação	0,66		0,98		-0,81		-0,10		-0,06	

	B		Cu		Fe		Mn		Zn	
	Solução mg L ⁻¹	Seiva mg L ⁻¹	Solução mg L ⁻¹	Seiva mg L ⁻¹	Solução mg L ⁻¹	Seiva mg L ⁻¹	Solução mg L ⁻¹	Seiva mg L ⁻¹	Solução mg L ⁻¹	Seiva mg L ⁻¹
T1 (0%)	0,1	1,4	0,8	3,9	0,03	1,2	0,1	1,0	1	1,6
T2 (25%)	0,2	1,4	1,1	4,3	0,02	1,3	0,6	1,2	1,8	2,4
T3 (50%)	0,3	1,5	1,2	5,7	0,02	1,3	0,6	2,4	2	3,4
T4 (100%)	0,4	1,4	1,3	6,5	0,02	1,1	0,7	3,9	2,1	4,4
T5 (200%)	0,3	1,5	1,2	6,2	0,02	1,0	0,8	5,9	2,5	4,5
Correlação	0,32		0,88		0,09		0,74		0,92	

Segundo Moreno & García-Martínez (1983) em um ensaio com laranja, variedade Washington Navel, do total de N presente na seiva, 92 a 97% estava na forma de aminoácidos livres, principalmente prolina e asparagina, e o restante do N na seiva, 3 a 8%, se encontrava na forma de nitrato. Em plantas lenhosas o N na seiva está, principalmente, na forma de proteína e aminoácidos (CADAHÍA & LUCENA, 2005), já em hortaliças a concentração de N na seiva, na forma de nitrato, é maior.

Observou-se concentração de K na seiva maior que todos os outros nutrientes analisados. Isso ocorre devido à função deste nutriente, que é classificado como ativador enzimático e permanece na planta, predominantemente, na forma iônica (MALAVOLTA et al., 1997). Cadahía et al. (2005) observaram também que a análise de K na seiva foi sensível para detectar as variações deste nutriente, e refletiu melhor os resultados de produção e qualidade da uva em relação a análise foliar.

O teor de P observado na seiva, apesar de apresentar diferença significativa para o teste F, não apresentou comportamento coerente com os tratamentos. Esse resultado está de acordo com o encontrado na solução do solo (Tabela 4) e na análise foliar (Tabela 4), porém difere do encontrado na análise de solo (Tabela 3).

O teor de Ca na seiva diminuiu em relação aos tratamentos, comportamento oposto ao observado para os teores destes nutrientes na solução do solo na profundidade de 30 cm (Tabela 4). Tal comportamento pode ser explicado devido ao aumento nos teores de K na solução do solo em relação aos tratamentos, o que pode ter influenciado na absorção de Ca.

A concentração de Mg na seiva apresentou valores menores comparada à concentração de Ca. Isso pode ser explicado devido ao maior teor de Ca presente também no solo (Tabela 3) e na solução do solo (Tabela 4). Hernando e Cadahia (1973) e Segura e Cadahia (2000), trabalhando com a cultura do tomate em fertirrigação, observaram relações antagônicas entre cálcio e magnésio na seiva.

A concentração de enxofre na seiva, apesar de variar significativamente entre os tratamentos, não apresentou comportamento coerente com as doses de fertilizantes aplicadas, diferente do ocorrido com a análise de solo (Tabela 3) e semelhante ao que ocorreu na solução do solo (Tabela 4), conforme já discutido.

A concentração dos micronutrientes Cu, Mn e Zn na seiva aumentaram conforme as doses de nutrientes aplicadas. A disponibilidade destes nutrientes aumenta na medida em que ocorre queda nos valores de pH. A acidificação observada no solo (Tabela 3), e na solução do solo (Tabela 4), proporcionou maior disponibilidade destes nutrientes e, conseqüentemente, os mesmos foram absorvidos em maiores quantidades pelas plantas (Tabela 9), comportamento semelhante foi encontrado para os nutrientes Mn e Zn nos resultados da análise foliar (Tabela 6).

Os valores de Fe na seiva, apesar de terem apresentado diferenças significativas para o teste F em relação aos tratamentos aplicados, não variam de forma coerente com os tratamentos.

Os teores de nutrientes na seiva das plantas podem variar muito dependendo da variedade, do estágio fenológico, da precipitação, entre outros fatores, por isso são necessários mais estudos envolvendo essa análise, para que se possa tornar prático o uso dessa técnica, chegando a valores de concentrações de referência para as plantas.

4.5.2. Comportamento do nitrogênio e potássio na seiva em relação ao ciclo de desenvolvimento da cultura

Na tabela 10 estão os teores de nitrogênio total e potássio na seiva, em relação aos tratamentos e aos meses da safra (setembro de 2010 a Agosto de 2011).

Para o nitrogênio, o teste F não apresentou diferença significativa, em relação aos tratamentos, para os meses de Outubro, Fevereiro, Maio, Junho e Agosto e apresentou diferença significativa nos meses de Setembro, Novembro, Dezembro, Janeiro, Março e Abril.

A concentração de N na seiva atingiu o maior valor no mês de setembro e o menor valor nos meses de maio, junho e agosto. O maior valor da concentração de N na seiva no mês de setembro provavelmente está relacionado à maior necessidade de N pela planta nessa época, devido ao florescimento e formação de ramos novos. Foi nesse mês que se observou os menores valores de índice SPAD (Tabela 6), sendo possível que o N foliar tenha sido translocado na planta, visando à alta exigência de N nas brotações novas nesse período.

Tabela 10. Resultados da análise de seiva, em relação aos tratamentos, nos 12 meses de amostragem.

Tratamento (%)	Set	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Ago	
	2010						2011					
	Concentração de N na seiva (mg L⁻¹)											
T1 (0%)	422,6	149,9	81,7	46,4	91,5	106,8	164,2	95,7	30,9	13,6	37,5	
T2 (25%)	468,8	146,6	299,8	61,6	222,2	94,3	162,1	188,2	76,4	55,4	43,3	
T3 (50%)	542,6	158,5	161,3	114,8	225,8	133,5	225,7	206,3	66,6	68,9	89,4	
T4 (100%)	693,2	156,0	100,1	119,7	270,2	169,4	275,3	356,3	81,5	73,8	140,7	
T5 (200%)	735,7	180,0	91,1	108,5	276,5	136,7	218,8	316,9	97,1	78,9	144,2	
Média	572,6 a	158,2 bcd	146,8 bcd	90,2 cd	217,2 b	128,1 bcd	209,2 bc	232,7 b	70,5 d	58,1 d	91,0 cd	
Teste F	5,2 *	0,3 ns	13,6 **	4,7 *	8,5 **	1,8 ns	4,4 *	5,3 *	0,9 ns	0,9 ns	3,2 ns	
CV %	21,0	28,9	33,8	34,6	23,5	34,7	21,6	39,3	73,8	90,1	58,7	
Regressão	L **	L ns	L *	Q *	Q **	Q ns	Q **	L **	L ns	L ns	L *	
R ²	0,88	0,87	0,15	0,89	0,86	0,75	0,86	0,65	0,66	0,55	0,56	
	Concentração de K na seiva (g L⁻¹)											
T1 (0%)	2,8	3,1	4,0	3,7	2,0	2,5	2,1	2,5	2,8	0,8	2,0	
T2 (25%)	2,6	3,1	3,6	4,2	2,7	2,4	2,0	2,4	2,4	0,7	2,0	
T3 (50%)	3,0	3,2	4,5	4,9	2,8	2,2	2,3	2,6	2,6	1,2	2,1	
T4 (100%)	3,0	3,8	4,0	3,7	2,9	2,1	2,0	2,3	2,4	1,3	2,1	
T5 (200%)	3,1	3,6	4,3	4,7	2,9	2,2	2,1	2,5	2,9	1,7	2,7	
Média	2,9 bc	3,4 b	4,1 a	4,2 a	2,7 cd	2,3 d	2,1 d	2,5 cd	2,6 cd	1,15 e	2,2 d	
Teste F	1,5 ns	1,2 ns	2,6 ns	2,6 ns	4,4 *	1,4 ns	2,4 ns	1,0 ns	3,8 *	7,2 **	2,6 ns	
CV %	10,9	18,7	9,9	16,1	13,5	11,1	8,4	9,3	9,1	26,5	17,2	
Regressão	L ns	L ns	L ns	L ns	Q *	Q ns	Q ns	Q ns	Q *	L **	L **	
R ²	0,58	0,58	0,2	0,21	0,82	0,94	0,09	0,07	0,66	0,86	0,90	

(**) significativo a 1%, (*) significativo a 5% e (ns) não significativo, L - ajuste linear, Q - ajuste quadrático. Médias seguidas por letras iguais, na horizontal, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Após o mês de setembro, ocorreu uma queda no valor de N na seiva, que permaneceu até o final do ciclo. Isso pode estar relacionado a precipitação que começou a aumentar a partir do mês de Dezembro e atingiu altos valores nos meses de Janeiro e Fevereiro.

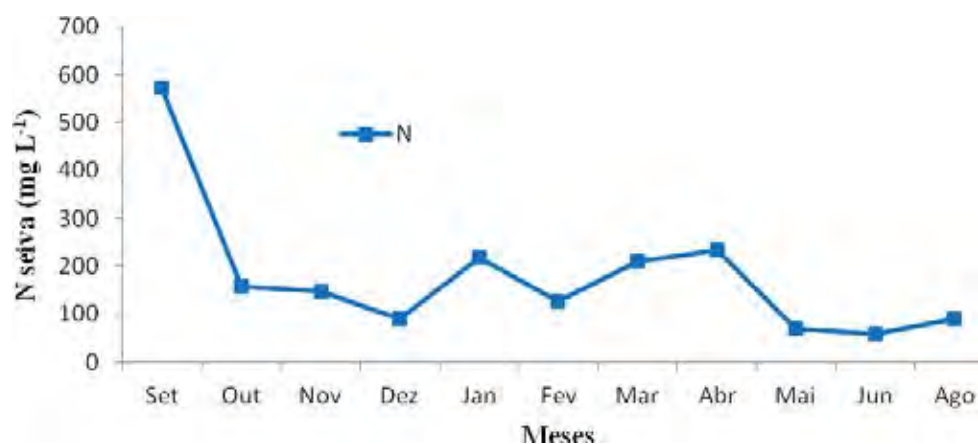


Figura 16. Nitrogênio na seiva nos diferentes meses de amostragem.

Para o potássio, o teste F não apresentou diferença significativa, em relação aos tratamentos, para praticamente todos os meses, com exceção dos meses de Janeiro, Maio e Junho.

Os valores de K na seiva aumentaram de setembro a dezembro, momento em que se observaram os maiores valores na planta. Isso pode ser reflexo das adubações, pois 45% do K foi aplicado durante esses meses. Segundo Köller (1994), esta seria uma época de grande exigência nutricional dos citros, por isso, essa alta concentração durante esses meses também pode ser devido à própria necessidade da cultura.

No mês de janeiro o teor de K diminuiu na seiva, permanecendo baixo nos meses seguintes, provavelmente devido às chuvas que ocorreram neste período (Figura 7), que ocasionaram uma diluição do nutriente no solo e, conseqüentemente, na seiva.

No mês de Junho foi observado o menor valor de K na seiva. A temperatura média observada neste mês foi de 17,8 °C (Figura 8), o que pode ter interferido no processo de absorção, pois na faixa de 0 a 30 °C a absorção cresce de modo linear com a

elevação da temperatura (MALAVOLTA et al., 1997), portanto, baixas temperaturas afetam negativamente a taxa de absorção dos nutrientes. Souza (2010) também observou os menores valores de K na seiva de laranjeiras ‘Hamlin’ nos meses de menor temperatura.

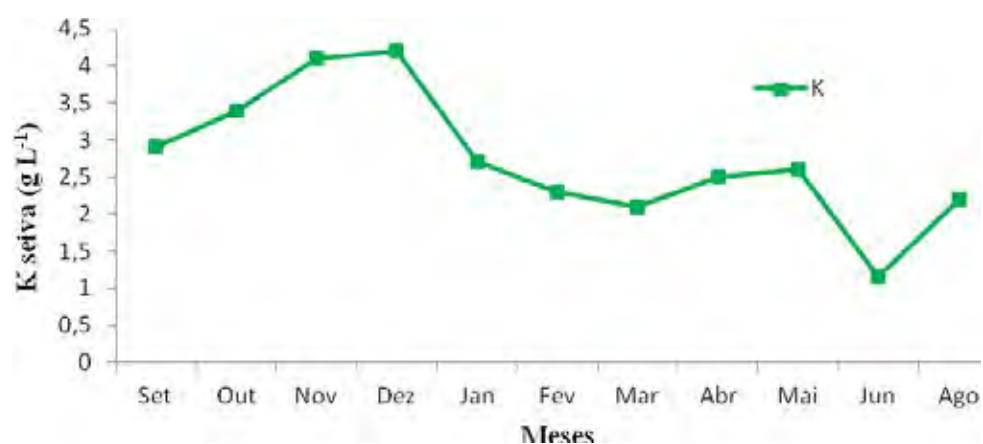


Figura 17. Potássio na seiva nos diferentes meses de amostragem.

4.7 Quantificação da produção

Na Tabela 11 observam-se os resultados referentes à produção, em função dos tratamentos, que variaram de forma significativa para o número de frutos por planta, massa do fruto, produção por hectare e caixas por planta, porém não se relacionaram com as doses de N e K₂O aplicadas.

Os maiores valores de produção foram encontrados nos tratamentos T2 e T4, sendo que o tratamento T3 não conseguiu atingir o mesmo valor. Isso pode ser explicado pela maior produtividade apresentada pelo T3, em relação aos outros tratamentos, na safra anterior (Apêndice 1), o que pode ter diminuído as reservas de nutrientes das plantas nesse tratamento. De acordo com Sanz et al. (1987), os nutrientes translocados das folhas velhas podem representar mais de 70% daqueles utilizados na formação de novos órgãos.

Apesar de receber altas quantidades de fertilizantes, o tratamento T5 não atingiu os valores de produção dos tratamentos T2, T3 e T4, provavelmente pela grande acidificação gerada no solo (Tabela 3).

Os valores de produção desta safra foram muito superiores aos valores das safras 2007/2008 e 2008/2009, apresentados por Souza (2010), e os valores da safra 2009/2010, apresentados no Apêndice 2. Isso pode ter ocorrido devido ao período com baixa precipitação nos meses de Julho e Agosto (Figura 7). Sabe-se que baixas temperaturas e reduzida disponibilidade hídrica são os principais fatores ambientais que regulam o florescimento (Castro et al., 2001).

Observando o número de frutos por planta, nota-se que os maiores valores estão nos tratamentos T2 e T4, exatamente os mesmos tratamentos que apresentaram maior produção, enquanto a massa do fruto apresenta comportamento inverso. Esse comportamento mostra que as maiores produtividades ocorreram em decorrência da maior quantidade de frutos e não necessariamente de frutos maiores. Isso pode estar relacionado com o alto teor de N encontrado na seiva no mês de setembro (Tabela 10), período que está ocorrendo o florescimento e pegamento dos frutos.

Tabela 11. Quantificação da produção, em relação aos tratamentos.

Tratamento	Número (Frutos planta ⁻¹)	Massa Fruto (g)	Produção (t ha ⁻¹)	Caixas planta⁻¹ (caixa de 40,8)
T1 (0%)	1476	144,5	75,8	5,2
T2 (25%)	1955	134,4	93,8	6,4
T3 (50%)	1660	145,9	86,5	5,9
T4 (100%)	2030	129,5	93,9	6,4
T5 (200%)	1601	138,7	79,2	5,4
Teste F	17,3 **	6,0 **	15,6 **	15,7 **
CV %	6,5	4,1	4,9	4,9
Regressão	Q **	Q *	Q **	Q **
R ²	0,56	0,31	0,66	0,66

(**) significativo a 1%, (*) significativo a 5% e (^{ns}) não significativo, L - ajuste linear, Q - ajuste quadrático.

5. CONCLUSÕES

Na solução do solo, a aplicação de doses de N (nitrato de amônio) e K_2O (cloreto de potássio) ocasionou diminuição do pH e aumento da condutividade elétrica, amônio, nitrato, potássio, manganês e zinco.

Existe um potencial de perdas de nitrato, potássio e boro na solução do solo, nos meses com maior precipitação.

A leitura do índice de coloração verde nas folhas (SPAD) se correlacionou de forma significativa com as doses de N e K_2O aplicadas.

As concentrações de N e K na seiva se relacionaram diretamente com as doses aplicadas, porém são necessários mais estudos para avaliar o comportamento dos nutrientes na seiva em relação aos diferentes estádios de desenvolvimento da cultura.

As maiores produtividades para a safra 2010/2011 ocorreram nos tratamentos T4 e T2, quando aplicados, respectivamente, 220 e 110 kg de N ha^{-1} e 140 e 70 kg de K_2O ha^{-1} .

A utilização do índice SPAD, da análise de solução do solo e da análise de seiva para o monitoramento da solução do solo e do estado nutricional da planta, se mostraram técnicas eficientes, pois discriminaram os tratamentos de N e K_2O aplicados na maioria das variáveis analisadas.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRAHÃO, C. **Relação K:Ca:Mg na solução nutritiva para o cultivo de mini tomate em substrato**. 2011. 86 f. Dissertação (Mestrado em Horticultura)-Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2011.

AGRIANUAL. **Agriannual 2009**: anuário da agricultura brasileira. São Paulo: FNP Consultoria, 2009. 496 p.

ARGENTA, G.; SILVA, P. R. F.; BORTOLINI, C. G. Clorofila na folha como indicador do nível de nitrogênio em cereais. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 31, n. 4, p. 715-722, 2001.

ARGENTA, G. et al. Relação da leitura do clorofilômetro com os teores de clorofila extraível e de nitrogênio na folha de milho. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, Lavras, v. 13, p. 158-167, 2001.

BACKES, C. et al. Coloração verde nas folhas na cultura do alho vernalizado em resposta a adubação nitrogenada. **Bragantia**, Campinas, v. 67, n. 2, p. 491-498, 2008.

BAR-YOUSEF, B. Fertilization under drip irrigation. In: PALGRAVE, D. A. (Ed.). **Fluid fertilizer: science and technology**. New York: Marcel Dekker, 1991. p. 285-329.

BATAGLIA, O. C. et al. **Métodos de análise química de plantas**. Campinas: Instituto Agrônomico, 1983, 48 p. (Circular n. 78).

BLACKMER, T. M.; SCHEPERS, J. S.; VARVEL, G. E. Light reflectance compared with other nitrogen stress measurements in corn leaves. **Agronomy Journal**, Madison, v. 86, p. 934-938, 1994.

BLANCO, F. F. **Tolerância do tomateiro à salinidade sob fertirrigação e calibração de medidores de íons específicos para determinação de nutrientes na solução do solo e na planta.** 2004. 115 f. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem)-Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2004.

BOOIJ, R.; VALENZUELA, J. L.; AGUILERA, C. Determination of crop nitrogen status using non-invasive methods. In: HAVERKORT, A. J.; MACKERRON, D. K. L. (Ed.). **Management of nitrogen and water in potato production.** Wageningen: Wageningen Press, 2000. p. 72-82.

CADAHÍA, C.; LUCENA, J. J. Diagnostico de nutrición y recomendaciones de abonado. In: CADAHÍA, C. **Fertirrigacion:** cultivos hortícolas y ornamentales. Madrid: Mundi-Prensa, 1998. p. 173-246.

CADAHÍA, C.; LUCENA, J. J. Diagnostico de nutrición y recomendaciones de abonado. In: CADAHÍA, C. **Fertirrigación:** cultivos hortícolas, frutales y ornamentales. 3. ed. Madrid: Mundi-Prensa, 2005. p. 183-257.

CAMARGO, O. A. et al. **Métodos de análise química, mineralógica e física de solos do Instituto Agrônômico de Campinas.** Campinas: Instituto Agrônômico, 1986. 94 p. (Boletim Técnico, 106).

CANTARELLA, H.; TRIVELLIN, P. C. O. Determinação do nitrogênio inorgânico em solo pelo método da destilação a vapor. In: RAIJ, B. van et al. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais.** Campinas: Instituto Agrônômico, 2001. p. 270-276.

CASTRO, P. R. C. et al. Fisiologia da produção dos citros. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 22, n. 209, p. 26-38, 2001.

CHAPMAN, S. C.; BARRETO, H. J. Using a chlorophyll meter to estimate specific leaf nitrogen of tropical maize during vegetative growth. **Agronomy Journal**, Madison, v. 89, p. 557-562, 1997.

CRUZ, C. J. D. ; PARRON, L. M. ; ROCHA, A. L. A. Disponibilidade e mobilidade de íons em solução de solo sob cultura de cafeeiro. In: SIMPÓSIO NACIONAL DO CERRADO, 9.; SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE SAVANAS TROPICAIS, 2.; 2008, Brasília, DF. **Anais...** Brasília, DF: Embrapa, 2008.

DIAS, N. S. et al. Salinidade e manejo da fertirrigação em ambiente protegido. I: efeitos sobre o meloeiro. **Irriga**, Botucatu, v. 11, n. 2, p. 208-218, 2006.

DOMÍNGUEZ, A. et al. Dinámica foliar de elementos minerales en La variedad de Clementina ‘Oronules’. **Levante Agrícola**, Sevilla, p. 129-132, 2005.

DOORENBOS, J.; KASSAM, A. H. **Efeito da água no rendimento das culturas.** Campina Grande: FAO/UFPb, 1994. 306 p.

- DOU, H.; ALVA, A. K.; BONDADA, B. R. Growth and chloroplast ultrastructure of two citrus rootstock seedlings in response to ammonium and nitrate nutrition. **Journal Plant Nutrition**, Philadelphia, v. 22, p. 1731-1744, 1999.
- DUENHAS, L. H. et al. Fertirrigação com diferentes doses de NPK e seus efeitos sobre a produção e qualidade de frutos de laranja (*Citrus sinensis*) 'Valência'. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 24, n. 1, p. 214-218, 2002.
- DUENHAS, L. H. et al. Produção, qualidade dos frutos e estado nutricional da laranja valência sob fertirrigação e adubação convencional. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 25, n. 1, 2005.
- DWYER, L. M. Quantifying the nonlinearity in chlorophyll meter response to corn leaf nitrogen concentration. **Journal of Plant Science**, Nova York, v. 75, p. 179-182, 1995.
- EPSTEIN, E.; BLOOM, A. **Nutrição mineral de plantas: princípios e perspectivas**. Londrina: Planta, 2006. 401 p.
- FERREIRA, D. F. **Sisvar: versão 5.3**. Lavras: DEX/UFLA, 2008.
- FONTES, R. L. F.; ABREU, C. A.; ABREU, M. F. Disponibilidade e avaliação de elementos aniônicos. In: FERREIRA, M. E. et al. **Micronutrientes e elementos tóxicos na agricultura**. Jaboticabal: FAPESP/Potafos, 2001. p. 187-212.
- FREIRE, F. M. et al. Produtividade, teor de nitrato na seiva da nervura central e de nitrogênio total nas folhas de alface em resposta a doses de nitrogênio. **Horticultura Brasileira**, Brasília, DF, v. 26, n. 2, p. 74-78, 2008.
- FRIZZONE, J. A. et al. **Fertirrigação mineral**. Ilha Solteira: UNESP, 1985, 31 p. (Boletim Técnico, 2).
- GIL, P. T. et al. Índice SPAD para o diagnóstico do estado de nitrogênio e para o prognóstico da produtividade da batata. **Horticultura Brasileira**, Brasília, DF, v. 20, p. 611-615, 2002.
- GODOY, L. J. G.; VILLAS BÔAS, R. L.; BÜLL, L. T. Utilização da medida do clorofilômetro no manejo da adubação nitrogenada em plantas de pimentão. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 27, p. 1049-1056, 2003.
- GODOY, L. J. G. et al. Índice relativo de clorofila e o estado nutricional de nitrogênio durante o ciclo do cafeeiro fertirrigado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 32, p. 217-226, 2008.
- GODOY, L. J. G. et al. Uso do clorofilômetro no manejo da adubação nitrogenada para milho em sucessão a pastagem de *Brachiaria decumbens*. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 37, n. 1, p. 38-44, 2007.

GUIMARÃES, T. G. et al. Teores de clorofila determinados por medidor portátil e sua relação com formas de nitrogênio em folhas de tomateiro cultivados em dois tipos de solo. **Bragantia**, Campinas, v. 58, n. 1, p. 209-216, 1999.

HERNANDO, V.; CADAHÍA, C. El análisis de savia como índice de fertilización. Estudio comparativo con el análisis foliar. **Manuales de ciencia actual**. Madrid, n. 7, 1973. 167 p.

HOLANDA, J. S.; AMORIM, J. R. A. Qualidade da água para irrigação In: GHEYI, H.R.; QUEIROZ, J. E.; MEDEIROS, J. F. de (Ed.). **Manejo e controle da salinidade na agricultura irrigada**. Campina Grande: UFPB, 1997. p. 137-69.

KOLLER, O. C. **Citricultura: laranja, limão e tangerina**. Porto Alegre: Rigel, 1994, 446 p.

LAURINDO, V. T. **Interferência da fertirrigação, de lâminas e modos de aplicação localizada de água nos atributos químicos do solo e na produtividade da laranja Valência**. 2005. 100 f. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem)-Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2005.

LOHBAUER, C. **Informativo 1**. Disponível em: <<http://www.citrusbr.com.br>>. Acesso em: 12 fev. 2010.

LORENS, O. A.; MAYNARD, D. N. **Knott's handbook for vegetables growers**. 3. ed. New York: John Wiley & Sons, 1988. 456 p.

LOZANO, E. **Estudio comparativo de la deficiencia de boro y de calcio en cuatro variedades de *Lyopersicon esculentum* Mill**. 1996. Tese (Doutorado em Irrigación). Universidad Autónoma de Madrid, Madrid, 1996.

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

MINOLTA CAMERA Co. Ltd. **Manual for chlorophyll meter SPAD-502**. Osaka, 1989. 22 p.

MORAES, J. F. V.; DYNIA, J. F. Uso de cápsulas porosas para extrair a solução do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 25, n. 10, p. 1523-1528, 1990.

MORENO, J.; GARCÍA-MATÍNEZ, J. L. Seasonal variation nitrogenous in the xylem sap Citrus. **Physiology Plant Copenhagen**, Copenhagen, v. 59, p. 669-675, 1983.

PIEKIELEK, W. P.; FOX, R. H. Use of a chlorophyll meter for predict sidedress requirements for maize. **Agronomy Journal**, Madison, v. 84, p. 59-65, 1992.

PIRES, R. C. M. et al. Irrigação. In: MATTOS JUNIOR, D. et al. **Citros**. Campinas: Instituto Agrônomo, 2005. p. 369-408.

- PÔRTO, M. L. **Produção, estado nutricional e acúmulo de nitrato em plantas de alface submetidas à adubação nitrogenada e orgânica.** 2006. 65 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia)-Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2006.
- PURQUEIRO, L. F. V. **Crescimento, produção e qualidade de rúcula (*Eruca sativa* Miller) em função do nitrogênio e da densidade de plantio.** 2005. 119 p. Tese (Doutorado em Horticultura)-Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2005.
- QUAGGIO, J. A. **Acidez e calagem em solos tropicais.** Campinas: Instituto Agrônomico, 2000. 111 p.
- QUAGGIO, J. A.; MATTOS JUNIOR, D.; CANTARELLA, H. Manejo da fertilidade do solo na citricultura. In: MATTOS JUNIOR, D. et al. **Citros.** Campinas: Instituto Agrônomico, 2005. p. 483-507.
- QUAGGIO, J. A.; RAIJ, B. Van; PIZA JUNIOR, C. T. Frutíferas. In: RAIJ, B. van et al. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo.** Campinas: Instituto Agrônomico, 1997. p. 121-153.
- QUAGGIO, J. A. et al. Fertilização com boro e zinco em complementação à aplicação foliar em laranja Pêra. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 38, p. 627-634, 2003.
- RAIJ, B. van. **Fertilidade do solo e adubação.** Piracicaba: Ceres, 1991. 343 p.
- RAIJ, B. van. et al. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais.** Campinas: Instituto Agrônomico, 2001. 285 p.
- REIS, A. R. et al. Diagnóstico da exigência do cafeeiro em nitrogênio pela utilização do medidor portátil de clorofila. **Bragantia**, Campinas, v. 65, n. 1, 2006.
- REUTHER, W. Citrus. In: ALVIM, P. T.; KOZLOWSKI, T. T. **Ecophysiology of tropical crops.** New York: Academic Press, 1977. p. 409-439.
- SALOMÃO, H. Fertirrigação em citros. In: FOLLEGATTI, M. V. **Fertirrigação: flores, frutas e hortaliças.** Guaíba: Agropecuária, 1999. 460 p.
- SANZ, A. et al. Changes in carbohydrates and mineral elements in citrus leaves during flowering and fruit set. **Physiologia Plantarum**, Umea, v. 69, n. 1, p. 93-98, 1987.
- SCHEPERS, J. S. et al. Comparison of corn leaf nitrogen concentration and chlorophyll meter reading. **Communication in Soil Science and Plant Analysis**, Philadelphia, v. 23, n. 17-20, p. 2173-2187, 1992.

- SEGURA, M. L.; CADAHÍA, C. Fertirrigacion de cultivos hortícolas. In: CADAHÍA, C. **Fertirrigation: cultivos hortícolas y ornamentales**. 2. ed. Madrid: Mundi- Prensa, 2000. p. 345- 415.
- SETIN, D. W.; CARVALHO, S. A.; MATTOS JÚNIOR, D. Crescimento inicial e estado nutricional da laranjeira 'Valência' sobre porta-enxertos múltiplos de limoeiro 'Cravo' e citrumeleiro 'swingle'. **Bragantia**, Campinas, v. 68, n. 2, p. 397-406, 2009.
- SHAAHAN, M. M.; EL-SAYED, A. A.; ABOU EL-NOUR, E. A. A. Predicting nitrogen, magnesium and iron nutritional status some perennial crops using a portable chlorophyll meter. **Horticultural Science**, Praga, v. 82, p. 339-348, 1999.
- SILVA, E. F. F. **Manejo da fertirrigação e controle da salinidade na cultura do pimentão utilizando extratores de solução do solo**. 2002. 136 f. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem)-Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.
- SILVEIRA, P. M.; BRAZ, A. J. B. P.; DIDONET, A. D. Uso do clorofilômetro como indicador da necessidade de adubação nitrogenada em cobertura no feijoeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 38, n. 9, p. 1083-1087, 2003.
- SOUZA, T. R. **Dinâmica de nutrientes no perfil do solo em sistemas de adubação sólida e fertirrigação na citricultura**. 2006. 91 f. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) - Instituto Agrônomo de Campinas, Campinas, 2006.
- SOUZA, T. R. **Monitoramento do estado nutricional de plantas cítricas e da solução do solo em sistema de fertirrigação**. 2010. 146 f. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem)-Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2010.
- STOKING, C. R.; ONGUN, A. The intracellular distribution of some metallic elements in leaves. **American Journal of Botany**, St. Louis, v. 49, p. 284-289, 1962.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2004. 719 p.
- TECCHIO, M. A. et al. Teores foliares de nutrientes, índice relativo de clorofila e teores de nitrato e de potássio na seiva do pecíolo na videira 'Niagara Rosada'. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 33, n. 2, p. 649-659, 2011.
- TEIXEIRA, L. A. J. et al. Nitrogênio e potássio em bananeira via fertirrigação e adubação convencional - atributos químicos do solo. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 29, n. 1, p. 143-152, abr. 2007.
- TSAI, S. M.; BARAIBAR, A. V. L.; ROMANI, V. L. M. Efeitos de fatores do solo. In: CARDOSO, E. J. B. N.; TSAI, S. M.; NEVES, M. C. P. **Microbiologia do solo**. Campinas: Instituto Agrônomo, 1992, p. 59-72.

TUNER, F.T.; JUND, M.F. Chlorophyll meter to predict nitrogen topdress requirement for semidwarf rice. **Agronomy Journal**, Madison, v. 83, p. 926-928, 1991.

VAN GENUCHTEN, M. T. A closed-form solution for predicting the conductivity of unsaturated soils. **Soil Science Society American Journal**, Madison, v. 44, n. 2, p. 892-898, 1980.

VENEGAS, V. H. A. et al. Enxofre. In: NOVAIS, R. F. et al. **Fertilidade do solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. 1017 p.

VILLAS BÔAS, R. L.; BÜLL, L. T.; FERNANDES, D. M. Fertilizantes em fertirrigação. In: FOLLEGATTI, M. V. **Fertirrigação: citros, flores, hortaliças**. Guaíba: Agropecuária, 1999. p. 293-319.

VILLAS BÔAS, R. L. et al. Agricultura fertirrigada avança no Brasil. **AGRIANUAL 2005: anuário da agricultura brasileira**. São Paulo: Argos Comunicação, 2005. p. 54-57.

VILLAS BÔAS, R. L. et al. Perfil da pesquisa e emprego da fertirrigação no Brasil. In: FOLLEGATTI, M. V. et al. **Fertirrigação: flores, frutas e hortaliças**. Guaíba: Agropecuária, 2001. p. 71-103.

WOLT, J. D. **Soil solution chemistry: applications to environmental science on agriculture**. New York: Wiley, 1994. 345 p.

ZANINI, J. R. et al. Distribuição de fósforo no bulbo molhado, aplicado via fertirrigação por gotejamento com ácido fosfórico. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 27, p. 180-193, 2007.

7. APÊNDICES

Apêndice 1. Quantificação da produção, em relação aos tratamentos, para a safra 2009/2010.

Tratamento	Número (Frutos planta ⁻¹)	Massa Fruto (g)	Produção (t ha ⁻¹)	Caixas planta⁻¹ (caixa de 40,8)
T1 (0%)	685	168,6	40,4	2,8
T2 (25%)	855	173,8	52	3,6
T3 (50%)	972	163,9	55,6	3,9
T4 (100%)	877	158,4	48,5	3,4
T5 (200%)	859	166,6	49,9	3,5
Teste F	3,8 *	2,7 ns	3,9 *	3,9 *
CV %	12,5	4,2	11,5	11,5
Regressão	Q *	L ns	Q *	Q *
R ²	0,89	0,29	0,74	0,74

(**) significativo a 1%, (*) significativo a 5% e (ns) não significativo, L - ajuste linear, Q - ajuste quadrático.