**Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**

**Manejo da fertirrigação no cultivo de roseiras em ambiente
protegido**

Carlos José Gonçalves de Souza Lima

**Tese apresentada para obtenção de título
de Doutor em Ciências. Área de
concentração: Irrigação e Drenagem**

**Piracicaba
2013**

Carlos José Gonçalves de Souza Lima
Engenheiro Agrônomo

**Manejo da fertirrigação no cultivo de roseiras em ambiente
protegido**

versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011

Orientador:
Prof. Dr. **SERGIO NASCIMENTO DUARTE**

**Tese apresentada para obtenção de título
de Doutor em Ciências. Área de
concentração: Irrigação e Drenagem**

**Piracicaba
2013**

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
DIVISÃO DE BIBLIOTECA - ESALQ/USP**

Lima, Carlos José Gonçalves de Souza

Manejo da fertirrigação no cultivo de roseiras em ambiente protegido / Carlos José Gonçalves de Souza Lima. - - versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011. - - Piracicaba, 2013.
168 p: il.

Tese (Doutorado) - - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 2013.

1. Água do solo 2. Irrigação - Manejo 3. Nitrogênio 4. Rosa 5. Tensiômetro I. Título

CDD 635.9333372
L732M

"Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte – O autor"

Aos meus pais, Francisco Jesus e Gildasia Maria que me conceberam, me criaram e me orientaram para os estudos e para a vida, especialmente, à minha Mãe, exemplo de força, honestidade, amor e fé, e que sempre pede a Deus para guiar os meus passos.

A todos os membros da minha família e pessoas que me apoiam e acreditam que a conquista de objetivos são alcançadas se precedida da força regada pelo amor da família e seus frutos partilhados com a humanidade e em prol de um bem comum

DEDICO

À minha noiva Monik Rayelle que esteve ao meu lado nessa jornada, com dedicação, incentivo, e amor, embora as dificuldades fossem inerentes.

Aos meus irmãos Sylvio Ricard e Márcia Gabriele que sempre me ajudaram em todos os aspectos e em minhas tomadas de decisão.

OFEREÇO

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar a Deus, pela força para superar todos os obstáculos em todos os momentos de minha vida;

A todos familiares e amigos que me apoiaram nessa jornada; em especial a meus pais, Francisco Jesus e Gildasia Maria, e meus irmãos Sylvio Ricard e Márcia Gabriele que são os pilares da nossa família;

Ao programa de Pós-Graduação em Irrigação e Drenagem da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, pela oportunidade de realização deste curso;

Ao professor Sergio Nascimento Duarte pela valiosa orientação, confiança, ensinamentos, conselhos sábios e amizade, e parabenizá-lo pela sua alegria e felicidade contagiantes, além de sua dedicação ao ensino e pesquisa;

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo - FAPESP pela concessão da bolsa de estudos e fomento da pesquisa sob o processo número 2010/51075-2;

À empresa MOERHEIM ROSES & TRADING BV na pessoa do Senhor Ton Witmer pela liberação da patente para o cultivo da roseira Samourai® Meikatana, e sua grande colaboração técnica durante o experimento;

Ao Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia - Engenharia da Irrigação (INCT-EI);

A todos os professores da ESALQ/ USP pelos ensinamentos, contribuição na minha formação profissional e bom relacionamento;

Ao professor José Antônio Frizzone pelas discussões técnicas, sugestões práticas, amizade, e parabenizá-lo por sua dedicação acadêmico-científica, e acima de tudo pela sua humildade e sabedoria;

Ao Professor Jarbas Honorio de Miranda por suas sugestões no exame de qualificação e contribuições para realização da pesquisa;

Aos colegas e amigos Everaldo Silva, Fernando Barbosa, Francisco Vilaça, Eusímio Fraga Júnior, Cícero Renê, Patrícia Silva e Rafael Maschio que foram parceiros na realização do experimento;

Aos colegas de Pós-graduação e especialistas em laboratório do Departamento de Engenharia de Biossistemas, Antônio Pires de Camargo e Marinaldo Ferreira Pinto, pelo auxílio na construção, instalação e manutenção do sistema de controle da automação da irrigação;

À minha querida e amada irmã Márcia Gabriele Lima pela colaboração na revisão do trabalho;

Aos funcionários do Departamento de Engenharia de Biossistemas: Angela Silva, Davilmar Colevatti, Beatriz Novaes, Sandra Mello, Sr. Antônio Gozzo, Gilmar Grigolon, Hélio Gomes, Luiz Custódio, Osvaldo Rettore, Paula Bonassa, Áureo Santana e Juarez Amaral meus agradecimentos pela amizade, auxílio nos trabalhos, convivência harmoniosa, a todos meus parabéns pelo profissionalismo e competência;

Ao Professor Paulo Hercilio Viegas Rodrigues por suas contribuições durante a execução deste trabalho;

Ao colega e amigo Lucas Melo Vellame pela grandiosa contribuição no desenvolvimento e montagem do sistema de aquisição de dados;

Ao meu grande amigo Francisco de Assis de Oliveira (Thikão), companheiro de muitas jornadas no decorrer de minha vida acadêmica, e que contribui na execução deste trabalho e de muitos outros;

Ao colega e amigo Andre Herman Freire Bezerra pela valiosa ajuda na tradução do resumo;

Muito obrigado, a todos os colegas do curso de Pós-graduação em Engenharia de Sistemas Agrícolas pelos momentos compartilhados, tanto no aspecto profissional quanto pessoal durante nossa convivência; cada um que contribuiu de forma especial para a realização deste trabalho;

Finalmente, agradeço a todos que direta ou indiretamente contribuíram para realização deste trabalho.

SUMÁRIO

RESUMO	9
ABSTRACT	11
LISTA DE FIGURAS	13
LISTA DE TABELAS	21
1 INTRODUÇÃO	25
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	27
2.1 Cenário da Floricultura	27
2.2 Condução do roseiral em ambiente protegido	30
2.3 Irrigação	33
2.4 Fator de depleção da água no solo	35
2.5 Fertirrigação	36
2.6 Extração e monitoramento da solução do solo	39
2.7 Dinâmica dos íons no solo	42
3 MATERIAL E MÉTODOS	45
3.1 Localização e caracterização da área experimental	45
3.2 Caracterização físico-hídrica e química do solo	46
3.3 Tratamentos e delineamento experimental	48
3.4 Condução do Experimento	49
3.4.1 Instalação e montagem da estrutura	49
3.4.2 Plantio e condução das plantas	50
3.4.3 Monitoramento das variáveis microclimáticas	52
3.4.4 Sistema e manejo da irrigação	52
3.4.5 Manejo da fertirrigação	56
3.4.6 Extração da solução do solo	57
3.4.7 Parâmetros avaliados	58
3.4.8 Análise estatística	62
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	65
4.1 Variáveis microclimáticas	65
4.2 Avaliações quantitativas das fertirrigações realizadas	68
4.3 Monitoramento e análise da solução do solo	70

4.4 Parâmetros de produção e qualidade	94
4.4.1 Produção comercial de hastes.....	94
4.4.2 Comprimento de haste.....	99
4.4.4 Comprimento de botão floral.....	105
4.4.5 Diâmetro de haste.....	110
4.4.6 Índice de área foliar	117
4.4.7 Fitomassa de hastes.....	122
4.5 Temperatura foliar, umidade no tecido foliar e potencial da água na folha.....	128
4.6 Consumo hídrico, produtividade acumulada e produtividade da água.....	135
4.7 Análise química de hastes	140
4.7.1 Teor de nitrogênio e de potássio no tecido vegetal da roseira.....	140
4.7.2 Teor de cálcio e magnésio no tecido vegetal da roseira	145
4.7.3 Teor de fósforo e enxofre no tecido vegetal da roseira.....	149
4.8 Renda bruta	153
5 CONCLUSÕES.....	157
REFERÊNCIAS	159

RESUMO

Manejo da fertirrigação no cultivo de roseiras em ambiente protegido

A produção de rosas em ambiente protegido sob fertirrigação é uma técnica bastante utilizada pelos produtores e vem se expandindo consideravelmente, principalmente no Estado de São Paulo; cultivo este antes restrito a região Sudeste, hoje se encontra em todas as regiões do País. O manejo adequado da irrigação associado à fertirrigação nitrogenada é um fator relevante nos parâmetros de produtividade e de qualidade das rosas. O objetivo deste trabalho foi avaliar a produtividade e a qualidade das hastes florais na cultura da roseira, variedade Samourai® Meikatana, submetida a diferentes níveis de depleção da água no solo e doses de nitrogênio aplicadas via fertirrigação sob cultivo em ambiente protegido. O experimento foi conduzido na área experimental do Departamento de Engenharia Biosistemas da Escola Superior de Agricultura 'Luiz de Queiroz', em Piracicaba, SP. O delineamento estatístico foi em blocos casualizados, em esquema fatorial 4 x 4, totalizando 16 tratamentos, com 4 repetições, sendo a unidade experimental representada por uma parcela com dimensões de 0,4 x 0,5 x 2,0 m. Os tratamentos foram compostos pela combinação de quatro doses de nitrogênio ($N_1 = 5$, $N_2 = 10$, $N_3 = 15$ e $N_4 = 20$ g planta⁻¹ ano⁻¹) e quatro níveis de depleção da água no solo ($F_1 = 0,15$; $F_2 = 0,30$; $F_3 = 0,45$ e $F_4 = 0,60$). O sistema de irrigação utilizado foi o gotejamento, adotando manejo de irrigação com tensiômetros providos de transdutores de pressão. Ao longo do ciclo da cultura foi realizado o monitoramento da condutividade elétrica (CE), potencial hidrogeniônico (pH) e a concentração de nitrato (NO_3^-) e potássio (K) na solução coletada. Foram avaliados a produtividade, os parâmetros qualitativos das hastes e botões, a temperatura e o potencial da água na folha, o consumo hídrico, a produtividade da água, o teor de nutrientes no tecido vegetal e a renda bruta. Os resultados demonstram que a dose de N que maximiza a produção comercial de hastes decresce à medida que se prolongam as colheitas. O estresse hídrico temporário (depleção) afeta negativamente os parâmetros quantitativos e qualitativos das hastes de rosas. A produção e a qualidade das hastes são mais afetadas pelas doses de nitrogênio do que pelos níveis de depleção da água no solo. A temperatura foliar e o potencial da água na folha são afetados pelos níveis de depleção e não são influenciados pelas doses de nitrogênio. O consumo hídrico é afetado por ambos os fatores estudados. A produtividade da água em hastes aumenta em função dos fatores doses de N e depleção da água no solo. Os tratamentos promoveram diferenças significativas na fitomassa e no teor de $N > K > Ca > Mg > P > S$ no tecido vegetal das hastes florais de rosas.

Palavras-chave: *Rosa* sp L.; Depleção da água no solo; Nitrogênio; Tensiômetro; Manejo da irrigação

ABSTRACT

Fertigation management in rose crop under a protected environment

The production of roses in protected environment under fertigation is a technique used by farmers and has expanded considerably, especially in the state of São Paulo, Brazil; this culture, previously limited to the Southeast region of Brazil, today is found in all regions of the country. Proper management of irrigation associated to nitrogenated fertigation is an important factor in productivity parameters and quality of cut roses. The aims of this study was to evaluate the productivity and quality of the flowers in the rose bush, "Samourai® Meikatana", variety, under different soil water depletion factors and nitrogen levels applied through fertigation under cultivation in protected environment. The experiment was carried in the experimental area of the Biosystems Engineering Department, School of Agriculture "Luiz de Queiroz", in Piracicaba, state of São Paulo, Brazil. Experimental design was a randomized blocks in a 4 x 4 factorial scheme, totaling 16 treatments, with four replications and plot with dimensions of 0.4 x 0.5 x 2.0 m. The treatments consisted of combinations of four nitrogen levels ($N_1 = 5$, $N_2 = 10$, $N_3 = 15$ and $N_4 = 20$ g plant⁻¹ year⁻¹) and four levels of soil water depletion ($F_1 = 0.15$; $F_2 = 0.30$, $F_3 = 0.45$ and $F_4 = 0.60$). The application of water and nutrients (fertigation) was performed when the soil water availability reached these percentages. The irrigation system used was drip irrigation adopting management with tensiometers equipped with pressure transducers. Throughout the crop cycle was performed monitoring of electrical conductivity (EC), potential hydrogen (pH) and concentration of nitrate (NO_3^-) and potassium (K) in the soil solution. The yield, the qualitative parameters of the stems and buds of cut roses, leaf temperature and water potential, water consumption, water productivity, nutrient content in plant tissue and gross income was evaluated. The dose of N which maximizes the commercial production of cut flowers decreases as it extends harvest. The temporary water stress (depletion) negatively affects the quantitative and qualitative parameters of cut roses. The production and quality of cut roses are more affected by nitrogen levels than by the soil water depletion. Leaf temperature and leaf water potential are affected by levels of depletion and are not influenced by the nitrogen levels. The water consumption is affected by both studied factors. Water productivity in cut roses increases due to the N levels and soil water depletion factors. The treatments promoted significant differences in phytomass and content of $\text{N} > \text{K} > \text{Ca} > \text{Mg} > \text{P} > \text{S}$ in plant tissue of the roses floral stems.

Keywords: *Rosa* sp L.; Soil water depletion; Nitrogen; Tensiometer; Irrigation management

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Ambiente protegido (A), arranjo (B) e padronização do tamanho (B e C) das unidades experimentais	46
Figura 2 - Curva de retenção da água no solo utilizado no experimento	47
Figura 3 - Croqui da área experimental	49
Figura 4 - Molde para o canteiro (A), revestimento com manta plástica (B), e preenchimento e calagem (C) das unidades experimentais	50
Figura 5 - Plantio das mudas (A), componentes da parcela (B), área útil (C) e roseiral estabelecido (D).....	51
Figura 6 - Calibração dos transdutores de pressão MPX5100DP: transdutores conectados ao sistema de aquisição de dados em datalogger CR10 (A) e detalhes das conexões (B)	54
Figura 7 - Curva de calibração dos transdutores de pressão modelo MPX5100DP.....	55
Figura 8 - Painel de controle de atuadores e automação da fertirrigação (A) e interface do software (B).....	55
Figura 9 - Evapotranspiração diária média do período necessário (dias) para que o solo atingisse a tensão crítica em função dos níveis de depleção, independentemente da dose de N, no período da 5ª colheita	57
Figura 10 - Variação do tamanho (A), determinação de diâmetro (B) e estrutura (C) de hastes florais.....	59
Figura 11 - Temperaturas máxima, média e mínima do ar registradas no período experimental para 1ª, 2ª, 3ª, 4ª e 5ª colheitas com intervalos de 45, 50, 55, 46 e 49 dias, respectivamente	66
Figura 12 - Umidades máxima (Umáx), média (Uméd) e mínima (Umín) no interior do ambiente protegido ao longo dos dias após início dos tratamentos (DAIT)	67
Figura 13 - Radiação solar global - Rs ($\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$) e evapotranspiração de referência - ETo (mm dia^{-1}) no interior do ambiente protegido ao longo dos dias após início dos tratamentos (DAIT)	68

Figura 14 - Condutividade elétrica (CEs) da solução do solo em função de doses de nitrogênio e da profundidade de coleta aos 50 dias após início dos tratamentos (DAIT).....	72
Figura 15 - Condutividade elétrica (CEs) da solução do solo em função de doses de nitrogênio (A) e níveis de depleção da água no solo (B) aos 97 dias após início dos tratamentos (DAIT).....	72
Figura 16 - Condutividade elétrica (CE) da solução do solo em função dos níveis de depleção da água no solo e da profundidade de coleta aos 97 dias após início dos tratamentos (DAIT).....	73
Figura 17 - Condutividade elétrica (CE) da solução do solo em função de doses de nitrogênio (A) e níveis de depleção da água no solo (B) aos 153 dias após início dos tratamentos (DAIT).....	74
Figura 18 - Condutividade elétrica (CE) da solução do solo em função de doses de nitrogênio (A), dos níveis de depleção da água no solo (B) e da profundidade de coleta aos 153 dias após início dos tratamentos (DAIT) ..	74
Figura 19 - Condutividade elétrica (CE) da solução do solo em função de doses de nitrogênio (A) e dos níveis de depleção da água no solo (B) aos 194 dias após início dos tratamentos (DAIT)	75
Figura 20 - Condutividade elétrica (CE) da solução do solo em função de doses de nitrogênio e da profundidade de coleta aos 194 dias após início dos tratamentos (DAIT).....	76
Figura 21 - Condutividade elétrica (CE) da solução do solo em função de doses de nitrogênio e profundidade de coleta aos 250 dias após início dos tratamentos (DAIT).....	76
Figura 22 - Condutividade elétrica (CEs) da solução do solo ao longo dos DAIT para as doses de nitrogênio (A), níveis de depleção da água no solo (B) e profundidade de coleta (C).....	78
Figura 23 - Potencial hidrogeniônico (pH) da solução do solo ao longo dos DAIT para as doses de nitrogênio (A), níveis de depleção da água no solo (B) e profundidade de coleta (C).....	80

- Figura 24 - Concentração de nitrato (NO_3^-) na solução do solo em função de doses de nitrogênio (A), níveis de depleção da água no solo (B) e profundidade de coleta aos 50 dias após início dos tratamentos (DAIT)..... 82
- Figura 25 - Concentração de nitrato (NO_3^-) na solução do solo em função de doses de nitrogênio (A) e níveis de depleção da água no solo (B) aos 97 dias após início dos tratamentos (DAIT) 83
- Figura 26 - Concentração de nitrato (NO_3^-) na solução do solo em função de doses de nitrogênio (A), níveis de depleção da água no solo (B) e profundidade de coleta aos 97 dias após início dos tratamentos (DAIT)..... 84
- Figura 27 - Concentração de nitrato (NO_3^-) na solução do solo em função de doses de nitrogênio (A) e níveis de depleção da água no solo (B) aos 153 dias após início dos tratamentos (DAIT) 85
- Figura 28 - Concentração de nitrato (NO_3^-) na solução do solo em função de doses de nitrogênio (A), níveis de depleção da água no solo (B) e profundidade de coleta aos 153 dias após início dos tratamentos (DAIT)..... 86
- Figura 29 - Concentração de nitrato (NO_3^-) na solução do solo em função de doses de nitrogênio e profundidade de coleta aos 194 dias após início dos tratamentos (DAIT) 86
- Figura 30 - Concentração de nitrato (NO_3^-) na solução do solo em função de doses de nitrogênio e profundidade de coleta aos 250 dias após início dos tratamentos (DAIT) 87
- Figura 31 - Concentração de nitrato (NO_3^-) da solução do solo ao longo dos DAIT para as doses de nitrogênio (A), níveis de depleção da água no solo (B) e profundidade de coleta (C) 88
- Figura 32 - Concentração de potássio (K) na solução do solo em função dos níveis de depleção da água no solo e profundidade de coleta aos 50 dias após início dos tratamentos (DAIT) 90
- Figura 33 - Concentração de potássio (K) na solução do solo em função de doses de nitrogênio e profundidade de coleta aos 97, 153, 194 e 250 dias após início dos tratamentos (DAIT) (A, B, C e D), respectivamente..... 91

Figura 34 - Concentração de potássio (K) da solução do solo ao longo dos DAIT para as doses de nitrogênio (A), níveis de depleção da água no solo (B) e profundidade de coleta (C).....	93
Figura 35 - Produção comercial de hastes florais (PCHF) em função de doses de nitrogênio (A e C) e em função dos níveis de depleção da água no solo (B e D) aos 45 (A e B) e 95 (C e D) dias após início dos tratamentos (DAIT).....	95
Figura 36 - Produção comercial de hastes florais (PCHF) em função de doses de nitrogênio (A, C e E) e em função dos níveis de depleção da água no solo (B, D e F) aos 150 (A e B), 196 (C e D) e 245 (E e F) dias após início dos tratamentos (DAIT).....	98
Figura 37 - Comprimento de haste floral (CHF) em função de doses de nitrogênio (A, C e E) e em função dos níveis de depleção da água no solo (B, D e F) aos 45 (A e B), 95 (C e D) e 150 (E e F) dias após início dos tratamentos (DAIT).....	102
Figura 38 - Comprimento de haste floral (CHF) em função de doses de nitrogênio (A e C) e em função dos níveis de depleção da água no solo (B e D) para 196 (A e B) e 245 (C e D) dias após início dos tratamentos (DAIT)	104
Figura 39 - Comprimento de botão floral (CBF) em função de doses de nitrogênio (A, C e E) e em função dos níveis de depleção da água no solo (B, D e F) aos 45 (A e B), 95 (C e D) e 150 (E e F) dias após início dos tratamentos (DAIT).....	107
Figura 40 - Comprimento de botão floral (CBF) em função de doses de nitrogênio (A e C) e em função dos níveis de depleção da água no solo (B e D) aos 150 (A e B) e 245 (C e D) dias após início dos tratamentos (DAIT)	109
Figura 41 - Diâmetro de haste floral (DHF) em função de doses de nitrogênio (A e C) e em função dos níveis de depleção da água no solo (B e D) aos 45 (A e B) e 95 (C e D) dias após início dos tratamentos (DAIT)	112
Figura 42 - Diâmetro de haste floral (DHF) em função de doses de nitrogênio (A e C) e em função dos níveis de depleção da água no solo (B e D) aos 150 (A e B) e 196 (C e D) dias após início dos tratamentos (DAIT)	115

- Figura 43 - Diâmetro de haste floral (DHF) em função de doses de nitrogênio (A) e em função dos níveis de depleção da água no solo (B) aos 245 dias após início dos tratamentos (DAIT) 116
- Figura 44 - Índice de área foliar (IAF) em função de doses de nitrogênio (A, C e E) e em função do fator de depleção da água no solo (B, D e F) para 45 (A e B), 95 (C e D) e 150 (E e F) dias após início dos tratamentos (DAIT) 119
- Figura 45 - Índice de área foliar (IAF) em função de doses de nitrogênio (A e C) e em função dos níveis de depleção da água no solo (B e D) aos 196 (A e B) e 245 (C e D) dias após início dos tratamentos (DAIT) 121
- Figura 46 - Fitomassa fresca de folhas (FFF) e de haste nua (FFH) em função de doses de nitrogênio (A e C) e de níveis de depleção da água no solo (B e D) para o período da 5ª colheita iniciada aos 245 dias após início dos tratamentos (DAIT) 124
- Figura 47 - Fitomassa fresca de botões florais (FFB) e total (FFT) em função de doses de nitrogênio (A e C) e dos níveis de depleção da água no solo (B e D) para o período da 5ª colheita iniciada aos 245 dias após início dos tratamentos (DAIT) 125
- Figura 48 - Fitomassa seca de folhas (FFF) e de haste nua (FFH) em função de doses de nitrogênio (A e C) e dos níveis de depleção da água no solo (B e D) para o período da 5ª colheita iniciada aos 245 dias após início dos tratamentos (DAIT) 126
- Figura 49 - Fitomassa seca de botões florais (FSB) e total (FST) em função de doses de nitrogênio (A e C) e dos níveis de depleção da água no solo (B e D) para o período da 5ª colheita iniciada aos 245 dias após início dos tratamentos (DAIT) 127
- Figura 50 - Temperatura foliar com solo em capacidade de campo (TF_{cc}) e temperatura do ar (Tar) ao longo do dia (06/02/2012) no período da 5ª colheita iniciada aos 245 (DAIT) para as doses de nitrogênio de 5, 10, 15 e 20 g por planta por ano; ns - não significativo 129
- Figura 51 - Temperatura foliar com solo em capacidade de campo (TF_{cc}) e temperatura do ar (Tar) ao longo do dia (06/02/2012) no período da 5ª

- colheita iniciada aos 245 (DAIT) para os níveis de depleção da água no solo de 0,15; 0,30; 0,45 e 0,60; ns - não significativo 130
- Figura 52 - Temperatura foliar com solo em umidade crítica ($TF_{\theta C}$) e temperatura do ar (T_{ar}) ao longo do dia (11/01/2012) no período da 5ª colheita iniciada aos 245 (DAIT) para as doses de nitrogênio de 5, 10, 15 e 20 g por planta por ano; ns - não significativo 130
- Figura 53 - Temperatura foliar com solo em umidade crítica ($TF_{\theta C}$) e temperatura do ar (T_{ar}) ao longo do dia (11/01/2012) no período da 5ª colheita iniciada aos 245 (DAIT) para os níveis de depleção da água no solo de 0,15; 0,30; 0,45 e 0,60; ns - não significativo 131
- Figura 54 - Umidade no tecido foliar (UTF) em função de doses de nitrogênio (A) e em função dos níveis de depleção da água no solo (B) para colheita aos 245 dias após início dos tratamentos (DAIT) 133
- Figura 55 - Potencial da água na folha (PAF) em função de doses de nitrogênio (A) e em função dos níveis de depleção da água no solo (B) para colheita aos 245 dias após início dos tratamentos (DAIT) com solo em umidade crítica 134
- Figura 56 - Consumo hídrico (CH) em função de doses de nitrogênio (A) e de níveis de depleção da água no solo (B) para o período de 250 dias após início dos tratamentos (DAIT) 137
- Figura 57 - Produtividade comercial acumulada de hastes florais (PCAHF) em função de doses de nitrogênio (A) e de níveis de depleção da água no solo (B) para o período de 250 dias após início dos tratamentos (DAIT) 138
- Figura 58 - Produtividade da água (PA) em hastes de roseiras em função de doses de nitrogênio (A) e dos níveis de depleção da água no solo (B) para o período de 250 dias após início dos tratamentos (DAIT) 139
- Figura 59 - Teor de nitrogênio nas hastes (TNH), nas folhas (TNF) e nos botões (TNB) em função de doses de nitrogênio (A, C e E) e em função dos níveis de depleção da água no solo (B, D e F) para colheita iniciada aos 245 dias após início dos tratamentos (DAIT) 143
- Figura 60 - Teor de potássio nas hastes (TKH), nas folhas (TKF) e nos botões (TKB) em função de doses de nitrogênio (A, C e E) e em função dos níveis de

depleção da água no solo (B, D e F) para colheita iniciada aos 245 dias após início dos tratamentos (DAIT)	144
Figura 61 - Teor de cálcio nas hastes (TCaH), nas folhas (TCaF) e nos botões (TCaB) em função de doses de nitrogênio (A, C e E) e em função dos níveis de depleção da água no solo (B, D e F) para colheita iniciada aos 245 dias após início dos tratamentos (DAIT)	147
Figura 62 - Teor de magnésio nas hastes (TMgH), nas folhas (TMgF) e nos botões (TMgB) em função de doses de nitrogênio (A, C e E) e em função dos níveis de depleção da água no solo (B, D e F) para colheita iniciada aos 245 dias após início dos tratamentos (DAIT)	149
Figura 63 - Teor de fósforo nas hastes (TPH), nas folhas (TPF) e nos botões (TPB) em função de doses de nitrogênio (A, C e E) e em função dos níveis de depleção da água no solo (B, D e F) para colheita iniciada aos 245 dias após início dos tratamentos (DAIT)	151
Figura 64 – Variação do preço de haste durante o período experimental segundo Velling	153

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Caracterização físico-hídrica do solo utilizado no experimento: umidade na capacidade de campo (CC) e no ponto de murcha permanente (PMP), água disponível (AD), densidade do solo (Ds), densidade de partículas do solo (Dp), macroporosidade (MP) e porosidade total do solo (PT)	48
Tabela 2 - Caracterização química do Latossolo Vermelho Amarelo	48
Tabela 3 - Coeficientes de uniformidade da 1ª e 2ª avaliações do sistema de irrigação	53
Tabela 4 - Parâmetros utilizados no manejo da irrigação considerando profundidade de 30 cm	56
Tabela 5 - Nutrientes para as fases de formação e produção de roseiras (CASARINI, 2004)	56
Tabela 6 - Esquema da análise de variância do experimento	63
Tabela 7 - Condutividade elétrica da solução usada na fertirrigação e massa de fertilizantes para o volume de água a cada turno de rega modal (TRM) para quatro parcelas (repetições)	69
Tabela 8 - Turno de rega médio e número de fertirrigações realizadas no período de 250 DAIT para cada tratamento.....	69
Tabela 9 - Massa de fertilizantes aplicados no período de 250 DAIT para quatro parcelas (80 plantas) e suas respectivas doses de nitrogênio considerando uma população de 8,33 plantas m ⁻²	70
Tabela 10 - Resumo da análise de variância para condutividade elétrica da solução (CE _s) coletada utilizando extratores providos de cápsulas porosas instaladas em duas profundidades em solo cultivado com roseiras em ambiente protegido, submetidas a diferentes doses de nitrogênio e níveis de depleção da água no solo.....	71
Tabela 11 - Resumo da análise de variância para potencial hidrogeniônico (pH) da solução do solo coletada utilizando extratores providos de cápsulas porosas instaladas em duas profundidades em solo cultivado com	

roseiras em ambiente protegido, submetidas a diferentes doses de nitrogênio e níveis de depleção da água no solo	79
Tabela 12 - Valores médios do potencial hidrogeniônico (pH) da solução do solo coletada utilizando extratores providos de cápsulas porosas instaladas em duas profundidades em solo cultivado com roseiras em ambiente protegido, submetidas a diferentes doses de nitrogênio e níveis de depleção da água no solo	79
Tabela 13 - Resumo da análise de variância para concentração de nitrato na solução (NO_3^-) coletada utilizando extratores providos de cápsulas porosas instaladas em duas profundidades em solo cultivado com roseiras em ambiente protegido, submetidas a diferentes doses de nitrogênio e níveis de depleção da água no solo	81
Tabela 14 - Resumo da análise de variância para concentração de potássio na solução (K) coletada utilizando extratores providos de cápsulas porosas instaladas em duas profundidades em solo cultivado com roseiras em ambiente protegido, submetidas a diferentes doses de nitrogênio e níveis de depleção da água no solo	89
Tabela 15 - Resumo da análise de variância para produção comercial de hastes florais (PCHF) de roseiras cultivadas em ambiente protegido, submetidas a diferentes doses de nitrogênio e níveis de depleção da água no solo	94
Tabela 16 - Resumo da análise de variância para comprimento de haste floral (CHF) de roseiras cultivadas em ambiente protegido, submetidas a diferentes doses de nitrogênio e níveis de depleção da água no solo.....	100
Tabela 17 - Resumo da análise de variância para comprimento de botão floral (CBF) de roseiras cultivadas em ambiente protegido, submetidas a diferentes doses de nitrogênio e níveis de depleção da água no solo.....	106
Tabela 18 - Resumo da análise de variância para diâmetro de haste floral (DHF) de roseiras cultivadas em ambiente protegido, submetidas a diferentes doses de nitrogênio e níveis de depleção da água no solo.....	111
Tabela 19 - Resumo da análise de variância para índice de área foliar (IAF) de roseiras cultivadas em ambiente protegido, submetidas a diferentes doses de nitrogênio e níveis de depleção da água no solo.....	118

Tabela 20 - Resumo da análise de variância para fitomassa fresca e seca de folha (FFF) e (FSF), de haste nua (FFH) e (FSH), de botão (FFB) e (FSB) e total (FFT) e (FST) de hastes de roseiras cultivadas em ambiente protegido, submetidas a diferentes doses de nitrogênio e níveis de depleção da água no solo.....	123
Tabela 21 - Resumo da análise de variância para temperatura foliar com solo em capacidade de campo (TF_{CC}) e com solo em umidade crítica ($TF_{\theta C}$) de roseiras cultivadas em ambiente protegido, submetidas a diferentes doses de nitrogênio e níveis de depleção da água no solo	128
Tabela 22 - Médias da temperatura foliar com solo em umidade crítica ($TF_{\theta C}$) ao longo do dia (11/01/2012) para os níveis de depleção da água no solo...	132
Tabela 23 - Resumo da análise de variância para o potencial da água na folha (PAF) e umidade no tecido foliar (UTF) de roseiras cultivadas em ambiente protegido, submetidas a diferentes doses de nitrogênio e níveis de depleção da água no solo aos 245 DAIT	132
Tabela 24 - Resumo da análise de variância para produção comercial acumulada de hastes florais (PCAHF), consumo hídrico (CH) e produtividade da água (PA) de roseiras cultivadas em ambiente protegido, submetidas a diferentes doses de nitrogênio e níveis de depleção da água no solo.....	135
Tabela 25 - Resumo da análise de variância para o teor de nitrogênio nas hastes (TNH), nas folhas (TNF), nos botões (TNB), e teor de potássio nas hastes (TKH), nas folhas (TKF), nos botões (TKB) de roseiras cultivadas em ambiente protegido, submetidas a diferentes doses de nitrogênio e níveis de depleção da água no solo	141
Tabela 26 - Resumo da análise de variância para o teor de cálcio nas hastes (TCaH), nas folhas (TCaF), nos botões (TCaB), e teor de magnésio nas hastes (TMgH), nas folhas (TMgF), nos botões (TMgB) de roseiras cultivadas em ambiente protegido, submetidas a diferentes doses de nitrogênio e níveis de depleção da água no solo.....	145
Tabela 27 - Resumo da análise de variância para o teor de fósforo nas hastes (TPH), nas folhas (TPF), nos botões (TPB), e teor de enxofre nas hastes (TSH), nas folhas (TSF), nos botões (TSB) de roseiras cultivadas em ambiente	

protegido, submetidas a diferentes doses de nitrogênio e níveis de depleção da água no solo 150

Tabela 28 - Valores médios da renda bruta (R\$ m ⁻²) para produção comercial de hastes florais de roseiras cultivadas em ambiente protegido para 250 dias, submetidas a diferentes doses de nitrogênio e níveis de depleção da água no solo.....	154
--	-----

1 INTRODUÇÃO

A adoção de técnicas como o cultivo em ambiente protegido, sistema de irrigação por gotejamento e fertirrigação, permite com que os produtores aumentem a produtividade e qualidade das hastes florais da roseira, mas eleva os custos de produção, no entanto, quando gerenciados de forma correta pode proporcionar elevada receita líquida. Entretanto, a implementação dessas técnicas nem sempre é realizada considerando a viabilidade técnica, econômica e sustentável do ponto de vista ambiental.

As empresas brasileiras importaram materiais e tecnologias de outros países produtores como a Colômbia, Equador e Holanda, sem se preocuparem com as consequências que podem ocorrer, como por exemplo, a salinização do solo em ambiente protegido devido ao excesso de fertilizantes aplicados, o entupimento de gotejadores devido à má qualidade da água de irrigação somado à incompatibilidade de fertilizantes, o manejo inadequado da irrigação e do clima no interior desses ambientes e no campo.

A roseicultura cultivada em ambiente protegido tem aumentado consideravelmente nas diversas regiões do Brasil, em especial na região Sudeste; no entanto, ainda são poucas as informações sobre as técnicas de manejo cultural que permitam às culturas expressarem o máximo potencial produtivo, principalmente quanto aos manejos hídrico e nutricional, de forma que, na ausência dessas informações, são adotadas técnicas utilizadas para essas culturas sob condição de campo aberto.

Esse trabalho foi desenvolvido com o objetivo principal do estudo da fertirrigação nitrogenada associada a níveis de depleção da água no solo e seus efeitos sobre o desenvolvimento, a produção e a qualidade de hastes de rosas produzidas em ambiente protegido, bem como determinar a dose de nitrogênio associada à disponibilidade hídrica que proporcione máxima produção e melhor qualidade de hastes de rosas. Os objetivos secundários foram o monitoramento da concentração iônica e condutividade elétrica da solução do solo ao longo do ciclo da cultura, de temperatura e potencial da água na folha, do consumo hídrico, da

produtividade da água; cálculo da renda bruta, além de determinação do teor de macronutrientes das hastes de roseiras sob as condições estudadas.

Esse estudo preconizou a hipótese de que as variáveis analisadas apresentassem respostas significativas aos fatores estudados, tanto quanto aos seus efeitos isolados, bem como quanto às suas interações. As hipóteses foram testadas com base em resultados amostrais e visando a verificação da ocorrência ou não de diferenças estatísticas nos parâmetros produtivos e qualitativos de hastes de roseiras quando submetidas a diferentes níveis de fertirrigação nitrogenada e depleção da água no solo, e influências nas características químicas do solo e do tecido vegetal.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Cenário da Floricultura

O gênero *Rosa* pertence taxonomicamente à Classe das Angiospermas, Subclasse Dicotiledônea, Ordem Rosales e Família Rosaceae. As rosas comerciais são híbridos de diversas espécies originadas da Ásia (URCULLU, 1953).

A roseira é um arbusto perene lenhoso, com folhas caducas, compostas, com cinco ou mais folículos e estípulas presentes; o sistema radicular não é profundo, as flores podem ter dez ou mais estames; o seu pseudofruto é do tipo cinórrodo e as sementes são sem endosperma (PETRY, 1999).

Estima-se que no mundo existem cerca de 30 mil variedades de rosas, produzidas através de cruzamentos artificiais, as quais são distinguidas, principalmente, pela coloração das pétalas, forma do botão, tamanho das hastes, produtividade e resistência às doenças (CASARINI, 2004). Os países que mais investem em pesquisas para obtenção de novas variedades são: Alemanha, Colômbia, Equador, Holanda, Estados Unidos, sendo essas pesquisas patrocinadas, geralmente, por empresas privadas.

A roseira é uma planta arbustiva, perene, com hábito de crescimento ereto, caule lenhoso e normalmente com acúleos. As folhas são alternas com estípulas, de margens serrilhadas e compostas de três a cinco folíolos. A planta emite ramos grossos, chamados de basais, permitindo à planta formar seu esqueleto e produzir hastes florais para a comercialização. As flores se desenvolvem no ápice das hastes, contendo, normalmente, cinco sépalas e cinco pétalas (JOLY, 2002).

No Brasil, o sistema de produção de rosas em estufa permite a produção de botões de melhor qualidade, cujas características são definidas por tamanho, forma, cor, firmeza e por robustez da haste. No entanto, condições climáticas podem reduzir a produção, o que, normalmente, ocorre no inverno, refletindo-se na elevação de preços (MATSUNAGA et al., 1995).

A partir de meados dos anos 60, a floricultura no Brasil, que inclui flores e plantas ornamentais, vem gradualmente crescendo como atividade econômica. Essa ascensão do setor é destacada pela participação competitiva no mercado internacional, com a exportação de produtos de floricultura de 19,43; 23,50; 25,75;

29,63; 35,28; 42,44; 31,14; 28,68; 20,70 e 26,01 milhões de dólares de 2003 a 2012, havendo declínio nos valores a partir de 2008, sendo que o referido ano foi o que apresentou maior valor de exportação (US\$ 42,44 milhões) no período citado, (IBRAFLOR, 2013).

Dados gerais sobre produtos da floricultura mostram que o setor detém uma área cultivada de aproximadamente 12.000 hectares e tamanho médio da propriedade de 4,5 hectares; cerca de 7,6 mil produtores, gerando emprego direto de 8,0 pessoas por hectare, sendo 81,3% da mão de obra contratada e 18,7% familiar. O setor gera 194 mil empregos diretos, sendo 96.000 (49,5%) na produção, 6.000 (3,1%) na distribuição, 77.000 (39,7%) no comércio varejista e 15.000 (7,7%) em outras funções, principalmente no setor de apoio (IBRAFLOR, 2012).

Flores frescas de corte como produtos destinados ao consumo final e, portanto, mais sujeitos aos efeitos da crise internacional, em geral vêm apresentando resultados econômicos francamente decrescentes no período de 2010 a 2012. De fato, enquanto em 2010 as vendas internacionais destas mercadorias atingiram US\$ 627,514 mil, dois anos depois, em 2012, esse valor foi reduzido para menos de um terço (US\$ 166,159 mil). Os resultados obtidos em 2012 (US\$ 298,761 mil) foram 44,38% inferiores aos do ano anterior. Valores decrescentes também se observaram para categorias específicas de produtos, como, por exemplo, para as rosas e seus botões (54,39% em 2012 comparativamente a 2011 e 81,91%, em relação a 2010) (JUNQUEIRA; PEETZ, 2012).

De acordo com dados do IBRAFLOR (2013), o mercado possui 22.000 pontos de vendas no varejo em todo país e 60 centros atacadistas com aproximadamente 600 empresas. A participação no mercado está assim distribuída: 40,33% para mudas de plantas ornamentais, 48,37% para bulbos, tubérculos, rizomas e similares, 3,67% para flores frescas e 7,63% para outros, apresentando ainda um consumo *per capita* de R\$ 23,00.

Com relação à floricultura no Estado de São Paulo, que atualmente possui 2.244 produtores em aproximadamente 6.588 hectares, com uma área média de 2,94 hectares por produtor. Ainda com consumo *per capita* de R\$ 39,25, geração de aproximadamente 85.768 empregos distribuídos em produção (30.582), atacado

(6.500), varejo (46.186) e apoio (2.500), contando ainda com 6.998 pontos de varejo com 6,6 empregados por ponto (IBRAFLOR, 2013).

Segundo Junqueira e Peetz (2012), as rosas brasileiras foram exportadas, em 2012, para Portugal (96,50%) e EUA (3,50%). Já as demais flores frescas cortadas foram exportadas para: Holanda (91,0%), Uruguai (6,16%) e Portugal (2,83%). Os principais estados brasileiros exportadores de rosas frescas e seus botões cortados foram São Paulo (51,39%) e Minas Gerais (48,61%). Para as demais flores cortadas frescas em geral, as presenças mais marcantes foram as do Rio Grande do Norte (66,40%), Ceará (25,95%), São Paulo (6,16%) e Pernambuco (1,49%).

Em 2012, a balança comercial da floricultura brasileira mostrou saldo negativo de US\$ 13,468 milhões, sendo que os valores das importações (US\$ 39.475.606) foram 51,78% maiores do que os das exportações (US\$ 26.007.817). Vale ressaltar que no período do auge das exportações brasileiras, entre 2006 e 2008, a balança era superavitária e as importações equivaliam a um terço dos valores exportados (JUNQUEIRA; PEETZ, 2012). Em relação ao comportamento observado em anos anteriores, destacou-se a expansão das importações de produtos já prontos para o consumo como as rosas de corte frescas, as quais chegaram a representar 15,39% da pauta global de importações, com crescimento de 6,29% sobre o desempenho de compras do ano anterior. Além delas, outras flores cortadas em geral agregaram 5,45% de participação, com aumento de 11,80% em relação a 2011.

Em 2012, os países supridores do mercado brasileiro de rosas frescas cortadas foram: Equador (50,40%), Colômbia (49,37%), e Holanda (0,23%). Para as demais flores frescas que incluem principalmente alstroemérias, entre outras espécies, as importações foram provenientes da Colômbia (55,32%), Equador (43,41%) e Holanda (1,27%). A Colômbia respondeu, ainda, por 100% das importações brasileiras de cravos e seus botões (JUNQUEIRA; PEETZ, 2012).

Em relação à logística das exportações brasileiras dos produtos da floricultura, seguiu tendências de queda na participação relativa das flores e seus botões cortados frescos. E de aumento na exportação dos bulbos, tubérculos, rizomas e similares e das mudas de plantas ornamentais nas exportações dos produtos da floricultura brasileira. O uso logístico de transportes marítimos elevou o seu percentual para 59,58% do total, na média dos anos 2010 - 2012, ante uma

participação de 50,53% no período de 2007 - 2010. Em decorrência, os transportes aéreos tiveram presença descendente, de 48,62% (2007 - 2010), para 39,39% (2010 - 2012). Já outras modalidades, que incluem as exportações via postal e rodoviária mantiveram participação relativa estável (1,05%, no primeiro período analisado e 1,04%, entre os anos de 2010 - 2012) (JUNQUEIRA; PEETZ, 2012).

O maior produtor, consumidor e exportador de flores e plantas ornamentais do Brasil é o Estado de São Paulo, que detém 40,18% da produção nacional de rosas (IBRAFLOR, 2012); porém outros Estados começam a se destacar, tais como: Santa Catarina, Pernambuco, Alagoas, Ceará, Rio Grande do Sul, Minas Gerais, Rio de Janeiro, Paraná, Goiás, Bahia, Espírito Santo, Amazonas e Pará (BATALHA; BUAINAIN, 2007).

A região de Atibaia conta com aproximadamente 400 produtores com uma área de produção estimada em 500 hectares, sendo 50% para flor de corte (com destaque para Rosa sp., Chrysanthemum sp. e Gypsophila sp.) e 50% para flor em vaso (com destaque para Orchidea e Chrysanthemum sp.) (IBRAFLOR, 2012)

Quanto à espécie cultivada, as rosas representam significativamente o mercado de flores de corte, e entre as rosas, as de coloração vermelha detêm a maior fatia do mercado de rosas no Brasil, seguidas pelas rosas de coloração branca, champanhe, amarela e cor de rosa (PINTO, 1997).

2.2 Condução do roseiral em ambiente protegido

A condução da roseira ocorre desde seu plantio até a fase de produção. A maneira como a planta é conduzida desde o seu plantio influenciará no seu vigor e no seu crescimento. São dois os objetivos no plantio de rosas, primeiro, produzir hastes longas e folhas grandes e segundo, produzir hastes em tempo reduzido (LANGHANS, 1987).

Logo após o plantio, deve-se permitir o crescimento do maior número possível de ramos e folhas para haver acúmulo de carboidratos que posteriormente serão usados na formação dos ramos basais, formando assim o esqueleto da roseira. Para tanto, em todos os ramos são retirados os botões florais permitindo assim a brotação das gemas axilares. Após a brotação dos ramos basais é efetuada a retirada do

botão floral para engrossamento do ramo. Após esta fase o ramo basal é podado a 0,60 m de altura colocando a roseira em produção comercial (SALINGER, 1991).

Conforme Durkin (1992) e Kool e Lenssen (1997), o vigor dos ramos basais, particularmente os originados na base da planta, é muito importante, porque seu tamanho e sua taxa de crescimento apresentam correlação positiva com o seu diâmetro. A brotação de ramos basais, em roseiras cultivadas em ambiente protegido, sofre influência da quantidade e do diâmetro dos ramos, devido à competição entre os próprios ramos por luz solar e assimilados.

O agóbio é uma técnica imprescindível para a produção de rosas, que consiste em deixar os ramos basais mais grossos e dobrar para baixo os ramos finos no início do desenvolvimento da planta. Com isso, há retenção das folhas, produzindo assimilados para brotação de ramos basais mais sadios e grossos, aumentando a produtividade e a qualidade das hastes florais (LIETH; KIM, 2001).

Com relação ao cultivo de rosas em ambiente protegido, vem se constituindo em uma realidade crescente e apresentado vantagens de propiciar melhor qualidade do produto; menor incidência de pragas e doenças; maior rendimento por área; maior facilidade de execução dos tratos culturais; melhor programação da produção; ciclos mais curtos; reduzido impacto ambiental; redução de perdas de nutrientes por lixiviação; resultando no uso racional dos fertilizantes. Como limitação deve-se considerar o custo mais elevado de implantação do sistema e sob controle fitossanitário inadequado, favorecimento da ocorrência de pragas e doenças (AMORIM, 2007). Além disso, esta forma de cultivo garante proteção contra intempéries, além de reduzir o consumo de hídrico por unidade produzida.

De acordo com Leite (2013), para o manejo do ambiente protegido devem-se analisar em separado os seguintes fatores: (i) Temperatura da água e da planta - A temperatura da água ou da solução do solo é de fundamental importância, pois à medida que esta se eleva há mudanças na absorção de nutrientes. Por exemplo, com água ou substrato acima de 35 °C o cálcio, boro e zinco apresentam dificuldades extremas de absorção e de translocação na planta. Por outro lado, com temperaturas abaixo de 15 °C muitos nutrientes também são menos absorvidos, como por exemplo, o fósforo. Como a água tem alta capacidade de armazenar energia, a forma mais fácil de evitar que esta se aqueça é evitando o excesso de

radiação solar. (ii) Temperatura do ar - A temperatura do ar é função da quantidade de radiação solar incidente; e quantidade de energia radiante que é retida por filmes agrícolas (cobertura plástica). Leite (2013) afirma que se deve instalar na parte superior da casa de vegetação áreas para escape de ar quente, pode ser janelas frontais, zenitais ou lanternins e malha termorefletoras para evitar sobreaquecimento do ar, sem prejudicar tanto a luminosidade. Adequar a altura do pé-direito, o tamanho da estrutura e a inclinação da cobertura.

Leite (2013) descreve que durante o dia, a umidade relativa do ar dentro de uma estrutura coberta com plástico pode cair drasticamente. Quando isto ocorre, num primeiro momento, as plantas transpiram e respiram demais, consumindo a própria energia produzida pelo processo de fotossíntese. Em um segundo momento, a planta pode fechar os estômatos para não perder água. Neste instante ela para de absorver vários nutrientes como o nitrogênio, fósforo e o potássio que só são absorvidos quando há transpiração.

Sabe-se através da termodinâmica que, à medida que a temperatura diminui a umidade relativa aumenta, portanto a mesma malha termorefletora recomendada para diminuir a temperatura no verão e conservar calor no inverno também serve para aumentar a umidade relativa durante o dia. Por sua vez, se há menos evaporação de água durante o dia, a noite há menos probabilidade de condensação e de gotejamento. A umidade em ambientes protegidos existe sob dois estados: vapor d'água e água líquida.

Além de estar presente no solo, a água livre também pode ocorrer na superfície das plantas, muitas vezes, pela condensação do vapor d'água, resultante do resfriamento, quando se atinge o ponto de orvalho. A formação de orvalho na superfície das folhas e na face interna do filme plástico é bastante comum em casa de vegetação e propicia condições favoráveis à infecção por patógenos. Além disso, a umidade absoluta do ar, originada da evapotranspiração, costuma ser maior do que no ambiente externo. Esses dois tipos de umidade constituem o principal fator ambiental para doenças foliares (ARAÚJO; CASTELLANI, 1991).

Pandorfi (2006) analisando separadamente dois ciclos da cultura de *Gerbera jamesonii*, utilizando malha refletora disposta no interior e exterior na cobertura do ambiente protegido, concluiu que as condições meteorológicas do ambiente

protegido, com malha externa, foi o que mais favoreceu a qualidade das plantas, porém, quando contabilizou dois ciclos sucessivos, os resultados mostraram que ao longo do tempo, o desgaste ou acúmulo de poluentes na malha disposta externamente comprometeu a transmissão da radiação solar de tal modo que não houve diferença na qualidade das plantas nos dois ambientes.

Aumentar a produtividade da água (PA) pode ser a melhor forma de alcançar o uso eficiente da água. Dependendo dos termos em que o numerador e o denominador são definidos, a PA pode ser expressa em variáveis físicas ou econômicas (SECKLER et al., 1998). Pereira et al. (2009) definem PA como a razão entre o rendimento real obtido e o uso total de água. No entanto, PA pode ser definida com diferentes perspectivas (PLAYAN; MATEOS, 2006; PEREIRA et al., 2009), ou seja, PA pode ter significados diferentes, que podem levar a interpretações contraditórias quando o objetivo considerado não é especificado. Também comumente usado como sinônimo de PA é o termo eficiência do uso da água (STEDUTO, 1996); mas, recentemente, o termo PA em biomassa foi introduzido para referir-se claramente aos processos fisiológicos e ecofisiológicos relacionados à produção de biomassa (STEDUTO et al., 2007). Em relação à irrigação, é preferível avaliar a PA em relação ao total de água utilizado pela cultura ou total de água de irrigação utilizada.

2.3 Irrigação

Um dos fatores mais importantes relacionado à exigência das plantas é, sem dúvida, a necessidade de água. Com a irrigação, consegue-se fornecer água para as plantas de acordo com a sua necessidade em cada fase do crescimento, mas a questão é quando e quanto de água aplicar para obter melhor produtividade e qualidade. Neste contexto, Tjosvold e Schulbach (1991), examinando alternativas para manejo através de métodos e instrumentos de medições da tensão de água no solo no cultivo irrigado de flores de corte, observaram que os produtores irrigavam com uma frequência irregular evidenciando que o uso de tensiômetros é uma ferramenta importante para manejo de irrigação em rosas.

Em outro estudo, Oki et al. (2001), realizaram irrigações em rosas, utilizando tensiômetros para manejo da umidade, e mantendo uma tensão da água no solo

entre 1,0 e 5,0 kPa, observaram economia de 26% na aplicação de água e produtividade 67% maior comparado com o manejo realizado pelo produtor. A irrigação baseada na tensão da água no solo permite economizar água em números de irrigação e no volume de água aplicado.

Vários trabalhos foram realizados com tensiômetros na cultura de rosas, encontrando produtividades satisfatórias com níveis potencial mátrico da água no solo entre -6,0 e -52 kPa (PLAUT et al., 1976; CHIMONIDOU-PAVLIDOU, 1998; CASARINI, 2000).

De acordo com Albuquerque e Durães (2008), instrumentos dotados de sensores que medem o potencial matricial da água no solo, como tensiômetros, são muito úteis para determinar indiretamente o conteúdo de água no solo, desde que a curva de retenção para o solo esteja disponível. Para o monitoramento do potencial da água no solo, o tensiômetro é um dos instrumentos mais utilizados e recomendados (BERNARDO; SOARES; MANTOVANI, 2006).

Para a maioria das culturas, o potencial crítico da água no solo não deve ser inferior a -300 kPa, sendo que os potenciais ótimos para as mesmas são maiores que -80 kPa (ALBUQUERQUE; DURÃES, 2008). Com base no valor crítico ótimo para a maioria das culturas, de fato, o tensiômetro apresenta-se bastante útil no controle da irrigação, visto que pode operar até potencias de -85 kPa (LIBARDI, 2005).

Recomenda-se que tensiômetros sejam instalados na zona de máxima atividade radicular da cultura, sendo que o potencial da água no solo obtido ao longo das leituras é empregado como indicativo do momento para iniciar a irrigação, quando adotado turno de rega variável baseado no fator de depleção da água no solo. Albuquerque e Durães (2008) recomendam que tensiômetros sejam instalados em duas profundidades, sendo um instalado na zona radicular ativa e, o outro instalado na extremidade inferior da zona radicular, cuja função é fornecer dados complementares que permitam obter informações sobre o movimento e redistribuição de água no solo.

O fornecimento de água deve atender a demanda de plantas e também evitar o acúmulo de sais na zona do substrato em torno da raiz. No entanto, em condições de alta transpiração (por exemplo, ao meio-dia no verão), o fornecimento de água

pode ser muitas vezes insuficiente, levando ao estresse temporal por falta de água na planta. A fim de evitar isso, aumenta-se o fornecimento de água em cultivo onde o volume de solo explorado pelas raízes não é limitado por barreiras físicas. Isto resulta em excesso de íons, lixiviação e na perda de água não absorvida, os quais deveriam ser evitados a partir de um ponto de vista ambiental e econômico, porque a água é um recurso escasso (STOCKLE, 2001).

O fornecimento correto de água e nutrientes resulta em uma melhor eficiência no uso da água, evitando situações de estresse e favorecendo controle da produção (RAVIV; BLOM, 2001). Quando o estresse ocorre durante o crescimento da folha na haste comercializável, apesar de não afetar a qualidade da haste, provoca um atraso de 10 - 15 dias na produção (CABALLERO et al., 1996).

Também tem sido relatado por Chimonidou-Pavlidou (1996, 1999), que o estresse por deficiência hídrica foi muito prejudicial para o desenvolvimento de plantas de rosas, afetando a quantidade (até 70% de redução na produção) e qualidade (redução do comprimento da haste e do peso fresco) das hastes. Por outro lado, a água em excesso no substrato também pode ser prejudicial para as rosas, reduzindo arejamento do substrato e causando desenvolvimento anormal das plantas.

2.4 Fator de depleção da água no solo

O percentual sobre o total da água disponível no solo que é previamente estabelecido, a fim de que a cultura não sofra redução em sua taxa máxima de evapotranspiração, é denominado fator de depleção da água no solo, ou seja, define o conceito de água facilmente disponível. O valor do fator de depleção está na faixa de 0 a 100% e depende basicamente do tipo de cultura e das condições climáticas predominantes.

A umidade crítica no solo corresponde a um potencial mátrico da água no solo que determina o momento da irrigação e também permite o cálculo da lâmina a ser repostada. A determinação da umidade no solo é feita diretamente por amostragem do solo ou indiretamente por meio de tensiômetro ou sensores. Estabelecendo-se o valor crítico do potencial da água no solo no momento de irrigação e conhecendo sua relação com a umidade, a lâmina de irrigação pode ser determinada.

Para se determinar a evapotranspiração real (E_{Tr}) deve-se considerar o nível de água disponível no solo. A evapotranspiração real será igual a evapotranspiração máxima (E_{Tm}) quando a água disponível no solo para a cultura for suficiente, ou seja, $E_{Tr} = E_{Tm}$. Entretanto, $E_{Tr} < E_{Tm}$ quando a água disponível no solo for limitada. Essa disponibilidade pode ser definida como a fração de depleção da água no solo “ f ” que pode ser deduzida da água total disponível no solo, sem que a E_{Tr} se torne menor que a E_{Tm} . A magnitude da E_{Tr} pode ser quantificada para períodos entre irrigações ou chuvas intensas e para períodos mensais (DOOREMBOS; KASSAM 1994).

O fator de depleção “ f ” representa a fração da capacidade de água disponível (CAD) que a planta pode consumir antes das irrigações sem que ocorram prejuízos ao desenvolvimento e produção das culturas. O fator está relacionado com a suscetibilidade da cultura ao estresse hídrico por déficit e com o tipo de órgão ou parte da planta que se deseja colher. O valor de “ f ” difere de acordo com a cultura e com a demanda atmosférica. Como o potencial da água no solo possui relação específica com a umidade nos diferentes tipos de solos, o valor de “ f ” também varia com o tipo de solo. Em geral “ f ” varia de 0,30 para culturas com sistema radicular raso e altas taxas de demanda atmosférica ($E_{To} > 8 \text{ mm dia}^{-1}$) a 0,70 para plantas com sistema radicular profundo e baixa demanda atmosférica ($E_{To} < 3 \text{ mm dia}^{-1}$). Valores entre 0,30 e 0,50 são utilizados para um grande número de culturas sob microirrigação.

Em estudo conduzido em um pomar de carambola 'Arkin' com oito anos de idade e avaliando a depleção da água no solo, Al-yahyai et al., (2005) verificaram que o comprimento do fruto, número e peso não diferiram significativamente entre os tratamentos; já o crescimento da parte aérea e o rendimento de carambola não foram afetados pela depleção da água no solo dentro da faixa testada (0 - 17%). Obtiveram diferenças significativas dos tratamentos em frutos maduros e massa seca de frutos.

2.5 Fertirrigação

Dentre as tecnologias empregadas no cultivo protegido está a fertirrigação, sendo ela via gotejamento ou microaspersão, sendo a forma que mais se aproxima

do ritmo de absorção de água e de nutrientes pela planta (VILLAS BOAS et al., 2000).

Blanco e Folegatti (2002) enfatizam que para se realizar uma fertirrigação eficiente, é necessário um equilíbrio entre a quantidade de nutrientes e a quantidade de água a ser aplicada durante cada fase do ciclo da cultura, o que determina a concentração de fertilizantes na água de irrigação; por sua vez, esta concentração deve ser suficiente para proporcionar a absorção dos nutrientes nas quantidades requeridas pelas plantas, sem causar o acúmulo de fertilizantes no solo, o que poderia resultar em salinização e, conseqüentemente, na redução da produtividade.

Aliada a esses fatores, a aplicação do nitrogênio via fertirrigação deve ter proporcionado maior aproveitamento do nitrogênio aplicado em relação às perdas, já que este sistema de aplicação tem como vantagem o aumento da eficiência dos fertilizantes, pois se tem a possibilidade de repor os nutrientes na quantidade ideal e no momento oportuno (NANETTI; SOUZA; FAQUIN, 2000)

O nitrogênio é dos nutrientes o mais requerido pela roseira, apresentando papel importante e distinto no desenvolvimento da roseira em ambiente protegido. O nitrogênio é absorvido em maior quantidade na fase de crescimento vegetativo, onde a planta forma sua massa foliar e suas reservas (CASARINI, 2004). Entretanto, a aplicação de nutrientes não é tão simples, pois apresentam problemas de antagonismos, perdas por lixiviação e até causam fitotoxicidade às plantas se não forem manejados corretamente.

Fertirrigações em alta frequência permitem o fornecimento parcelado de nutrientes aplicados no momento da irrigação, em que, os intervalos de irrigação são determinados com base na demanda hídrica da roseira. No entanto, a frequência de fertirrigação ideal é aquela que não provoque estresse a cultura, reduzindo sua produção, e também apresente viabilidade técnica, econômica e ambiental. Mas, nem sempre o parcelamento na fertirrigação deve ser baseado na periodicidade da irrigação, sendo que os intervalos de irrigação não podem ser muito curtos, pois favorecem o desenvolvimento radicular superficial.

Em estudos de um modelo de absorção de N-NO_3^- pelas raízes de *Rosa hybrida* cv. Kardinal a partir de resultados em casa de vegetação, Silberbush e Lieth (2003) observaram que frequência no reabastecimento de nutriente pode aumentar

de acordo com a maturidade floral, mas diminui como resultado do corte das hastes florais, e pequena correlação foi observada entre o crescimento radicular e a taxa de absorção de N, indicando que a absorção é controlada principalmente pela demanda aérea.

O nitrogênio é exigido em grandes quantidades pelas plantas, e absorvido pelas raízes, principalmente, na forma de nitrato e amônio. Como componente de constituintes celulares, incluindo aminoácidos e ácidos nucleicos, a deficiência do nitrogênio retarda o crescimento e promove clorose das folhas. As folhas velhas são as primeiras a se tornarem amarelas, pois este nutriente é mobilizado nas folhas maduras e translocado para as regiões de crescimento. Se a deficiência persistir, as folhas tornam-se completamente amarelas, secam e caem. O sistema radicular com deficiência de nitrogênio torna-se mais comprido e menos ramificado (MARSCHNER, 1995).

Huché-Thélier et al., (2011) demonstraram em estudos que a deficiência temporária de nitrogênio pode ter a longo prazo, efeitos que não poderiam ser previstas a partir de algumas observações iniciais na arquitetura da planta. No entanto, os tipos de deficiência de nitrogênio teve um efeito a longo prazo sobre a qualidade visual da roseira. O regime contínuo de deficiência de nitrogênio proporcionou hastes mais assimétricas e menos vigorosas do que o regime sem deficiência nitrogênio. Por outro lado, a deficiência de nitrogênio durante a fase de floração só resultou hastes maiores e mais vigorosas que o regime sem deficiência nitrogênio.

Barbosa et al. (2009) afirmam que a roseira é tolerante a níveis de salinidade, medidos através da condutividade elétrica (CE), de até $3,0 \text{ dS m}^{-1}$. Contrariamente, Howard e Hanan (1978) observaram que as plantas de roseiras apresentaram redução de produtividade e qualidade quando a água de irrigação apresentava CE de $1,8 \text{ dS m}^{-1}$, acarretando em problemas de toxicidez, sintomas de clorose e mal formação dos novos ramos basais.

O manejo inadequado na composição da solução nutritiva pode se dar por duas maneiras: por concentração muito elevada ou muito baixa da solução. A primeira situação implica em elevada condutividade elétrica da solução nutritiva, e a segunda pode levar a um problema de deficiência de nutrientes. Fornecimento

excessivo ou composição iônica desequilibrada podem causar antagonismo entre a absorção de íons, mas todos os casos, acarretam semelhantes consequências, como diminuição do crescimento e redução da biomassa de plantas tem sido relatados sob deficiências de N, P, K, Ca, Mg, S, Cu, Zn ou Mn (YU; RENGEL, 1999; FUJITA et al., 2004; TEWARI et al., 2004; ZHAO et al., 2005; MATCHA, 2007; DING et al., 2008).

2.6 Extração e monitoramento da solução do solo

Os extratores de solução são equipamentos constituídos por um tubo de PVC, acoplado a uma cápsula de cerâmica porosa em sua extremidade inferior, na parte superior vedado com borracha especial de silicone, sendo este equipamento construído de forma e princípio de funcionamento semelhante aos tensiômetros.

O uso de extratores de solução do solo auxilia no manejo da fertirrigação, monitoramento da dinâmica de íons em solução, permitindo identificar e contornar problemas causados por desequilíbrios nutricionais e processos de salinização. As cápsulas de cerâmica porosa são extensamente utilizadas para medir a lixiviação de nitrato na agricultura, mas não está inteiramente claro que este procedimento dá resultados confiáveis ou que fatores podem limitar o seu uso (LORD; SHEPHERD, 1993).

Segundo Burgueño (1996), ao se estabelecer o monitoramento periódico, a aplicação de fertilizantes pode ser controlada de forma a manter a concentração da solução do solo variando numa faixa de condutividade elétrica (CE) considerada adequada para a cultura, não sendo, portanto, necessário se aplicar lâminas de lavagem de manutenção, evitando, assim, desperdícios com água, energia e fertilizantes. Cápsulas porosas têm sido utilizadas na extração de solução do solo, principalmente para avaliação da concentração de íons. A principal vantagem do uso desses materiais é que a solução pode ser extraída sem a destruição da unidade experimental, permitindo a continuidade do estudo por longo período na mesma área, parcela ou mesmo vaso.

A solução do solo é a porção aquosa do solo que contém materiais dissolvidos provenientes dos processos químicos e bioquímicos do solo e provenientes da troca com a hidrosfera e biosfera, e de adições artificiais de elementos químicos via fertirrigação.

Este meio transporta espécies químicas para as partículas do solo, mantendo um contato íntimo entre os solutos e as partículas do solo. Existe uma condição de equilíbrio entre os componentes da solução de solo e a fase sólida, através da ocorrência de importantes reações químicas com transferência de espécies entre as fases. Além da fase sólida, a solução do solo ainda interage com a fase gasosa, com as plantas e fauna do solo (MEURER; ANGHINONI, 2004). Ainda, segundo os autores, o estudo e caracterização da composição da solução do solo podem ser utilizados para prever transformações e reações de absorção, adsorção, dissolução e precipitação que podem ocorrer no solo, sendo que a análise química das soluções pode identificar as formas e quantidades dos elementos que estão sendo adicionados ao solo e transferidos para outros compartimentos do ambiente através do lençol freático.

A concentração de íons na solução do solo é de fundamental importância para o suprimento nutricional das raízes. Esta varia amplamente, dependendo de fatores como umidade do solo, profundidade, pH, capacidade de troca catiônica, potencial redox, teor de matéria orgânica, atividade microbiana e aplicação de fertilizantes (GOTO; GUIMARÃES; ECHER, 2001).

De acordo com Mengel e Kirkby (1978), as concentrações de elementos na solução do solo seguem uma tendência em que geralmente fosfatos apresentam concentrações muito baixas, as de $[K^+]$ e $[Mg^{2+}]$ são médias enquanto que as de $[Ca^{2+}]$ são preferencialmente altas. O nitrato apresenta-se frequentemente em maiores concentrações, ocorrendo muitas vezes em níveis da mesma ordem que a soma de $[Ca^{2+}]$ e $[Mg^{2+}]$. O nitrato é um íon absorvido rapidamente pelas plantas, podendo ser, também, rapidamente lixiviado para os horizontes mais profundos do solo, o que pode fazer resultar em flutuações em suas concentrações.

As raízes das plantas absorvem a solução do solo juntamente com íons dissolvidos, constituindo-se em parâmetro produtivo direto para a cultura; é fundamental estudá-la como base para o manejo da fertirrigação (LAO et al., 2004).

A importância de se conhecer as propriedades químicas da solução do solo para o manejo racional do solo e da água é reconhecida há muitos anos. No século passado, Hoagland, Martin e Stewart (1920) já afirmavam que o progresso no estudo do solo como um meio para o crescimento das plantas dependerá de um melhor

conhecimento da solução do solo, uma vez que os nutrientes absorvidos pelas plantas são obtidos da solução do solo.

Inicialmente acreditava-se que o equilíbrio químico da solução do solo requeria a precipitação dos sais adicionados com a finalidade de manter a composição da solução constante, a qual era governada principalmente pelos minerais de origem do solo (CAMERON, 1911). Posteriormente, Hoagland, Martin e Stewart (1920) demonstraram que a concentração química da solução do solo poderia ser elevada pela adição de sais solúveis e que os elementos adicionados seriam os mesmos a apresentar aumento na concentração.

A análise da solução do solo é um critério objetivo para definir a solução nutritiva, de modo que possa ser uma ferramenta apropriada para o manejo da fertirrigação. Os níveis dos nutrientes da solução do solo devem ser conhecidos para estabelecer a aproximação apropriada ao manejo dos nutrientes (LAO et al., 2004).

Após ter extraído a solução do solo ou, no exemplo de culturas hidropônicas, após ter coletado a drenagem, a análise frequente do nutriente seria necessária, permitindo um controle nutritivo mais efetivo da cultura. Neste caso, seria útil ter equipamentos que permitisse monitorar a concentração iônica da solução, de fácil manuseio e que determine os diferentes parâmetros nutritivos rapidamente (JIMÉNEZ et al., 2006).

A técnica de fertirrigação permite aplicação ajustada da solução nutritiva; entretanto, a solução quando chega ao solo é modificada, e a que fica disponível para planta é desconhecida. O uso de cápsulas porosas sob sucção e de teste rápido pode permitir o conhecimento do estado químico da solução do solo (JIMÉNEZ et al., 2006).

Lao et al. (2004), estudando a solução do solo em casas de vegetação com cultivos comerciais de tomateiros, encontraram valores médios de nitrato e potássio de 12,7 e 6,0 mmol_c L⁻¹, respectivamente, e concluíram que a aplicação de nitrato deve ser controlada pela solução do solo, pois este elemento é muito móvel no solo, o que provavelmente gerou grandes variações nos valores encontrados para este nutriente. Entretanto, esses resultados são apenas indicativos e ainda precisam ser comprovados.

Assim, o monitoramento da concentração iônica da solução do solo exige determinações constantes e a frequência destas determinações pode ser elevada se o ciclo da cultura for curto; assim sendo, a utilização de extratores de solução do solo surge como uma alternativa viável.

2.7 Dinâmica dos íons no solo

A dinâmica dos íons no solo é dependente de vários fatores, tais como textura do solo, quantidade de nutriente aplicada, intensidade de chuva ou lâmina de água aplicada na irrigação, forma química do nutriente aplicado, entre outros. Sousa (2000) acrescenta que o movimento de íons no solo está relacionado com a intensidade de percolação da água e com o comportamento de cada um em relação às condições de fixação, adsorção e lixiviação, que é função de cada íon e do tipo de solo em que se encontra.

Segundo Mmolawa e Or (2000), os produtos químicos aplicados por meio da água de irrigação sofrem mudanças espacial e temporal no solo, variando sua distribuição no perfil, o que resulta em diferentes padrões de distribuição.

O nutriente de maior mobilidade no solo é o nitrogênio na forma de nitrato $[\text{NO}_3^-]$. Segundo Burt et al. (1998), seu movimento no solo é, aproximadamente, proporcional ao da água que percola no solo. Desse modo, o movimento desse íon no solo será afetado diretamente pelos fatores que modificam o movimento da água no solo, como a porosidade e a estrutura. Sua alta solubilidade e a fraca interação com a matriz do solo possibilitam que o ânion acompanhe a frente de umedecimento da água no solo; assim, o nitrato tanto pode movimentar-se para baixo, sob condições de excessiva precipitação ou irrigação, quanto para cima, por fluxo ascendente, durante estações extremamente secas. A textura do solo e o conteúdo de matéria orgânica têm maior influência nas perdas por lixiviação. Solos de textura mais grosseira e de baixo conteúdo de matéria orgânica tendem a permitir maiores perdas de nitrato por lixiviação, enquanto as menores perdas devem ocorrer em solos argilosos (MUCHOVEJ; RECHCIGL, 1994).

Por ser um nutriente móvel, o potássio pode ser facilmente perdido ao longo do perfil do solo, sendo necessárias aplicações frequentes desse elemento. Os mecanismos que controlam o transporte de potássio no solo são baseados na rápida

troca com outros cátions no solo. Quando a quantidade de potássio no solo é relativamente pequena com relação à capacidade de troca de cátions, a adsorção é controlada principalmente pelas variações da concentração de potássio na solução do solo. Quando a concentração de potássio na solução do solo aumenta, a capacidade tampão do K decresce e a velocidade de transporte se incrementa.

Segundo Scaloppi e Brito (1986), o potássio solúvel ou trocável geralmente representa uma pequena proporção, mas, ocasionalmente, pode estar incluído entre os principais constituintes da salinidade do solo. Cloreto, sulfato e, menos frequentemente, nitrato, e pequenas quantidades de bicarbonatos, representam os ânions principais.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Localização e caracterização da área experimental

A pesquisa foi conduzida em ambiente protegido localizado em uma área experimental do Departamento de Engenharia de Biosistemas da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo (ESALQ/USP), no município de Piracicaba, SP, situada nas coordenadas geográficas de 22° 42’ de latitude sul e 47° 38’ de longitude oeste, a uma altitude de 547 m.

Segundo Sentelhas (1998), o clima da região pela classificação de Koppen é do tipo Cwa, tropical úmido com temperaturas do mês mais quente superior a 22 °C e do mês mais frio inferior a 18 °C.

O experimento foi realizado em duas casas-de-vegetação com cobertura de polietileno de baixa densidade (PEBD) transparente, com 0,10 mm de espessura, tratada contra a ação de raios ultravioletas e em formato tipo arco, com 6,40 m de largura, 22,5 m de comprimento e 3,0 m de pé direito. As paredes laterais e frontais são confeccionadas com telas anti-afídeos e rodapé de 0,30 m em concreto armado (Figura 1A). As casas de vegetação são providas de cortinas de plástico transparente, com espessura de 0,10 mm, e dispositivo de levantamento durante o dia para manejo da temperatura e umidade relativa do ar em seu interior, e proteção contra chuvas e ventos excessivos. A estrutura experimental é provida de energia elétrica e de abastecimento de água de boa qualidade para fins de irrigação.

O trabalho foi realizado utilizando solo coletado de um perfil classificado como Latossolo Vermelho Amarelo fase arenosa, obtido na profundidade de 0,30 m da camada agricultável do perfil, proveniente do campus da ESALQ e denominado Série “Sertãozinho”.

Para a realização do experimento foram confeccionadas valetas (Figura 1B) para a construção das unidades experimentais, com dimensões de 0,40 m de largura por 0,50 m de profundidade (0,4 m + 0,1 m do canteiro) e 2,0 m de comprimento (Figura 1D) e preenchidas com o material de solo, de modo a obter características físicas homogêneas desejadas e preestabelecidas, tais como volume de solo por parcela, forma e disposição espacial (Figura 1B).

Considerando que aproximadamente 80% do sistema radicular da roseira encontra-se de 0,5 - 0,6 m de profundidade, com demonstrado por Amorim (2007), estudando a concentração das raízes de roseira no perfil do solo em 0 - 0,2; 0,2 - 0,4; 0,4 - 0,6; 0,6 - 0,8; 0,8 - 1,0, e 1,0 - 1,2 m de 32,68; 24,14; 33,80; 5,38; 2,85; e 1,15%, respectivamente. Assim constatando que 90,62% de raízes encontram-se até a profundidade de 0,6 m.

Figura 1 - Ambiente protegido (A), arranjo (B) e padronização do tamanho (B e C) das unidades experimentais

3.2 Caracterização físico-hídrica e química do solo

A curva de retenção de umidade do solo utilizado no preenchimento das unidades experimentais foi construída simulando uma condição real de irrigação e evaporação em casa de vegetação. Para isso, utilizaram-se cinco vasos com capacidade para 12 L, com orifícios na parte inferior e contendo uma camada de 1 cm de brita nº 1, recoberta com manta geotêxtil (BIDIM OP-30). Esses vasos foram preenchidos por meio de quantificação da massa de solo por camadas, a cada 5 cm e de volume conhecido, visando obter uma densidade conhecida e homogênea entre as parcelas; os mesmos foram dispostos em bancadas na casa de vegetação, sendo instalados tensiômetros de punção a 0,15 m de profundidade. Os vasos foram inicialmente imersos em uma lâmina de água correspondente a 50% de sua altura, permitindo que o solo fosse lentamente saturado por meio de ascensão capilar da

água por orifícios na parte inferior dos vasos. Após verificada a saturação, os vasos foram cobertos com filme plástico, e postos para drenar naturalmente, até cessar o escoamento.

Após a drenagem natural do solo, determinou-se a capacidade máxima de retenção e durante o processo de secamento foram realizadas pesagens e leituras tensiométricas concomitantemente, sendo esse procedimento estendido até uma tensão próxima a 80 kPa (Figura 2). Os dados de umidade foram relacionados com a tensão medida, sendo ajustada uma equação potencial (Figura 2), para estimativa da umidade em um dado momento, e, conseqüentemente, o cálculo da lâmina de irrigação necessária.

Figura 2 - Curva de retenção da água no solo utilizado no experimento

As propriedades físico-hídricas (Tabela 1) do solo foram obtidas por: análise granulométrica, determinada pela metodologia proposta por Bouyoucus (1951); densidade de partículas, utilizando o método do picnômetro e densidade do solo, determinada pelo método da proveta, os quais são recomendados pela EMBRAPA (1997).

A porosidade total foi calculada pelo valor da umidade volumétrica na tensão de 0,1 kPa. A microporosidade foi considerada igual ao teor de água retido na tensão de 6,0 kPa, ou seja, equivalente a capacidade de campo, e a macroporosidade foi obtida pela diferença entre a porosidade total e a microporosidade (Tabela 1).

Tabela 1 - Caracterização físico-hídrica do solo utilizado no experimento: umidade na capacidade de campo (CC) e no ponto de murcha permanente (PMP), água disponível (AD), densidade do solo (Ds), densidade de partículas do solo (Dp), macroporosidade (MP) e porosidade total do solo (PT)

CC	PMP	AD	Ds	Dp	MP	PT	Granulometria			Classe textural
							Areia	Silte	Argila	
-----cm ³ cm ⁻³ -----			----g cm ⁻³ ----				-----%-----			
0,25	0,07	0,18	1,49	2,64	20,45	43,45	73,0	8,0	19,0	Franco Arenoso

CC e PMP - umidades determinadas nas tensões de 6,0 e 1500kPa, respectivamente

O solo utilizado foi caracterizado quanto às propriedades químicas (Tabela 2). Os íons trocáveis foram analisados de acordo com os métodos descritos pela EMBRAPA (1997) e Raij (2001).

Para determinação da concentração dos íons solúveis (Tabela 2) preparou-se a pasta do solo na umidade de saturação, da qual foi extraída a solução por intermédio de sucção, de acordo com a metodologia proposta por Richards (1949).

Tabela 2 - Caracterização química do Latossolo Vermelho Amarelo

	pH	M.O*	S	P	K	Ca	Mg	Al	H+Al	SB	CTC	V	m
	(CaCl ₂)	g dm ⁻³	mg dm ⁻³										
Trocáveis	4,8	13	1,0	4,0	1,0	13	7,0	1,0	28,7	21,0	49,7	42,3	4,6
	pH	CE	NO ₃ ⁻		K ⁺	Ca ⁺²		Mg ⁺²		SO ₄ ⁻²			Na ⁺
	(pasta)	dS m ⁻¹											
Solúveis	5,27	0,37	1,43		0,17	0,85		0,58		0,41			0,66

MO - matéria orgânica, SB - soma de base, CTC - capacidade de troca de cátions, V - saturação por base, m - saturação por alumínio

3.3 Tratamentos e delineamento experimental

O experimento foi montado em delineamento em blocos casualizados completos, em esquema fatorial 4 x 4, totalizando 16 tratamentos e com quatro repetições, sendo a unidade experimental representada por um canteiro de 0,10 m de altura, contendo 20 plantas espaçadas de 0,10 m e 1,2 m entre linhas. Para as avaliações de produtividade e qualidade das hastes florais, foram coletadas as hastes dispostas na parte central de cada parcela, deixando 0,5 m de cada lado da parcela como bordadura.

Os tratamentos (Figura 3) foram compostos pela combinação de quatro doses de nitrogênio (N₁ = 5, N₂ = 10, N₃ = 15 e N₄ = 20 g planta⁻¹ ano⁻¹) e quatro níveis de

depleção da água no solo ($F_1 = 0,15$; $F_2 = 0,30$; $F_3 = 0,45$ e $F_4 = 0,6$), respectivamente, (85, 70, 55 e 40% de água disponível). Realizava-se aplicação de água e nutrientes (fertirrigação) quando a disponibilidade hídrica remanescente no solo atingia esses percentuais.

Figura 3 - Croqui da área experimental

3.4 Condução do Experimento

3.4.1 Instalação e montagem da estrutura

Após a confecção das valetas, realizou-se a montagem dos moldes para construção dos canteiros (Figura 4A), revestimento das paredes com manta plástica impermeável visando evitar movimento de solução entre as parcelas

(Figura 4B), evitando interferências entre os tratamentos. Em seguida as valetas foram preenchidas obedecendo a quantificação da massa de solo por camadas e de volume conhecido, visando obter uma densidade conhecida e homogênea entre as parcelas, sendo concomitantemente realizada a calagem (Figura 4C) de acordo com análise química do solo.

Figura 4 - Molde para o canteiro (A), revestimento com manta plástica (B), e preenchimento e calagem (C) das unidades experimentais

3.4.2 Plantio e condução das plantas

A cultura estudada foi a Rosa sp., variedade Samourai® Meikatana. A cultura foi plantada em fila única, com espaçamento de 0,1 m entre plantas e 1,2 m entre linhas, utilizando mudas de raiz nua (Figura 5A), com 6,0 semanas de idade e transplantadas em 29/12/2010. Foram instalados os seguintes componentes na parcela: extratores, tensiômetros, tubulação para irrigação e poço de observação (Figura 5B), detalhando ainda o espaçamento de 0,5 m entre emissores e de 0,25 m entre as saídas do emissor (Figura 5B), e delimitação da área útil na parcela (Figura 5C). Nos primeiros quinze dias após o transplante das mudas o solo foi mantido na capacidade de campo visando pegamento das mesmas e nos cinco meses seguintes visando formação e estabelecimento do roseiral (Figura 5D).

Logo após o plantio, objetivou-se a formação e o crescimento do maior número possível de ramos e folhas, para haver acúmulo de carboidratos que posteriormente seriam usados na formação dos ramos basais, formando assim o

esqueleto da roseira. Após esta fase, o ramo basal foi podado a 0,60 m de altura, com objetivo de iniciar a fase de produção das hastes comerciais (Figura 5D).

Figura 5 - Plantio das mudas (A), componentes da parcela (B), área útil (C) e roseiral estabelecido (D)

Foram realizados tratamentos fitossanitários preventivos para evitar a infestação por fitopatógenos, sendo que semanalmente era realizado o controle fitossanitário preventivo do oídio (*Sphaerotheca pannosa*), com aplicação de leite cru a 10%, para controle biológico do ácaro rajado - *Tetranychus urticae*, em época de alta infestação (mais de 5,0 ácaros por folha). Quinzenalmente realizava-se liberação de ácaros predadores *Phytoseiulus macropilis* (MACROMIP); em baixas infestações realizava-se liberação de ácaros predadores *Neoseiulus californicus* (NEOMIP). Em cada casa de vegetação era distribuído sobre o dossel das plantas o conteúdo (casca de arroz e aproximadamente 500 ácaros predadores) de 3,0 frascos.

Sempre que necessário realizou-se capinas, podas de limpeza, agóbio, manutenção e limpeza do sistema de irrigação e da área experimental.

3.4.3 Monitoramento das variáveis microclimáticas

As variáveis microclimáticas monitoradas foram radiação solar global, por meio de um piranômetro (LP02-L12 - Campbell Sci.) e umidade relativa e temperatura do ar, por meio de um sensor Vaisala (HMP45C-L12 - Campbell Sci.). Os sensores estavam instalados a 2,0 m de altura no centro da casa de vegetação. Foram realizadas leituras automáticas de dados a cada 30 segundos e integrados inicialmente a cada 15 minutos por meio de um sistema de aquisição de dados ou “datalogger” modelo CR10 da “Campbell Scientific”. Os dados eram coletados uma vez por semana e transferidos para um computador para tabulação e análise.

Com os dados meteorológicos diários foi calculada a evapotranspiração de referência (mm dia^{-1}) pelo método padrão Penman-Monteith FAO 56 (ET_0). Como a velocidade do vento a 2,0 m de altura no interior da casa de vegetação é muito baixa, esse valor foi fixado em $0,5 \text{ m s}^{-1}$ como recomendado no boletim FAO 56. Isso é necessário para explicar os efeitos da instabilidade da camada limite e flutuabilidade do ar que promovem a troca de vapor na superfície quando o ar está calmo. Este efeito ocorre quando a velocidade do vento é baixa e a flutuação de ar quente provoca a troca de ar na superfície. Estabelecendo-se o valor de u_2 igual a $0,5 \text{ m s}^{-1}$ na equação ET_0 , melhora-se a precisão da estimativa nas condições de velocidade do vento muito baixas (ALLEN et al., 1998).

3.4.4 Sistema e manejo da irrigação

Adotou-se um sistema de irrigação por gotejamento, composto por um conjunto moto-bomba recalcando água a uma pressão de serviço de 15 mca em tubulação de PVC com 25 mm DN (diâmetro nominal), constando de quatro blocos com linhas principais paralelas. Cada bloco continha 18 laterais de 2,0 m de comprimento espaçadas em 1,2 m e gotejadores on-line autocompensantes com duas saídas e $4,0 \text{ L h}^{-1}$ de vazão nominal (q_n), instalados com 0,5 m de espaçamento, totalizando quatro gotejadores por parcela. Cada bloco continha uma válvula volumétrica (hidrômetro), visando conferir se o volume de água aplicado

condizia com o volume estimado usando a taxa de emissão do gotejador. Desta forma era possível a observação de problemas de obstruções dos emissores, caso o volume aplicado fosse diferente do calculado. Cada parcela continha uma válvula solenóide, com a qual foi possível aplicar o volume de água diferenciadamente.

Visando o controle da irrigação, realizaram-se avaliações do sistema de irrigação no início da diferenciação dos tratamentos (31/05/2011) referentes aos níveis de nitrogênio e depleção da água no solo (1ª avaliação) e também no fim do experimento (2ª avaliação). Em seguida, de posse da taxa de emissão em cada parcela, procedia-se a correção do tempo de irrigação, caso fosse necessário.

Utilizaram-se dois métodos de avaliação da irrigação: no primeiro (M1), avaliou-se, em cada bloco, a lateral localizada no início, a 1/3; a 2/3 e na última linha; no segundo método (M2), realizou-se avaliação em todas as laterais, sendo que em ambos os métodos, foram coletadas as vazões em cada saída do emissor (duas saídas por emissor (E/2)) e por emissor (vazão das duas saídas (E)). Por meio dos dados coletados foram realizados os cálculos do coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC), do coeficiente de uniformidade estatístico (CUE) e do coeficiente de variação das vazões dos emissores (CV) (Tabela 3).

As diferentes metodologias de avaliação do sistema de irrigação permitem verificar a variação (CV) na taxa de emissão de água, ocasionada por aspectos hidráulicos e/ou construtivos, sendo assim possível a tomada de decisão, solução de problemas (troca de emissores) e redução de fontes de variação não estudadas, tendo em vista que nesse estudo a variação na taxa de emissão de água entre as parcelas causaria erros na aplicação dos tratamentos propostos.

Tabela 3 - Coeficientes de uniformidade da 1ª e 2ª avaliações do sistema de irrigação

Método	Emissor	N*	CUC		CUE		CV	
			1ª	2ª	1ª	2ª	1ª	2ª
M1	E	64	97,99	96,27	97,55	96,61	2,45	3,39
	E/2	128	96,83	95,79	95,99	95,17	4,01	4,83
M2	E	288	97,14	95,69	95,93	94,23	4,07	5,77
	E/2	576	96,14	95,64	94,86	92,14	5,14	7,86

* Tamanho da amostra

O manejo de irrigação foi efetuado pela estimativa da umidade do solo por meio de dados de tensões obtidos em tensiômetros instalados a 0,15 e 0,40 m de profundidade, na parte central da parcela. Aos tensiômetros foram acoplados transdutores de pressão modelo MPX5100DP piezoresistivos, confeccionados em silício monolítico e de processamento bipolar para fornecer uma precisão de alto nível do sinal de saída. Esses transdutores funcionam numa faixa de 0 a 100 kPa, com autocompensação de temperatura na faixa de 0 a 85 °C e com aquisição de dados em datalogger (Figura 6A). Os transdutores foram calibrados visando monitorar a variação instantânea da tensão no interior dos tensiômetros em função do tempo e da variação de umidade no solo.

Inicialmente, em laboratório, procedeu-se a calibração dos transdutores, os quais foram acoplados em orifícios feitos em um tubo de pvc com diâmetro de $\frac{1}{2}$ "; em uma das extremidades conectou-se uma bomba de vácuo e na extremidade oposta um manômetro de mercúrio, visando quantificar com precisão o vácuo aplicado. Em seguida conectou-se o circuito de pinos referentes à alimentação e transmissão de dados a um datalogger modelo CR10 (Figura 6A). Com o sistema montado, procedeu-se às aplicações de vácuo, variando a cada 76 mmHg, de maneira crescente e depois decrescente, com três repetições, com a finalidade de verificar o efeito da histerese; a faixa testada variou de 0 a 608 mmHg, equivalendo de 0 a 80 kPa. Posteriormente, os dados foram analisados e ajustados (Figura 7) para obtenção da equação que foi utilizada no datalogger para os cálculos da tensão de água no solo por meio de tensiômetros providos de transdutores de pressão.

Figura 6 - Calibração dos transdutores de pressão MPX5100DP: transdutores conectados ao sistema de aquisição de dados em datalogger CR10 (A) e detalhes das conexões (B)

Figura 7 - Curva de calibração dos transdutores de pressão modelo MPX5100DP

As fertirrigações eram realizadas baseadas no intervalo de tempo necessário para que cada tratamento atingisse a depleção da água no solo preestabelecida (Tabela 4), sendo que o tempo de fertirrigação para cada tratamento foi calculado para que a umidade do solo atingisse a capacidade de campo, e o tempo controlado por um sistema denominado Módulo para Controle de Atuadores (MCA) construído por Camargo (2012), empregado na automação do controle de válvulas e motobomba (Figura 8).

Figura 8 - Painel de controle de atuadores e automação da fertirrigação (A) e interface do software (B)

Tabela 4 - Parâmetros utilizados no manejo da irrigação considerando profundidade de 30 cm

Parâmetros	Fator de depleção			
	0,15	0,30	0,45	0,60
Umidade crítica ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$)	0,223	0,196	0,169	0,142
Tensão (kPa)	11,05	18,93	35,11	72,51
Lâmina (mm)	8,10	16,20	24,30	32,40
Tempo teórico por parcela (min)	24,00	49,00	73,00	97,00

3.4.5 Manejo da fertirrigação

Na fase vegetativa da cultura, objetivou-se atender a formação da planta, proporcionando o desenvolvimento do sistema radicular, o aumento da massa foliar e a formação dos ramos basais; logo, as quantidades de nutrientes foram aplicadas de acordo com a Tabela 5 e o solo foi mantido na capacidade de campo ou bem próximo desta. Após este período, as plantas foram podadas para dar início à diferenciação dos tratamentos. A fertirrigação nitrogenada foi aplicada na proporção de 25% de NH_4^+ e 75% de NO_3^- na solução nutritiva, sendo essa relação a que proporcionou maior produtividade de rosas em trabalhos realizados por Feigin et al. (1986); alterações no balanço de cátions devido ao uso de maiores proporções de N na forma de NH_4^+ tem sido observado por diversos pesquisadores.

Tabela 5 - Nutrientes para as fases de formação e produção de roseiras (CASARINI, 2004)

Nutrientes	Formação	Produção
	($\text{g planta}^{-1} \text{ano}^{-1}$)	($\text{g planta}^{-1} \text{ano}^{-1}$)
Nitrogênio (N)	10,00	20,00#
Fósforo (P)	2,76	5,51
Potássio (K_2O)	10,00	20,00
Cálcio (Ca)	2,70	5,41
Magnésio (Mg)	0,90	1,71
Enxofre (S)	1,30	1,30
Zinco (Zn)	0,05	0,05
Cobre (Cu)	0,013	0,013
Ferro (Fe)	0,20	0,20
Manganês (Mn)	0,06	0,06
Boro (B)	0,04	0,04

Foi diferenciada de acordo com os tratamentos

As doses de nitrogênio, bem como os demais fertilizantes, foram aplicadas de acordo com os tratamentos e realizadas de acordo com a frequência de irrigação, ou seja, sempre que havia necessidade de irrigar, realizava-se fertirrigação utilizando a massa de fertilizantes referente ao somatório do intervalo de dias necessário para que o solo atingisse o fator de depleção em cada tratamento (Tabela 4). A frequência da fertirrigação variava em função da demanda evapotranspirativa da cultura para atingir a depleção preestabelecida, sendo essa determinada em função da tensão da água no solo (Figura 9). As fontes de nutrientes utilizadas foram os fertilizantes: nitrato de amônio, nitrato de potássio, fosfato monopotássico, nitrato de cálcio, sulfato de magnésio; os micronutrientes foram aplicados através de um coquetel contendo a proporção de todos os micronutrientes.

Figura 9 - Evapotranspiração diária média do período necessário (dias) para que o solo atingisse a tensão crítica em função dos níveis de depleção, independentemente da dose de N, no período da 5ª colheita

3.4.6 Extração da solução do solo

Durante a fase de produção de rosas realizaram-se coletadas e monitoramentos da solução extraída do solo, quanto à condutividade elétrica (CE), concentração de nitrato (NO_3^-) e potássio (K^+) na solução coletada à profundidade de 0,0 - 0,3 m e 0,3 - 0,5 m, por meio de extratores de solução providos de cápsulas porosas e instalados na parte central da parcela, a uma distância de 0,1 m da planta e dos emissores. A aplicação do vácuo foi realizada com auxílio de uma bomba

proporcionando uma sucção interna de aproximadamente 80 kPa; para as coletas da solução no interior do extrator, utilizou-se uma seringa acoplada a um tubo de silicone flexível; em seguida as amostras de solução foram acondicionadas em recipientes hermeticamente fechados e transportados para o laboratório onde foram efetuadas análises. No momento da coleta da solução, foi verificada a umidade do solo por meio de tensiometria.

3.4.7 Parâmetros avaliados

3.4.7.1 Análise da solução extraída do solo

Foram efetuadas análises de condutividade elétrica (CE) e do potencial hidrogeniônico (pH), realizadas por meio de condutivímetro e de potenciômetro de bancada microprocessados, respectivamente, ambos com compensação automática de temperatura. O nitrato foi determinado utilizando um sensor eletroquímico, que permite a determinação potenciométrica da atividade de uma espécie iônica, sendo previamente calibrado; o potássio foi determinado por meio de fotometria de chama.

3.4.7.2 Produção de hastes comerciais

As colheitas para avaliações de produção e qualidade das hastes tinham início quando 60% das hastes estavam em ponto de corte. O ponto de colheita era determinado quando as sépalas estavam totalmente abertas e as pétalas em início de abertura. O corte de cada haste foi realizado na segunda folha de cinco folíolos, contados a partir do ponto em que a haste brotava. Em seguida as hastes eram acondicionadas em feixes, etiquetadas com a denominação de cada parcela e postas em recipientes com água para evitar murchamento até o momento das avaliações. Os feixes foram levados para um laboratório do Departamento de Engenharia de Biossistemas da ESALQ/USP, onde foram procedidas as avaliações das hastes florais.

A produtividade de rosas foi quantificada por meio da contagem de todas as hastes em cada parcela e corrigida para produtividade em hastes por m². Era considerada haste comercial aquela que estivesse reta, sem o botão floral torto e/ou deformado. A produtividade comercial de hastes florais (PCHF), em cada colheita, foi obtida pelo somatório das quantidades de hastes colhidas nas colheitas parciais

durante o período que contemplava a colheita. As colheitas parciais eram realizadas sempre que os botões encontravam-se em ponto de colheita, perdurando até o momento em que não tivesse mais botões comerciais; a partir dessa data, as novas brotações davam origem a colheita seguinte.

3.4.7.3 Dimensões das hastes e dos botões florais

O comprimento da haste floral (CHF) foi medido entre o ponto de corte até o ápice do botão floral utilizando uma régua graduada em milímetros. O diâmetro da haste floral (DHF) foi determinado na porção média da haste, utilizando um paquímetro digital graduado em milímetros. A classificação da qualidade quanto ao CHF e DHF, que definiria o preço a ser pago pela haste, seguiu os critérios de classificação para rosa de corte adotado pelo departamento de qualidade da Cooperativa Veiling Holambra.

Figura 10 - Variação do tamanho (A), determinação de diâmetro (B) e estrutura (C) de hastes florais

A medida do comprimento dos botões florais (CBF) foi determinada após a leitura das dimensões das hastes. O comprimento foi determinado a partir da base do botão até seu ápice, utilizando um paquímetro digital.

3.4.7.4 Índice de área foliar (IAF)

A determinação do índice de área foliar (IAF) foi realizada durante a colheita das hastes, quando as plantas estavam totalmente sob efeito dos tratamentos. Foram realizadas três repetições e coletadas 20 folhas com 5,0 folíolos das hastes de cada parcela, conforme metodologia adotada por Vetanovetz (1996). Para a determinação da área foliar foi utilizado um medidor de área foliar da marca LICOR. O valor total de área foliar observado foi dividido pelo número de folhas da amostra (20 folhas), estimando-se a área foliar de cada folha. Para estimar a área foliar de cada haste produzida na parcela, realizou-se amostragem do número de folhas por haste. Com isto, estimou-se a área foliar de cada parcela multiplicando pela produtividade da mesma. O IAF foi determinado por meio da equação (1).

$$IAF = \frac{AF}{Ap} \quad (1)$$

em que:

IAF - Índice de área foliar;

AF - Área foliar, m²;

Ap - Área útil da parcela, m².

3.4.7.5 Fitomassa fresca

Após a realização das medidas da haste e do botão, a massa fresca das partes vegetais (hastes, folhas e botões) foi determinada utilizando uma balança analítica (precisão 0,01g).

3.4.7.6 Fitomassa seca

Após a determinação da massa fresca, os botões e demais partes vegetais foram acondicionados em sacos de papel e postos para secar em estufa de circulação forçada, com temperatura de 65°C (±1), até atingirem massas constantes, sendo então pesados em balança analítica (precisão 0,01g).

3.4.7.7 Temperatura foliar, umidade no tecido foliar e potencial da água na folha

Para a mensuração da temperatura foliar, identificaram-se folhas na parte superior do dossel das plantas em cada parcela, visando realizar as repetições ao longo do dia, sempre nas mesmas folhas e em todos os tratamentos, em uma distância média de 20 cm da folha, em três repetições por planta. As leituras de temperatura foliar foram realizadas com termômetro de infravermelho (quick TEMP), ao longo do dia (nos horários das 09:00, 12:00, 15:00 e 17:00) e nos seguintes dias (11/01/2012 e 06/02/2012), momento em que todos os tratamentos encontravam-se com solo na umidade crítica (depleção preestabelecida) e na capacidade de campo, respectivamente.

Para obtenção do potencial da água na folha retiraram-se três folhas da porção média, em todas as parcelas antes do amanhecer, em momento em que a tensão da água no solo correspondia às depleções de água no solo preestabelecidas (Tabela 4), visando verificar a condição hídrica no tecido vegetal em momento de um possível estresse hídrico temporal (depleção). As amostras foram acondicionadas e transportadas segundo os critérios relatados no trabalho de Mélo et al. (2007), e as aferições do potencial da água na folha foram efetuadas utilizando uma câmara de pressão (Modelo 3005, Soil Moisture Equipment Corporation, Santa Bárbara, CA, EUA).

A umidade no tecido foliar foi determinada nas mesmas amostras de folhas utilizadas para a determinação do potencial da água na folha; a umidade percentual foi calculada pela razão da diferença entre a massa foliar no momento da coleta e a massa foliar depois de secagem em estufa com circulação forçada de ar a 65 °C até atingir massa constante, pela massa foliar inicial no momento da coleta.

3.4.7.8 Consumo hídrico, produtividade acumulada e produtividade da água

O consumo hídrico durante todas as colheitas foi contabilizado pelo somatório das lâminas aplicadas em cada tratamento durante os 250 dias após início dos tratamentos (DAIT) e considerando o intervalo de dias para atingir a depleção proposta, sendo que o dia para realização da fertirrigação era determinado pela tensão referente a cada tratamento de depleção da água no solo (Tabela 4).

A partir do consumo de água pelas plantas, e da produção acumulada de hastes florais comercializáveis (PACHFC), obtida em cada tratamento, determinou-se a produtividade da água (PA), sendo esta obtida pelo quociente entre a produção da cultura e a lâmina aplicada durante o período (equação 2):

$$PA = \frac{PACHFC}{L} 1000 \quad (2)$$

em que:

PA - Produtividade da água, hastes por m³;

PACHFC - Produção acumulada de hastes florais comercializáveis, hastes por m²;

L - Lâmina aplicada durante o período, mm.

3.4.7.9 Análise química do tecido vegetal

Antes de o material vegetal ser posto para secagem em estufa, o mesmo foi lavado para a eliminação de resíduos e poeira; após a secagem e pesagem, a fitomassa seca foi triturada e encaminhada ao laboratório para determinação da concentração de macronutrientes, de acordo com a metodologia modificada de Malavolta et al. (1997).

3.4.7.10 Renda bruta

A produção de hastes foi classificada de acordo com seu tamanho, e o cálculo da renda bruta (R\$ por m²) foi realizado a partir do produto da produção comercial de hastes (hastes por m²) pelo valor da haste (R\$ por haste) em função do seu tamanho.

3.4.8 Análise estatística

Com a finalidade de realizar a análise de variância, inicialmente verificou-se se foram satisfeitas as suposições estatísticas de os efeitos principais serem aditivos, os erros independentes e distribuídos normalmente, variâncias homogêneas. Em seguida, foram realizadas transformações quando necessárias.

Os parâmetros avaliados foram analisados estatisticamente por meio da análise de variância (Tabela 6) aplicando-se teste F e desdobrando as análises sempre que a interação fosse significativa. Os fatores quantitativos relativos aos

níveis de nitrogênio e depleção da água no solo foram analisados estatisticamente por meio de regressão polinomial. Para os fatores qualitativos foram realizadas análises estatísticas utilizando-se o teste de comparação de média, para diferenciação entre os níveis do fator, aplicando-se o teste Tukey em nível de 5% de probabilidade.

Tabela 6 - Esquema da análise de variância do experimento

Fonte de variação	Graus de liberdade
Doses de nitrogênio (N)	3
Depleção (f)	3
(N x f)	9
Blocos	3
Resíduo	45
Total	63

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Variáveis microclimáticas

As condições microclimáticas durante o período experimental são de grande importância para a análise das variáveis, pois as respostas morfofisiológicas das culturas dependem dessas condições. As variações de temperaturas máximas, médias e mínimas para cada período de colheitas realizadas ao longo do período experimental estão descritas na Figura 11.

O aumento da temperatura pode ser considerado um dos fatores responsáveis pela redução no intervalo de colheitas, porém há resultados de pesquisas que constatarem redução na qualidade das hastes em menores intervalos entre as colheitas, sendo tal fenômeno observado por Casarini (2004) no cultivo de roseiras da variedade Versilia. Esse autor verificou que no verão a seleção das hastes de rosa deve ser mais rigorosa para manter uma qualidade satisfatória do produto, pois a qualidade diminui devido às elevadas temperaturas no interior de ambiente protegido.

As máximas e mínimas temperaturas observadas em cada período de colheitas foram 31,84; 35,32; 34,16; 34,49 e 47,56 (máximas) e 7,47; 5,40; 8,55; 12,70 e 15,24 (mínimas) para 1ª, 2ª, 3ª, 4ª e 5ª colheita, respectivamente (Figura 11).

Com esses valores é possível verificar que as amplitudes térmicas no presente trabalho foram superiores às sugeridas por Lopes (1980), afirmando que para o cultivo da rosa o ideal são temperaturas noturnas inferiores a 18°C (especialmente entre 12 e 15°C) e diurnas entre 23 e 25°C. Ainda, segundo Barbosa (2003), para otimizar a fotossíntese é necessário que a temperatura se mantenha dentro da faixa 15 à 25°C e que a transição da temperatura, diurna para noturna, seja lenta, divergindo em parte da indicação inferida por Salinger (1991) que mensura uma faixa ótima de temperatura para o crescimento da roseira entre 17 °C e 26 °C. Temperaturas acima de 25 °C aceleram o florescimento, deixando as flores pequenas e de coloração pálida, enquanto que temperaturas baixas podem atrasar o crescimento e floração.

Figura 11 - Temperaturas máxima, média e mínima do ar registradas no período experimental para 1ª, 2ª, 3ª, 4ª e 5ª colheitas com intervalos de 45, 50, 55, 46 e 49 dias, respectivamente

Os valores máximos de umidade relativa do ar foram observadas no períodos da 1ª e 2ª colheitas, com máxima de 98,10 e 97,56%, média de 85,37 e 93,56% e mínima de 68,85 e 77,74%, respectivamente (Figura 12). As máximas umidades associadas a temperaturas mais amenas (Figura 11) devido aos menores valores de radiação solar (Figura 13) no período da 1ª e 2ª, foram alguns dos fatores responsáveis pela maior qualidade média de hastes, com CHF de 66,42 e 59,92 cm (Tabela 16), CBF de 59,46 e 51,82 mm (Tabela 17) e DHF de 5,8 e 5,0 mm (Tabela 18). Valores esses superiores ao recomendado por Banñn Arias et al. (1993) que indicam valores de UR em torno de 75% para a cultura se desenvolver.

Figura 12 - Umidades máxima (Umáx), média (Uméd) e mínima (Umín) no interior do ambiente protegido ao longo dos dias após início dos tratamentos (DAIT)

A radiação solar global no interior do ambiente protegido foi coletada durante o experimento com leituras realizadas a cada 30 segundos e armazenando a média a cada 15 minutos e somadas para compor a radiação solar global diária total. Os maiores valores foram observados nos meses de dezembro de 2011 e janeiro de 2012, época que equivale às 4ª e 5ª colheitas, isso reduziu o intervalo entre colheitas para 46 dias na 4ª colheita, com somatório da radiação para esse período de $531,19 \text{ MJ m}^{-2}$. O maior valor de radiação solar global foi observado em 31/01/2011 com valor de $19,97 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ (5ª colheita) e o menor valor foi de $0,62 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ (1ª colheita) em 09/06/2011 (Figura 13), denotando uma amplitude máxima de radiação de $19,35 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$, sendo esse valor superior ao verificado por Casarini (2004) que observou uma amplitude de $13,09 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$, sendo observado no mês de fevereiro o maior valor com $17,47 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ e no mês de julho o menor com $4,38 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$, devido ao período de inverno, situação diferente do presente estudo, que apresentou elevados valores de radiação durante período de verão.

As maiores PCHF médias de 28, 27 e 27 hastes m^{-2} em 150, 196 e 245 DAIT (Tabela 15) foram obtidas no período dos maiores valores de radiação, concordando em parte com resultados obtidos por Mastaalerz (1987) que verificou que a radiação solar influencia diretamente a roseira, aumentando sua produtividade e qualidade

das hastes. Farina e Veruggio (1996) estudaram a produtividade de rosas em cultivo protegido sob a influência de várias intensidades de radiação artificial com fotoperíodo de 16 horas por dia observando hastes com qualidade superior e incremento de 19% na produtividade.

Figura 13 - Radiação solar global - Rs ($\text{MJ m}^{-2} \text{dia}^{-1}$) e evapotranspiração de referência - ETo (mm dia^{-1}) no interior do ambiente protegido ao longo dos dias após início dos tratamentos (DAIT)

As maiores estimativas de ET_0 ocorreram nos períodos de maior radiação solar, com valor de $4,27 \text{ mm dia}^{-1}$ em 30/01/2012 (244 DAIT) para uma radiação de $19,97 \text{ MJ m}^{-2} \text{dia}^{-1}$ e $T_{\text{máxima}}$ de $36,39 \text{ }^{\circ}\text{C}$, e valor mínimo da ET_0 de $0,62 \text{ mm dia}^{-1}$ com Rs de $0,71 \text{ MJ m}^{-2} \text{dia}^{-1}$ e $T_{\text{máxima}}$ de $15,56 \text{ }^{\circ}\text{C}$, denotando a grande influência da radiação na estimativa da evapotranspiração de referência (Figura 13).

4.2 Avaliações quantitativas das fertirrigações realizadas

A condutividade elétrica (CE) variou em função da dose de nitrogênio, sendo essa a variação percentual da CE entre N_1 e N_4 em todos os níveis de depleção, de 50 a 70%, o aumento da concentração de N não implica em aumento marcante na CE, pois fertilizantes nitrogenados não afetam fortemente a CE da solução quando comparados aos fertilizantes potássicos.

A variação da CE entre os níveis de depleção se deu de forma aleatória, pois ao aumentar-se a massa de fertilizantes à medida que aumentava-se o fator de depleção, também aumentava-se o volume de água para suprir a demanda hídrica

em cada fator de depleção, ou seja, o incremento na massa de fertilizantes entre os níveis de depleção não proporcionou variação de CE, pois a mesma era compensada pelo aumento do volume de água a medida que aumentava-se o fator de depleção considerando os turnos de regas modais - TRM (Tabela 7)

Tabela 7 - Condutividade elétrica da solução usada na fertirrigação e massa de fertilizantes para o volume de água a cada turno de rega modal (TRM) para quatro parcelas (repetições)

Fator	----- Doses de nitrogênio (g planta ⁻¹ ano ⁻¹) -----								Volume	TRM
	N ₁	N ₂	N ₃	N ₄	N ₁	N ₂	N ₃	N ₄		
	----- CE (dS m ⁻¹) -----				----- Fertilizantes (g) -----					
F ₁	1,38	1,82	1,91	2,35	57,25	65,34	75,61	85,88	26	3
F ₂	1,53	1,79	2,01	2,30	114,51	130,67	151,22	171,77	52	6
F ₃	1,52	1,78	2,05	2,40	190,85	217,79	252,04	286,28	78	10
F ₄	1,46	1,72	2,06	2,41	286,27	326,68	378,05	429,42	104	15

O turno de rega variava em função do estágio vegetativo das plantas e da demanda atmosférica, ou seja, o intervalo de dias entre irrigações para atingir a depleção em cada tratamento variou em função da demanda evapotranspirativa. A máxima e mínima demanda hídrica foi obtida no N₂F₁ e N₄F₄ para turno de rega médio de 2,6 e 17,9 dias, respectivamente (Tabela 8). O número de fertirrigações foi proporcional ao turno de rega, quanto menor o intervalo, maior o seu número para o período de 250 DAIT, sendo realizadas 97 e 14 fertirrigações em N₂F₁ e N₄F₄, respectivamente (Tabela 8).

Tabela 8 - Turno de rega médio e número de fertirrigações realizadas no período de 250 DAIT para cada tratamento

Fator	----- Doses de nitrogênio (g planta ⁻¹ ano ⁻¹) -----							
	N ₁	N ₂	N ₃	N ₄	N ₁	N ₂	N ₃	N ₄
	----- Turno de rega médio (dias) -----				----- Número de fertirrigações -----			
F ₁	2,8	2,6	3,1	3,5	88	97	81	72
F ₂	5,7	5,6	6,4	7,6	44	45	39	33
F ₃	8,6	8,3	10,0	11,9	29	30	25	21
F ₄	13,2	13,9	15,6	17,9	19	18	16	14

Os fertilizantes e suas respectivas massas aplicadas nas quatro parcelas (repetições) de cada tratamento no período experimental e em cada nível do fator nitrogênio independente do nível de depleção estão descritos da Tabela 9. As doses

do nutriente nitrogênio para cada nível estão descritas para atender diferentes situações, verificando-se ainda que as doses de nitrogênio aplicadas de 5,91; 9,85, 14,85 e 19,85 g planta⁻¹ ano⁻¹ ficaram bem próximas das doses preestabelecidas de 5, 10, 15 e 20 g planta⁻¹ ano⁻¹ (Tabela 9).

Tabela 9 - Massa de fertilizantes aplicados no período de 250 DAIT para quatro parcelas (80 plantas) e suas respectivas doses de nitrogênio considerando uma população de 8,33 plantas m⁻²

Fertilizantes	----- gramas 80 plantas ⁻¹ 250 dias ⁻¹ -----			
	N ₁	N ₂	N ₃	N ₄
KH ₂ PO ₄	1340,87	1340,87	1340,87	1340,87
Ca(NO ₃) ₂	1557,32	1557,32	1557,32	1557,32
MgSO ₄ . 7H ₂ O	1041,10	1041,10	1041,10	1041,10
KNO ₃	831,87	831,87	831,87	831,87
NH ₄ NO ₃	0,00	673,59	1529,75	2385,92
Total	4771,15	5444,74	6300,91	7157,07
Dose de nitrogênio	N ₁	N ₂	N ₃	N ₄
g 80 plantas ⁻¹ 250 dias ⁻¹	324,08	539,63	813,60	1087,57
g m ⁻² 250 dias ⁻¹	33,76	56,21	84,75	113,29
g planta ⁻¹ ano ⁻¹	5,91	9,85	14,85	19,85
g m ⁻² ano ⁻¹	49,29	82,07	123,73	165,40
Kg ha ⁻¹ ano ⁻¹	492,87	820,68	1237,35	1654,02

4.3 Monitoramento e análise da solução do solo

Na Tabela 10 é ilustrado o resumo da análise de variância para a condutividade elétrica da solução do solo em função da adubação nitrogenada (N) e dos níveis de depleção da água no solo (f), em duas profundidades (P) para cinco épocas de avaliação.

Houve efeito significativo da interação entre os fatores N x f x P sobre a CE nas coletas realizadas aos 97 e 153 DAIT, ao nível de 1% de probabilidade, não havendo efeito significativo nas demais épocas. Para a interação N x f, verificou-se resposta significativa aos 97, 153 (p < 0,01) e 194 DAIT (p < 0,05). A interação N x P proporcionou resposta significativa aos 50, 153 e 194 DAIT em nível de significância de 1% de probabilidade, não havendo resposta significativa nas demais épocas. Já para a interação f x P, ocorreram variações significativas do fator aos 97 DAIT (p < 0,01) e 153 DAIT (p < 0,05). Quanto ao efeito dos fatores isolados, verificou-se

que, tanto para N quanto para P, ocorrerem respostas significativas em todas as épocas, enquanto que para o fator f foi observado efeito significativo nas coletas realizadas aos 97 e 153 DAIT, em nível de 1% de probabilidade (Tabela 10).

Tabela 10 - Resumo da análise de variância para condutividade elétrica da solução (CE_s) coletada utilizando extratores providos de cápsulas porosas instaladas em duas profundidades em solo cultivado com roseiras em ambiente protegido, submetidas a diferentes doses de nitrogênio e níveis de depleção da água no solo

Fontes de variação	Condutividade elétrica - CE				
	50 DAIT	97 DAIT	153 DAIT	194 DAIT	250 DAIT
	-----Valores de F-----				
Doses de nitrogênio (N)	20,72**	149,47**	151,98**	9,20**	3,79*
Fator de depleção (f)	2,67 ^{ns}	18,31**	18,12**	0,14 ^{ns}	0,57 ^{ns}
Profundidade (P)	59,19**	174,13**	135,82**	22,96**	44,38**
N x f	0,32 ^{ns}	4,72**	4,69**	2,09*	1,29 ^{ns}
N x P	3,23*	1,91 ^{ns}	2,62*	1,91*	0,14 ^{ns}
f x P	2,44 ^{ns}	4,29**	3,95*	0,01 ^{ns}	0,67 ^{ns}
N x f x P	1,13 ^{ns}	3,77**	3,72**	0,27 ^{ns}	0,56 ^{ns}
Blocos	1,16 ^{ns}	2,12 ^{ns}	2,18 ^{ns}	1,03 ^{ns}	2,23 ^{ns}
CV (%)	35,60	16,29	16,26	33,52	55,17
Média geral ($dS\ m^{-1}$)	2,19	2,17	2,44	4,39	4,64

** e * significativo a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente; ^{ns} - não significativo; CV - coeficiente de variação

Na Figura 14 é mostrado o efeito das doses de N sobre a CE aos 50 DAIT, na qual pode-se verificar um aumento da CE nas duas profundidades de coleta de solução do solo, de forma mais acentuada na camada superficial (0,0 - 0,3 m), apresentando aumento de aproximadamente $0,13\ dS\ m^{-1}$ por aumento unitário nas doses de N, com maior CE na maior dose de N ($20\ g\ planta^{-1}\ ano^{-1}$), com valor de $2,64\ dS\ m^{-1}$. No entanto, percebe-se que, os maiores valores de CE ocorreram na camada de maior profundidade (0,3 - 0,5 m), na qual, a maior dose de N proporcionou CE de aproximadamente $3,08\ dS\ m^{-1}$ (Figura 14).

Figura 14 - Condutividade elétrica (CEs) da solução do solo em função de doses de nitrogênio e da profundidade de coleta aos 50 dias após início dos tratamentos (DAIT)

Conforme avaliação realizada aos 97 DAIT houve interação entre N x f, de forma que foram ajustadas equações para cada nível de depleção em função das doses de N (Figura 15A), bem como para o efeito do nível de depleção em cada dose de N (Figura 15B). Para todos os níveis de depleção, o aumento nas doses de N proporcionou acréscimo na CEs, de forma que os dados foram ajustados com equações lineares com efeito mais expressivo para os níveis 0,15 e 0,60, nas quais as equações ajustadas apresentaram maiores coeficientes angulares (Figura 15A).

Figura 15 - Condutividade elétrica (CEs) da solução do solo em função de doses de nitrogênio (A) e níveis de depleção da água no solo (B) aos 97 dias após início dos tratamentos (DAIT)

Quanto ao efeito do nível de depleção sobre a CEs em cada dose de N, também foram observadas respostas lineares crescentes, com resposta mais expressiva no tratamento onde se aplicou a dose de $10 \text{ g planta}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ (Figura 15B).

Também houve aumento na CEs aos 97 DAIT para ambas as profundidades do solo, apresentando resposta linear ao aumento no fator de depleção, com maiores valores de aumento na CEs na camada inferior ($2,98 \text{ dS m}^{-1}$), enquanto na camada de (0,0 - 0,3 m) obteve-se os menores valores, apesar de também aumentarem com o aumento de depleção (Figura 16).

Figura 16 - Condutividade elétrica (CE) da solução do solo em função dos níveis de depleção da água no solo e da profundidade de coleta aos 97 dias após início dos tratamentos (DAIT)

Na avaliação realizada aos 153 DAIT foram ajustadas equações de regressão para cada nível de depleção, com os dados apresentando melhor ajuste a equação linear. O aumento nas doses de N provocou aumento na CEs em todos os níveis de depleção, principalmente no fator $f = 0,15$, com aumento de $0,15 \text{ dS m}^{-1}$ para cada g de N aplicado por planta ao ano. No entanto, verifica-se que as maiores CEs ocorreram no maior fator de depleção ($f = 0,6$), principalmente na maior dose de N, na qual obteve-se CEs de $3,39 \text{ dS m}^{-1}$ (Figura 17A).

Assim como houve resposta linear ao aumento das doses de N sobre a CEs, também foi observada resposta linear e positiva da CEs para os níveis de depleção da água no solo, com maiores ganhos ocorridos para a dose de $10 \text{ g planta}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, com aumento de $0,308 \text{ dS m}^{-1}$ por aumento decimal no fator de depleção, obtendo máxima CEs de $2,65 \text{ dS m}^{-1}$; predominando maiores valores CEs na dose de $20 \text{ g planta}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ (Figura 17B).

Figura 17 - Condutividade elétrica (CE) da solução do solo em função de doses de nitrogênio (A) e níveis de depleção da água no solo (B) aos 153 dias após início dos tratamentos (DAIT)

Nas Figuras 18A e 18B é ilustrado o efeito das doses de N e dos níveis de depleção da água no solo sobre a CEs nas duas profundidades aos 153 DAIT, onde pode-se observar aumento linear com o aumento das doses de N (Figuras 18A), bem como do fator de depleção (Figuras 18B), e com maiores valores ocorrendo na camada 0,3 - 0,5 m, independentemente da adubação nitrogenada (Figura 18A) ou do intervalo entre irrigações (Figura 18B).

Figura 18 - Condutividade elétrica (CE) da solução do solo em função de doses de nitrogênio (A), dos níveis de depleção da água no solo (B) e da profundidade de coleta aos 153 dias após início dos tratamentos (DAIT)

Analisando a CE aos 194 DAIT, verificou-se que o aumento nas doses de N ocasionou acréscimo na CE, independentemente do nível de depleção utilizado, principalmente nos níveis 0,30 e 0,45 (Figura 19A). Não houve efeito dos níveis de depleção sobre CE em nenhuma das doses de N, obtendo-se CEs médias de 3,46; 4,13; 4,62 e 5,33 dS m⁻¹, para 5, 10, 15 e 20 g planta⁻¹ ano⁻¹, respectivamente (Figura 19B).

Figura 19 - Condutividade elétrica (CE) da solução do solo em função de doses de nitrogênio (A) e dos níveis de depleção da água no solo (B) aos 194 dias após início dos tratamentos (DAIT)

Semelhante ao resultado observado nas coletas anteriores, o aumento nas doses de N acarretou um aumento na CE em ambas as profundidades aos 194 DAIT, sendo o aumento mais acentuado na camada superficial, a qual apresentou os menores valores quando fertirrigado com a menor dose de N (Figura 20).

Figura 20 - Condutividade elétrica (CE) da solução do solo em função de doses de nitrogênio e da profundidade de coleta aos 194 dias após início dos tratamentos (DAIT)

Ao final do experimento (250 DAT) verificou-se resposta significativa apenas para adubação nitrogenada e profundidade de coleta de solução, sendo observado para ambas as profundidades, aumento linear da CEs em resposta ao aumento nas doses de N independentemente da profundidade (Figura 21). Pode-se observar na Figura 21 que em todas as doses de N, a camada subsuperficial do solo apresentou sempre as maiores CEs.

Figura 21 - Condutividade elétrica (CE) da solução do solo em função de doses de nitrogênio e profundidade de coleta aos 250 dias após início dos tratamentos (DAIT)

Na Figura 22 é mostrada a evolução da CEs ao longo do experimento, na qual pode-se observar que para os três fatores analisados: doses de N (Figura 22A), nível de depleção da água no solo (Figura 22B) e profundidade de coleta (Figura 22C).

Para todos esses fatores verificou-se que até aos 150 DAIT praticamente não ocorreu aumento na CEs, no entanto, a partir desta época, houve aumento considerável, obtendo-se ao final do experimento CEs máxima de $5,62 \text{ dS m}^{-1}$ na dose de $20 \text{ g planta}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ (Figura 22A). Ainda na Figura 22A pode-se verificar que praticamente durante todo o experimento os maiores valores de CEs ocorreram nas maiores doses de N.

Maiores valores de condutividade elétrica da solução do solo foram observados por Casarini, Folegatti e Silva (2007), os quais trabalhando com a roseira “Versilia” em ambiente protegido, porém sem controle do volume de solo na parcela, apenas duas colheitas, mas em contrapartida as doses de N e K foram superiores as utilizadas neste trabalho, onde verificaram que os valores de condutividade elétrica da solução do solo aumentaram com as doses de K indicando que a redução na produtividade pode ter sido consequência de um processo de salinização do solo, apresentando valores mínimos de 4,95 e máximos de $6,85 \text{ dS m}^{-1}$ para as doses de potássio de 10 e $40 \text{ g planta}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, respectivamente.

Analisando a CEs ao longo do experimento e em função dos níveis de depleção da água no solo, verificou-se que não houve variação entre os níveis, os quais proporcionaram pouca variação até 150 DAIT, quando apresentaram aumento na CEs, mantendo-se praticamente constante até o final da pesquisa (Figura 22B).

Quanto à variação da CEs em função da profundidade de coleta da solução, verificaram-se que os maiores valores ocorreram sempre na camada inferior (0,3 - 0,5 m), apresentando durante todo o período experimental valores superiores em aproximadamente $1,0 \text{ dS m}^{-1}$, sendo a diferença entre as profundidades aumentada no final da pesquisa (Figura 22C). Esses resultados divergem, em parte, dos obtidos por Oliveira (2012) trabalhando com a cultura do pimentão cultivado em vasos, o qual verificou maior condutividade elétrica na camada superficial do solo.

Resultados semelhantes aos observados por Oliveira (2012), também foram observados em trabalho desenvolvido por Porto Filho et al. (2011) trabalhando com a cultura do meloeiro em condições de campo, quando constataram aumento da CE_{es} de acordo com o aumento da salinidade da água; verificaram, também, que houve maior acúmulo de sais na camada superficial.

Figura 22 - Condutividade elétrica (CEs) da solução do solo ao longo dos DAIT para as doses de nitrogênio (A), níveis de depleção da água no solo (B) e profundidade de coleta (C)

A maior salinidade na camada superficial observada por Oliveira (2012) e Porto Filho et al. (2011) pode estar relacionada à maior evapotranspiração nesta camada superior, aliada ao fato dos fertilizantes terem sido aplicados na superfície, com a água de irrigação, e por não apresentar impedimento físico nas camadas mais profundas, permitindo assim a lixiviação dos sais para camadas que não estão sendo monitoradas. Sendo que esta última condição não condiz com a da presente pesquisa, já que o volume de solo disponível ao crescimento das plantas na parcela estava delimitado por uma barreira física (lona plástica), visando o controle e

balanço de entradas e saídas de água e fertilizantes, com objetivo de quantificar o volume de água e massa de fertilizantes passíveis a perdas nas camadas mais profundas e não efetivamente exploradas pelas plantas.

O potencial hidrogeniônico (pH) da solução do solo foi afetado apenas pela profundidade de coleta, ao nível de 1% de probabilidade, para todas as épocas de avaliação (Tabela 11). Verificou-se que em todas as épocas de avaliação os maiores valores de pH ocorreram sempre na camada 0,3 - 0,5 m (Tabela 12), com maior diferença entre as camadas sendo observada aos 194 DAIT (42,70%).

Tabela 11 - Resumo da análise de variância para potencial hidrogeniônico (pH) da solução do solo coletada utilizando extratores providos de cápsulas porosas instaladas em duas profundidades em solo cultivado com roseiras em ambiente protegido, submetidas a diferentes doses de nitrogênio e níveis de depleção da água no solo

Fontes de variação	Potencial hidrogeniônico – pH				
	50 DAIT	97 DAIT	153 DAIT	194 DAIT	250 DAIT
	-----Valores de F-----				
Doses de nitrogênio (N)	0,50 ^{ns}	0,78 ^{ns}	0,81 ^{ns}	0,83 ^{ns}	2,56 ^{ns}
Fator de depleção (f)	0,63 ^{ns}	0,23 ^{ns}	0,22 ^{ns}	0,84 ^{ns}	2,29 ^{ns}
Profundidade (P)	121,08**	215,60**	141,56**	405,17**	159,41**
N x f	0,51 ^{ns}	1,19 ^{ns}	1,17 ^{ns}	0,72 ^{ns}	1,49 ^{ns}
N x P	1,31 ^{ns}	0,97 ^{ns}	1,01 ^{ns}	0,51 ^{ns}	1,19 ^{ns}
f x P	1,51 ^{ns}	2,07 ^{ns}	2,06 ^{ns}	0,72 ^{ns}	0,18 ^{ns}
N x f x P	0,93 ^{ns}	0,43 ^{ns}	0,41 ^{ns}	0,63 ^{ns}	1,63 ^{ns}
Blocos	6,35**	8,53**	8,23**	7,30**	10,38**
CV (%)	8,56	9,42	9,45	9,88	11,84
Média geral	6,04	5,86	6,60	5,66	5,51

** e * significativo a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente; ^{ns} - não significativo; CV - coeficiente de variação

Tabela 12 - Valores médios do potencial hidrogeniônico (pH) da solução do solo coletada utilizando extratores providos de cápsulas porosas instaladas em duas profundidades em solo cultivado com roseiras em ambiente protegido, submetidas a diferentes doses de nitrogênio e níveis de depleção da água no solo

Profundidade (m)	----- Dias após início dos tratamentos - DAIT -----				
	50	97	153	194	250
0 - 0,3	5,51 b	5,15 b	5,94 b	4,66 b	4,78 b
0,3 - 0,5	6,57 a	6,58 a	7,25 a	6,65 a	6,24 a

Médias seguidas pelas mesmas letras nas colunas não diferem entre si pelo teste Tukey ao nível de significância de 5% de probabilidade

Analisando a evolução do pH da solução do solo durante o experimento, verificou-se que independentemente da dose de N aplicada ocorreu pequena variação entre 50 e 97 DAIT, seguido de expressivo aumento aos 153 DAIT, e tendência de redução até o final deste trabalho (Figura 23A). Comportamento semelhante também foi observado quando avaliou-se a evolução do pH da solução em função dos níveis de depleção da água no solo (Figura 23B).

Figura 23 - Potencial hidrogeniônico (pH) da solução do solo ao longo dos DAIT para as doses de nitrogênio (A), níveis de depleção da água no solo (B) e profundidade de coleta (C)

Na Figura 23C é mostrada a evolução do pH durante o período experimental de acordo com a profundidade de coleta da solução do solo, verificando-se que, conforme descrito anteriormente, os maiores valores ocorreram sempre na camada mais profunda (0,3 - 0,5 m).

Na Tabela 13 é mostrado o resumo da análise de variância para a concentração de nitrato na solução do solo, na qual pode-se observar que houve efeito significativo da interação entre os fatores N x f x P sobre o NO_3^- nas análises realizadas aos 97 e 153 DAIT ($p < 0,01$), não havendo resposta significativa nas demais épocas ($p > 0,05$). Para a interação f x P, houve efeito significativo sobre o NO_3^- aos 50 DAIT ($p < 0,05$), 97 e 153 DAIT ($p < 0,01$). A interação N x P provocou resposta significativa para a concentração de NO_3^- nas três primeiras épocas de avaliação (50, 97 e 153 DAIT) em nível de 1% de probabilidade, enquanto que para a interação N x f foram observadas respostas significativas apenas aos 97 e 153 DAIT ($p < 0,01$). Quanto ao efeito isolado dos fatores, verificou-se que em todas as épocas de avaliações ocorreram resposta significativas para as doses de N, nível de depleção da água no solo (exceto aos 194 e 250 DAIT) e profundidade de coleta de solução do solo (Tabela 13).

Tabela 13 - Resumo da análise de variância para concentração de nitrato na solução (NO_3^-) coletada utilizando extratores providos de cápsulas porosas instaladas em duas profundidades em solo cultivado com roseiras em ambiente protegido, submetidas a diferentes doses de nitrogênio e níveis de depleção da água no solo

Fontes de variação	Nitrato – NO_3^-				
	50 DAIT	97 DAIT	153 DAIT	194 DAIT	250 DAIT
	-----Valores de F-----				
Doses de nitrogênio (N)	39,21**	124,20**	127,45**	11,28**	3,72*
Fator de depleção (f)	5,96**	47,36**	47,06**	0,71 ^{ns}	0,15 ^{ns}
Profundidade (P)	481,01**	1249,25**	1200,97**	57,68**	34,65**
N x f	0,62 ^{ns}	13,48**	13,47**	1,59 ^{ns}	3,11 ^{ns}
N x P	6,19**	9,38**	8,47**	0,56 ^{ns}	1,97 ^{ns}
f x P	4,80*	39,26**	38,67**	2,06 ^{ns}	1,43 ^{ns}
N x f x P	1,06 ^{ns}	9,38**	9,21**	0,66 ^{ns}	2,23 ^{ns}
Blocos	1,28 ^{ns}	0,40 ^{ns}	0,40 ^{ns}	2,53 ^{ns}	0,55 ^{ns}
CV (%)	28,80	20,09	20,03	33,38	43,32
Média geral (mg L^{-1})	1039,11	601,48	669,01	2224,37	3392,39

** e * significativo a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente; ^{ns} - não significativo; CV - coeficiente de variação

Na Figura 24A e 24B são mostrados os efeitos das doses de N e dos níveis de depleção, respectivamente, aos 50 DAIT, nas duas profundidades de amostragem de solução. Para o efeito do N, verificou-se que os maiores valores ocorreram sempre na camada mais profunda (0,3 - 0,5 m), e que, para as duas profundidades, os dados apresentaram melhor ajuste a equações lineares, com resposta mais acentuada na profundidade 0,3 - 0,5 m, na qual foi observado aumento na concentração de NO_3^- em aproximadamente $56,15 \text{ mg L}^{-1}$ por g de N (Figura 24A). Com relação ao efeito do fator de depleção, também foram observados as maiores concentrações de NO_3^- na camada mais profunda, e ajuste linear para ambas as profundidades (Figura 24B).

Figura 24 - Concentração de nitrato (NO_3^-) na solução do solo em função de doses de nitrogênio (A), níveis de depleção da água no solo (B) e profundidade de coleta aos 50 dias após início dos tratamentos (DAIT)

Avaliando a concentração de NO_3^- na solução do solo aos 97 DAIT, realizou-se o desdobramento entre os fatores N x f para se analisar o efeito das doses de N em cada nível de depleção, bem como o efeito do fator depleção em cada dose de N. Verificou-se que para todos os níveis de depleção o aumento nas doses de N acarretou em aumento na concentração de NO_3^- , obtendo-se ajuste linear, e com maior aumento nos níveis de depleção 0,15; 0,30 e 0,45, com incremento médio de 39 mg L^{-1} por aumento unitário nas doses de N (Figura 25A). Ainda na Figura 25A, pode-se observar que, apesar de apresentar menor resposta às doses de N, no fator de depleção 0,60 ocorreram as maiores concentrações de NO_3^- .

Quanto ao efeito do fator de depleção da água no solo, verificou-se resposta linear e positiva para todas as doses de N, com maior resposta na dose de 10 g planta⁻¹ ano⁻¹ (Figura 25B).

A concentração de NO₃⁻ na solução do solo coletada aos 50 DAIT (1ª colheita), apresentou valor máximo de 1979,81 mg L⁻¹ para N₄ na profundidade de 0,3 - 0,5 m e mínimo de 297,99 mg L⁻¹ na profundidade de 0 - 0,3 m (Figura 24A); logo divergem dos resultados verificados por Casarini (2004), que observou na primeira colheita que valores médios indicaram o acúmulo desses nutrientes na camada de 0 a 20 cm. A concentração de NO₃⁻ apresentou valores médios mínimo e máximo de 1255,00 e 1619,58 mg L⁻¹ para os tratamentos N₁ e N₄, respectivamente, com incremento de 11,85 mg L⁻¹ para cada um grama de nitrogênio aplicado (CASARINI, 2004).

Para 97 DAIT (2ª colheita) o máximo ocorreu em N₄F₄ (1083,01 mg L⁻¹) e mínimo de 238,85 mg L⁻¹ em N₁F₁ (Figura 25A), no entanto valores mais elevados foram encontrados por Casarini (2004) na segunda colheita, quando a concentração de NO₃⁻ na solução do solo variou de 1827,92 mg L⁻¹ a 2328,33 mg L⁻¹ para os tratamentos N₁ e N₄, respectivamente com incremento de 17,15 mg L⁻¹ de NO₃⁻ para cada um grama de N aplicado.

Figura 25 - Concentração de nitrato (NO₃⁻) na solução do solo em função de doses de nitrogênio (A) e níveis de depleção da água no solo (B) aos 97 dias após início dos tratamentos (DAIT)

Avaliou-se ainda o efeito das doses de N (Figura 26A) e dos níveis de depleção (Figura 26B) sobre a concentração de NO_3^- nas duas profundidades de coleta de solução do solo. Verificou-se que o aumento nas doses de N resultou em incremento na concentração de NO_3^- em ambas as profundidades, apresentando ajuste linear. No entanto, maiores ganhos ocorreram na camada de 0,3 - 0,50 m, com aumento de aproximadamente $39,4 \text{ mg L}^{-1}$ de NO_3^- por g de N (Figura 26A). Constatou-se ainda que, semelhante ao ocorrido na época de avaliação anterior, as maiores concentrações ocorreram sempre na maior profundidade.

Quanto ao efeito do fator de depleção, verificou-se resposta significativa apenas na profundidade de 0,3 - 0,5 m, na qual constatou-se diferença na concentração de NO_3^- em aproximadamente 633 mg L^{-1} (95,68%) entre os níveis 0,15 e 0,6. Já para a profundidade 0,0 - 0,3 m não houve resposta significativa, obtendo uma concentração de NO_3^- média de $233,94 \text{ mg L}^{-1}$ (Figura 26B).

Figura 26 - Concentração de nitrato (NO_3^-) na solução do solo em função de doses de nitrogênio (A), níveis de depleção da água no solo (B) e profundidade de coleta aos 97 dias após início dos tratamentos (DAIT)

Nas avaliações realizadas aos 153 DAIT foram observadas respostas semelhantes às obtidas aos 97 DAIT, de forma que a concentração de NO_3^- na solução do solo aumentou linearmente de acordo com o aumento nas doses de N, e com maiores ganhos sendo verificados nas parcelas experimentais em que se realizaram as irrigações utilizando-se como referências os níveis de depleção 0,15; 0,30 e 0,45, nos quais foram observados incremento de aproximadamente 44 mg L^{-1} de NO_3^- por aumento unitário nas dose de N em $\text{g planta}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ (Figura 27A).

Com relação ao efeito dos níveis de depleção, também foram observados aumentos lineares de acordo com o aumento no intervalo entre irrigações, independentemente da dose de N aplicado, com destaque para a dose de $10 \text{ g planta}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, na qual obteve-se maior resposta ao aumento no nível de depleção (Figura 27B).

Figura 27 - Concentração de nitrato (NO₃⁻) na solução do solo em função de doses de nitrogênio (A) e níveis de depleção da água no solo (B) aos 153 dias após início dos tratamentos (DAIT)

Na Figura 28A é mostrado o efeito das doses de N sobre a concentração de NO₃⁻ na solução do solo de acordo com a profundidade de coleta aos 153 DAIT, na qual pode-se observar que o aumento nas doses de N resultou em incremento de NO₃⁻ na solução, e que os maiores valores ocorreram na camada de 0,3 - 0,5 m.

Para o efeito dos níveis de depleção, foi observada resposta significativa apenas para a profundidade de 0,3 - 0,5 m, na qual obteve-se aumento de aproximadamente 95,68% entre os níveis extremos do fator de depleção, enquanto que na profundidade de 0 - 0,3 m não houve resposta significativa, obtendo-se concentração média de $258,65 \text{ mg L}^{-1} \text{ NO}_3^-$ na solução do solo (Figura 28B).

Figura 28 - Concentração de nitrato (NO_3^-) na solução do solo em função de doses de nitrogênio (A), níveis de depleção da água no solo (B) e profundidade de coleta aos 153 dias após início dos tratamentos (DAIT)

Com relação ao efeito das doses de N na concentração de NO_3^- na solução extraída para profundidades de coleta aos 194 DAIT, verificou-se que para ambas (0 - 0,3 m e 0,3 - 0,5 m) o aumento nas doses de N provocou aumento na concentração de NO_3^- , com os dados coletados ajustando-se a equações lineares e crescentes. Pode-se verificar ainda que as maiores concentrações de NO_3^- foram obtidas na camada de solo mais profunda (Figura 29).

Figura 29 - Concentração de nitrato (NO_3^-) na solução do solo em função de doses de nitrogênio e profundidade de coleta aos 194 dias após início dos tratamentos (DAIT)

Na avaliação realizada aos 250 DAIT verificou-se resposta significativa apenas às doses de N e profundidade de coleta de solução. Para ambas as profundidades, as concentrações de NO_3^- apresentaram aumento de acordo com as doses de N, apresentando, assim, ajustes a equações lineares. Os maiores ganhos

foram observados na camada de 0 - 0,3 m, apresentando aumento de aproximadamente $90,5 \text{ mg L}^{-1}$ por g de N aplicado. No entanto, as maiores concentrações de NO_3^- ocorrem na camada mais profunda (0,3 - 0,5 m) (Figura 30).

Figura 30 - Concentração de nitrato (NO_3^-) na solução do solo em função de doses de nitrogênio e profundidade de coleta aos 250 dias após início dos tratamentos (DAIT)

Analisando as concentrações de NO^- nas cinco épocas de avaliação, percebe-se que, em todos os casos o aumento nas doses de N resultou em aumento na concentração deste íon na solução do solo, e que, as maiores concentrações deste íon ocorreram na camada de maior profundidade (Figura 31C). De certa forma, este resultado já era esperado, tendo em vista que nem todo o N aplicado é absorvido pela planta. Sabe-se que os íons disponibilizados na solução do solo podem ser adsorvidos ao solo, absorvidos pelas plantas ou lixiviados das camadas superficiais do solo.

Alguns íons, quando disponibilizados na solução do solo, são rapidamente deslocados no perfil, como é o caso do nitrogênio que, na forma de íons de nitrato é altamente solúvel em água e apresenta grande mobilidade no solo. O nitrato, por ser um ânion, não é retido em solos cuja predominância de cargas seja negativa, apresentando, por isso, grande potencial de lixiviação, o que pode causar sérios problemas de poluição às águas subterrâneas, corpos hídricos e perdas de fertilizantes.

Analisando a evolução da concentração de nitrato na solução do solo ao longo do experimento em função dos fatores doses de N, fator depleção da água no solo e profundidade de coleta de solução (Figuras 31A, 31B e 31C,

respectivamente), percebe-se que em todos os casos houve aumento na concentração de NO_3^- ao longo o tempo. Este fato ocorreu, provavelmente, em consequência do sistema de cultivo utilizado, tendo que vista que, por ser um sistema fechado, não permitiu lixiviação dos íons para além da zona de solo explorado pelas plantas, e sujeitas à sucção aplicada nos extratores utilizados na coleta de solução do solo.

Figura 31 - Concentração de nitrato (NO_3^-) da solução do solo ao longo dos DAIT para as doses de nitrogênio (A), níveis de depleção da água no solo (B) e profundidade de coleta (C)

A maior concentração de NO_3^- aos 50 DAIT em comparação aos 97 DAIT se deve ao fato de que fertirrigava-se a cultura com dose de $10 \text{ g planta}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ na fase de formação e também foi realizada uma poda para dar início à fase de produção, deixando as plantas com reduzida massa foliar e consequentemente reduzindo a exportação de NO_3^- e aumentando sua concentração na solução do solo (Figuras 31A, B e C).

Na Tabela 14 é mostrado o resumo da análise de variância para a concentração de potássio na solução do solo coletado com os extratores providos de cápsulas porosas, na qual se verificou que houve efeito significativo da interação entre os fatores $f \times P$ apenas na primeira coleta (50 DAIT) ao nível de 5% de probabilidade. A interação $N \times P$ provocou resposta significativa na concentração de K aos 97, 153, 194 e 250 DAIT ($p < 0,01$). Quanto ao efeito isolado dos fatores, foram observadas respostas significativas para o fator N em todas as coletas (com exceção da coleta realizada aos 50 DAIT); para o fator f verificou-se resposta significativa apenas na primeira coleta (50 DAIT), enquanto que para o fator P ocorreram diferenças significativas aos 97, 153 e 194 DAIT, em nível de significância de 0,01 de probabilidade (Tabela 14).

Tabela 14 - Resumo da análise de variância para concentração de potássio na solução (K) coletada utilizando extratores providos de cápsulas porosas instaladas em duas profundidades em solo cultivado com roseiras em ambiente protegido, submetidas a diferentes doses de nitrogênio e níveis de depleção da água no solo

Fontes de variação	Potássio – K				
	50 DAIT	97 DAIT	153 DAIT	194 DAIT	250 DAIT
	-----Valores de F-----				
Doses de nitrogênio (N)	1,23 ^{ns}	7,25**	13,66**	6,98**	4,47**
Fator de depleção (f)	3,92*	3,74 ^{ns}	0,84 ^{ns}	0,83 ^{ns}	0,39 ^{ns}
Profundidade (P)	1,64 ^{ns}	207,54**	289,30**	49,89**	1,35 ^{ns}
$N \times f$	0,85 ^{ns}	1,20 ^{ns}	1,95 ^{ns}	1,83 ^{ns}	1,47 ^{ns}
$N \times P$	1,50 ^{ns}	14,75**	14,11**	4,71**	4,15**
$f \times P$	3,12*	0,41 ^{ns}	0,51 ^{ns}	0,35 ^{ns}	1,04 ^{ns}
$N \times f \times P$	1,27 ^{ns}	1,74 ^{ns}	1,78 ^{ns}	0,87 ^{ns}	0,25 ^{ns}
Blocos	5,11**	0,43 ^{ns}	1,50 ^{ns}	1,88 ^{ns}	4,17**
CV (%)	34,21	20,23	17,89	32,37	43,54
Média geral (mg L^{-1})	199,05	224,27	256,71	302,25	428,10

** e * significativo a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente; ^{ns} - não significativo; CV - coeficiente de variação

Na Figura 32 é apresentado o efeito dos níveis de depleção sobre a concentração de K na solução do solo aos 50 DAIT nas duas profundidades de coleta de solução. Pode-se observar que houve resposta significativa apenas na profundidade de 0 - 0,3 m, obtendo-se uma variação de 184,9 a 207,5 mg L⁻¹ de K, para os fatores 0,15 e 0,60, respectivamente. Para a profundidade de 0,3 - 0,5 m não houve resposta significativa, obtendo-se concentração média de 171,33 mg L⁻¹.

Figura 32 - Concentração de potássio (K) na solução do solo em função dos níveis de depleção da água no solo e profundidade de coleta aos 50 dias após início dos tratamentos (DAIT)

Nas Figuras 33A, 33B, 33C e 33D são mostradas as concentrações de K na solução do solo aos 97, 153, 194 e 250 DAIT, respectivamente. Em todas as épocas de coleta, verificou-se que o incremento nas doses de N provocou aumento na concentração de K, de forma que, em todas as épocas os dados obtidos foram ajustados a equações lineares e crescentes. Pode-se observar ainda que em todos os casos os maiores valores ocorreram na camada superficial (0 - 0,3 m).

No entanto, pode-se perceber que houve diferença nas taxas de aumento de acordo com a profundidade entre as épocas de coleta. Na coleta realizada aos 97 DAIT os maiores ganhos ocorreram na camada mais profunda, com aumento de aproximadamente 15,61% na dose 20 g planta⁻¹ ano⁻¹ em comparação com os valores obtidos com a dose de 5 g planta⁻¹ ano⁻¹, enquanto que na profundidade de 0,0 - 0,3 m, obteve-se aumento total de 31,80% (Figura 33A).

Na avaliação realizada aos 153 DAIT, também foi observada resposta mais expressiva na maior profundidade, com aumento de 4,48 mg L⁻¹ de K, por g de N

aplicado, e ganho total de 17,28%, enquanto que na menor dose de N foi observada aumento total de 36,79% (Figura 33B).

Para a coleta feita aos 194 DAIT, verificou-se maior aumento para a camada mais superficial, com incremento de aproximadamente $9,72 \text{ mg L}^{-1}$ por aumento unitário na dose de N em $\text{g planta}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, apresentando aumento de 50,20% na dose de $20 \text{ g planta}^{-1} \text{ ano}^{-1}$. Já para a profundidade de 0,3 - 0,5 m, verificou-se aumento de $4,38 \text{ mg L}^{-1}$ de K, por g de N aplicado, com aumento total em cerca de 31,55% (Figura 33C).

Figura 33 - Concentração de potássio (K) na solução do solo em função de doses de nitrogênio e profundidade de coleta aos 97, 153, 194 e 250 dias após início dos tratamentos (DAIT) (A, B, C e D), respectivamente

Quanto à última época de avaliação, verificou-se maior resposta para a camada superficial, com aumento de $8,46 \text{ mg L}^{-1}$ por g de N, resultando em ganho total de 30,87% na dose de $20 \text{ g planta}^{-1} \text{ ano}^{-1}$. Para a profundidade de 0,3 - 0,5 m, foi observado que o incremento de 1,0 g de N resultou em aumento de $6,51 \text{ mg L}^{-1}$

de potássio na solução do solo, resultando em ganho total de 29,35% na maior dose de N ($20 \text{ g planta}^{-1} \text{ ano}^{-1}$), em comparação com os valores obtidos na dose de $5 \text{ g planta}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ (Figura 33D).

Na Figura 34 são mostradas as variações nas concentrações de K na solução do solo ao longo do período experimental, em função das doses de N (Figura 34A), fator de depleção da água no solo (Figura 34B) e profundidades de coleta de solução (Figura 34C). Pode-se constatar que em todos os casos houve aumento na concentração de K, e as maiores variações ocorreram para as profundidades, apresentando maior diferenciação ao longo do trabalho, de forma que entre 97 e 194 os maiores valores ocorreram na profundidade de 0,0 - 0,3 m (Figura 34C).

De forma geral, o acúmulo de íons de K no solo durante o trabalho pode ser resultado de alguns fatores isolados e/ou uma associação desses com diferentes índices de ponderação: o sistema de cultivo utilizado não permitia a lixiviação dos sais, aplicação de potássio superior à necessidade nutricional da cultura, além de ter havido um provável efeito antagônico do nitrogênio presente na solução do solo sobre a absorção de K pelas plantas.

A concentração de potássio ocorreu com padrão diferenciado em relação à concentração de nitrato em função da profundidade de coleta, ou seja, maiores concentrações de nitrato foram observadas na camada inferior (0,3 - 0,5 m), ao contrário da concentração de potássio, que foi superior na camada superficial em todas as avaliações, exceto na última aos 250 DAIT. Com isso, pode-se constatar uma maior dinâmica descendente do nitrato. O potássio possui uma mobilidade no perfil do solo intermediária entre o nitrato e o fósforo, isto é, não sofre tanta lixiviação quanto o primeiro nem é fixado tão fortemente quanto o segundo (ALCARDE et al., 2000).

Esses resultados corroboram com os obtidos por Caovilla et al. (2005) estudando a percolação de nutrientes em colunas de solo cultivado com soja e irrigado com água residuária de suinocultura, quando notaram que o nitrato apresentou maior mobilidade no processo de lixiviação, seguido da concentração de sais totais e, posteriormente, do potássio, proporcionalmente aos tratamentos avaliados.

Figura 34 - Concentração de potássio (K) da solução do solo ao longo dos DAIT para as doses de nitrogênio (A), níveis de depleção da água no solo (B) e profundidade de coleta (C)

De forma semelhante, Anami et al. (2008) estudaram o processo de percolação de íons nitrato e fosfato em coluna de solo e verificaram que o íon nitrato apresentou elevado potencial de percolação, ao contrário do que ocorreu com o íon fosfato, que apresentou baixo potencial de contaminação.

4.4 Parâmetros de produção e qualidade

4.4.1 Produção comercial de hastes

Não houve efeito significativo da interação entre os fatores doses de nitrogênio (N) e níveis de depleção da água no solo (f) sobre a produção comercial de hastes florais PCHF em todas as colheitas; também não houve efeito dos fatores isolados na PCHF na primeira colheita (45 DAIT) ($p > 0,05$). Para as demais colheitas, verificou-se resposta significativa às doses de N nas colheitas realizadas aos 95, 150, 196 e 245 DAIT ($p < 0,01$), enquanto para a depleção da água no solo ocorreu resposta significativa nas colheitas realizadas aos 150, 196 e 245 DAIT ($p < 0,01$) (Tabela 15).

Tabela 15 - Resumo da análise de variância para produção comercial de hastes florais (PCHF) de roseiras cultivadas em ambiente protegido, submetidas a diferentes doses de nitrogênio e níveis de depleção da água no solo

Fontes de variação	Produção comercial de hastes florais – PCHF				
	45 DAIT	95 DAIT	150 DAIT	196 DAIT	245 DAIT
	-----Valores de F-----				
Doses de nitrogênio (N)	2,48 ^{ns}	110,66**	12,33**	19,51**	41,07**
Linear	5,73 ^{ns}	30,42**	1,93 ^{ns}	43,38**	120,34**
Quadrático	1,35 ^{ns}	268,76**	33,43**	10,33**	2,87 ^{ns}
Fator de depleção (f)	0,70 ^{ns}	1,58 ^{ns}	2,90**	3,60**	12,65**
Linear	0,01 ^{ns}	0,35 ^{ns}	5,19*	9,70**	33,53**
Quadrático	0,05 ^{ns}	3,51 ^{ns}	1,91 ^{ns}	0,39 ^{ns}	2,84 ^{ns}
N x f	0,91 ^{ns}	0,66 ^{ns}	1,34 ^{ns}	0,56 ^{ns}	1,12 ^{ns}
Blocos	4,98**	2,23 ^{ns}	1,17 ^{ns}	0,91 ^{ns}	0,29 ^{ns}
CV (%)	7,63	6,50	10,44	10,37	8,49
Média geral (hastes m ⁻²)	21	25	28	27	27

** e * significativo a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente; ^{ns} - não significativo; CV - coeficiente de variação

Analisando o período de início de cada colheita (Tabela 15), verificou-se intervalos entre colheitas de 45, 50, 55, 46 e 49 dias, sendo esses valores próximos aos observados por Casarini (2004) que verificou um intervalo de 45 dias na primeira colheita e de aproximadamente 60 dias na segunda colheita, esse segundo intervalo possivelmente retardado devido ao inverno. No verão, o tempo gasto para colher uma haste é em torno de 35 dias. No inverno, conseguem-se hastes mais longas

com diâmetro maior e botões maiores, refletindo em maior qualidade e preço favorável no varejo, porém o tempo para seu desenvolvimento é de 50 a 60 dias.

Conforme descrito anteriormente, não houve efeito dos tratamentos sobre a PCHF na primeira colheita (45 DAIT), não sendo ajustada qualquer equação de regressão, obtendo-se entre os tratamentos a PCHF média de 21,14 hastes m^{-2} (Figura 35A e 35B).

Figura 35 - Produção comercial de hastes florais (PCHF) em função de doses de nitrogênio (A e C) e em função dos níveis de depleção da água no solo (B e D) aos 45 (A e B) e 95 (C e D) dias após início dos tratamentos (DAIT)

Na segunda colheita (95 DAIT) foi verificado efeito significativo das doses de N, com os dados apresentando melhor ajuste à equação quadrática, sendo a máxima produção estimada para a dose de 13,25 g de N por planta ao ano, com a produção de 28,80 hastes m^{-2} , correspondente ao aumento de aproximadamente 45% em relação a PCHF obtida na menor dose de N (5 $g\ planta^{-1}\ ano^{-1}$), na qual obteve PCHF de 19,90 hastes m^{-2} (Figura 35C). Já com relação ao efeito do fator f,

não foi observada resposta significativa, obtendo a PCHF média de 24,63 hastes m^{-2} (Figura 35D). Para as duas primeiras colheitas, a PCHF não foi afetada pela frequência de fertirrigação (depleção), que teve a máxima tensão de água no solo em F₄ com 72,51 kPa (Tabela 4), concordando com Chimonidou-Pavlidou (1998) que observou que a produtividade da roseira não variou significativamente, pois o tempo em que a cultura ficou sob a tensão de água no solo de 100kPa, não foi suficiente para resultar em perda de produtividade.

Menores produtividades foram obtidas por Casarini, Folegatti e Silva (2007) trabalhando com a rosa da variedade Versilia em espaçamento 0,1 m x 1,0 m, com a segunda colheita seguindo a tendência da primeira, em que as doses de nitrogênio não influenciaram significativamente na produtividade, observando-se valores médios de 78,67; 76,42; 71,58 e 70,58 hastes por canteiro para os tratamentos N₁, N₂, N₃ e N₄, (10, 20, 30 e 40 g planta⁻¹ ano⁻¹), respectivamente. A produtividade em hastes por m² foi obtida pela razão da produtividade em hastes por canteiro pela área da parcela 4,0 m² (comprimento do canteiro de 4,0 m e espaçamento entre linhas de 1,0 m), ou seja, a produtividade deve ser calculada com base no espaçamento da cultura e não com área molhada (2,4 m²) do canteiro. Essa produtividade obtida por esses autores equivale a 19,67; 19,11; 17,90; 17,65 hastes por m², sendo inferiores aos obtidos na segunda colheita no presente estudo, no qual obteve-se valor máximo de 28,80 hastes m^{-2} para a dose de 13,25 g de N por planta ao ano (Figura 35C).

Os fatores estudados afetaram a PCHF aos 150 DAIT, sendo, no entanto, observado efeitos diferentes entre os fatores testados (Figura 36A e 36B). Para o fator N, os dados foram ajustados ao modelo quadrático, com a máxima produção estimada para a dose de 11,90 g planta⁻¹ ano⁻¹, com PCHF de 30,39 hastes m^{-2} (Figura 36A). Quanto ao efeito do fator f, verificou-se resposta linear e crescente, de forma que a PCHF aumentou em aproximadamente 0,492 hastes m^{-2} por aumento decimal no fator de depleção da água no solo. A máxima produção de 28,85 hastes m^{-2} com o f igual a 0,6, equivalente ao acréscimo de 8,3% em comparação com as plantas cultivadas com o menor fator de depleção (f = 0,15) com o qual obteve-se a PCHF de 26,64 hastes m^{-2} (Figura 36B).

Na colheita realizada aos 196 DAIT, verificou-se resposta semelhante à observada na colheita anterior (150 DAIT) para as doses de N, com os dados apresentando melhor ajuste ao modelo quadrático (Figura 36C). A máxima PCHF foi estimada para a dose de $7,9 \text{ g planta}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, na qual obteve-se $29,35 \text{ hastes m}^{-2}$. Pode-se verificar ainda que o aumento da dose de N a partir desta dosagem resultou em acentuado decréscimo na PCHF, sendo observada na maior dose de N ($20 \text{ g planta}^{-1} \text{ ano}^{-1}$) ocorreu a menor PCHF ($22,78 \text{ hastes m}^{-2}$), correspondente ao decréscimo de aproximadamente 28,84% em comparação com a máxima PCHF obtida de $29,35 \text{ hastes m}^{-2}$ (Figura 36C).

Com relação ao efeito dos níveis de depleção da água no solo, verificou-se efeito linear e decrescente, ocorrendo redução de aproximadamente $0,65 \text{ hastes m}^{-2}$ por aumento decimal do fator f, de forma que a maior PCHF ocorreu quando a umidade do solo foi mantida com o menor fator f (0,15), no qual obteve $28,46 \text{ hastes m}^{-2}$, e a menor PCHF ocorreu com o maior fator f (0,60), com a produção de $25,54 \text{ hastes m}^{-2}$, resultando assim em redução de aproximadamente 10,3% (Figura 36D).

Na última colheita (245 DAIT) verificou-se resposta linear e decrescente para a PCHF em função do aumento dos dois fatores estudados (N e f), sendo observada redução de aproximadamente $0,56$ e $9,88 \text{ hastes m}^{-2}$, por aumento unitário das doses de N e do fator f, respectivamente (Figura 36E e 37F). Desta forma, para ambos os fatores as maiores PCHF ocorreram nos menores níveis estudados, com $31,16 \text{ hastes m}^{-2}$ para a dose de N equivalente a $5 \text{ g planta}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, e de $29,17 \text{ hastes m}^{-2}$ para o fator de depleção (f) igual a 0,15. Comparando essas produções com as obtidas nos maiores níveis, obteve-se reduções de 27,0 e 15,2% para os fatores N e f, respectivamente (Figura 36E e 36F).

Santos et al. (2012) trabalhando com rosas “Carola” sob diferentes laminas de irrigação 86,8; 148,7; 210,6 e 272,5 mm e doses de nitrogênio 120, 210, 300 e 390 kg ha^{-1} , obtiveram a melhor produtividade com a aplicação de 110% da dose de N (330 kg ha^{-1}) recomendada, considerando o espaçamento de $0,2 \times 1,2 \text{ m}$ perfazendo uma população de aproximadamente 41.667,0 plantas por hectare e durante 120 dias de condução do estudo. Verifica-se que a dose de 330 kg ha^{-1} equivale a aproximadamente $24,09 \text{ g planta}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, sendo superior em 20% a maior dose de N utilizada no presente estudo, e reforçando a divergência com o presente estudo, no

qual as maiores produtividades foram obtidas em doses inferiores às verificadas por Santos et al. (2012). No presente trabalho, a maior dose que maximizou a PCHF foi de 13,25 g planta⁻¹ ano⁻¹ (Figura 35C) na 2ª colheita (95 DAIT) e as demais foram inferiores a 11,90, 7,90 e 5,0 g planta⁻¹ ano⁻¹ para 3ª, 4ª e 5ª colheitas, respectivamente (Figuras 36A, 36C e 36E).

Figura 36 - Produção comercial de hastes florais (PCHF) em função de doses de nitrogênio (A, C e E) e em função dos níveis de depleção da água no solo (B, D e F) aos 150 (A e B), 196 (C e D) e 245 (E e F) dias após início dos tratamentos (DAIT)

A ausência de resposta às doses de N na primeira colheita pode ser atribuída às características fisiológicas das roseiras, as quais, de acordo com Eymar et al. (1998) as roseiras armazenam nitrogênio para uso posterior; podendo ainda ocorrer mobilização muito grande das reservas de N na planta, de forma que poderá não ocorrer resposta nas primeiras colheitas (CABRERA et al., 1995). Tal comportamento também foi constatado por Casarini, Folegatti e Silva (2007), os quais trabalhando com a cultivar Versilia, não observaram efeito da fertirrigação nitrogenada sobre a produção de rosas em duas colheitas.

Pode-se verificar ainda que ao longo do ciclo a resposta das plantas às doses de N foi modificando-se, passando da ausência de resposta na primeira colheita (45 DAIT), resposta positiva na segunda (95 DAIT), terceira (150 DAIT) e quarta (196 DAIT) colheitas, até se obter resposta negativa na quinta colheita (245 DAIT). Tal variação no comportamento pode ter ocorrido em virtude do acúmulo de sais ao longo do experimento, tendo em vista que o sistema utilizado não permitia a lixiviação dos sais.

Trabalhos desenvolvidos por outros autores também constataram que o acúmulo de fertilizantes no solo afeta negativamente a produção da roseira (CASARANI; FOLEGATTI; SILVA, 2007). Resultados negativos também foram obtidos por Medeiros et al. (2010) em cultivo de flores com o uso de água residuária e suplementação mineral, verificando-se que o incremento de nitrogênio, apesar de propiciar incremento no número de botões e reduzir o tempo de emissão de botões, ocasionou efeito negativo quanto ao comprimento de haste, afetando a qualidade das flores produzidas.

Quanto ao efeito negativo do aumento do fator de depleção observado nas últimas colheitas, pode ter ocorrido devido ao aumento da concentração de íons em consequência da menor umidade do solo, tendo em vista que existe relação direta entre redução da umidade do solo e aumento da concentração iônica na solução do solo (LIMA, 2009).

4.4.2 Comprimento de haste

Houve efeito significativo da interação entre os fatores doses de nitrogênio (N) e fator de depleção da água no solo (f) para o comprimento de haste floral (CHF) nas

colheitas realizadas aos 150, 196 e 245 DAIT ($p < 0,01$), não sendo observada interação significativa entre os fatores nas duas primeiras colheitas, aos 45 e 95 DAIT ($p > 0,05$). Quanto ao efeito dos fatores isolados, com exceção da primeira colheita, quando não houve resposta significativa, nas demais colheitas o CHF foi afetado significativamente pelas doses de N ($p < 0,01$); já para o fator de depleção, houve resposta significativa nas cinco colheitas analisadas ($p < 0,01$) (Tabela 16).

Tabela 16 - Resumo da análise de variância para comprimento de haste floral (CHF) de roseiras cultivadas em ambiente protegido, submetidas a diferentes doses de nitrogênio e níveis de depleção da água no solo

Fontes de variação	Comprimento de haste floral (CHF)				
	45 DAIT	95 DAIT	150 DAIT	196 DAIT	245 DAIT
	-----Valores de F-----				
Doses de nitrogênio (N)	1,78 ^{ns}	13,09**	89,41**	61,30**	36,91**
Linear	3,64 ^{ns}	35,08**	159,80**	134,71**	109,72**
Quadrático	1,30 ^{ns}	4,10*	106,38**	41,30**	1,23 ^{ns}
Fator de depleção (f)	5,03**	8,55**	154,86**	75,58**	26,02**
Linear	13,57**	25,11**	449,12**	218,89**	76,42**
Quadrático	1,50 ^{ns}	0,08 ^{ns}	0,21 ^{ns}	3,82 ^{ns}	0,60 ^{ns}
N x f	0,73 ^{ns}	1,66 ^{ns}	4,99**	8,32**	3,53**
Blocos	0,67 ^{ns}	1,07 ^{ns}	0,42 ^{ns}	0,50 ^{ns}	0,13 ^{ns}
CV (%)	4,46	6,99	4,33	4,46	4,49
Média geral (cm)	66,42	59,92	53,60	47,87	52,36

** e * significativo a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente; ^{ns} - não significativo; CV - coeficiente de variação

Analisando a resposta da roseira aos tratamentos aplicados para cada colheita, verificou-se que na primeira colheita (45 DAIT) não houve efeito da adubação nitrogenada, obtendo-se CHF médio de 66,42 cm (Figura 37A). Denotando que o efeito do nitrogênio pode ocorrer a longo prazo, como observado nas pesquisas realizadas por Huché-Thélier et al. (2011), nas quais demonstraram que o regime contínuo de deficiência de nitrogênio proporcionou hastes mais assimétricas e menos vigorosas do que o regime sem deficiência nitrogênio.

Para o fator nível de depleção (f) foi ajustada uma equação de regressão para os níveis de N, sendo os dados ajustados à equação de regressão linear e negativa, com redução no CHF de aproximadamente 0,81 cm por aumento decimal no fator f. No maior nível de f obtiveram-se os menores valores de CHF (64,6 cm),

correspondente ao decréscimo total de 5,3% em comparação com o CHF obtido nas plantas irrigadas com o menor fator de depleção (Figura 37B).

Na segunda colheita (95 DAIT) foram observadas respostas diferenciadas para os fatores N e f. O aumento nas doses de N resultou em acréscimo no CHF, de forma que os maiores valores ocorreram na maior dose de N ($20 \text{ g planta}^{-1} \text{ ano}^{-1}$), com CHF médio de 64,08 cm, correspondente ao incremento de aproximadamente 14,9% em comparação com os valores obtidos na dose de N ($5 \text{ g planta}^{-1} \text{ ano}^{-1}$), com CHF de 55,76 cm (Figura 37C). Quanto ao efeito do fator de depleção, constatou-se que o aumento no fator de depleção acarretou em decréscimo no CHF na ordem de 1,565 cm por aumento decimal no fator f, de forma que no maior fator ($f = 0,60$) obtiveram-se os menores valores de CHF, com 56,40 cm (Figura 37D).

Analisando-se a resposta da roseira aos tratamentos aplicados sobre o CHF na terceira colheita (150 DAIT), verificou-se interação significativa entre os fatores, assim, realizou-se o desdobramento dos fatores, de forma que os dados foram ajustados a equações de regressão para cada nível de N dentro de f, e para cada nível de f dentro de N. Considerando o efeito das doses de N em cada nível de depleção, verificou-se que para os níveis de f de 0,15, 0,30 e 0,45, os dados apresentaram melhor ajuste a equações quadráticas com os maiores valores estimados para as doses de 11,2 ($f = 0,15$), 10,7 ($f = 0,30$) e 8,1 $\text{g planta}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ ($f = 0,45$), com CHF de 71,7; 67,3 e 55,3 cm, respectivamente. Para o fator f de 0,60, verificou-se resposta linear e negativa, com redução de aproximadamente 0,96 cm por aumento unitário nas doses de N, sendo os maiores valores obtidos para 5 $\text{g planta}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, com CHF de 55,7 cm (Figura 37E).

Quanto ao efeito dos níveis de depleção em cada dose de N, verificou-se que para todas as doses de N os dados foram ajustados a equações lineares, demonstrando que, independente da adubação nitrogenada, o aumento no fator de depleção resultou em decréscimo linear no CHF. Analisando as equações ajustadas, percebe-se que o efeito do aumento no fator de depleção foi mais acentuado nas doses de N equivalentes a 15 e 10 $\text{g planta}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, com decréscimo de aproximadamente 5,33 e 4,34 cm, respectivamente, por aumento decimal do fator de depleção. Pode-se constatar ainda que o efeito do aumento do fator de depleção foi menos acentuado na menor dose de N ($5 \text{ g planta}^{-1} \text{ ano}^{-1}$) (Figura 37F).

Figura 37 - Comprimento de haste floral (CHF) em função de doses de nitrogênio (A, C e E) e em função dos níveis de depleção da água no solo (B, D e F) aos 45 (A e B), 95 (C e D) e 150 (E e F) dias após início dos tratamentos (DAIT)

Na quarta colheita (196 DAIT), observou-se resposta variada para o aumento das doses de N de acordo com o fator de depleção adotado, sendo assim, ajustadas equações de regressão para cada fator. Para os fatores 0,15 e 0,30, os dados foram ajustados a equações quadráticas, com valores máximos estimados para as doses de 10,7 e 10,1 g planta⁻¹ ano⁻¹, com CHF de 59,0 e 54,5 cm, respectivamente. Para os fatores 0,45 e 0,60, verificou-se resposta linear e negativa, obtendo reduções de aproximadamente 0,56 e 0,47 cm por aumento unitário nas doses de N, sendo observados maiores valores na menor dose de N (5 g planta⁻¹ ano⁻¹), com CHF de 49,1 cm para o fator 0,45 e de 46,8 cm para o fator 0,60 (Figura 38A).

Quanto ao efeito dos níveis de depleção em cada dose de N, verificou-se que para as quatro doses os dados foram ajustados a equações lineares e negativas, com maiores reduções sendo observadas nas doses de 10 e 15 g planta⁻¹ ano⁻¹, com perdas de aproximadamente 4,13 e 3,09 cm, respectivamente, por incremento decimal nos níveis do fator de depleção (Figura 38B).

Para a quinta colheita (245 DAIT) verificou-se que para todos os níveis de depleção, houve resposta linear e decrescente do CHF para as doses de N, no entanto, o efeito variou de acordo com o fator considerado. O efeito do aumento nas doses de N foi mais acentuado no fator 0,15, com decréscimo de aproximadamente 0,84 cm, para o aumento de cada unidade nas doses de N, enquanto que nos fatores 0,30 e 0,45 ocorreram respostas semelhantes, com reduções de 0,58 e 0,52, respectivamente para cada g de N acrescentado (Figura 38C).

Com relação ao efeito dos níveis de depleção em cada nível de N, verificaram-se respostas lineares e negativas para o aumento da depleção nas doses 5, 10 e 15 g planta⁻¹ ano⁻¹, com decréscimos de 19,4; 24,6 e 14,1 cm, respectivamente. Para a dose de N referente a 20 g planta⁻¹ ano⁻¹ não houve efeito do fator de depleção, sendo obtido CHF médio de 47,52 cm (Figura 38D).

Menores frequências (F_3 e F_4) de fertirrigação (Figuras 37B, D, F e 38B, D) e maior tensão da água no solo de 35,11 e 72,51 kPa (Tabela 4) proporcionam menores CHF, assim como observado em trabalho realizado por Chimonidou-Pavlidou (1998) com três níveis de sombreamento e quatro frequências de irrigação em rosas cultivadas em ambiente protegido, manejando a irrigação com tanque Classe A. Esse autor observou que os tratamentos irrigados seis e três vezes por

semana apresentaram tensão da água no solo de 44 e 52 kPa, respectivamente. As outras frequências de irrigação, de um e dois dias por semana apresentaram valores de tensão de 100kPa. Ficou evidenciado que menor frequência de irrigação reduziu o comprimento das hastes comerciais.

Figura 38 - Comprimento de haste floral (CHF) em função de doses de nitrogênio (A e C) e em função dos níveis de depleção da água no solo (B e D) para 196 (A e B) e 245 (C e D) dias após início dos tratamentos (DAIT)

Os resultados obtidos neste trabalho demonstram a importância do manejo da irrigação para se obter hastes de melhor qualidade, com ênfase principal para o manejo da fertirrigação nitrogenada, na qual verificou-se que na maioria dos casos o aumento das doses de N proporcionou efeito deletério sobre o CHF nas plantas submetidas aos maiores níveis de depleção, concordando com resultados obtidos em estudos realizados por Casarini (2000), que demonstrou que o crescimento das hastes está relacionado com a lâmina de água aplicada, havendo um aumento no valor médio da altura das hastes em função da quantidade de água disponível pela irrigação. Casarini (2004) afirma também que o aumento nas doses de nitrogênio aplicado pode ocasionar uma redução no comprimento das hastes das rosas.

Estresse hídrico temporário causou reduções significativas no CHF e afetou a PCHF, concordando parcialmente com os resultados verificados por Chimonidou-Pavlidou (1999), que testando estresse hídrico em rosas, em várias fases do desenvolvimento de hastes comerciais, verificou que o estresse hídrico durante a formação da primeira folha da haste atrasou a colheita, reduziu a produção em até 70%, a qualidade através da redução do comprimento da haste, da massa fresca e do florescimento dos brotos produtores.

4.4.4 Comprimento de botão floral

Não foi observado efeito significativo da interação entre os fatores doses de nitrogênio e níveis de depleção da água no solo para o comprimento do botão floral (CBF) ($p > 0,05$), sendo observado, no entanto, efeito significativo dos fatores isolados. Com exceção da primeira colheita (45 DAIT), na qual não houve resposta a adubação nitrogenada ($p > 0,05$), nas demais colheitas verificou-se que o aumento nas doses de N afetou o CBF ($p < 0,01$). Com relação ao efeito dos níveis de depleção, verificou-se que em todas as colheitas ocorreu resposta significativa ($p < 0,01$) (Tabela 17).

Na colheita realizada aos 45 DAIT não houve diferença significativa à adubação nitrogenada, obtendo-se CBF médio de 59,45 mm (Figura 39A). Quanto ao efeito do fator de depleção, verificou-se que o aumento no intervalo entre irrigações (aumento no fator depleção) resultou em redução no CBF na ordem de 1,59 cm por aumento decimal no fator de depleção. Os maiores valores ocorreram

nas plantas submetidas ao fator de depleção igual a 0,15, com CBF médio de 63,04 mm, enquanto que o menor CBF foi estimado para o maior fator de depleção da água no solo ($f = 0,60$), com CBF de 55,87 mm, correspondente ao decréscimo de aproximadamente 11,4% (Figura 39B).

Tabela 17 - Resumo da análise de variância para comprimento de botão floral (CBF) de roseiras cultivadas em ambiente protegido, submetidas a diferentes doses de nitrogênio e níveis de depleção da água no solo

Fontes de variação	Comprimento de botão floral (CBF)				
	45 DAIT	95 DAIT	150 DAIT	196 DAIT	245 DAIT
	-----Valores de F-----				
Doses de nitrogênio (N)	1,66 ^{ns}	12,82**	24,73**	27,55**	37,39**
Linear	3,38 ^{ns}	2,26 ^{ns}	36,98**	64,87**	103,37**
Quadrático	0,01 ^{ns}	32,27**	37,08**	11,87**	2,40 ^{ns}
Fator de depleção (f)	4,94**	18,14**	37,09**	25,46**	15,38**
Linear	9,77**	47,81**	107,55**	75,79**	43,56**
Quadrático	18,73**	0,23 ^{ns}	1,95 ^{ns}	0,02 ^{ns}	0,03 ^{ns}
N x f	0,57 ^{ns}	1,16 ^{ns}	0,84 ^{ns}	1,06 ^{ns}	0,91 ^{ns}
Blocos	0,94 ^{ns}	1,53 ^{ns}	6,69**	4,16*	1,88 ^{ns}
CV (%)	3,89	7,11	7,44	8,17	6,88
Média geral (mm)	59,45	51,82	48,69	47,48	49,88

** e * significativo a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente; ^{ns} - não significativo; CV - coeficiente de variação

Para a segunda colheita realizada a partir dos 95 DAIT verificou-se que o CBF foi afetado pelo aumento nas doses de N, inicialmente de forma positiva até a dose de 11,9 g planta⁻¹ ano⁻¹ (55,1 mm), correspondente ao incremento de aproximadamente 9,9% em comparação com os resultados obtidos na menor dose (5 g planta⁻¹ ano⁻¹), na qual obteve-se CBF médio de 50,14 mm (Figura 39C).

O CBF foi afetado significativamente pelo aumento no fator de depleção para 95 DAIT, com os dados apresentando melhor ajuste a equação de regressão linear e decrescente, sendo observado decréscimo de aproximadamente 1,89 mm por aumento decimal do fator de depleção. No maior nível ($f = 0,60$) ocorreram os menores valores de CBF (47,5 mm), correspondendo uma redução de 15,3% em comparação aos valores encontrados nas plantas submetidas ao menor fator ($f = 0,15$), com 56,1 mm (Figura 39D).

Figura 39 - Comprimento de botão floral (CBF) em função de doses de nitrogênio (A, C e E) e em função dos níveis de depleção da água no solo (B, D e F) aos 45 (A e B), 95 (C e D) e 150 (E e F) dias após início dos tratamentos (DAIT)

Na 3ª colheita (150 DAIT) verificou-se comportamento semelhante à colheita anterior, com os dados referentes a resposta à adubação nitrogenada apresentando melhor ajuste à equação quadrática, com maior estimativa para a dose de 10,3 g planta⁻¹ ano⁻¹, com CBF de 52,8 mm (Figura 39E). Também verificou-se

semelhança na resposta da cultura aos níveis de fator de depleção, obtendo-se resposta linear e decrescente. Verificou-se que o aumento de um décimo no fator depleção resultou em redução de aproximadamente 2,8 mm no CBF, ocorrendo redução de 22,9% para F_4 , no qual se obteve CBF médio de 42,4 mm, enquanto no menor nível (0,15) ocorreu maior CBF, com 55,0 mm (Figura 39F).

Analisando o CBF na quarta colheita realizada aos 196 DAIT, verificou-se que o aumento nas doses de N resultou em incremento no CBF até a dose de $7,3 \text{ g planta}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ (51,4 mm), decrescendo a partir deste nível, e obtendo-se os menores valores na maior dose de N ($20 \text{ g planta}^{-1} \text{ ano}^{-1}$), com 40,6 mm (Figura 40A). Quanto ao efeito do fator da depleção da água no solo, verificou-se que o aumento de um décimo neste fator resultou em decréscimo de aproximadamente 2,52 mm no CBF, de forma que os menores valores ocorreram no maior fator de depleção ($f = 0,60$), com CBF médio de 41,8 mm, correspondente a redução de 21,3% em comparação com os valores obtidos no menor fator ($f = 0,15$), com 53,1 mm (Figura 40B).

Para o CBF na quinta colheita (245 DAIT) verificou-se que tanto para o efeito das doses de N (Figura 40C), quanto para o fator da depleção da água no solo (Figura 40D), observou-se que o aumento desses fatores resultou em decréscimo no CBF, de forma que para ambos os casos, os dados obtidos foram ajustados a equações lineares e decrescentes. O aumento de 1,0 grama de N por planta ao ano resultou em decréscimo de aproximadamente 0,77 mm no CBF, sendo observado na maior dose de N ($20 \text{ g planta}^{-1} \text{ ano}^{-1}$) o menor valor do CBF (44,1 mm), enquanto o maior valor ocorreu na menor dose de N ($5,0 \text{ g planta}^{-1} \text{ ano}^{-1}$), com CBF médio de 55,7 mm (Figura 40C).

A partir destes resultados, pode-se constatar efeito negativo da adubação nitrogenada sobre o CBF, sendo esse parâmetro qualitativo bastante sensível ao aumento da dose de N e acúmulo de sais no solo ao longo do experimento, sendo o efeito nocivo mais agravado ao longo do ciclo produtivo, tendo em vista que a estrutura utilizada no cultivo das plantas não permitia a drenagem e a lixiviação dos sais. Ressaltando a importância do monitoramento da solução do solo como subsídio para cálculo da dose de N necessária para atingir máxima produção em

termos quantitativos e qualitativos, e consequentemente evitar deficiência nutricional ou possibilidades de perdas de nutrientes.

No tocante ao efeito do fator de depleção, verificou-se que o aumento decimal deste fator resulta em redução em aproximadamente 1,67 mm no CBF, sendo observados os maiores valores nas plantas submetidas ao manejo da irrigação adotando-se o menor fator de depleção (0,15), no qual obteve CBF médio de 53,6 mm. Este valor é superior em aproximadamente 14,0% em comparação com os resultados obtidos no maior fator de depleção (0,60), com CBF de 46,1 mm (Figura 40D).

Figura 40 - Comprimento de botão floral (CBF) em função de doses de nitrogênio (A e C) e em função dos níveis de depleção da água no solo (B e D) aos 150 (A e B) e 245 (C e D) dias após início dos tratamentos (DAIT)

Em todas as colheitas, o aumento nos níveis de depleção da água no solo resultou em decréscimo no CBF, independente da adubação nitrogenada. Tal comportamento pode ser um indício que a roseira é susceptível ao estresse hídrico

temporário, de forma que para se obter elevada produção com elevada qualidade das hastes, as irrigações devem ser realizadas com maior frequência, de forma a manter a umidade disponível no solo próximo à capacidade de campo. Outra provável causa da redução nas variáveis analisadas em resposta ao aumento do fator de depleção pode ser a consequência do aumento da concentração iônica na solução do solo, pois com o aumento do intervalo entre irrigações a condutividade elétrica da solução do solo tende a aumentar, conforme resultados observados por Rodrigues, Minami e Farina (1999).

A imposição do fator de depleção da água no solo é considerado como estresse temporário, reduzindo a umidade disponível e aumentando CE do meio radicular, refletindo em reduções no CBF em todas as colheitas, corroborando com resultados encontrados por Chimonidou-Pavlidou (2004), que testando estresse hídrico em rosas, em várias fases do desenvolvimento de hastes comerciais, verificou que o estresse hídrico durante o início da formação do botão floral, observou que o desenvolvimento da flor foi muito sensível ao estresse hídrico antes da formação das pétalas e da inicialização dos estames, e comprometeu a qualidade, pela redução do comprimento e do tamanho do botão. No entanto, divergindo dos resultados verificados por Katsoulas (2005), o qual verificou que o comprimento dos botões das rosas não foi afetado pelos tratamentos (alta e baixa frequência de irrigação)

4.4.5 Diâmetro de haste

Não houve efeito significativo da interação entre os fatores doses de nitrogênio (N) e fator de depleção da água no solo (f) sobre o DHF na primeira colheita (45 DAIT). Para as demais colheitas houve interação significativa entre os fatores, sendo observada significância ao nível de 1% de probabilidade aos 94, 150 e 196 DAIT, e ao nível de 5% aos 245 DAIT. Quanto ao efeito dos fatores isolados, verificou-se que, para os níveis de N, com exceção da primeira colheita (45 DAIT), houve resposta significativa nas demais colheitas ($p < 0,01$); enquanto para o efeito dos níveis de depleção da água no solo verificou-se resposta significativa em todas as colheitas ($p < 0,01$) (Tabela 18).

Analisando a resposta da roseira aos tratamentos aplicados sobre o DHF na primeira colheita, como não houve efeito significativo da adubação nitrogenada, não foi possível ajustar nenhuma equação de regressão, sendo obtido um DHF médio de 5,95 mm para os quatro níveis de N (Figura 41A).

Tabela 18 - Resumo da análise de variância para diâmetro de haste floral (DHF) de roseiras cultivadas em ambiente protegido, submetidas a diferentes doses de nitrogênio e níveis de depleção da água no solo

Fontes de variação	Diâmetro de haste floral (DHF)				
	45 DAIT	95 DAIT	150 DAIT	196 DAIT	245 DAIT
	-----Valores de F-----				
Doses de nitrogênio (N)	0,81 ^{ns}	41,45**	53,05**	94,67**	57,38**
Linear	0,04 ^{ns}	61,51**	83,44**	208,41**	170,60**
Quadrático	1,98 ^{ns}	57,18**	75,29**	66,01**	0,43 ^{ns}
Fator de depleção (f)	45,88**	69,75**	59,24**	55,91**	26,78**
Linear	96,98**	202,29**	170,02**	163,56**	79,59**
Quadrático	37,09**	6,91*	1,54 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,07 ^{ns}
N x f	1,00 ^{ns}	4,79**	4,78**	4,63**	2,70*
Blocos	2,56 ^{ns}	0,63 ^{ns}	0,29 ^{ns}	0,18 ^{ns}	0,05 ^{ns}
CV (%)	4,60	4,67	4,82	4,93	4,40
Média geral (mm)	5,80	5,00	4,81	4,68	4,36

** e * significativo a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente; ^{ns} - não significativo; CV - coeficiente de variação

Para o efeito do fator de depleção, observou-se que os dados apresentaram melhor ajuste à equação quadrática. O aumento deste fator proporcionou, inicialmente, incremento no DHF até o nível $f = 0,26$, obtendo-se DHF de 6,3 mm. A partir deste nível verificou-se resposta negativa, sendo observadas no maior nível ($f = 0,60$) hastes florais com diâmetro médio de 5,3 mm, equivalente a redução de aproximadamente 15,9% (Figura 41B).

Para a segunda colheita (95 DAIT) houve interação entre os fatores estudados, realizou-se o desdobramento entre os fatores, para se avaliar o efeito dos níveis de N e cada nível do fator de depleção, bem como o efeito do fator de depleção em cada nível de N. Na Figura 41C é mostrado o comportamento do DHF em função da adubação nitrogenada, na qual pode-se observar que para os quatro níveis do fator de depleção os dados foram ajustados em equações quadráticas, sendo os maiores valores de DHF estimados para as doses de nitrogênio de

11,7, 11,3, 5,0 e 9,4 g planta⁻¹ ano⁻¹, obtendo-se 5,8; 5,6; 5,1 e 4,9 mm, para os fatores F₁, F₂, F₃ e F₄, respectivamente. Pode-se observar ainda que nos fatores F₂, F₃ e F₄, quanto se aplicou a maior dose de N se obteve hastes com menores diâmetros, com reduções de aproximadamente 21,7; 17,7 e 20,5%, em comparação com os maiores DHF encontrados para cada fator de depleção (Figura 41C).

Figura 41 - Diâmetro de haste floral (DHF) em função de doses de nitrogênio (A e C) e em função dos níveis de depleção da água no solo (B e D) aos 45 (A e B) e 95 (C e D) dias após início dos tratamentos (DAIT)

Quanto ao efeito do fator de depleção, verificou-se que em todos os níveis de N houve redução no DHF em consequência do aumento no fator de depleção, sendo que o efeito mais expressivo ocorreu nas plantas fertirrigadas com as doses de

10 e 20 g planta⁻¹ ano⁻¹, obtendo-se as maiores reduções para os coeficientes angulares 3,2 e 3,4, com redução total de 24,2 e 29,7% para o intervalo ajustado, respectivamente (Figura 41D).

Na terceira colheita (150 DAIT) foi observado que o efeito das doses de N sobre o DHF variou de acordo com o fator de depleção adotado, sendo verificado que para os fatores F₁ e F₂ obteve-se modelos quadráticos com os maiores valores estimados para as doses de 11,5 e 11,3 g planta⁻¹ ano⁻¹, com DHF de 5,8 e 5,6 mm, respectivamente. Para os fatores F₃ e F₄, verificou-se resposta linear decrescente, com maiores valores na menor dose de N (5 g planta⁻¹ ano⁻¹), na qual obteve DHF médio de 5,0 e 4,7 mm; enquanto na maior dose de N (20 g planta⁻¹ ano⁻¹) ocorreram os menores valores, com 4,2 e 3,9 mm, correspondente a reduções totais de 16,0 e 17,0%, para F₃ e F₄, respectivamente (Figura 42A).

Verificou-se que nas quatro doses de N o aumento no fator de depleção provocou redução no DHF, com efeitos mais severos nas plantas fertirrigadas com as doses de 10 e 15 g planta⁻¹ ano⁻¹, com reduções mais expressivas para as equações com coeficientes de aproximadamente 3,0 e 3,4 nos níveis N₂ e N₃, em resposta ao aumento do fator de depleção (Figura 42B).

Para a quarta colheita (196 DAIT) verificou-se comportamento semelhante ao observado na colheita anterior (150 DAIT), na qual o efeito da adubação nitrogenada foi variável dependendo do fator de depleção da água no solo. Para os fatores F₁ (0,15), F₂ (0,30) e F₃ (0,45) os dados foram melhor ajustados ao modelo quadrático, com os maiores DHF estimados para as doses de 9,1 g planta⁻¹ ano⁻¹ para F₁ (DHF = 5,8 mm), 10,2 g planta⁻¹ ano⁻¹ para F₂ (DHF = 5,5 mm) e dose de 8,9 g planta⁻¹ ano⁻¹ para o fator F₃ (DHF = 4,8 mm). A partir destas doses verificou-se grande decréscimo no DHF, com maiores reduções para F₁ e F₂, com perdas de aproximadamente 31,3 e 26,2%, respectivamente. Para F₄ foi observada resposta linear e negativa, de forma que o DHF foi reduzido com o aumento nas doses de N, sendo o maior valor obtido na menor dose de N (5 g planta⁻¹ ano⁻¹), com DHF médio de 4,8 mm, enquanto na maior dose de N (20 g planta⁻¹ ano⁻¹) obteve hastes com menor diâmetro (3,7 mm), correspondente ao decréscimo de aproximadamente 22,9% (Figura 42C).

Quanto ao efeito dos níveis de depleção para cada dose de N, verificou-se que para todas as doses de N, as hastes apresentaram reduções no diâmetro com o aumento do fator de depleção, com as maiores reduções ocorrendo nas doses de 10 e 15 g planta⁻¹ ano⁻¹, nas quais obtiveram-se reduções de aproximadamente 0,32 e 0,30 mm por aumento decimal no fator de depleção. Os menores valores ocorreram no maior fator de depleção ($f = 0,60$), no qual foram observados DHF de 4,5 mm para as doses de 5 e 10 g planta⁻¹ ano⁻¹; 3,9 mm para 15 g planta⁻¹ ano⁻¹; e de 3,8 mm para a dose de 20 g planta⁻¹ ano⁻¹ (Figura 42D).

Figura 42 - Diâmetro de haste floral (DHF) em função de doses de nitrogênio (A e C) e em função dos níveis de depleção da água no solo (B e D) aos 150 (A e B) e 196 (C e D) dias após início dos tratamentos (DAIT)

Com relação à quinta colheita (245 DAIT), verificou-se que independentemente do fator de depleção adotado, o aumento nas doses de N resultou em decréscimo no DHF, no entanto, houve variação quanto ao grau desse efeito. As maiores perdas ocorreram nos fatores F₁ e F₃, nos quais se obteve perdas

totais de aproximadamente 21,2 e 20,1%, respectivamente, nos valores de DHF obtidos na maior dose de N ($20 \text{ g planta}^{-1} \text{ ano}^{-1}$) em comparação com os valores obtidos na menor dose de N ($5 \text{ g planta}^{-1} \text{ ano}^{-1}$), nos quais foram observados os maiores valores (Figura 43A).

Quanto ao efeito dos níveis de depleção, foi observado efeito negativo do aumento no intervalo de irrigação sobre o DHF nas plantas fertirrigadas com as doses de 5, 10 e 15 $\text{g planta}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, com maiores perdas ocorrendo nas doses 5 e 10 $\text{g planta}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, nas quais ocorreram reduções de aproximadamente 0,167 mm por aumento decimal no fator de depleção, de forma que no maior fator ($F_4 = 0,6$) ocorreram perdas de 15%. Para a dose 20 $\text{g planta}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ não houve efeito do fator de depleção, sendo observado DHF médio de 3,91 mm (Figura 43B).

Figura 43 - Diâmetro de haste floral (DHF) em função de doses de nitrogênio (A) e em função dos níveis de depleção da água no solo (B) aos 245 dias após início dos tratamentos (DAIT)

A partir desses resultados, pode-se observar que, na maioria das colheitas estudadas o aumento do intervalo entre irrigações acarretou em resposta negativa da roseira quanto ao DHF, o que pode ser um indício da sensibilidade das plantas ao estresse hídrico temporário, tendo em vista que hastes com maior diâmetro foram obtidas quando adotou-se o menor fator de depleção. Pode-se constatar ainda que

quando se adotou o fator F_4 (0,60) houve resposta negativa à adubação nitrogenada, o que pode ser explicado, em parte, pela maior concentração de sais na solução do solo.

Cabe ressaltar a importância da disponibilidade hídrica e de nutrientes no solo para garantir a qualidade de hastes, principalmente o diâmetro e comprimento, como observado em cultivo de rosas "Osiana" em ambiente protegido na região de Atibaia-SP e sob diferentes lâminas de irrigação com base em frações de evaporação (f) do tanque evaporimétrico reduzido, quando Folegatti, Casarini e Blanco (2001) observaram tendência linear de aumento do comprimento e diâmetro das hastes e botões florais com o incremento das lâminas.

4.4.6 Índice de área foliar

Houve efeito significativo da interação entre os fatores estudados apenas nas 4ª (196 DAIT) e 5ª (245 DAIT) colheitas, ao nível de significância de 5 e 1% de probabilidade, respectivamente, sobre o índice de área foliar (IAF). Quanto ao efeito dos fatores isolados, verificou-se efeito da adubação nitrogenada em todas as colheitas, variando o grau de significância, obtendo-se resposta significativa ao nível de significância de 1% para as 2ª, 3ª e 5ª colheitas, e ao nível de 5% para as 1ª e 4ª colheitas. No tocante ao efeito isolado nos níveis de depleção, foi observada diferença significativa ($p < 0,01$) nas 2ª, 3ª e 5ª colheitas e na 4ª colheita ($p < 0,05$), não ocorrendo efeito significativo na primeira (45 DAIT) colheita (Tabela 19).

Na primeira colheita (45 DAIT) houve resposta apenas para a adubação nitrogenada, de forma que os maiores valores ocorreram na maior dose de N ($20 \text{ g planta}^{-1} \text{ ano}^{-1}$), com IAF de 1,33, equivalente ao aumento de aproximadamente 9,0% com comparação com o IAF obtido na menor dose de nitrogênio, com IAF de 1,22 (Figura 44A). Quanto ao efeito dos níveis de depleção, não foi observada resposta significativa, obtendo-se IAF médio de 1,27 (Figura 44B).

Analisando o efeito dos tratamentos aplicados no IAF na segunda colheita (95 DAIT), como só houve efeito isolado dos fatores, ajustando-se apenas uma equação de regressão para avaliar o efeito da adubação nitrogenada (Figura 44C), bem como dos níveis de depleção da água no solo (Figura 44D).

Tabela 19 - Resumo da análise de variância para índice de área foliar (IAF) de roseiras cultivadas em ambiente protegido, submetidas a diferentes doses de nitrogênio e níveis de depleção da água no solo

Fontes de variação	Índice de área foliar (IAF)				
	45 DAIT	95 DAIT	150 DAIT	196 DAIT	245 DAIT
	-----Valores de F-----				
Doses de nitrogênio (N)	3,39*	48,57**	40,22**	56,33*	72,11**
Linear	8,16**	49,72**	34,31**	122,21**	212,29**
Quadrático	1,31 ^{ns}	79,43**	81,90**	33,13**	2,36 ^{ns}
Fator de depleção (f)	2,41 ^{ns}	5,35**	15,43**	31,18*	32,09**
Linear	6,71*	12,74**	38,41**	90,60**	91,93 ^{ns}
Quadrático	0,01 ^{ns}	2,17 ^{ns}	1,45 ^{ns}	2,95 ^{ns}	3,03 ^{ns}
N x f	0,45 ^{ns}	0,98 ^{ns}	1,83 ^{ns}	3,44*	3,15**
Blocos	1,55 ^{ns}	0,20 ^{ns}	1,01 ^{ns}	0,97 ^{ns}	0,52 ^{ns}
CV (%)	9,24	10,29	11,38	10,58	9,51
Média geral	1,28	1,33	1,42	1,18	1,28

** e * significativo a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente; ^{ns} - não significativo; CV - coeficiente de variação

Para o efeito das doses de N verificou-se que os dados apresentaram melhor ajuste à equação quadrática, com o máximo IAF estimado para a dose de 14,3 g planta⁻¹ ano⁻¹, com IAF igual a 1,54, correspondente ao aumento de aproximadamente 51,0% em relação à menor dose, na qual obteve IAF de 1,02 (Figura 44C). Esses valores são menores que os obtidos por Casarini (2004) que observou valor médio total de IAF foi de 1,99. Em relação às doses de nitrogênio para a segunda colheita, o tratamento N₁ e N₂ (10 e 20 g planta⁻¹ ano⁻¹) apresentaram as maiores médias com valores de 1,28 e 1,25, respectivamente. A menor média observada foi de 1,14 para o tratamento N₃ (30 g planta⁻¹ ano⁻¹), contudo o IAF não foi afetado pelas doses de N, contrariamente ao presente estudo, que teve o IAF afetado pelos tratamentos em todas as colheitas (Tabela 19)

Quanto ao efeito do fator de depleção, verificou-se que o aumento no intervalo entre irrigações resultou em decréscimo no IAF, de forma que os dados foram ajustados à equação linear decrescente, com maior valor obtido em F₁ (1,41), e menor em F₄ (1,25), resultando em perda total de 11,3% (Figura 44D).

Figura 44 - Índice de área foliar (IAF) em função de doses de nitrogênio (A, C e E) e em função do fator de depleção da água no solo (B, D e F) para 45 (A e B), 95 (C e D) e 150 (E e F) dias após início dos tratamentos (DAIT)

Na terceira colheita (150 DAIT) foi observado comportamento semelhante ao ocorrido na segunda colheita, com os dados obtidos sendo ajustados ao modelo quadrático para o efeito das doses de N, e linear decrescente o fator de depleção da água no solo. O maior IAF foi estimado para a dose de 11,1 g planta⁻¹ ano⁻¹, com IAF

igual a 1,66, superior em aproximadamente 16,3% quando comparado com o valor obtido na menor dose N_1 (IAF = 1,39). No entanto, o aumento das doses de N provocou redução no IAF, de forma que na dose de 20 g planta⁻¹ ano⁻¹ obteve-se IAF de 1,07, correspondente ao decréscimo de 35,5% em comparação com a dose de proporcionou o máximo IAF (Figura 44E).

O aumento do intervalo entre irrigações resultou em decréscimo no IAF, sendo observada redução em cerca de 0,075 no IAF, em resposta ao aumento decimal (0,01 ou 1,0%) no fator de depleção, de forma que em F_4 obteve o menor valor de IAF (1,25), o equivalente a perda total de 20,9% em comparação com o IAF encontrado para F_1 (Figura 44F).

Para a quarta colheita (196 DAIT) constatou-se interação entre os fatores estudados, de forma que para avaliar o efeito da adubação nitrogenada foram ajustadas equações de regressão específicas para cada nível de depleção da água no solo. Para os fatores F_1 , F_2 e F_3 os dados obtidos foram ajustados em equações quadráticas com maiores valores estimados para as doses de 9,5; 9,2 e 9,2 g planta⁻¹ ano⁻¹, com IAF de 1,65 (F_1), 1,43 (F_2) e 1,25 (F_3), respectivamente, decrescendo a partir destas doses e com menores valores observados na maior dose de N (20 g planta⁻¹ ano⁻¹), na qual obteve IAF de 0,93 para F_1 , 0,84 para F_2 e 0,77 para F_3 . Para o fator de depleção F_4 ($f = 0,6$) verificou-se resposta linear e decrescente ao aumento das doses de N, de forma que o menor IAF ocorreu na dose 20 g planta⁻¹ ano⁻¹, obtendo-se IAF igual a 0,82 (Figura 45A).

Quanto ao efeito dos níveis de depleção da água no solo, observou-se que, em todos os níveis de N, o aumento no intervalo entre irrigações provocou redução no IAF, com maior destaque nas doses 10 e 15 g planta⁻¹ ano⁻¹, nas quais foram observadas as maiores reduções quando se utilizou o fator F_4 ($f = 0,6$). Nestas doses de nitrogênio obtiveram-se valores de IAF de 1,06 (10 g planta⁻¹ ano⁻¹) e 0,89 (15 g planta⁻¹ ano⁻¹), equivalentes a perdas de aproximadamente 40,4 e 33,1% com comparação com os valores obtidos no menor fator de depleção ($f = 0,15$) (Figura 45B).

Figura 45 - Índice de área foliar (IAF) em função de doses de nitrogênio (A e C) e em função dos níveis de depleção da água no solo (B e D) aos 196 (A e B) e 245 (C e D) dias após início dos tratamentos (DAIT)

Quanto ao efeito dos tratamentos na quinta colheita (245 DAIT), verificou-se que o IAF da roseira foi afetado negativamente pelo aumento nas doses de N (Figura 43C), bem como pelo aumento no fator de depleção da água no solo

(Figura 43C). Para o efeito das doses de N, ajustaram-se equações de regressão para cada fator de depleção, nas quais se observou que os maiores valores de IAF ocorreram na menor dose de N, com IAF de 1,96 (F_1), 1,59 (F_2), 1,50 (F_3) e 1,28 (F_4). O efeito da adubação nitrogenada foi mais expressivo no IAF das plantas irrigadas utilizando o fator de depleção F_1 , no qual foi observada redução total de 45,4% entre a dose de 20 g planta⁻¹ ano⁻¹ (IAF de 1,07), em comparação com os valores obtidos na menor dose de N (5 g planta⁻¹ ano⁻¹), na qual se obteve IAF de 1,96 (Figura 45C).

No tocante ao efeito dos níveis de depleção da água no solo, notou-se que, o aumento no intervalo entre irrigações acarretou em decréscimo no IAF nas plantas fertirrigadas com as doses de 5, 10 e 15 g planta⁻¹ ano⁻¹. As maiores reduções foram observadas nas duas primeiras doses (5 e 10 g planta⁻¹ ano⁻¹), de forma que no fator F_4 ($f = 0,60$) ocorreram os menores valores, com IAF de 1,28 (5 g planta⁻¹ ano⁻¹) e 1,10 (10 g planta⁻¹ ano⁻¹). Para as plantas fertirrigadas com a maior dose de N (20 g planta⁻¹ ano⁻¹) não foi observada resposta significativa dos níveis de depleção, obtendo-se IAF médio de 0,95 (Figura 45D). Apesar de ter ocorrido resposta nesta dose, pode-se verificar que na mesma ocorreram plantas com os menores IAF, provavelmente em consequência do maior acúmulo de sais nessa e/ou efeito nocivo do excesso de nitrogênio.

4.4.7 Fitomassa de hastes

As fitomassas das hastes colhidas na 5ª colheita foram particionadas, quantificadas em termos médios e denominadas de fitomassas frescas e secas de folhas (FFF) e (FSF), de haste (FFH) e (FSH), de botão (FFB) e (FSB) e total (FFT) e (FST) (Tabela 20).

De acordo com análise de variância é possível inferir que houve efeito significativo dos fatores isolados (N e f) para todas as variáveis estudadas ao nível de 1% de probabilidade, exceto para FSF ($p < 0,05$) que não foi afetada pelos níveis de depleção, não obtendo-se interação significativa para todas as variáveis estudadas, exceto para FSF que foi afetada significativamente ($p < 0,05$) pela interação dos fatores (Tabela 20)

Tabela 20 - Resumo da análise de variância para fitomassa fresca e seca de folha (FFF) e (FSF), de haste nua (FFH) e (FSH), de botão (FFB) e (FSB) e total (FFT) e (FST) de hastes de roseiras cultivadas em ambiente protegido, submetidas a diferentes doses de nitrogênio e níveis de depleção da água no solo

Fonte de variação	Variáveis							
	FFF	FFH	FFB	FFT	FSF	FSH	FSB	FST
	----- Valores de F -----							
Doses de (N)	3,50*	39,84**	13,95**	14,68**	30,55**	39,78**	4,57**	42,56**
Linear	1,84 ^{.ns}	109,56**	36,43**	29,45**	85,55**	114,54**	12,73**	121,56**
Quadrático	7,03**	1,23 ^{.ns}	4,97*	10,85**	2,11 ^{.ns}	0,04 ^{.ns}	0,22 ^{.ns}	0,74 ^{.ns}
Depleção (f)	18,13**	25,96**	6,86**	29,33**	24,53**	7,84**	0,54 ^{.ns}	14,24**
Linear	36,62**	76,33**	19,59**	72,75**	62,84**	21,59**	0,26 ^{.ns}	41,72**
Quadrático	16,15**	0,60 ^{.ns}	0,50 ^{.ns}	14,84**	10,02**	1,16 ^{.ns}	0,78 ^{.ns}	0,96 ^{.ns}
N x f	1,15 ^{.ns}	3,53 ^{.ns}	0,71 ^{.ns}	1,01 ^{.ns}	2,27*	0,96 ^{.ns}	0,87 ^{.ns}	1,27 ^{.ns}
Blocos	5,19**	0,13 ^{.ns}	0,21 ^{.ns}	3,70*	4,30**	0,29 ^{.ns}	0,16 ^{.ns}	1,45 ^{.ns}
CV (%)	18,35	4,49	9,55	7,75	28,82	23,71	13,56	19,56
MG (g haste ⁻¹)	10,91	10,47	8,74	30,12	1,92	2,89	1,24	6,05

** e * significativo a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente; ^{.ns} - não significativo; CV - coeficiente de variação; MG - média geral

De forma semelhante, os componentes de produção para a 5ª colheita, fitomassa fresca (FFF) foi maximizada (11,78 g haste⁻¹) com a dose de 11,4 g planta⁻¹ ano⁻¹ de N, sendo esse valor 14% superior ao segundo nível de fator N. Apesar de superior FFF obtida para essa dose de N, esse valor foi superior em apenas 9,2, 0,4, 3,0 e 16% quando comparados com os valores de FFF obtidos nos níveis N₁, N₂, N₃ e N₄, respectivamente (Figura 46A). No entanto a FFF (Figura 46B) e FFH (Figura 46D) sofreram influência decrescente em função do aumento do nível de depleção da água no solo; a FFH em função das doses de N também sofreu redução linear de aproximadamente 11% entre os níveis do fator estudado (Figura 46C).

Figura 46 - Fitomassa fresca de folhas (FFF) e de haste nua (FFH) em função de doses de nitrogênio (A e C) e de níveis de depleção da água no solo (B e D) para o período da 5ª colheita iniciada aos 245 dias após início dos tratamentos (DAIT)

Ao analisar os componentes FFB e FFT em função das doses de nitrogênio (Figura 47A e C) e dos níveis de depleção (Figura 47B e D), verificou-se decréscimo em todos os casos, no entanto, observou-se redução de 13,18 e 19,97% na estimativa da FFT entre os níveis extremos das doses de N e do fator de depleção, respectivamente (Figura 47C e D). Esses resultados corroboram em parte com aquilo obtido por Munns (2002), que verificou que efeito osmótico da salinidade e excesso de íons induz alterações metabólicas na planta idêntica a aqueles causados por estresse hídrico. Reduções na produção de biomassa e crescimento também foram observadas por Soussi et al. (1998); Shani e Ben-Gal (2005); Zhao et al. (2007).

Figura 47 - Fitomassa fresca de botões florais (FFB) e total (FFT) em função de doses de nitrogênio (A e C) e dos níveis de depleção da água no solo (B e D) para o período da 5ª colheita iniciada aos 245 dias após início dos tratamentos (DAIT)

Analisando-se o desdobramento da interação (N x f) para FSF, verificou-se que os maiores valores ocorreram nos menores níveis dos fatores estudados, com 4,21 g haste⁻¹ em F₁ (f = 0,15) em função dos níveis de N (Figura 48A) e 3,91 g haste⁻¹ em N₁ (N = 5,0 g planta⁻¹ ano⁻¹) em função dos níveis de depleção (Figura 48B), sendo que para esses casos, também observou-se um decréscimo mais acentuado em função dos aumento dos níveis de N e f, com coeficientes angulares de -0,1757 (Figura 48B) e -5,2101 (Figura 48B).

Tendo em vista que a avaliação do parâmetro fitomassa foi realizado para a 5ª colheita, e que nesse período (250 DAIT) o teor de nutrientes encontrava-se bem elevado em relação ao momento inicial do experimento, especialmente o nitrato que apresentava uma concentração de 3955,77 mg L⁻¹ (Figura 31A), sendo uma das causas que elevou a CE (5,62 dS m⁻¹) da solução do solo (Figura 22A), reduzindo pH = 4,78 na camada de 0,0 - 0,3 m (Tabela 12) e desencadeando reações que

proporcionaram os menores valores de FSF para o maior nível do fator N (20 g planta⁻¹ ano⁻¹), com valor médio de 0,898 g haste⁻¹ (Figura 48B).

Ajuste linear ($p < 0,01$) e decrescente foi obtido para FSH em função das doses de N (Figura 46C) e dos níveis de depleção da água no solo (Figura 48D), obtendo-se uma redução de aproximadamente 60% na FSH entre os níveis extremos do fator N (Figura 48C).

Figura 48 - Fitomassa seca de folhas (FFF) e de haste nua (FFH) em função de doses de nitrogênio (A e C) e dos níveis de depleção da água no solo (B e D) para o período da 5ª colheita iniciada aos 245 dias após início dos tratamentos (DAIT)

A fitomassa seca de botão foi um dos parâmetros menos afetados pelas doses de N, apresentando uma máxima redução de aproximadamente 15% entre os níveis extremos, e não sofrendo efeito com relação aos níveis de depleção, com valor médio de 1,24 g haste⁻¹ (Figura 49A).

Figura 49 - Fitomassa seca de botões florais (FSB) e total (FST) em função de doses de nitrogênio (A e C) e dos níveis de depleção da água no solo (B e D) para o período da 5ª colheita iniciada aos 245 dias após início dos tratamentos (DAIT)

Menores frequências de fertirrigação proporcionaram máximos valores para os parâmetros de produção de fitomassa, assim como observado por Qasim, Ahmad e Ahmad (2008) trabalhando com roseiras das variedades Amalia e Anjleeq nas condições de Faisalabad no Paquistão (31° 30' de latitude norte e 73° 10' de longitude leste, a uma altitude de 213 m), as temperaturas médias máxima e mínima foram de 30 ± 4 °C e 15 ± 3 °C, respectivamente. Esses autores utilizaram solução composta por fertilizante NPK 17: 17: 17 com concentração de 2,0 g L⁻¹ e observaram que para altura da planta, número de ramos, número de folhas, número

de flores por planta, número de pétalas por flor e nitrogênio na folha foram maximizados em fertirrigação com 500 ml planta⁻¹ no intervalo de dois dias, e maior número de dias foram observados para o surgimento da primeira flor com fertirrigação de 250 ml planta⁻¹ no intervalo de seis dias.

As frequências de fertirrigação (depleções) proporcionam diferença nas fitomassas secas (Figura 48B, 48D e 49D), assim como observado por Katsoulas (2005) trabalhando na Grécia Oriental em ambiente protegido, com rosas híbrida cv. Frist Red cultivadas em sistema hidropônico fechado, sobre substrato de lã de rocha, com frequências de irrigação alta e baixa. No trabalho desses autores, as irrigações foram executadas sempre que o acúmulo de radiação solar, fora do ambiente protegido atingia 1600 kJ m⁻² (alta frequência da irrigação) e 3200 kJ m⁻² (baixa frequência de irrigação), constatando-se que, no período experimental, a frequência de irrigação influenciou na massa fresca e seca das flores de corte, visto que a massa fresca e seca dos botões foram aproximadamente 33% mais altas no tratamento de alta frequência de irrigação.

4.5 Temperatura foliar, umidade no tecido foliar e potencial da água na folha

Na Tabela 21 é mostrado o resumo da análise de variância para temperatura do limbo foliar (TF) ao longo do dia, quando o solo apresentava-se na capacidade de campo (TF_{CC}) ou no dia da irrigação quando a umidade do solo apresenta-se no nível crítico (TF_{θC}), de acordo com cada tratamento.

Tabela 21 - Resumo da análise de variância para temperatura foliar com solo em capacidade de campo (TF_{CC}) e com solo em umidade crítica (TF_{θC}) de roseiras cultivadas em ambiente protegido, submetidas a diferentes doses de nitrogênio e níveis de depleção da água no solo

FV	-----TF _{CC} -----				-----TF _{θC} -----			
	9 h	12 h	15 h	17 h	9 h	12 h	15 h	17 h
	-----Valores de F-----							
N	0,53 ^{ns}	0,11 ^{ns}	0,17 ^{ns}	0,77 ^{ns}	0,37 ^{ns}	1,75 ^{ns}	0,96 ^{ns}	0,44 ^{ns}
F	0,86 ^{ns}	0,51 ^{ns}	0,61 ^{ns}	0,78 ^{ns}	0,95 ^{ns}	23,09**	5,33**	0,80 ^{ns}
N x f	0,99 ^{ns}	0,68 ^{ns}	0,62 ^{ns}	0,38 ^{ns}	0,96 ^{ns}	0,66 ^{ns}	0,88 ^{ns}	0,77 ^{ns}
Blocos	25,82**	4,01*	9,14**	3,87 ^{ns}	0,66 ^{ns}	0,90 ^{ns}	0,55 ^{ns}	2,84*
CV (%)	5,72	5,77	8,04	2,05	7,55	4,02	5,11	4,77
MG (°C)	25,21	31,88	30,13	23,08	25,40	33,55	30,59	23,61

** e * significativo a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente; ^{ns} - não significativo; CV - coeficiente de variação; MG - média geral

Não houve efeito significativo da interação entre os fatores em todos os horários de avaliação, bem como também não houve resposta à adubação nitrogenada ($p > 0,05$). Para o fator de depleção, foi observada resposta significativa apenas quando o solo estava com umidade no ponto crítico, nas avaliações realizadas às 12 e 15 horas, em nível de 1% de probabilidade (Tabela 21).

Na Figura 50 é mostrada a temperatura do limbo foliar (TF) ao longo do dia e em função das doses de nitrogênio considerando todos os níveis do fator depleção, quando o solo encontrava-se na capacidade de campo. Desta forma, pode-se observar que em todas as doses de N a TF foi menor nos horários de temperaturas do ar (Tar) mais amenas (9 e 17 horas), e em contrapartida, maior nos horários de temperaturas (Tar) mais elevadas (12 e 15 horas). Porém, não apresentando diferença significativa para o fator N em qualquer um dos horários avaliados (Figura 50).

Figura 50 - Temperatura foliar com solo em capacidade de campo (TF_{cc}) e temperatura do ar (Tar) ao longo do dia (06/02/2012) no período da 5ª colheita iniciada aos 245 (DAIT) para as doses de nitrogênio de 5, 10, 15 e 20 g por planta por ano; ns - não significativo

Observou-se que a temperatura foliar para os diferentes níveis de depleção e considerando todos os níveis de N não apresentou diferença significativa ao longo do dia, estando sempre inferior à temperatura do ar (Tar), principalmente ao meio dia. De forma geral observou-se temperaturas foliares médias de 25,18; 31,85; 30,11 e 23,05 °C; e Tar de 28,90; 38,68; 33,15 e 28,90 °C, para 9, 12, 15 e 17 horas, respectivamente (Figura 51).

Figura 51 - Temperatura foliar com solo em capacidade de campo (TF_{cc}) e temperatura do ar (Tar) ao longo do dia (06/02/2012) no período da 5ª colheita iniciada aos 245 (DAIT) para os níveis de depleção da água no solo de 0,15; 0,30; 0,45 e 0,60; ns - não significativo

Avaliando a temperatura do limbo foliar das plantas em função das doses de N quando o solo apresenta umidade crítica, verificou-se não haver resposta significativa à adubação nitrogenada, independente do fator de depleção adotado, de forma que ao longo do dia as plantas apresentaram TF semelhantes entre as doses de N (Figura 52). Ainda na Figura 52 pode-se observar comportamento semelhante ao obtido quando o solo apresentava-se na capacidade de campo, com maiores valores médios de TF quando se realizou as verificações às 12 e 15 horas, com 33,61 e 30,60 °C, respectivamente. De forma geral, a TF esteve sempre abaixo da temperatura do ar (Tar) em todas as avaliações, nas quais foram observadas Tar de 28,05; 38,25; 34,00 e 29,75 °C (Figura 52).

Figura 52 - Temperatura foliar com solo em umidade crítica (TF_{ec}) e temperatura do ar (Tar) ao longo do dia (11/01/2012) no período da 5ª colheita iniciada aos 245 (DAIT) para as doses de nitrogênio de 5, 10, 15 e 20 g por planta por ano; ns - não significativo

Na Figura 53 é mostrada a variação da temperatura foliar (TF) no decorrer do dia para cada nível da adubação nitrogenada, quando o solo apresentava-se com a umidade no ponto crítico de acordo com cada tratamento, ou seja, momento antes das irrigações. Houve diferença significativa para os níveis de depleção da água no solo, quando as avaliações foram realizadas nos horários mais quentes do dia (12 e 15 horas), obtendo-se os maiores valores para F_1 , F_2 , F_3 e F_4 , às 12 horas, com TF de 31,45; 33,85; 34,00 e 36,06 °C (Tabela 22).

Figura 53 - Temperatura foliar com solo em umidade crítica ($TF_{\theta c}$) e temperatura do ar (Tar) ao longo do dia (11/01/2012) no período da 5ª colheita iniciada aos 245 (DAIT) para os níveis de depleção da água no solo de 0,15; 0,30; 0,45 e 0,60; ns - não significativo

Na medição realizada às 15 horas verificou-se menor TF no menor fator de depleção ($f = 0,15$), obtendo-se 29,31 °C, enquanto os demais fatores não diferiram entre si, apresentando TF média de 31,02 °C (Tabela 22). Pode-se observar ainda que ao longo do dia a TF foi sempre inferior à Tar (Figura 53).

As maiores TF foram obtidas nas plantas submetidas ao maior intervalo entre irrigações ($f = 0,60$) demonstram que, nestas situações de menor disponibilidade de água no solo as plantas não conseguiram absorver água suficiente para potencializar a evapotranspiração, ou seja, a evapotranspiração real encontrava-se inferior a potencial, tendo como consequência maior aquecimento do limbo foliar.

Do total de água absorvido pela planta, cerca de 95% é utilizado para manter o equilíbrio térmico por transpiração. A variação na transpiração, portanto, afeta diretamente a temperatura da planta, notadamente a temperatura foliar (QIU et al., 2000).

Tabela 22 - Médias da temperatura foliar com solo em umidade crítica (TF_{ec}) ao longo do dia (11/01/2012) para os níveis de depleção da água no solo

Horário	Fator de depleção (f)				DMS	Tar
	0,15	0,30	0,45	0,60		
9	25,25 A	24,81 A	25,81 A	25,75 A	1,81	28,05
12	31,25 B	33,88 A	34,00 A	36,06 A	1,27	38,05
15	29,31 B	31,13 A	30,63 AB	31,31 A	1,47	34,00
17	23,25 A	23,81 A	23,75 A	23,62 A	1,06	29,75

Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas nas linhas não diferem entre si estatisticamente pelo teste Tukey ao nível de 5% de probabilidade. Tar - Temperatura do ar, DMS - diferença mínima significativa

Não houve efeito significativo da interação entre os fatores estudados para a umidade no tecido foliar (UTF), nem para o potencial da água na folha (PAF), bem como efeito isolado da adubação nitrogenada ($p > 0,05$). No entanto, houve resposta significativa para o fator de depleção da água no solo em nível de significância de 1% de probabilidade (Tabela 23).

Tabela 23 - Resumo da análise de variância para o potencial da água na folha (PAF) e umidade no tecido foliar (UTF) de roseiras cultivadas em ambiente protegido, submetidas a diferentes doses de nitrogênio e níveis de depleção da água no solo aos 245 DAIT

Fontes de variação	Variáveis	
	UTF	PAF
	-----Valores de F-----	
Doses de nitrogênio (N)	0,65 ^{ns}	4,12 ^{ns}
Linear	0,39 ^{ns}	9,15 ^{ns}
Quadrático	1,27 ^{ns}	2,81 ^{ns}
Fator de depleção (f)	23,71**	166,21**
Linear	68,04**	490,22**
Quadrático	1,06 ^{ns}	2,12 ^{ns}
N x f	0,52 ^{ns}	1,39 ^{ns}
Blocos	0,46 ^{ns}	1,60 ^{ns}
CV (%)	5,53	22,89
Média geral	66,99 %	-1,29 MPa

** e * significativo a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente; ^{ns} - não significativo; CV - coeficiente de variação

Também não houve efeito das doses de N sobre a umidade no tecido foliar (UTF), obtendo-se o valor médio de 66,99% (Figura 54A). Quanto ao efeito dos níveis de depleção, verificou-se que o aumento no intervalo entre irrigações provocou significativa redução na UTF, de forma que os dados foram ajustados à

equação linear decrescente. Nas plantas submetidas ao maior fator de depleção ($f = 0,60$) as plantas apresentaram a menor UTF (61,86%), correspondente a redução total de aproximadamente 14,21%, em comparação com os valores obtidas nas plantas submetidas ao menor fator de depleção ($f = 0,15$), na qual se obteve UTF de 72,11% (Figura 54B).

Figura 54 - Umidade no tecido foliar (UTF) em função de doses de nitrogênio (A) e em função dos níveis de depleção da água no solo (B) para colheita aos 245 dias após início dos tratamentos (DAIT)

Conforme descrito na Tabela 23, não houve efeito significativo da adubação nitrogenada sobre o potencial da água na folha (PAF), sendo observado entre as doses de N o PAF médio de -1,29 MPa (Figura 55A). O aumento do fator de depleção da água no solo provocou redução no PAF, independentemente da adubação nitrogenada, de forma que os menores valores de PAF ocorreram nas plantas irrigadas no maior intervalo entre irrigações (-2,39 MPa), enquanto o maior PAF foi observado nas plantas submetidas ao menor fator de depleção ($f = 0,15$), com -0,19 MPa (Figura 55B).

Esta redução no PAF ocorreu em consequência do provável estresse hídrico temporário sofrido pelas plantas, tendo em visto o maior intervalo entre irrigação. De acordo com Mansur e Barbosa (2000), o potencial da água na folha diminui com o declínio da disponibilidade de água no solo, tendo como consequência a perda da turgescência e o fechamento estomático.

Quando o ambiente apresentar déficit hídrico, as plantas podem utilizar mecanismos de tolerância como o ajuste osmótico, para que a célula absorva água e mantenha o potencial de pressão em níveis adequados. Com o déficit hídrico, os

solutos da célula ficam concentrados, tornando mais negativo o seu potencial osmótico (PATAKAS et al., 2002).

Esses resultados são semelhantes aos encontrados por vários pesquisadores em outras espécies. Silva et al. (2003) trabalhando com três espécies arbóreas (*Mimosa caesalpinifolia*, *Enterolobium contortisiliquum* e *Tabebuia aurea*) submetidas a estresse hídrico também constataram redução no PAF.

Segundo Deloire et al. (2004), quando os valores de potenciais são superiores a -0,2 MPa, o manejo de água é considerado adequado, uma vez que a ocorrência de estresse hídrico é suave ou nula. Como os valores de potencial da água na folha, ao alvorecer, foram inferiores a este, pode-se inferir que as plantas encontravam-se sob estresse moderado a severo.

Figura 55 - Potencial da água na folha (PAF) em função de doses de nitrogênio (A) e em função dos níveis de depleção da água no solo (B) para colheita aos 245 dias após início dos tratamentos (DAIT) com solo em umidade crítica

A redução do potencial da água na folha é reflexo do declínio do potencial mátrico da água no solo e conseqüentemente da umidade do solo, concordando com inferências feitas por Taiz e Zeiger (2004), que afirmam que após o solo atingir valores de umidade muito baixos, o fluxo de água do solo para as raízes é bem lento, pois a condutividade hidráulica do solo é baixa. Mais tarde, essa reidratação é impedida pela resistência dentro da planta, que é muito maior que aquela dentro do solo. Dessa forma, a redução do potencial da água na folha deve-se à maior resistência que a água encontra para atravessar o solo e as células vegetais.

4.6 Consumo hídrico, produtividade acumulada e produtividade da água

Os fatores estudados afetaram as variáveis consumo hídrico (CH), produção comercial acumulada de hastes florais (PCAHF) e produtividade da água (PA) ao nível de 1% de probabilidade, exceto a PCAHF em resposta aos níveis de depleção da água no solo ($p > 0,05$). Ocorreu interação ($p < 0,01$) entre os fatores para as variáveis CH e PA, não havendo interação para PCAHF (Tabela 24).

Tabela 24 - Resumo da análise de variância para produção comercial acumulada de hastes florais (PCAHF), consumo hídrico (CH) e produtividade da água (PA) de roseiras cultivadas em ambiente protegido, submetidas a diferentes doses de nitrogênio e níveis de depleção da água no solo

Fontes de variação	Variáveis		
	CH	PCAHF	PA
	----- Valores de F -----		
Doses de nitrogênio (N)	55022,03**	39,18**	58,60**
Linear	136984,32**	31,42**	156,79**
Quadrático	20557,78**	86,11**	4,81*
Fator de depleção (f)	27930,90**	3,38 ^{ns}	61,58**
Linear	72765,69**	6,79*	131,47**
Quadrático	7474,94**	3,27 ^{ns}	45,05**
N x f	885,99**	1,35 ^{ns}	3,37**
Blocos	0,01 ^{ns}	3,28*	3,48*
CV (%)	2,93	4,48	4,81
Média geral	629,26 mm	127,47 hastes m ⁻²	205,69 hastes m ⁻³

** e * significativo a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente; ^{ns} - não significativo; CV - coeficiente de variação

Procedeu-se o desdobramento da interação (N x f) para a variável consumo hídrico (CH), de modo que, para os níveis da depleção da água no solo ajustaram-se modelos quadráticos para os três primeiros níveis e ajuste linear decrescente para F₄ (f = 0,60) em função dos níveis de nitrogênio, obtendo-se os pontos de máximo consumo de 748, 722, 717 e 625 mm nas doses 8,9, 7,1, 6,7 e 5,0 g de N por planta por ano, representando em relação ao consumo mínimo em cada nível de depleção, ocorrido em (N₄), uma redução de 23,3, 26,8, 30,1 e 26,5%, respectivamente (Figura 56A).

Para cada nível do fator nitrogênio a variação do CH em função dos níveis de depleção da água no solo, foi ajustado a modelos lineares decrescentes. Menor

coeficiente angular foi observado para a dose N_1 , assim descrevendo a menor variação de CH, mas denotando maior CH (731 mm) no menor fator de depleção (F_1), sendo inferior somente ao CH (797 mm) na dose N_2 ($10 \text{ g planta}^{-1} \text{ ano}^{-1}$) para o mesmo fator F_1 ($f = 0,15$). Verificou-se ainda que os menores valores de CH foram obtidos no maior nível de depleção (F_4) e esses foram decrescentes à medida que aumentava-se os níveis de nitrogênio N_1 (616 mm), N_2 (616 mm), N_3 (539 mm) e N_4 (458 mm) (Figura 56B).

Constatou-se que o consumo hídrico foi maximizado quanto maior foi a disponibilidade hídrica no solo ($f = 0,15$), associada à concentração ou dose de nutrientes de $8,9 \text{ g planta}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ (Figura 56A). Denota-se que o CH aumenta na maior frequência de fertirrigação, assim como observado por Caballero et al. (1996), que estudando o consumo de água em duas cultivares de rosas Llseta e Jaguar cultivadas em lapilli (material vulcânico), com três frequências de irrigações obteve diferentes resultados entre as variedades estudadas, verificaram que para a cultivar Jaguar o número total de flores produzidas e comercializáveis, além do comprimento da haste, foram afetados pela frequência de irrigação; entretanto para a cultivar Llseta não houve diferenças significativas.

Em cultivo de rosas cultivar Carola espaçadas $0,2 \times 1,2 \text{ m}$ com população de aproximadamente 41.667 plantas por hectare e sob diferentes lâminas de irrigação $W_{40\%} = 86,8$; $W_{70\%} = 148,7$; $W_{100\%} = 210,6$ e $W_{130\%} = 272,5 \text{ mm}$ e doses de nitrogênio durante 120 dias de condução do estudo realizado por Santos et al. (2012) obtiveram a melhor produtividade com a aplicação de 95% da lâmina de reposição de água no solo (200,1 mm), verificando ainda baixas produtividades para lâminas próximas a 40% de reposição de água no solo, independentemente da dose de N, mostrando a importância de um bom manejo da irrigação.

O máximo consumo médio diário foi de $3,18 \text{ mm dia}^{-1}$ para 250 DAIT e N_2F_1 (Figura 56B), valor esse superior em 90% ao verificado por Santos et al. (2012), que obtiveram consumo médio de $1,67 \text{ mm dia}^{-1}$. Já considerando o CH médio para todos os tratamentos (Tabela 24) e período de 250 DAIT, estima-se um CH médio de $2,52 \text{ mm dia}^{-1}$, aquiescendo com valores obtidos por Barbosa (2003) que descreve que normalmente o volume de água gasto pela roseira está em torno de 2 a 3 mm dia^{-1} , concordando também com Caballero et al. (1996) que mensuraram o

consumo de água pela roseira cultivada em substrato e observaram que no verão a taxa foi de 2,5 a 3,6 mm dia⁻¹ e no inverno foi de 1,0 a 2,5 mm dia⁻¹, mas em dias muito quentes e secos as folhas novas apresentavam sintomas de estresse hídrico resultando em flores impróprias para a comercialização.

Figura 56 - Consumo hídrico (CH) em função de doses de nitrogênio (A) e de níveis de depleção da água no solo (B) para o período de 250 dias após início dos tratamentos (DAIT)

Independente do nível do fator de depleção, a produção comercial acumulada de hastes florais (PCAHF) é explicada por um modelo quadrático, obtendo a máxima produção de 137 hastes m⁻² com a dose de 11,1 g planta⁻¹ ano⁻¹, considerando um período 250 dias de avaliação (Figura 57A). Verificou-se uma redução de 16,5% na PCAHF no N₄ em relação à máxima produção obtida. A PCAHF foi maximizada em dose 25% superior à dose (8,9 g planta⁻¹ ano⁻¹) que maximizou o consumo hídrico (CH), mostrando que a máxima PCAHF não implica em máximo CH, pois o CH é mais influenciado pela área foliar transpirante do que pelo número de hastes, ou seja, a PCAHF máxima não significa dizer máxima área foliar. A variação dos níveis de depleção da água no solo não afetou significativamente a PCAHF considerando o período de avaliação, observando PCAHF média de 127 hastes m⁻² para os 250 DAIT (Figura 57B).

Figura 57 - Produtividade comercial acumulada de hastes florais (PCAHF) em função de doses de nitrogênio (A) e de níveis de depleção da água no solo (B) para o período de 250 dias após início dos tratamentos (DAIT)

Modelos lineares crescentes foram ajustados ao analisar-se a produtividade da água (PA) em hastes florais em função dos níveis de N, obtendo-se valor máximo de PA em N_4F_4 (264 hastes m^{-3}) e menor PA em N_4F_1 (202 hastes m^{-3}), correspondendo a uma redução de 23,5% (Figura 58A). Considerando o período de avaliação de 250 DAIT e avaliando-se PA em N_1F_4 (205 hastes m^{-3}) e em N_4F_4 (264 hastes m^{-3}) com N_1 (33,76 g m^{-2}) e N_4 (113,29 g m^{-2}) (Tabela 9), verifica-se aumento de 28,9% em PA e 236% na aplicação de N, desta forma, verificando-se um aumento muito superior do consumo de N em relação ao incremento na PA para o fator de depleção $f = 0,60$ (Figura 58A).

A variação dos níveis de depleção afetou de forma linear ($p < 0,01$) crescente a PA em todos os níveis de nitrogênio, exceto para N_1 que não houve resposta significativa, apresentando valor médio de 184 hastes m^{-3} . As variações mais expressivas foram obtidas em N_3 e N_4 , observadas pelos acentuados valores dos coeficientes angulares 115,4 (N_3) e 110,6 (N_4) (Figura 58B).

Figura 58 - Produtividade da água (PA) em hastes de roseiras em função de doses de nitrogênio (A) e dos níveis de depleção da água no solo (B) para o período de 250 dias após início dos tratamentos (DAIT)

O aumento nos níveis de depleção da água no solo proporcionou redução no consumo hídrico (Figura 56B) e consequentemente aumentou a PA (Figura 58B), aquiescendo com Martin et al. (2012) que demonstrou que a adoção de irrigação deficitária, seja contínua ou temporária, reduz a produção de massa de matéria verde da planta inteira, entretanto, aumenta a produtividade da água, os teores de matéria seca, não influenciando a qualidade nutricional nem a produção de matéria seca do material em estudo. Esta técnica pode ser uma alternativa em cenários onde se priorize a economia de água e sua eficiência, além de manter um retorno econômico que pode ser semelhante à opção de irrigação plena.

Assim, para a sua adoção no campo é necessário uma análise de custo de produção e viabilidade econômica detalhada para cada situação. A estratégia de irrigação deficitária pode ser uma alternativa para aumentar a produtividade da água, mantendo a viabilidade econômica, entretanto esta carece de mais estudos em diferentes situações e para diferentes culturas (MARTIN et al., 2012).

Considerando uma PA média para todos os tratamentos de 205,69 hastes m⁻³ (Tabela 24), uma FST de 6,05 g haste⁻¹ (Tabela 20) e 1,0 para massa específica da

água de irrigação, estima-se uma produção de 1,24 gramas de fitomassa seca total (FST) por 1000 g de água, concordando com resultados obtidos por Petry (1999), que relata que o consumo hídrico é alto, e que uma roseira gasta entre 500 a 1000g de água para produzir 1g de matéria seca total. Conforme a origem do solo, seu manejo, a estação do ano e a região, pode-se realizar uma irrigação por semana no inverno e duas ou três no verão, com consumo médio de 20 - 30 mm (VIDALIE,1983)

4.7 Análise química de hastes

4.7.1 Teor de nitrogênio e de potássio no tecido vegetal da roseira

As análises químicas dos teores de nutrientes em hastes, folhas e botões florais, foram realizadas nas hastes colhidas a partir de 245 DAIT (5ª colheita).

A partir da análise de variância verificou-se que não houve efeito significativo da interação entre doses de nitrogênio (N) e depleção da água no solo (f) sobre os teores de nitrogênio e de potássio no tecido vegetal das roseiras ($p > 0,05$), sendo observado apenas efeito significativo dos fatores isolados. Para os teores de N, foi observada resposta significativa apenas para o teor de N na haste (TNH) e na folha (TNF), em nível de significância de 1% de probabilidade, não havendo efeito significativo sobre o teor de N no botão floral (TNB). Também não foi observada resposta significativa na adubação nitrogenada sobre os teores de potássio em nenhuma das partes analisadas (TKH, TKF e TKB) (Tabela 25).

O teor médio de N observado nas folhas foi de $19,66 \text{ g kg}^{-1}$, valor inferior ao encontrado por Dutra (2009) trabalhando com rosas das cultivares 'Vegas' e 'Tineke', com teor de N de 27,02 e $26,53 \text{ g kg}^{-1}$, respectivamente. Esse autor constatou que a aplicação de 3,55 g de nitrogênio por planta, no primeiro ano, não foi suficiente para suprir a concentração considerada adequada de nitrogênio nas folhas das roseiras, recomendada por Vetanovetz (1996) que deve ser maior que 35 g kg^{-1} . De acordo com Casarini (2004), a aplicação de 10 g de nitrogênio por ano por planta é capaz de suprir a exigência nutricional das roseiras. O mesmo autor verificou que as doses 10, 20, 30 e 40 g ano^{-1} de N aplicadas foram suficientes para promover aumento linear na concentração de nitrogênio nas folhas, com valores

mínimo e máximo de 35,1 e 38,7 g kg⁻¹ de N, para os tratamentos com menor e maior dose, respectivamente.

Tabela 25 - Resumo da análise de variância para o teor de nitrogênio nas hastes (TNH), nas folhas (TNF), nos botões (TNB), e teor de potássio nas hastes (TKH), nas folhas (TKF), nos botões (TKB) de roseiras cultivadas em ambiente protegido, submetidas a diferentes doses de nitrogênio e níveis de depleção da água no solo

Fontes de variação	Variáveis					
	TNH	TNF	TNB	TKH	TKF	TKB
	-----Valores de F-----					
Doses de nitrogênio (N)	18,72**	20,92**	0,31 ^{ns}	1,24 ^{ns}	0,29 ^{ns}	2,83 ^{ns}
Linear	53,18**	60,81**	0,40 ^{ns}	0,42 ^{ns}	0,60 ^{ns}	7,17 ^{ns}
Quadrático	1,41 ^{ns}	1,89 ^{ns}	0,24 ^{ns}	1,82 ^{ns}	0,29 ^{ns}	1,24 ^{ns}
Fator de depleção (f)	13,47**	8,85**	0,58 ^{ns}	15,92**	3,47*	0,24 ^{ns}
Linear	34,02**	23,64**	1,55 ^{ns}	47,44**	10,01**	0,20 ^{ns}
Quadrático	0,76 ^{ns}	0,96 ^{ns}	0,17 ^{ns}	0,04 ^{ns}	0,17 ^{ns}	0,45 ^{ns}
N x f	0,24 ^{ns}	0,74 ^{ns}	0,80 ^{ns}	1,70 ^{ns}	0,07 ^{ns}	1,41 ^{ns}
Blocos	4,62**	0,43 ^{ns}	0,45 ^{ns}	5,03**	1,69 ^{ns}	3,13*
CV (%)	9,83	8,61	8,58	8,54	11,45	10,45
Média geral (g kg ⁻¹)	12,00	19,66	15,05	10,96	15,76	11,94

** e * significativo a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente; ^{ns} - não significativo; CV - coeficiente de variação

Com uma aplicação de nitrogênio no solo de 3,32 g ano⁻¹ por planta, em rosas de corte, Tamini et al. (1999) alcançaram concentrações de nitrogênio nas folhas menor que 30 g kg⁻¹, com uma eficiência de recuperação de 39% e justificam que essa baixa eficiência é influenciada por muitos fatores, como as próprias características da cultivar, o sistema radicular, a forma e a frequência de aplicação do fertilizante, volatilização, as propriedades físicas e químicas do solo, como teor de matéria orgânica, CTC, imobilização física, química e biológica.

Quanto ao efeito do fator de depleção da água no solo, verificou-se resposta significativa para TNH e TNF (p < 0,01), não havendo resposta para TNB (p > 0,05). Com relação ao efeito do fator de depleção sobre os teores de K, foi observada resposta significativa apenas para TKH (p < 0,01) e TKF (p < 0,05), não havendo efeito sobre o TKB (Tabela 25).

A partir da análise de regressão dos dados verificou-se que o TNH aumentou em resposta ao aumento nas doses de N, bem como para o aumento no fator de

depleção, de forma que os dados foram ajustados a equações lineares, com os maiores valores ocorrendo nos maiores níveis de N ($20 \text{ g planta}^{-1} \text{ ano}^{-1}$) e de F (0,60), com TNH de 13,4 e 13,2 g kg^{-1} , respectivamente (Figura 59A e 59B).

Resultados semelhantes aos obtidos para TNH foram observados para o teor de N nas folhas (TNF), de forma que para ambos os fatores estudados os dados apresentaram melhor ajuste a equações lineares crescentes, com maiores teores obtidos nos maiores níveis de N_4 (20 g planta^{-1}) e de F_4 ($f = 0,60$), com TNF de 21,9 e 21,0 g kg^{-1} , respectivamente (Figura 59C e 59D).

Quanto aos efeitos dos fatores estudados sobre o teor de N no botão floral, verificou-se não haver resposta significativa, obtendo-se de forma geral o TNB médio de 15,05 g kg^{-1} (Figura 59E e 59F).

A maior absorção de N foi observada nas folhas (Tabela 25 e Figura 59C) corroborando em parte com os resultados obtidos por Cadahía et al. (1998) que testaram várias cultivares de rosas e observaram que a maior absorção de nitrogênio ocorreu após a poda, durante o desenvolvimento das hastes da primeira floração. Segundo os autores, isto ocorreu para suprir a planta durante seu desenvolvimento e aumentar suas reservas para a próxima brotação e desenvolvimento das hastes. Após esta fase, a absorção de nitrogênio diminuiu e se manteve constante durante as florações posteriores.

Tendo em vista que a análise química foi realizada para a 5ª colheita, e que o CHF (Figura 38C) e DHF (Figura 43A) decresceram em função das doses de N e que maiores teores de N nas folhas e nas hastes foram obtidos na menor dose de N_1 , ou seja, as plantas em N_1 tiveram os maiores CHF e DHF, mas apresentaram os menores teores de N no tecido (Figura 59A e C), ressaltando a diferença do termo acúmulo de nutrientes, que é proporcional às dimensões da haste, como observado por Villas Boas et al. (2008), que observaram em plantas que apresentaram hastes com maior comprimento e diâmetro apresentaram também maiores quantidades de nutrientes extraídos, e as maiores quantidades foram de N e K, que segundo Casarini et al. (2004) são os nutrientes exigidos em maiores quantidades pelas rosas, pois apresentam funções importantes e distintas no desenvolvimento da roseira, assim corroborando com dados mostrados na Tabela 25.

Figura 59 - Teor de nitrogênio nas hastes (TNH), nas folhas (TNF) e nos botões (TNB) em função de doses de nitrogênio (A, C e E) e em função dos níveis de depleção da água no solo (B, D e F) para colheita iniciada aos 245 dias após início dos tratamentos (DAIT)

Com relação aos teores de potássio, não foram observadas resposta significativas à adubação nitrogenada para qualquer uma das partes vegetais analisadas, obtendo-se os teores médios de 12,0 g kg⁻¹ (TKH), 15,76 g kg⁻¹ (TKF) e 11,94 g kg⁻¹ (TKB), conforme mostrados nas Figuras 60A, 60C e 60E, respectivamente.

Quanto ao efeito do fator de depleção, verificou-se resposta linear e positiva para TKH e TKF, com maiores teores de K obtidos em F₄, com teores máximos de 13,2 e 16,7 g kg⁻¹, respectivamente (Figuras 60B, 60D). Já para o teor de potássio no botão floral, não foi constatado efeito do fator de depleção, obtendo-se TKB médio de 11,94 g kg⁻¹ (Figura 60F).

Figura 60 - Teor de potássio nas hastes (TKH), nas folhas (TKF) e nos botões (TKB) em função de doses de nitrogênio (A, C e E) e em função dos níveis de depleção da água no solo (B, D e F) para colheita iniciada aos 245 dias após início dos tratamentos (DAIT)

Considerando que em 250 dias houve 5ª colheitas, em um ano haveria em média 7,3 colheitas com uma produção média de 27 hastes m^{-2} na 5ª colheita (Tabela 15) e 8,3 plantas m^{-2} , resultaria em 23,7 hastes planta $^{-1}$ ano $^{-1}$, estimativa inferior em 44% aos resultados obtidos por Padilla (1999), que alcançou uma produção de 54 hastes planta $^{-1}$ ano $^{-1}$. Ainda Segundo Padilla (1999) a extração de nutrientes depende do tamanho da planta (grande, médio e pequeno), as maiores extraíram as quantidades de N, P e K: 19,2; 5,5 e 20,9 g planta $^{-1}$ ano $^{-1}$, que correspondem a 354, 102 e 386 mg haste $^{-1}$ de N, P e K, respectivamente.

4.7.2 Teor de cálcio e magnésio no tecido vegetal da roseira

Não houve efeito significativo da interação entre os fatores sobre os teores de Ca e Mg nas diferentes partes das hastes analisadas ($p > 0,05$). Para o efeito dos fatores isolados, verificou-se que a adubação nitrogenada afetou significativamente o teor de Ca na haste (TCaH) em nível de significância de 5% de probabilidade, e nas demais variáveis em nível de 1% de probabilidade (Tabela 26).

Tabela 26 - Resumo da análise de variância para o teor de cálcio nas hastes (TCaH), nas folhas (TCaF), nos botões (TCaB), e teor de magnésio nas hastes (TMgH), nas folhas (TMgF), nos botões (TMgB) de roseiras cultivadas em ambiente protegido, submetidas a diferentes doses de nitrogênio e níveis de depleção da água no solo

Fontes de variação	Variáveis					
	TCaH	TCaF	TCaB	TMgH	TMgF	TMgB
	-----Valores de F-----					
Doses de nitrogênio (N)	2,29*	10,15**	4,75**	14,40**	27,09**	14,87**
Linear	6,20*	28,49**	13,46**	42,69**	80,64**	41,49**
Quadrático	0,47 ^{ns}	1,34 ^{ns}	0,74 ^{ns}	0,49 ^{ns}	0,58 ^{ns}	0,02 ^{ns}
Fator de depleção (f)	1,83*	1,96 ^{ns}	3,86*	8,40**	26,99**	16,49**
Linear	4,93*	3,36 ^{ns}	10,65**	23,80**	80,11**	40,72**
Quadrático	0,01 ^{ns}	0,49 ^{ns}	0,85 ^{ns}	0,10 ^{ns}	0,69 ^{ns}	3,72 ^{ns}
N x f	0,33 ^{ns}	0,54 ^{ns}	0,13 ^{ns}	0,86 ^{ns}	1,32 ^{ns}	1,22 ^{ns}
Blocos	3,26*	0,16 ^{ns}	0,29 ^{ns}	0,39 ^{ns}	4,31**	2,87*
CV (%)	17,07	16,12	14,34	16,28	7,66	10,19
Média geral (g kg $^{-1}$)	2,81	9,39	3,03	0,88	2,46	1,09

** e * significativo a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente; ^{ns} - não significativo; CV - coeficiente de variação

Quanto ao efeito do fator de depleção, foi observado que, com exceção do TCaF, na qual não houve resposta significativa, houve efeito significativo para TCaH e TCaB ($p < 0,05$), bem como para TMgH, TMgF e TMgB ($p < 0,01$) (Tabela 26).

O aumento nas doses de N provocou redução linear nos teores de cálcio na haste (TCaH), de forma que os maiores valores ocorreram na menor dose de nitrogênio ($5 \text{ g planta}^{-1} \text{ ano}^{-1}$), com $3,00 \text{ g kg}^{-1}$. Os menores valores ocorreram na maior dose de N ($20 \text{ g planta}^{-1} \text{ ano}^{-1}$), com TCaH médio de $2,61 \text{ g kg}^{-1}$, correspondente a redução total de 13,0% (Figura 61A). Resposta semelhante foi observada para o efeito do fator de depleção, sendo o TCaH reduzido linearmente com o aumento no intervalo entre irrigações, de forma que os maiores valores ocorreram nas plantas submetidas ao F_1 ($f = 0,15$), com TCaH médio de $2,99 \text{ g kg}^{-1}$, enquanto no maior fator (F_4) se obteve os menores valores ($2,63 \text{ g kg}^{-1}$), correspondendo a redução de aproximadamente 12,0% (Figura 61B).

Para o teor de cálcio nas folhas (TCaF) foi observada resposta apenas para a adubação nitrogenada, ajustando-se a equação linear e decrescente, com os menores valores estimados para a maior dose de N ($20 \text{ g planta}^{-1} \text{ ano}^{-1}$), com TCaF de $8,04 \text{ g kg}^{-1}$, e maior TCaF na menor dose de N ($5 \text{ g planta}^{-1} \text{ ano}^{-1}$), com TCaF médio de $10,74 \text{ g kg}^{-1}$ (Figura 61C). Não houve efeito do fator de depleção sobre o TCaF, obtendo-se valor médio de $9,39 \text{ g kg}^{-1}$ (Figura 61D).

Com relação ao teor de cálcio no botão floral (TCaB), verificou-se que ocorreu resposta linear e negativa para a adubação nitrogenada e para os níveis de depleção da água no solo. A partir das equações de regressão ajustadas, percebe-se que os maiores TCaB ocorreram na menor dose de N ($5 \text{ g planta}^{-1} \text{ ano}^{-1}$), com $3,29 \text{ g kg}^{-1}$, e no fator F_1 ($f = 0,15$) com $3,27 \text{ g kg}^{-1}$ (Figuras 61E e 61F), respectivamente.

Figura 61 - Teor de cálcio nas hastes (TCaH), nas folhas (TCaF) e nos botões (TCaB) em função de doses de nitrogênio (A, C e E) e em função dos níveis de depleção da água no solo (B, D e F) para colheita iniciada aos 245 dias após início dos tratamentos (DAIT)

Analisando o efeito dos fatores sobre os teores de magnésio no tecido vegetal da roseira, verificou-se que para o TMgH houve resposta negativa, tanto para o aumento nas doses de N, como para o aumento no fator de depleção, de forma que os dados obtidos foram ajustados a equações lineares (Figura 62). Desta forma, os

menores valores de TMgH foram obtidas na maior dose de N ($0,72 \text{ g kg}^{-1}$), e no maior fator de depleção ($0,76 \text{ g kg}^{-1}$) (Figura 62A e 62B).

Para o teor de magnésio nas folhas (TMgF) verificou-se comportamento semelhante ao observado para TMgH, no qual os dados foram ajustados a equação linear e decrescente, com os maiores valores ocorrendo nos menores níveis dos fatores estudados. Com resposta às doses de N, verificou-se TMgF variando de $2,74$ a $2,18 \text{ g kg}^{-1}$, para as doses de 5 e $20 \text{ g planta}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, respectivamente (Figura 62C). Já para os diferentes níveis de depleção, também foi observado decréscimo com o aumento no intervalo entre irrigações, verificando-se TMgF variando de $2,74 \text{ g kg}^{-1}$ (F_1) a $2,18 \text{ g kg}^{-1}$ (F_4) (Figura 62D).

Com relação ao teor de magnésio no botão floral (TMgB), verificou-se resposta semelhante à observada para TMgH e TMgF, nos quais o aumento das doses de N e dos níveis de depleção provocaram redução na absorção de magnésio. Para o efeito da adubação nitrogenada, bem como dos níveis de depleção, os dados obtidos apresentaram melhor ajuste a equação linear e decrescente. Assim, para ambos os fatores, os maiores valores ocorreram na menor dose de N ($5 \text{ g planta}^{-1} \text{ ano}^{-1}$), com TMgB de $1,21 \text{ g kg}^{-1}$; e no menor fator de depleção ($f = 0,15$), com TMgB de $1,21 \text{ g kg}^{-1}$ (Figura 62E e 62F), respectivamente.

De forma geral, os maiores teores de magnésio foram observados no tecido foliar, com média geral de $2,46 \text{ g kg}^{-1}$.

Figura 62 - Teor de magnésio nas hastes (TMgH), nas folhas (TMgF) e nos botões (TMgB) em função de doses de nitrogênio (A, C e E) e em função dos níveis de depleção da água no solo (B, D e F) para colheita iniciada aos 245 dias após início dos tratamentos (DAIT)

4.7.3 Teor de fósforo e enxofre no tecido vegetal da roseira

Na Tabela 27 é mostrado o resumo da análise de variância para os teores de fósforo e enxofre nas diferentes partes das hastes analisadas, na qual se pode verificar que não houve efeito significativo da interação entre os fatores estudados sobre todas as variáveis analisadas ($p > 0,05$). Quanto ao efeito dos fatores

isolados, foram observadas respostas significativas apenas para o os teores de fósforo nas hastes (TPH) e nas folhas (TPF), para ambos os fatores, ($p < 0,01$) para N e ($p < 0,05$) para f (Tabela 27).

Tabela 27 - Resumo da análise de variância para o teor de fósforo nas hastes (TPH), nas folhas (TPF), nos botões (TPB), e teor de enxofre nas hastes (TSH), nas folhas (TSF), nos botões (TSB) de roseiras cultivadas em ambiente protegido, submetidas a diferentes doses de nitrogênio e níveis de depleção da água no solo

Fontes de variação	Variáveis					
	TPH	TPF	TPB	TSH	TSF	TSB
	-----Valores de F-----					
Doses de nitrogênio (N)	8,68**	26,92**	1,02 ^{ns}	1,71 ^{ns}	0,65 ^{ns}	2,38 ^{ns}
Linear	25,80**	76,88**	1,74 ^{ns}	4,10 ^{ns}	0,95 ^{ns}	4,05 ^{ns}
Quadrático	0,10 ^{ns}	3,59 ^{ns}	0,66 ^{ns}	0,10 ^{ns}	0,02 ^{ns}	0,12 ^{ns}
Fator de depleção (f)	4,61*	2,95*	1,39 ^{ns}	3,16 ^{ns}	1,30 ^{ns}	2,38 ^{ns}
Linear	11,78**	7,49**	1,94 ^{ns}	0,88 ^{ns}	1,61 ^{ns}	0,23 ^{ns}
Quadrático	0,01 ^{ns}	0,01 ^{ns}	1,30 ^{ns}	7,60 ^{ns}	1,36 ^{ns}	6,05 ^{ns}
N x f	0,42 ^{ns}	0,38 ^{ns}	1,58 ^{ns}	2,05 ^{ns}	1,67 ^{ns}	2,82 ^{ns}
Blocos	2,60 ^{ns}	1,01 ^{ns}	6,49**	2,89*	3,97*	9,83**
CV (%)	9,84	9,69	6,02	16,47	10,16	8,55
Média geral (g kg ⁻¹)	1,99	1,67	2,04	0,69	1,24	0,80

** e * significativo a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente; ^{ns} - não significativo; CV - coeficiente de variação

O teor de fósforo nas hastes (TPH) aumentou significativamente e linearmente em resposta ao aumento nas doses de nitrogênio, de forma que, de acordo com a equação de regressão ajustada, os maiores teores foram obtidos nas plantas fertirrigadas com as maiores doses de N (20 g planta⁻¹ ano⁻¹), com TPH máximo de 2,16 g kg⁻¹. Nas plantas fertirrigadas com a dose de 5 g planta⁻¹ ano⁻¹, obtiveram-se os menores teores de P, com 1,83 g kg⁻¹, demonstrando assim aumento percentual de 18,03% no TPH entre estas doses (Figura 63A).

Analizando o efeito do fator de depleção da água no solo, foi observada resposta linear, porém negativa, sendo o TPH reduzido significativamente em resposta ao aumento do intervalo entre irrigações, obtendo-se redução de 10,5%, entre as plantas irrigadas a partir dos fatores F₁ (2,10 g kg⁻¹) e F₄ (1,88 g kg⁻¹), independentemente da adubação nitrogenada (Figura 63B).

Para o teor de fósforo na folha (TPF) foi observada resposta semelhante ao TPH, apresentando resposta linear e positiva para o aumento das doses de N, e

linear negativa para o aumento no fator de depleção. Quanto à adubação nitrogenada, os maiores valores ocorreram na dose de 20 g planta⁻¹ ano⁻¹ (1,91 g kg⁻¹) (Figura 64C), enquanto para os níveis de depleção os maiores TPF ocorreram quando as plantas foram irrigadas a partir do menor fator de depleção (f = 0,15), decrescendo nos demais níveis (Figura 63D).

Figura 63 - Teor de fósforo nas hastes (TPH), nas folhas (TPF) e nos botões (TPB) em função de doses de nitrogênio (A, C e E) e em função dos níveis de depleção da água no solo (B, D e F) para colheita iniciada aos 245 dias após início dos tratamentos (DAIT)

No tocante ao teor de fósforo no botão floral (TPB), não foram observadas respostas aos tratamentos, sendo verificados TPB médio entre os tratamentos de $2,04 \text{ g kg}^{-1}$ (Figura 63E e 63F).

Dutra (2009) avaliando a nutrição de duas cultivares de rosas (Vegas e Tineke) sob omissão de nutrientes, verificou teor foliar de P de $2,52 \text{ g kg}^{-1}$ nas plantas submetidas à solução nutritiva completa, teor este próximo ao observado no presente trabalho. De acordo com Vetanovetz (1996) a faixa adequada de P no tecido foliar da roseira é de 2,0 a $3,0 \text{ g kg}^{-1}$, desta forma, as plantas conduzidas neste trabalho apresentaram teores de P bem próximo à recomendação.

Não houve efeito significativo dos tratamentos sobre os teores de enxofre no tecido vegetal, conforme mostrado anteriormente, sendo obtidos entre os tratamentos, os valores médios de 0,69; 1,24 e $0,80 \text{ g kg}^{-1}$, para TSH, TSF e TSB, respectivamente (Tabela 27).

Os teores de macronutrientes na folha seguiram a ordem de $\text{N} > \text{K} > \text{Ca} > \text{Mg} > \text{P} > \text{S}$ com valores de 19,66; 15,76; 9,39; 2,46; 1,67 e $1,24 \text{ g kg}^{-1}$ (Tabelas 25, 26 e 27). Valores superiores e diferente ordem no teor de nutrientes foram obtidos por Dutra (2009) cultivando em ambiente protegido as roseiras das cultivares 'Vegas' e 'Tineke', que aos 256 dias após transplântio, apresentaram teores foliares de 27,02; 22,27; 12,53; 3,39; 2,56 e $2,03 \text{ g kg}^{-1}$ de N, K, Ca, P, S e Mg (Vegas) e 26,53; 21,10; 15,89; 2,37; 2,21 e $1,48 \text{ g kg}^{-1}$ de N, K, Ca, S, P e Mg (Tineke).

Os teores da macronutrientes na haste e botão seguiram a mesma ordem com $\text{N} > \text{K} > \text{Ca} > \text{P} > \text{Mg} > \text{S}$, assumindo valores de 12,00; 10,96; 2,81; 1,99; 0,88 e $0,69 \text{ g kg}^{-1}$ na haste e 15,05; 11,94; 3,03; 2,04; 1,09 e $0,80 \text{ g kg}^{-1}$ no botão.

Analisando os teores de nutrientes na haste floral completa (haste, folha e botão), a produção média da 5ª colheita, a fitomassa seca (haste, folha e botão) e uma população de $8,33 \text{ plantas m}^{-2}$, foi possível calcular a quantidade de nutrientes exportados pelas hastes, obtendo-se valores médios de 24,59; 20,71; 8,07; 3,10; 2,33 e $1,44 \text{ kg ha}^{-1}$ na ordem de $\text{N} > \text{K} > \text{Ca} > \text{P} > \text{Mg} > \text{S}$, ordem divergente e valores esses bem superiores aos encontrados por Dutra (2009). No trabalho desse autor as quantidades de macronutrientes exportadas pela colheita das rosas foram calculadas com base nos acúmulos médios dos nutrientes na haste com uma rosa (folhas, hastes e rosa) para uma população de 66.667 plantas por hectare,

resultando na ordem de $N > K > Ca > P > Mg > S$ com 7,14; 6,58; 2,48; 0,94; 0,68 e 0,64 kg ha⁻¹ (Vegas) e 11,04; 8,23; 2,49; 1,19; 0,84 e 0,54 kg ha⁻¹ (Tineke).

4.8 Renda bruta

Para o cálculo da renda bruta (R\$ m⁻²) em cada colheita e conseqüentemente para todo o período de colheitas (250 DAIT), realizou-se um levantamento junto à Cooperativa Veiling Holambra do preço da haste floral por tamanho e ao longo do período (Figura 64). A diferenciação dos tratamentos e o período referente as colheitas foram realizadas entre 31/05/2011 e 04/02/2012, onde realizou-se 5 colheitas, sendo que a 1ª, 2ª, 3ª, 4ª e 5ª colheitas, foram iniciadas aos 45, 95, 150, 196 e 250 DAIT, respectivamente.

O valor da haste varia em função da época do ano e do seu tamanho, com os maiores valores praticados para hastes com comprimento maior 60 cm, em seguida as que tem entre 50 e 60 cm e os menores valores para hastes de 40 a 50 cm, sendo que os maiores valores ao longo do período experimental (Figura 64) foram observados na 1ª e 2ª colheitas, com o máximo valor de 1,35 R\$ por haste (haste > 60 cm), esse aumento de preço nessa época ocorre principalmente devido a datas comemorativas, como dias das mães e dos namorados.

Figura 64 – Variação do preço de haste durante o período experimental segundo Velling

A análise da renda bruta é uma maneira de unificar a avaliação dos parâmetros PCHF (quantidade) e CHF (qualidade) visando mensurar os tratamentos

que maximizam a produção pela associação dos parâmetros quantitativos, qualitativos e com reduzido uso de fertilizantes e recursos hídricos.

A renda média para cada tratamento (Tabela 28), durante os 250 dias que perduraram as colheitas, permite inferir que a mesma foi maximizada na dose N_2 (160,07 R\$ m⁻²) e F_1 , porém não diferindo em N_1 e N_3 , e em F_2 . Vale ressaltar que essa análise foi realizada para todo período (250 DAIT), sendo necessária a verificação e adequação das doses ao longo do tempo de cultivo, ou seja, a dose que maximiza a produção varia no tempo (Figura 35 e 36); de forma geral, tende a decrescer, pois ocorre um acúmulo de íons, caso o manejo da irrigação seja adequado para não haver lixiviação de nutrientes, consequentemente com perda de água e fertilizantes. As menores rendas foram obtidas para N_4 em todos os níveis de depleção da água no solo (Tabela 28).

Adotar um maior fator de depleção ($F_2 = 0,30$) que não reduza a renda em relação ao fator $F_1 = 0,15$ (Tabela 28) proporciona uma redução na mão de obra e consequentemente torna o processo produtivo menos oneroso. O fator de depleção relaciona-se com a susceptibilidade da cultura ao estresse hídrico e com o tipo de órgão ou parte da planta que se deseja colher e maximizar (FISCHER; HAGAN, 1965).

Tabela 28 - Valores médios da renda bruta (R\$ m⁻²) para produção comercial de hastes florais de roseiras cultivadas em ambiente protegido para 250 dias, submetidas a diferentes doses de nitrogênio e níveis de depleção da água no solo

Fator de depleção	----- Doses de nitrogênio (g planta ⁻¹ ano ⁻¹) -----				Média
	N_1	N_2	N_3	N_4	
F_1	151,87Aa	160,07Aa	146,69Aa	117,61Ba	144,06
F_2	133,84Bb	151,78Aa	147,31ABa	105,00Cab	134,48
F_3	126,83Ab	126,74Ab	125,84Ab	95,51Bb	118,73
F_4	118,65Ab	122,54Ab	111,86ABb	99,68Bb	113,18
Média	132,80	140,28	132,93	104,45	127,61

* Médias seguidas da mesma letra maiúsculas nas linhas e minúsculas nas colunas não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 0,05 de probabilidade

Um maior fator de depleção pode ser adotado para culturas cultivadas a campo, pois as mesmas distribuem suas raízes em camadas mais profundas, e ainda com umidade remanescente, de forma que não sofrem estresse hídrico por

déficit e conseqüentemente não reduz a produção. Sendo que o fator de depleção é determinado pelo monitoramento da umidade nas camadas superiores onde predomina o sistema radicular. Logo no presente trabalho o maior fator de depleção que não afeta negativamente a produção deve ser inferior ao cultivo a campo, pois o mesmo apresentava um volume de solo delimitado, assim não explorando camadas mais profundas.

5 CONCLUSÕES

Considerando as condições em que o presente estudo foi desenvolvido e com base nos resultados obtidos, pode-se concluir que:

- A dose de nitrogênio que maximiza a produção comercial de hastes florais de rosas decresce à medida que as colheitas se prolongam;
- O incremento na dose de nitrogênio não afeta os parâmetros de produção e qualidade referentes à primeira colheita;
- Os menores níveis de depleção da água no solo proporcionam as melhores produções em termos quantitativos e qualitativos;
- O estresse hídrico temporário (depleção) afeta negativamente os parâmetros quantitativos e qualitativos das hastes de rosas;
- A produção e qualidade das hastes são mais afetadas pelas doses de nitrogênio do que pelos níveis de depleção da água no solo;
- Os níveis de depleção proporcionam diferenciação na temperatura foliar nos horários de maior temperatura do ar (12:00 e 15:00h) e com solo em umidade crítica;
- O potencial da água na folha é fortemente afetado pelos níveis de depleção e não é influenciado pelas doses de nitrogênio;
- O consumo hídrico é afetado negativamente por ambos os fatores estudados; totalizando um consumo hídrico máximo de 797 mm em N_2F_1 para os 250 DAIT;
- A produção acumulada de hastes florais é maximizada com 11,1 g de N por planta por ano, e não é influenciada pelos níveis de depleção da água no solo;
- A produtividade da água em hastes aumenta em função dos fatores doses de N e depleção da água no solo;
- O incremento nos fatores proporciona aumento no teor de nitrogênio, potássio e fósforo nas folhas e hastes, exceto para os níveis de nitrogênio no teor de potássio e para níveis de depleção no teor de fósforo;

- Os fatores estudados provocam redução nos teores de cálcio e magnésio no tecido das hastes (hastes, folhas e botões), e não afetam o teor de enxofre no tecido vegetal;
- As fitomassas fresca e seca de hastes (folhas, hastes e botões) decrescem em função dos fatores estudados;
- A renda bruta é maximizada para as menores doses de nitrogênio (N_1 e N_2) e para os menores níveis de depleção da água no solo (F_1 e F_2).

REFERÊNCIAS

- ALBUQUERQUE, P.E.P.; DURÃES, F.O.M. **Uso e manejo da irrigação**. Brasília: Embrapa, 2008. 528 p.
- ALCARDE, J.C.; GOMES, P.F.; MALAVOLTA, E. **Adubos e adubações**. São Paulo: Nobel, 2000. 596p.
- ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration: Guides for computing crop water requirements** Food and Agriculture Organization of the United Nations FAO; Rome, 1998. 300 p. (FAO Irrigation and Drainage Paper,56.)
- AL-YAHYAI, R.; DAVIES, F. S.; BRUCE SCHAFFER, B.; JONATHAN CRANE, J. Effect of soil water depletion on growth, yield, and fruit quality of carambola in gravelly loam soil. **Proceedings of the Florida State Horticultural Society**, Tallahassee, v.118, p.237-241. 2005.
- AMORIM, D. M. B. **Cultivo protegido de roseiras sob diferentes lâminas de irrigação no Agreste-PE, Brasil**. 2007. 102 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife. 2007.
- ANAMI, M. H.; SAMPAIO, S. C.; SUSZEK, M.; GOMES, S. D.; QUEIROZ, M. M. F. Deslocamento miscível de nitrato e fosfato proveniente de água residuária da suinocultura em colunas de solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande v.12, n. 1, p.75-80, 2008.
- ARAÚJO, J.A.C.; CASTELLANE, P.D. Recentes avanços da pesquisa agrônômica na plasticultura brasileira. In: ARAÚJO, J.A.C.; CASTELLANE, P.D. (Ed.) **Dez anos de plasticultura na F.C.A.V.**- FUNEP, Jaboticabal: 1996. p. 67-68.
- BAÑON ARIAS, S.; CIFUENTES ROMO, D.; HERNANDEZ, J.A.F.; BENEVENTE-GARCIA, A. La Rosa. In: BAÑON ARIAS, S.; CIFUENTES ROMO, D.; HERNANDEZ, J.A.F.; BENEVENTEGARCIA, A. **Gerbera, Lilium, Tulipán y Rosa**. Madrid: Mundi-Prensa, 1993, cap.4, p.202-250.
- BARBOSA, J. G. **Produção comercial de rosas**. Viçosa: Aprenda Fácil, 2003. 200p.
- BARBOSA, J. G.; BARBOSA, M. S.; MUNIZ, M. A.; GROSSI, J. A. S. Nutrição mineral e adubação de plantas ornamentais. In: Floricultura: tecnologias, qualidade e diversificação. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 30, n. 249, p. 16-21. 2009.
- BATALHA, M. O.; BUAINAIN, A. M. **Cadeias produtivas de flores e mel**. Brasília: IICA: MAPA/SPA, 2007.

BERNARDO, S.; SOARES, A.A.; MANTOVANI, E.C. **Manual de irrigação**. 8. ed. Viçosa: UFV, 2006. 625 p.

BLANCO, F.F.; FOLEGATTI, M.V. Manejo da água e nutrientes para o pepino em ambiente protegido sob fertirrigação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 6, n. 2, p. 251-255, 2002.

BOUYOUCUS, G. J. A Recalibration of the hydrometer method for making mechanical analysis of soils. **Agronomy Journal**, Madison, v. 43, n.9. p. 434-438, 1951.

BURGUEÑO, H. **La fertirrigación en cultivos hortícolas com acolchado plástico**. Culiacán: BURSAR, 1996. v. 1, 45 p.

BURT, C.; CONNOR, K.; RUEHR, T. **Fertigation**. San Luis Obispo: California Polytechnic State University, 1998. 295 p.

CABALLERO, M.; MANSITO, P.; ZIESLIN, N.; RODRIGO, J.; MELIAN, J.; RENZ, O. Water use and crop productivity of roses growing on volcanic lapilli (picon) in Canary Islands. **Acta Horticulturae**, The Hague, n.424, p.41-44, 1996.

CABRERA, R. I.; EVANS, R. Y.; PAUL, J. L. Nitrogen partitioning in rose plants over a flowering cycle. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, n. 63, n.1, p. 67-76, 1995.

CADAHÍA, C.; EYMAR, A.; SÁNCHEZ, A.; LÓPEZ-VELA, D. Differences in nutrient uptake of four rose cultivars in sand culture. **Acta Horticulturae**, The Hague, n. 458, p. 335-341, 1998.

CAMARGO, A. P. **Desenvolvimento de um controlador de irrigação para áreas experimentais**. 2012. 110 p. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2012.

CAMERON, F.K. **The soil solution**: the nutrient medium for plant growth. Easton: The Chemical Publishing, 1911. 136p.

CAOVILLA, F. A.; SAMPAIO, S. C.; PEREIRA, J. O.; VILAS BOAS, M. A.; GOMES, B. M.; FIGUEIRÊDO, A. C. Lixiviação de nutrientes proveniente de águas residuárias em colunas de solo cultivado com soja. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.9, p.283-287, 2005. Suplemento.

CASARINI, E. **Doses de N e K aplicados via fertirrigação na cultura da roseira (Rosa sp.) em ambiente protegido**. 2004. 101 p. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2004.

CASARINI, E. **Manejo da irrigação na cultura da roseira cultivada em ambiente protegido**. Piracicaba, 2000. 66p. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) – Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo. Piracicaba, 2000.

CASARINI, E.; FOLEGATTI, M. V.; SILVA, E. F. F. Produtividade da roseira em função de doses de nitrogênio e potássio aplicadas via fertirrigação em ambiente protegido. **Magistra**, Cruz das Almas, v. 19, n.3, p. 250-256, 2007.

CHIMONIDOU-PAVLIDOU, D. Effect of water stress at different stages of rose development. **Acta Horticulturae**, The Hague, n.424, p.45-51, 1996.

CHIMONIDOU-PAVLIDOU, D. Irrigation and sensitive stages of rose development. **Acta Horticulturae**, The Hague, n.481, p.393-401, 1999.

CHIMONIDOU-PAVLIDOU, D. Malformation of roses due to drought stress. **Scientia Horticulture**. Amsterdam, v.99, n.1, p.79-87, 2004.

CHIMONIDOU-PAVLIDOU, D. Yield and quality of rose "Madelon" as affected by four irrigation and three shadings regimes. **Acta Horticulturae**, The Hague, n.458, p.95-102, 1998.

DELOIRE, A.; CARBONNEAU, A.; WANG, Z.; OJEDA, H. Vine and water. A short review. **Journal International des Sciences de la vigne et du vin**, Bordeaux, v.38,n.1, p.1-13, 2004.

DING, Y.C.; CHANG, C.R.; LUO, W.; WU, Y.S.; REN, X.L.; WANG, P.; XU, G.H. High potassium aggravates the oxidative stress induced by magnesium deficiency in rice leaves. **Pedosphere**, Beijing, v. 18, n. 3, p.316-327, 2008.

DOORENBOS, J.; KASSAM, A. M. **Efeito da água no rendimento das culturas**. Campina Grande, PB: UFPB, 1994. 306p.

DURKIN, D.J. Roses In: LARSON, R.A. Introduction to floriculture. San Diego: **Academic Press**, 2. ed. 1992, cap.2, p. 67-91.

DUTRA, A. V. **Nutrição e produção de rosas, cultivares 'Vegas' e 'Tineke'**. 2009. 94 p. Tese (Doutorado em Solos e nutrição de plantas) – Escola superior de Agricultura "Luiz de Queiroz". Universidade de São Paulo, 2009.

EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação do Solo. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro, 1997. 212 p.

EYMAR A. E.; LÓPEZ VELA, D.; CADAHÍA LÓPEZ, C. Fertirrigacion de coníferas y rosal, In: CADAHÍA LOPEZ, C. **Fertirrigacion: cultivos hortícolas y ornamentales**, Madrid: Mundi-Prensa, 1998, Cap. 2, p.417-463.

FARINA, E.; VERUGGIO, R. The effects of high-intensity lighting on flower yield of rose "Dallas". **Acta Horticulturae**, The Hague, n.424, p.35-39, 1996.

FEIGIN, A.; GINZBURG, C.; GILEAD, S.; ACKERMAN, A. Effect of NH_4/NO_3 ratio in nutrient solution on growth and yield of greenhouse roses. **Acta Horticulturae**, The Hague, n.189, p.127-135, 1986.

FISCHER, R.A.; HAGAN, R.M. Plant water relations, irrigation management and crop yield. *Experimental Agriculture*, Cambridge, v.1, n.3, p.161-177, 1965.

FOLEGATTI, M. V.; CASARINI, E.; BLANCO, F. F. Greenhouse irrigation water depths in relation to rose stem and bud qualities. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.58, n.3, p.465-468, jul./set. 2001.

FUJITA, K., LEI, K., SANEOKA, H., MOGHAIEB, R.E.A., MOHAPATRA, P.K. Effect of N-deficiency on photoassimilate partitioning and rhythmic changes in fruit and stem diameter of tomato (*Lycopersicon esculentum*) during fruit growth. **4th International Crop Science Congress**. Queensland, Australia, 2004.

GOTO, R.; GUIMARÃES, V.F.; ECHER, M.M. Aspectos fisiológicos e nutricionais no crescimento e desenvolvimento de plantas hortícolas. In: FOLEGATTI, M.V.; CASARINI, E.; BLANCO, F.F.; BRASIL, R.P.C. do; RESENDE, R.S. (Coord.). **Fertirrigação: flores, frutas e hortaliças**. Guaíba: Agropecuária, 2001. v. 2, p. 241-268.

HOAGLAND, D.R.; MARTIN, J.C.; STEWART, G.R. Relation of the soil solution to the soil extract. **Journal of Agricultural Research**, Washington, v.20, n.5, p.381-395, 1920.

HOWARD, E. H.; HANAN, J. J. Effect of salinity in water supplies on greenhouse rose production. **Journal of the American Society of Horticultural Science**, Alexandria, v.103, n. 5, p. 694-699, 1978.

HUCHÉ-THÉLIER, L.; BOUMAZA, R.; DEMOTES-MAINARD, S.; CANET, A.; SYMONEAUX, R.; DOUILLET, O., GUÉRIN, V. Nitrogen deficiency increases basal branching and modifies visual quality of the rose bushes. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 130, n.3, p. 325–334, 2011.

INSTITUTO BRASILEIRO DE FLORICULTURA. **Dados gerais do setor**. Boletim Ibraflor. Campinas: IBRAFLOR, 2012. 4 p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE FLORICULTURA. **Números do setor**: Gargalos da floricultura. Campinas: IBRAFLOR, 2013. Disponível em: <http://www.ibraflor.com/ns_mer_interno.php>. Acesso em: 15 fev. 2013.

JIMÉNEZ, S.; ALÉS, J. I.; LAO, M. T.; PLAZA, B.; PÉREZ, M. Evaluation of nitrate quick tests to improve fertigation management. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 37, p. 2461–2469, 2006.

JOLY, A.B. **Botânica**: introdução à taxonomia vegetal. 3. ed. São Paulo: Ed. Nacional, 2002. 777 p.

JUNQUEIRA, A. H.; PEETZ, M. S. **Boletim de análise conjuntural do mercado de flores e plantas ornamentais no Brasil junho de 2012**: Balanço do comércio exterior da floricultura brasileira. Hórtica Consultoria e Treinamento, 2012. 7p.

KATSOULAS, N.; KITTAS, C.; DIMOKAS, G.; LYKAS, CH. Effect of irrigation frequency on rose flower production and quality. **Biosystems Engineering**, London, v.93, n.2, p.237-244. 2005.

KOOL, M.T.N.; LENSSEN, E.F.A. Basal shoot formation in young rose plants: Effects of bending practices and plant density. **The Journal of Horticultural Science**, London, v.72, n.4, p.635-466, 1997.

LANGHANS, R.W. Building young plants. In: LANGHANS, R.W, **A manual of greenhouse rose production**. Michigan: Roses, 1987. cap.10, p.61-63.

LAO, M.T.; JIMÉNEZ, S.; EYMAR, E.; FERNÁNDEZ, E.J. Nutrient levels of the solution obtained by means of suction cups in intensive tomato cultivation. **Phyton**, Buenos Aires, v. 4, n. 7, p. 29-37, 2004.

LEITE, C. A. Manejo em cultivo protegido. Disponível em: http://www.polysack.com/index.php?page_id=744. Acesso em: 15 fev. 2013.

LIBARDI, P.L. **Dinâmica da água no solo**. São Paulo: EDUSP, 2005. 335 p.

LIETH, J.H.; KIM, S.H. Effects of shoot-bending in relation to root media on cut flower production in roses. **Acta Horticulturae**, The Hague, n.547, p.303-310, 2001.

LIMA, C.J.G.S. **Calibração e manejo de extratores providos de cápsulas porosas e transdutores de pressão para monitoramento de ions na fertirrigação**. 2009. 110 p. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2009.

LOPES, L. C. **A cultura da roseira**. Viçosa: CEUFV/ UFV. Boletim de Extensão. n. 3. 1980. 21p.

LORD, E.I.; SHEPHERD, M.A. Developments in the use of porous ceramic cups for measuring nitrate leaching. **European Journal of Soil Science**, Oxford, v. 44, n. 3, p. 435-449, 1993.

MALAVOLTA E; VITTI G.C; OLIVEIRA S. A. 1997. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**, 2 ed. Piracicaba: POTAFOS (Associação brasileira de pesquisa da potassa e do fosfato), 317p.

MANSUR, R. J. C. N.; BARBOSA, D. C. A. Comportamento fisiológico em plantas jovens de quatro espécies lenhosas da caatinga submetidas a dois ciclos de estresse hídrico. **Phyton**, Buenos Aires, v. 68, p. 97-106, 2000.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2nd ed. London: Academic Press, 1995. 889 p.

MARTIN, J. D.; CARLESSO, R.; AIRES, N. P.; GATTO, J. C.; DUBOU, V.; FRIES, H. M.; SCHEIBLER, R. B. Irrigação deficitária para aumentar a produtividade da água na produção de silagem de milho. **Irriga**, Botucatu, p. 192 - 205, 2012. Edição Especial.

MASTALERZ, J.W. Environmental factors light, temperature, and carbon dioxide. In: LANGHANS, R.W. **A manual of greenhouse rose production**. Michigan: Roses, 1987. cap.15, p.147-170.

MATCHA, S.S.K. effects of nitrogen deficiency on plant growth, leaf photosynthesis, and hyper spectral reflectance properties in castor (*Ricinus Communis*). ASA Southern Branch 2007 Annual Meeting. 2007.

MATSUNAGA, M.; OKUYAMA, M.H.; BESSA JÚNIOR, A.A. Cultivo em estufa de rosa cortada: custos e rentabilidade. **Informações Econômicas**, São Paulo, v. 25, n. 8, p. 49-58, 1995.

MEDEIROS S. S.; GHEYI H. R.; SOARES F. A. L. Cultivo de flores com o uso de água residuária e suplementação mineral. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.30, n.6, p.1071-1080, nov./dez. 2010.

MÉLO, R.F.; GRUBER, Y.B.G.; COELHO, R. D. Variação do potencial total da água na folha em plantas cítricas em função do tempo de armazenamento das amostras. **Irriga**, Botucatu, v. 12, p. 326-337, 2007.

MENGEL, K.; KIRKBY, E. A. **Principles of plant nutrition**. Bern: International Potash Institute, 1978. 593 p.

MEURER, E.J.; ANGHINONI, I. A solução do solo. In: MEURER, E. **Fundamentos de química do solo**. 2. ed. Porto Alegre: Genesis, 2004. p. 101-129.

MMOLAWA, K.; OR, D. Root zone solute dynamics under a drip irrigation: a review. **Plant and Soil**, Wageningen, v. 22, n. 2, p. 163-90, 2000.

MUCHOVEJ, R.M.C; RECHCIGL, J.E. Impacts of nitrogen fertilization of pastures and turfgrasses on water quality. In: LAL, R.; STEWART, B.A. (Ed.). **Soil processes and water quality**. Boca Raton: Lewis Publ., 1994. p. 91-135

MUNNS, R. Comparative physiology of salt and water stress. **Plant, Cell and Environment**, Oxford, v.25, n. 2, p.239-250. 2002.

NANETTI, D.C.; SOUZA, R.J.; FAQUIN, V. Efeito da aplicação de nitrogênio e potássio, via fertirrigação, na cultura do pimentão. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 18, p. 843-845, 2000. Suplemento.

OKI, L.R.; LIETH, J. H.; TJOSVOLD, S. Irrigation of rose hybrida L. 'kardinal' based on soil moisture tension increases productivity and flower quality. **Acta Horticulturae**, The Hague, n.547, p.213-219, 2001.

OLIVEIRA, F. A. **Cultivo de pimentão em ambiente protegido utilizando diferentes manejos de fertirrigação**. 2012. 222 p. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2012.

PADILLA, W.A. El uso de la fertirrigacion en cultivos de flores en latinoamerica. In: FOLEGATTI MV (Coord). **Fertirrigação**: Citrus, Flores, Hortalças. Guaíba: Agropecuária, 1999. cap. 5, p.355-384.

PANDORFI, C. G.; **Manejo da cobertura de ambientes protegidos: Alterações micrometeorológicas e efeitos na produção e na qualidade da gérbera**. 2006. 96 p. Tese (Doutorado em Física do Ambiente Agrícola) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba. 2006.

PATAKAS, A.; NIKOLAOU, N.; ZIOZIOU, E.; RADOGLU, K.; NOITSAKIS, B. et al. The role of organic solute and ion accumulation in osmotic adjustment in drought-stressed grapevines. **Plant Science**, Chicago, v. 163, n. 2, p. 361-367, 2002.

PEREIRA, L. S.; CORDERY, I.; IACOVIDES, I. Coping with Water Scarcity. Addressing the Challenges. **Springer**, Dordrecht, 382 p. 2009.

PETRY, C. Plantas ornamentais, In: **Produção de rosas**. Passo Fundo: EDIUPF, 1999. p.113-129.

PINTO, J.B. **Tecnologia pós-colheita: armazenamento de rosas cultivar ‘vegas’**. 1997. 75 p. Dissertação (Mestrado em Pré-Processamento de Produtos Agrícolas) - Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1997.

PLAUT, Z.; ZIESLIN, N.; LEVEV, N. Effect of different soil moisture regimes and canopy wetting on ‘Baccara’ roses. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v.5, n.3, p.277-285, 1976.

PLAYAN, E.; MATEOS, L. Modernization and optimization of irrigation systems to increase water productivity. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v.80, p.100–116, 2006.

PORTO FILHO, F.Q.; MEDEIROS, J.F.; GHEYI, H.R.; DIAS, N.S.; SOUSA, P.S.; DANTAS, D.C. Evolução da salinidade e pH de solo sob cultivo de melão irrigado com água salina. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 15, n. 11, p. 1130-1137, 2011.

QASIM, M.; AHMAD, I.; AHMAD, T. OPTIMIZING FERTIGATION FREQUENCY FOR ROSA HYBRIDA L. **Pakistan Journal of Botany**, Islamabad, v.40, n. 2; p. 533-545, 2008.

QIU, G.Y.; MIYAMOTO, K.; SASE, S.; OKUSHIMA, L. Detection of crop transpiration and water stress by temperature related approach under field and greenhouse conditions. **Japan Agricultural Research Quarterly**, Ohwashi, v. 34, n. 1, p. 29-37, 2000.

RAIJ, B. van; ANDRADE, J.C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agrônômico, 2001. 285 p.

RAVIV, M.; BLOM, T. J. The effect of water availability and quality on photosynthesis and productivity of soilless-grown cut roses. **Scientia Horticulture**. Amsterdam, n.88, n.4, p.257-276, 2001.

RICHARDS, L.A.. Methods for mounting porous plates used in soil moisture measurement. **Agronomy Journal**, Madison, v. 41, p. 489-490, 1949.

RODRIGUES, E. J. R.; MINAMI, K.; FARINA, E. Cobertura do substrato com filme plástico e o cultivo hidropônico da roseira: produtividade, consumo de água, temperatura e salinização. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 56, n. 4, p.785-795, 1999.

SALINGER, J.P. **Rosas de invernadero**. In: SALINGER, J.P. Producción comercial de flores, Zaragoza: Acribia, 1991, cap.4, p.279-294.

SANTOS, B. G.; ALMEIDA, E. F. A.; OLIVEIRA, E. C.; MIMURA S. N.; CARVALHO L. M. Produção e qualidade de rosas cultivadas sob diferentes lâminas de irrigação e doses de nitrogênio. Seminário de Iniciação Científica e Tecnológica, 9., 2012, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: EPAMIG, 2012.

SCALOPPI, E.J.; BRITO, R. A. Qualidade da água e do solo para irrigação. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 12, n. 139, p. 80-94, 1986.

SECKLER. D.; MOLDEN, D.; SAKTHIVADIEL, R. The Concept of Efficiency in Water Resource Management and Policy. Intern. **Water Management Institute**, Colombo, Sri Lanka. p.37-51, 1998.

SENTELHAS, P.C. **Estimativa diária da evapotranspiração de referência com dados de estação meteorológica convencional e automática**. 1998. 97p. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1998.

SHANI, U., BEN-GAL, A. Long-term response of grapevines to salinity: osmotic effects and ion toxicity. **American Journal of Enology and Viticulture**, Davis, v.56, n.2, p.148-154. 2005.

SILBERBUSH, M.; LIETH, J.H. Nitrate and potassium uptake by greenhouse roses (*Rosa hybrida*) along successive flower-cut cycles: a model and its calibration. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 101, p. 127-141, 2003.

SILVA, E. C.; NOGUEIRA, R. J. M. C.; AZEVEDO NETO, A. D.; SANTOS, V. F. Comportamento estomático e potencial da água da folha em três espécies lenhosas cultivadas sob estresse hídrico. **Acta bot. bras.** Porto Alegre, v.17, n.2, p.231-246. 2003.

SOUSA, V.F. **Níveis de irrigação e doses de potássio aplicadas via fertirrigação por gotejamento no maracujazeiro amarelo**. 2000. 178 p. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba. 2000.

SOUSSI, M., OCANA, A., LLUCH, C. Effects of salt stress on growth, photosynthesis and nitrogen fixation in chick-pea (*Cicer arietinum* L.). **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v.49, n.325, p.1329-1337, 1998.

STEDUTO, P. Water use efficiency. In: PEREIRA L S; FEDDES R A; GILLEY J R; LESAFFRE, B. (eds.), Sustainability of Irrigated Agriculture 1996. p.193-209.

STEDUTO, P.; HSIAO, T. C.; FERERES, E. On the conservative behavior of biomass water productivity. **Irrigation Science**, New York, v.25, n.3, p.189-207, 2007.

STOCKLE, C.O., 2001. Environmental impact of irrigation: a review. E-water newsletter 4, Washington State University, p.1-15.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. Fisiologia vegetal. Porto Alegre: Artmed, 2004. p.449-484.

TAMIMI, Y.N.; MATSUYAMA, D.T.; ISON-TAKATA, K.D.; NAKANO, R.T. Distribution of nutrients in cut-flower roses and the quantities of biomass and nutrients removed during, **Hort Science**, Alexandria, v. 34, n. 2, p. 251-253, 1999.

TEWARI, R.K., KUMAR, P., TEWARI, N., SRIVASTAVA, S., SHARMA, P.N. Macronutrient deficiencies and differential antioxidant responses - Influence on the activity and expression of superoxide dismutase in maize. **Plant Science**, Limerick, v.166, n.3, p.687-694, 2004.

TJOSVOLD, S.A.; SCHULBACH, K.F. How to reduce water use and maximize yields in greenhouse roses. **California Agriculture**, Berkeley, v.45, n.3, p.31-32, 1991.

URCULLU, G.B. **Cultivos ornamentais para flor cortada**: cultivo del rosal. Barcelona: Salvat, 1953. 512 p.

VETANOVETZ, R.P. Tissue analysis and interpretation. In: REED, D.W. **Water, media and nutrition for greenhouse crops**. Batavia: Ball Publishing, 1996. cap.9, p.197-219.

VIDALIE, H. **Producción de flores e plantas ornamentales**. Madrid: Mundi-Prensa. 1983. 263p.

VILLAS BÔAS R. L.; GODOY, L. J. G.; BACKES, C.; LIMA, C. P.; FERNANDES, D. M. Exportação de nutrientes e qualidade de cultivares de rosas em campo e em ambiente protegido. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v.26, n.3, p. 515-519, 2008.

VILLAS BOAS, R.L.; KANO, C.; LIMA, C.P.; NANETTI, F.A.; FERNANDES, D.M. Efeito de doses de nitrogênio aplicado de forma convencional e através da fertirrigação na cultura do pimentão. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 18, p. 801-802, 2000. Suplemento

YU, Q., RENGEL, Z. Micronutrient deficiency influences plant growth and activities of superoxide dismutases in narrow-leafed lupins. **Annals of Botany**, London, v. 83, n.2, p.175-182, 1999.

ZHAO D., REDDY K.R., KAKANI, V.G., REDDY, V.R. Nitrogen deficiency effects on plant growth, leaf photosynthesis, and hyperspectral reflectance properties of sorghum. **European Journal of Agronomy**, Amsterdam v.22, n.4, p. 391-403, 2005.

ZHAO, G.Q., MA, B.L., REN, C.Z. Growth, gas exchange, chlorophyll fluorescence, and ion content of naked oat in response to salinity. **Crop Science**, Madison, v.47, n.1, p.123-131. 2007.