

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

**DISPONIBILIDADE DE N E K NO SOLO E SUA ABSORÇÃO
PELA VIDEIRA DE VINHO FERTIRRIGADA NO SEMIÁRIDO**

ALEXSANDRO OLIVEIRA DA SILVA

Tese apresentada à Faculdade de
Ciências Agronômicas da UNESP -
Campus de Botucatu, para obtenção do
Título de Doutor em Agronomia
(Irrigação e Drenagem).

BOTUCATU - SP
Setembro - 2015

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

**DISPONIBILIDADE DE N E K NO SOLO E SUA ABSORÇÃO
PELA VIDEIRA DE VINHO FERTIRRIGADA NO SEMIÁRIDO**

ALEXSANDRO OLIVEIRA DA SILVA

Orientador: Luís Henrique Bassoi

Co-orientador: Davi José Silva

Tese apresentada à Faculdade de
Ciências Agronômicas da UNESP -
Campus de Botucatu, para obtenção do
Título de Doutor em Agronomia
(Irrigação e Drenagem)

BOTUCATU - SP
Setembro - 2015

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

S586d Silva, Alexsandro Oliveira da, 1985-
Disponibilidade de N e K no solo e sua absorção pela videira de vinho fertirrigada no semiárido / Alexsandro Oliveira da Silva. - Botucatu : [s.n.], 2015
xviii, 159 f. : fots. color.; grafs. color., ils. color., tabs.

Tese (Doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 2015
Orientador: Luís Henrique Bassoi
Coorientador: Davi José Silva
Inclui bibliografia

1. Uva. 2. Fertirrigação. 3. Lixiviação. 4. Nitrogênio na agricultura. 5. Potássio na agricultura. I. Bassoi, Luís Henrique. II. Silva, Davi José. III. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (Câmpus de Botucatu). Faculdade de Ciências Agrônômicas. IV. Título.



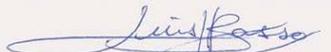
UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
CAMPUS DE BOTUCATU
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS DE BOTUCATU

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: DISPONIBILIDADE DE N E K NO SOLO E SUA ABSORÇÃO PELA VIDEIRA DE VINHO FERTIRRIGADA NO SEMIÁRIDO

AUTOR: ALEXSANDRO OLIVEIRA DA SILVA
ORIENTADOR: Prof. Dr. LUÍS HENRIQUE BASSO
CO-ORIENTADOR: Prof. Dr. DAVI JOSÉ SILVA

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de DOUTOR EM AGRONOMIA (IRRIGAÇÃO E DRENAGEM), pela Comissão Examinadora:


Prof. Dr. LUÍS HENRIQUE BASSO
Embrapa Instrumentação


Prof. Dr. LUÍS REYNALDO FERRACCIÚ ALLEONI
Departamento de Ciência do Solo / Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" - Usp


Prof. Dr. ROBERTO LYRA VILLAS BOAS
Dep de Solos e Recursos Ambientais / Faculdade de Ciências Agronômicas de Botucatu


Prof. Dr. ANTONIO ODAÍR SANTOS
Centro Avançado de Pesquisa Tecnológica em Engenharia Agrícola / Instituto Agrônomo de Campinas


Prof. Dr. HELIO GRASSI FILHO
Dep de Solos e Recursos Ambientais / Faculdade de Ciências Agronômicas de Botucatu

Data da realização: 01 de setembro de 2015.

DEDICATÓRIA

Aos meus pais, Antônio Cipriano da Silva e Edilene Correia de Oliveira Silva, e aos meus irmãos, Adriano Oliveira da Silva e Viviane Oliveira da Silva, pois só eles sabem o que passei e vivi. A eles todo o meu amor.

AGRADECIMENTOS

A Faculdade de Ciências Agronômicas pela a oportunidade tanto no mestrado como no doutorado;

A Embrapa Semiárido por me acolher e pela infraestrutura disponibilizada durante todo o desenvolvimento da tese;

Aos meus orientadores, Luís Henrique Bassoi e Davi José Silva pela a orientação e amizade durante toda esta jornada;

Aos companheiros de pós graduação, Joselina, Lucas, Raimundo, Givaldo, Laís, Gessica, Rafael, Thomas, Livia e João Queluz pela amizade, apoio e descontração nas horas vagas.

A todo o núcleo da FCA/UNESP, Roberto Lyra Villas Bôas, Helio Grassi, Antônio Evaldo Klar, João Saad, Gilberto e aos funcionários da biblioteca, a vocês meu muito obrigado.

Aos funcionários da Embrapa Semiárido, Magnus, Expedito, Raimundo, Hélio, Helinho, Alexandre, Gilvan e Fábio, obrigado por tudo.

Aos bolsistas e estagiários da Embrapa Semiárido, Diogo, Luciana, Bruno Djvan, Bruno Ricardo, Cleiton, Henrique, Juliana, Miguel, Helen, Juliano e Palloma, sinceramente não sei o que seria de mim sem vocês durante a realização de todo experimento.

E a todos que não citei, porém que fizeram parte desta jornada, desde o padeiro em Juazeiro-BA ao vendedor de lanches da Embrapa em Petrolina-PE, meu muito obrigado!

“Nunca se esqueça quem você é e de onde veio, porque é certo que o mundo não se lembrará. Faça disso sua força. Assim, não poderá ser nunca a sua fraqueza. Arme-se com esta lembrança, e ela nunca poderá ser usada para magoá-lo.”

Tyrion Lannister

SUMÁRIO

	Página
LISTA DE TABELAS	IX
LISTA DE FIGURAS	XIII
RESUMO	1
SUMMARY	3
1. INTRODUÇÃO	5
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	7
2.1. Aspectos da fertirrigação.....	7
2.2. Nitrogênio	10
2.3. Potássio	12
2.4. Movimento de nitrogênio e potássio no solo	14
2.5. Movimento da água no solo	16
2.6. Transporte de solutos no solo	18
2.7. Utilização de extratores de cápsulas porosas para obtenção da solução do solo	21
3. MATERIAL E MÉTODOS	25
3.1. Área de estudo	25
3.2. Caracterização físico-hídrica do solo	26
3.3. Caracterização química do solo	26
3.4. Tratamentos e delineamento estatístico do experimento	27
3.5. Obtenção dos dados climáticos	28
3.6. Sistema de irrigação	28
3.6.1. Tempo, taxa de injeção e uniformidade dos fertilizantes no sistema de irrigação	30
3.7. Manejo da irrigação	31
3.8. Monitoramento da água no solo	34
3.8.1. Determinação da umidade do solo	34
3.8.2. Potencial matricial	36
3.8.3. Balanço hídrico no solo	37
3.8.3.1. Armazenamento de água no solo	37

3.8.3.2. Fluxo de água no solo	38
3.9. Manejo da fertirrigação	39
3.10. Monitoramento da fertilidade do solo	39
3.10.1 Análise química do solo	39
3.10.2. Monitoramento de íons na solução do solo	40
3.10.3 Lixiviação de nitrato e potássio no solo	41
3.11. Monitoramento nutricional das plantas	42
3.11.1. Análise de plantas	42
3.11.2. Análise de seiva do pecíolo das plantas	42
3.11.3. Índice relativo de clorofila	43
3.12. Avaliação da produtividade e qualidade das bagas	44
3.12.1. Produtividade total	44
3.12.2. Parâmetros de avaliação nas bagas	44
3.12.3. Compostos fenólicos	44
3.12.4. Ácidos orgânicos	44
3.12.5. Análise nutricional do mosto	45
3.13. Avaliação do desenvolvimento dos ramos e folhas	45
3.13.1. Crescimento dos ramos	45
3.13.2 Área foliar	45
3.14. Análise estatística	46
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	47
4.1. Condições agrometeorológicas	47
4.1.1. Temperatura do ar	47
4.1.2. Umidade relativa do ar	49
4.1.3. Radiação solar	50
4.1.4. Evapotranspiração	51
4.1.4.1. Evapotranspiração de referência	51
4.1.4.2. Evapotranspiração da cultura	52
4.2. Uniformidade de distribuição de N e K no sistema de irrigação	53
4.3. Dinâmica da água no solo	57
4.3.1. Determinação dos parâmetros da condutividade hidráulica pelo método do perfil instantâneo	57
4.3.2. Umidade do solo	59
4.3.3. Balanço hídrico da cultura	60

4.3.4. Densidade do fluxo de água no solo	62
4.4. Avaliação e monitoramento da fertilidade do solo	63
4.4.1. Análise química do solo	63
4.4.2. Comparação entre medidas da concentração iônica e da condutividade elétrica determinadas nas soluções extraídas pelos extratores de cápsulas porosas e no extrato de saturação do solo	74
4.4.3. Monitoramento dos íons nitrato e potássio e da condutividade elétrica na solução do solo	75
4.4.3.1. Nitrato na solução do solo	75
4.4.3.2. Potássio na solução do solo	79
4.4.3.3. Condutividade elétrica na solução do solo	83
4.4.4. Lixiviação de NO_3^- e K^+ no solo	86
4.4.4.1. Lixiviação de NO_3^- no solo	86
4.4.4.2. Lixiviação de potássio	91
4.5. Monitoramento nutricional das plantas	94
4.5.1. Análise foliar da videira	94
4.5.1.1. Análise foliar na fase de florescimento	94
4.5.1.2. Análise foliar na fase de maturação	98
4.5.2. Análise de seiva no pecíolo	102
4.5.2.1. Concentração de nitrato na seiva das plantas	103
4.5.2.2. Concentração de potássio na seiva das plantas	105
4.5.2.3. Teor de clorofila nas folhas	106
4.6. Características produtivas, composição do mosto, compostos fenólicos e ácidos orgânicos nas uvas	109
4.6.1. Produção total, peso médio dos cachos e número de cachos	109
4.6.2. Qualidade do mosto	113
4.6.3. Compostos fenólicos	119
4.6.4. Ácidos orgânicos	124
4.6.5. Análise nutricional do mosto	129
4.7. Desenvolvimento dos ramos e área foliar	135
5. CONCLUSÕES	139
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	141

LISTA DE TABELAS

	Página
TABELA 1. Comparações relativas entre sistemas de irrigação com relação à aplicação de água e fertilizantes	08
TABELA 2. Granulometria e parâmetros físico-hídricos da área experimental	26
TABELA 3. Características químicas do solo da área experimental antes da aplicação dos tratamentos	27
TABELA 4. Combinações dos tratamentos utilizados no experimento	27
TABELA 5. Coeficiente de cultura (kc) para os diferentes estádios fenológicos da videira de vinho no Vale do Submédio do São Francisco	32
TABELA 6. Parâmetros da equação de Genutchen (1980) para diferentes profundidades de solo da área experimental	36
TABELA 7. Concentrações dos fertilizantes aplicados durante a fertirrigação	39
TABELA 8. Teste de média para os valores de condutividade elétrica da água de fertirrigação em relação ao tempo de aplicação ao longo da linha lateral	57
TABELA 9. Avaliação do sistema de irrigação durante os ciclos experimentais para as variáveis: vazão média, coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC), uniformidade de emissão (UE), uniformidade de emissão absoluta (UEa), uniformidade estatística (Us) e eficiência de aplicação (EA).	57
TABELA 10. Valores dos parâmetros K_o ($m^2 h^{-1} KPa^{-1}$), γ e θ_o para as profundidades de 0,2; 0,4 e 0,6 m.	59
TABELA 11. Análise de variância para os parâmetros químicos do solo na profundidade de 0,2 e 0,4 m após o primeiro ciclo de produção.....	64
TABELA 12. Análise de variância para os parâmetros químicos do solo na profundidade de 0,2 e 0,4 m após o primeiro ciclo de produção.	65

TABELA 13. Análise de variância para os parâmetros químicos do solo na profundidade de 0,2 m após o segundo ciclo de produção da videira.	67
TABELA 14. Análise de variância para os parâmetros químicos do solo na profundidade de 0,2 m após o segundo ciclo de produção da videira.	68
TABELA 15. Análise de variância para os parâmetros químicos do solo na profundidade de 0,2m após o terceiro ciclo de produção.	70
TABELA 16. Análise de variância para os parâmetros químicos do solo na profundidade de 0,2m após o terceiro ciclo de produção.	71
TABELA 17. Análise de variância para a concentração de NO_3^- na solução do solo nos três ciclos de produção de produção da videira estudados.	78
TABELA 18. Análise de variância para a concentração de K^+ na solução do solo nos diferentes ciclos de produção estudados	82
TABELA 19. Análise de variância para a condutividade elétrica na solução do solo nos diferentes ciclos de produção estudados	84
TABELA 20. Análise de variância para a lixiviação de NO_3^- na solução do solo em diferentes profundidades e ciclos de produção	86
TABELA 21. Drenagem interna (D) e lixiviação de nitrato total a 0,4 m e 0,6 m de profundidade para as diferentes doses de nitrogênio e ciclos de produção	90
TABELA 22. Análise de variância para a lixiviação de K^+ na solução do solo em diferentes profundidades e ciclos de produção	91
TABELA 23. Drenagem interna e lixiviação de potássio total a 0,4 e 0,6 m de profundidade para as diferentes doses de potássio nos diferentes ciclos de produção	93
TABELA 24. Teor de nutrientes em folhas de videira na fase de florescimento para o primeiro ciclo de produção.	94
TABELA 25. Teor de nutrientes em folhas de videira na fase de florescimento para o segundo ciclo de produção.	95

TABELA 26. Teor de nutrientes em folhas de videira na fase de florescimento para o terceiro ciclo de produção.	96
TABELA 27. Teor de nutrientes em folhas de videira na fase de maturação para o primeiro ciclo de produção.	99
TABELA 28. Teor de nutrientes em folhas de videira na fase de maturação para o segundo ciclo de produção.	100
TABELA 29. Teor de nutrientes em folhas de videira na fase de maturação para o terceiro ciclo de produção.	101
TABELA 30. Análise de variância (Teste F) para a concentração de nitrato (NO_3^-) e potássio (K^+) na seiva do pecíolo da videira.	102
TABELA 31. Análise de variância (Teste F) para o teor de clorofila A, B e total em videiras de vinho submetida a diferentes doses de nitrogênio e potássio	107
TABELA 32. Análise de variância para as variáveis produção total, peso médio dos cachos e número de cachos da videira cv. Syrah em três ciclos de produção avaliados	110
TABELA 33. Análise de variância para o peso médio de 100 bagas (P100b), volume do mosto (VM), pH, acidez total titulável (ATT) e sólido solúveis totais no mosto (SST)	114
TABELA 34. Análise de variância (Teste F) para as variáveis antocianinas (AT), favonoídes (FL) e polifenóis totais (PT)	120
TABELA 35. Análise de variância (teste F) para as variáveis ácido acético (AAC), ácido cítrico (AC), ácido málico (AM), ácido succínico (AS), ácido tartárico (AT), obtidas em uvas de videiras Syrah submetidas a diferentes doses de nitrogênio e potássio via fertirrigação.	125
TABELA 36. Análise de variância (Teste F) para as variáveis nitrogênio amoniacal (N-NH_3), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e sódio (Na) no mosto de uvas de videiras cv. Syrah submetida a diferentes doses de nitrogênio e potássio.	130
TABELA 37. Análise de variância (teste F) para a variável crescimento em videiras cv. Syrah no primeiro ciclo de produção aos 29 e 77 dias após a poda de produção (dapp),	

no segundo ciclo de produção aos 42 e 103 dapp e terceiro ciclo de produção aos 37 e 97 dapp. 136

TABELA 38. Análise de variância (teste F) para a variável número de folhas e área foliar em videiras cv. Syrah na fase de maturação. 138

LISTA DE FIGURAS

	Página
FIGURA 1. Mecanismos e processos de transporte de nitrogênio	15
FIGURA 2. Volume-controle em um meio poroso através do qual um soluto é transferido por difusão e fluxo de massa.	19
FIGURA 3. Visão frontal da área experimental	26
FIGURA 4. Principais fases fenológicas observadas durante o cultivo da videira: início da brotação (A), abertura das folhas (B), florescimento (C), fase de ervilha (D), início da maturação (E), maturação (F).	33
FIGURA 5. Esquema de tensiômetros instalados na área experimental	34
FIGURA 6. Curvas de retenção de água no solo nas camadas de solo de 0,20 (A), 0,40 (B), 0,60 (C), e 0,80 m (D).	35
FIGURA 7. Procedimento para extração da seiva em plantas de videira: corte do pecíolo na planta (A), preparação das amostras (B), identificação das amostras (C), adição de éter (D), seiva (coloração amarela) e éter (coloração verde) após extração (E).	43
FIGURA 8. Temperatura mínima, média e máxima do ar nas condições experimentais no primeiro (A), segundo (B) e terceiro (C) ciclo de produção da videira, em função do número de dias após a poda (dapp).	48
FIGURA 9. Umidade relativa mínima, média e máxima do ar nas condições experimentais no primeiro (A), segundo (B) e terceiro (C) ciclo de produção da videira, em função do número de dias após a poda (dapp)..	49
FIGURA 10. Radiação solar incidente (R _g) nas condições experimentais no primeiro (A), segundo (B) e terceiro (C) ciclo de produção da videira, em função do número de dias após a poda (dapp).	50
FIGURA 11. Evapotranspiração de referência nas condições experimentais no primeiro (A), segundo (B) e terceiro (C) ciclo de produção	51

FIGURA 12. Evapotranspiração da cultura nas condições experimentais no primeiro (A), segundo (B) e terceiro (C) ciclo de produção	52
FIGURA 13. Tempo de distribuição dos fertilizantes no sistema de irrigação	53
FIGURA 14. Análise de dispersão da condutividade elétrica da água de irrigação (CEa) submetida a diferentes doses de fertilizantes ao longo da linha lateral nas distâncias de 0 m (A), 6 m (B), 12 m (C) e 18 m (D).	54
FIGURA 15. Análise de dispersão da condutividade elétrica da água de irrigação (CEa) submetida a diferentes doses de fertilizantes medida em diferentes tempos 5 min (A), 20 min (B), 30 min (C) na linha lateral.	56
FIGURA 16. Umidade volumétrica em função do tempo nas profundidades de solo de 0,20, 0,40 e 0,60 m.	58
FIGURA 17. Equação de ajuste para determinação da condutividade não saturada do solo nas profundidades de 0,20, 0,40 e 0,60 m.	58
FIGURA 18. Umidade do solo ao longo do primeiro (A), segundo (B) e terceiro (C) ciclos de produção da videira, em função do número de dias após a poda (dapp).	60
FIGURA 19. Balanço hídrico simplificado da cultura da videira no primeiro (A), segundo (B) e terceiro ciclo de produção em que P é a precipitação, Lb é a lâmina bruta de irrigação, Arm é o armazenamento de água no solo, e CAD é a capacidade de água disponível.	62
FIGURA 20. Densidade de fluxo de água no solo cultivado com videira nas profundidades de 0,20, 0,40 e 0,60 m no primeiro (A), segundo (B) e terceiro (C) ciclo de produção.....	63
FIGURA 21. Equações ajustadas para o teor de fósforo no solo na profundidade de 0,20 m para as doses de nitrogênio (A) e potássio (B) após o primeiro ciclo de produção da videira cv. Syrah.	66
FIGURA 22. Análise de regressão para a variável pH nas profundidades de 0-0,20 m (A) e 0,20-0,40 m (B) no segundo ciclo de produção da videira cv. Syrah	69
FIGURA 23. Análise de regressão para a variável saturação por base (V) nas profundidades de 0-0,20 m após o segundo ciclo de produção da videira cv. Syrah	69

- FIGURA 24. Análise de regressão para a variável condutividade elétrica no solo na profundidade de 0-0,20 m no terceiro ciclo de produção da videira cv. Syrah 72
- FIGURA 25. Análise de regressão para a variável pH no solo na profundidade de 0-0,20 m no terceiro ciclo de produção da videira cv. Syrah 72
- FIGURA 26. Análise de regressão para a variável saturação por base (V) na profundidade de 0-0,20 m após o terceiro ciclo de produção da videira cv. Syrah. 73
- FIGURA 27. Análise de regressão para a variável SB (A) e CTC (B) na profundidade 0,20-0,40 m no terceiro ciclo de produção da videira cv. Syrah. 73
- FIGURA 28. Análise de regressão para a concentração de potássio (A) e magnésio (B) no solo na profundidade de 0,20-0,40 m no terceiro ciclo de produção da videira cv. Syrah 74
- FIGURA 29. Relação entre os valores de nitrato (A), potássio (B) e condutividade elétrica (C) do extrato de saturação e estimada a partir dos valores de NO_3^- , K^+ e CE obtida com extratores de cápsulas porosas, com correção em função da umidade da pasta saturada. 75
- FIGURA 30. Monitoramento da concentração de nitrato no solo nas profundidades de 0,40 m (A) e 0,60 m (B) - primeiro ciclo, 0,40 m (C) e 0,60 m (D) – segundo ciclo, e ,40 m (E) e 0,60 m (F) – terceiro ciclo de produção da videira. 77
- FIGURA 31. Análise de regressão para a concentração média de NO_3^- na solução do solo a 0,40 e 0,60 m de profundidade, respectivamente, no primeiro (A e B) , segundo (C e D) e terceiro (E e F) ciclos de produção da videira..... 79
- FIGURA 32. Monitoramento da concentração de potássio no solo nas profundidades de 0,40 m (A) e 0,60 m (B) - primeiro ciclo, 0,40 m (C) e 0,60 m (D) – segundo ciclo, e ,40 m (E) e 0,60 m (F) – terceiro ciclo de produção da videira. 81
- FIGURA 33. Análise de regressão para a concentração média de potássio na solução do solo para as profundidades de 0,40 m (A) e 0,60 m (B) – primeiro ciclo, 0,40 m (C) – segundo ciclo, e 0,40 m (D) e 0,60 m (E) – terceiro ciclo de produção da videira. 83
- FIGURA 34. Análise de regressão para a concentração média da condutividade elétrica na solução do solo nas profundidades de 0,40 m (A) e 0,60 m (B) - primeiro ciclo, 0,40

m (C) e 0,60 m (D) - segundo ciclo, e 0,40 m (E) e 0,60 m (F) - terceiro ciclo de produção da videira.	85
FIGURA 35. Comportamento da interação entre diferentes concentrações de nitrogênio e potássio em relação a condutividade elétrica na solução do solo para a profundidade de 0,40 m no segundo ciclo de produção da videira.	86
FIGURA 36. Dados de dispersão e modelos de ajuste para a lixiviação de nitrato na profundidade de 0,40 m (A) e 0,60 m (B) – primeiro ciclo, 0,40 m (C) – segundo ciclo, e 0,40 m (D) e 0,60 m (E) – terceiro ciclo de produção da videira.	88
FIGURA 37. Dados de dispersão e modelos de ajuste para a lixiviação de potássio no primeiro (A) e segundo (B) ciclo de produção da videira na profundidade de 0,40 m.	92
FIGURA 38. Equações ajustadas para o teor de potássio (A), cálcio (B) e magnésio (C) em folhas de videira na fase de florescimento no terceiro ciclo de produção da videira.....	97
FIGURA 39. Equações ajustadas para o teor de ferro nas folhas de videira na fase de florescimento no primeiro (A), segundo (B) e terceiro (C) ciclo de produção da videira	98
FIGURA 40. Equações ajustadas para o teor de cálcio no terceiro ciclo de produção em folhas de videira na fase de maturação	101
FIGURA 41. Análise de regressão para a variável nitrato na seiva do pecíolo em função das doses de N e K ₂ O para na fase de florescimento e maturação, respectivamente no primeiro (A) e (B), segundo (C) e (D) e terceiro ciclo de produção da videira (E) e (F)..	104
FIGURA 42. Equação de ajuste para a concentração de potássio na seiva das plantas: primeiro ciclo de produção na fase de florescimento (A) e maturação (B), segundo ciclo de produção na fase de maturação (C) e terceiro ciclo de produção na fase de florescimento (D)	106
FIGURA 43. Equações de ajuste para o índice relativo do teor de clorofila em folhas de videira para as doses de nitrogênio e potássio aplicadas nas seguintes fases: de florescimento no primeiro ciclo de produção (A), maturação no segundo ciclo de produção (B), florescimento (C) e maturação (D) no terceiro ciclo de produção.	109

FIGURA 44. Equação de ajuste para a variável produção total da videira cv. Syrah submetida a diferentes doses de N via fertirrigação no segundo (A) e terceiro (B) ciclo de produção de videira cv. Syrah.	111
FIGURA 45. Ajuste do modelo de regressão para a variável peso médio do cacho (PMC) submetida a diferentes doses de nitrogênio no primeiro (A), segundo (B) e terceiro (C) ciclo de produção da videira cv. Syrah.	112
FIGURA 46. Equação de ajuste para a variável número de cacho (NC) para a cultura da videira submetida a diferentes doses de nitrogênio via fertirrigação no segundo (A) e terceiro (B) ciclo de produção.	113
FIGURA 47. Superfície de resposta para a variável peso de 100 bagas no primeiro ciclo de produção da videira cv. Syrah	115
FIGURA 48. Análise de regressão para a variável volume do mosto em função de doses de N e K ₂ O no primeiro (A) e terceiro (B) ciclo de produção da videira cv. Syrah.. ..	115
FIGURA 49. Ajuste de modelo de regressão para a variável pH no primeiro (A), segundo (B) e terceiro (C) ciclos de produção da videira cv. Syrah.	116
FIGURA 50. Modelos ajustados para a variável acidez titulável em função de doses de nitrogênio e potássio no primeiro (A), segundo (B) e terceiro (C) ciclos de produção da videira cv. Syrah.	118
FIGURA 51. Equação de ajuste para a variável sólidos solúveis totais no terceiro ciclo de produção da videira cv. Syrah.	119
FIGURA 52. Superfície de resposta para a variável polifenóis totais (mg 100g ⁻¹) em função de doses de nitrogênio e potássio (kg ha ⁻¹) no primeiro (A), segundo (B) e terceiro (C) ciclo de produção da videira cv. Syrah.	121
FIGURA 53. Superfície de resposta para a variável antocianinas (mg 100g ⁻¹) em função de doses de nitrogênio e potássio (kg ha ⁻¹) no primeiro (A), segundo (B) e ciclo (C) ciclo de produção da videira cv. Syrah.	123
FIGURA 54. Superfície de resposta para a variável flavonoides (mg 100 g ⁻¹) em uvas de videira cv. Syrah submetida a diferentes doses de nitrogênio e potássio via fertirrigação no segundo (A) e terceiro (B) ciclo de produção da videira cv Syrah.	124

FIGURA 55. Concentração dos ácidos orgânicos em uvas de videira de vinho Syrah submetida à adubação potássica e nitrogenada no primeiro ciclo de produção: ácido acético (A), ácido cítrico (B), ácido málico (C), ácido succinico (D) e ácido tartárico.	126
FIGURA 56. Ajuste de equação para a concentração de ácido succinico no mosto da uva no segundo ciclo de produção da videira cv. Syrah.	127
FIGURA 57. Concentração dos ácidos orgânicos em uvas de videira de vinho cv. Syrah submetida à adubação potássica e nitrogenada no terceiro ciclo de produção: ácido acético (A), ácido cítrico (B), ácido málico (C), ácido succinico (D) e ácido tartárico (E).	129
FIGURA 58. Análise de regressão para a variável nitrogênio amoniacal no mosto das uvas cv. Syrah no primeiro (A), segundo (B) e terceiro (C) ciclos de produção da videira.	131
FIGURA 59. Superfície de resposta para a variável potássio no mosto das uvas cv. Syrah no primeiro (A) e terceiro (B) ciclo de produção da videira.	132
FIGURA 60. Análise de regressão para os teores de cálcio no mosto das uvas cv. Syrah no primeiro (A), segundo (B) e terceiro (C) ciclo de produção da videira.	133
FIGURA 61. Análise de regressão para o teor de magnésio no mosto das uvas cv. Syrah no terceiro ciclo de produção da videira.	134
FIGURA 62. Análise de regressão para o teor de sódio no mosto de uvas cv. Syrah no primeiro (A) e terceiro (B) ciclo de produção da videira.	135
FIGURA 63. Ajuste do modelo de regressão para a variável comprimento dos ramos (cm) da videira cv. Syrah na fase de florescimento no primeiro ciclo de produção aos 29 dias após a poda de produção - dapp (A) e terceiro ciclo de produção aos 37 dapp (B).	137

RESUMO

A vitivinicultura é uma das principais atividades econômicas do Vale do Submédio São Francisco, responsável pela produção de vinhos e sucos. Diante do exposto foi realizado um experimento na Embrapa Semiárido, em Petrolina-PE, para a obtenção de informações sobre a prática da fertirrigação nitrogenada e potássica em videiras de vinho. No Campo Experimental de Bebedouro, a videira (*Vitis vinifera* L.) cultivar Syrah, uma das mais utilizadas na região, foi enxertada sobre o porta-enxerto 1103 Paulsen, e plantada em 30 de abril de 2009, no espaçamento de 1 m entre plantas e 3 m entre fileiras em um Argissolo Vermelho Amarelo. O sistema de condução foi feita em espaldeira com três fios, e o sistema de irrigação foi o de gotejamento, com emissores com vazão de 4,5 L h⁻¹ espaçados em 0,5 m. Três ciclos de produção foram avaliados: de 17 de junho a 8 de outubro de 2013, de 7 de fevereiro de a 9 de junho 2014, e de 6 de agosto a 25 de novembro de 2014. Os tratamentos foram constituídos de cinco doses de nitrogênio (0, 15, 30, 60 e 120 kg ha⁻¹) e cinco doses de potássio (0, 15, 30, 60 e 120 kg ha⁻¹) aplicados via fertirrigação. A concentração de NO₃⁻ e K⁺ na solução do solo foi monitorada por meio de extratores de cápsulas porosas. A análise nutricional das plantas foi monitorada por meio da seiva do pecíolo das plantas e análise foliar. A avaliação da produtividade das plantas foi realizada por meio da produção total dos cachos, peso médio dos cachos e número de cachos por planta. A cada ciclo de produção, as uvas foram analisadas quanto a presença de compostos fenólicos, ácidos orgânicos e nutrientes. Os resultados foram submetidos à análise de variância (teste F)

ao nível de 1% ($0,01 > p$) e 5% ($0,05 > p$) e posteriormente a análise de regressão. As doses de adubação não influenciaram na concentração de nutrientes no solo nos ciclos de produção estudados. O pH do solo foi influenciado pelas doses de N aplicadas, aumentando a sua acidez conforme o aumento das doses de N. O extrator de solução do solo mostrou ser uma ferramenta útil para o monitoramento da concentração de NO_3^- e K^+ na solução do solo, porém curvas de calibrações com método da pasta saturada devem ser feitas para uma maior precisão desta técnica. Os parâmetros produtivos das uvas foram influenciados apenas pelas doses de adubação nitrogenada, aumentando os níveis a cada dose e cada ciclo de produção.

Palavras-chave: *Vitis vinifera* L., extrator de cápsula porosa, lixiviação, baga, qualidade

AVALIABILITY OF N AND K IN THE SOIL AND THEIR UPTAKE BY FERTIGATED WINE VINE IN THE BRAZILIAN SEMIARID.

Botucatu, 2015. 159p. Tese (Doutorado em Agronomia/Irrigação e Drenagem) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista.

Author: Alexsandro Oliveira da Silva

Adviser: Luís Henrique Bassoi

Co-adviser: Davi José Silva

SUMMARY

Viticulture is one of the main economic activity in the Lower-Middle São Francisco Valley, where wines and juices have been produced. Therefore, an experiment was carried out at Embrapa Tropical Semi-Arid, in Petrolina, State of Pernambuco, Brazil, to obtain information on the use of nitrogen and potassium fertigation in wine vines. The grapevine (*Vitis vinifera* L.) cv. Syrah is one of the main varieties cropped in the region. It was grafted onto the rootstock 1103 Paulsen, and planted in April 30, 2009, in a grid spacing of 1 m between plants and 3 m between rows in an Acrisol (Argissolo Vermelho Amarelo as in the Brazilian Soil Classification System). The trellis system used was cordon with three wires and the irrigation system was the drip with emitters of 4.5 L h⁻¹ flow rate spaced at 0.5 m. Three growing seasons were evaluated: from June 17 to October 8, 2013, to February 7 to June 9, 2014, and August 6 to November 25, 2014. The treatments were five doses of nitrogen (0, 15, 30, 60 and 120 kg ha⁻¹) and five doses of potassium (0, 15, 30, 60 and 120 kg ha⁻¹) applied by the drip irrigation system. The concentration of NO₃⁻ and K⁺ in the soil solution was monitored by porous cup extractors. Plant nutritional status was monitored by petiole sap and leaf analysis. The assessment of plant productivity was performed using the total cluster weight per plant, average weight of cluster, and number of cluster per plant. Phenolic compounds, organic acids and nutrient analysis were performed on grapes in each growing season. Data were subjected to analysis of variance (F test) at 1% (0.01 >p) and 5% (0.05 >p) and then the regression analysis was performed. The fertilizer levels did not influence the concentration of nutrients in the soil. Soil pH was influenced by nitrogen fertilization, increasing its acidity with increasing levels of N. The porous

cup extractor proved to be a useful tool for monitoring the concentration of NO_3^- and K^+ in the soil solution, however calibration curves with the saturated paste method should be made for greater precision of this technique. The grape production were affected only by nitrogen fertilizer levels, increasing the productive levels with every dose and in each growing season.

Key-words: *Vitis vinifera* L., porous cup extractor, leaching, berry, quality.

1. INTRODUÇÃO

A vitivinicultura no Semiárido brasileiro teve início na década de 60, de modo pontual. Diversas ações empresariais e governamentais nas décadas seguintes contribuíram para que, em 2000, houvesse a consolidação do Pólo Vitivinícola do Vale do São Francisco, formado pelos municípios de Petrolina, Lagoa Grande e Santa Maria da Boa Vista em Pernambuco, e Casa Nova na Bahia. A disponibilidade de radiação solar durante todo o ano, aliado ao emprego da irrigação, contribuem para a obtenção de 2 a 3 colheitas de uva por ano dependendo das características genéticas da cultivar empregada. Dentre as variedades cultivadas, destaca-se a produção da cultivar Syrah, que diferentemente do Rio Grande do Sul, tem demonstrado ótimo desempenho nas condições semiáridas do Nordeste brasileiro (SILVA e COELHO, 2010).

A irrigação é uma das técnicas responsáveis pelo desenvolvimento da vitivinicultura no Semiárido brasileiro, pois sem a mesma não seria possível o desenvolvimento e a produção agrícola desta cultura devido à irregularidade de chuvas e insuficiência de suas magnitudes para atender a demanda de água pela cultura. Segundo Bassoi et al. (1999) o manejo da irrigação apresenta importantes consequências na produção da uva, tanto no aspecto quantitativo, em função da necessidade de água das videiras nos seus diferentes estádios de desenvolvimento, que

pode ser caracterizada por uma pequena demanda na brotação e após a colheita, e por um alto consumo quando a cobertura foliar está totalmente desenvolvida.

Assim como a irrigação, o aspecto nutricional também deve ser levado em consideração na vitivinicultura no Semiárido brasileiro, pois a absorção de nutrientes pode ser alterada pela disponibilidade de nutrientes no solo ou pelas quantidades fornecidas pela adubação. A falta de pesquisas sobre a demanda das plantas a determinados nutrientes leva o produtor a uma adubação empírica e sem nenhum conhecimento técnico, o que onera ainda mais a produção, além comprometer a qualidade do produto. Em sistemas de irrigação pressurizados, nos quais utiliza-se irrigação localizada, a fertirrigação pode ser uma ferramenta extremamente útil na avaliação de nutrientes para os quais não existem informações sobre a demanda, como é o caso do nitrogênio e do potássio para a videira de vinho cultivada no Semiárido nordestino. Neste sentido, a fertirrigação é uma opção para aplicação parcelada de nutrientes, além de ser uma técnica eficiente e econômica, principalmente em regiões áridas e semiáridas (FREIRE FILHO et al., 2008); porém, deve-se levar em consideração quando e quanto deve-se aplicar esta técnica, pois a carência e o excesso de sais fertilizantes podem ser prejudiciais a cultura.

O trabalho proposto tem como objetivo avaliar a interação entre nitrogênio e potássio aplicados por meio da fertirrigação e disponibilidade destes nutrientes para a videira de vinho, levando-se em consideração os aspectos quantitativos e qualitativos da produção de uva para vinificação.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Aspectos da fertirrigação

A fertirrigação consiste na técnica de aplicação de fertilizantes via água de irrigação. Constitui uma das maneiras mais eficientes e econômicas de se aplicar os fertilizantes, utilizando o sistema de irrigação como condutor e distribuidor de fertilizantes. Para garantir a eficiência da fertirrigação é necessário levar em consideração as características técnicas de concepção e manutenção do sistema de irrigação e dimensionamento e monitoramento das necessidades hídricas em cada fase fenológica da cultura. Associado a isso, o sistema de irrigação deve posicionar os nutrientes na profundidade de solo adequada, na qual existe máxima densidade de raízes. Quando a lâmina de irrigação é insuficiente, os nutrientes podem se concentrar próximos à superfície do solo, podendo ocasionar menor crescimento das raízes, além de acúmulo de sais no solo. Por sua vez, a aplicação de uma lâmina de irrigação excessiva pode carrear os nutrientes para uma profundidade fora do alcance das raízes, diminuindo a eficiência da adubação e provocando contaminação do ambiente (SILVA e SOARES, 2009).

Segundo Villas Bôas et al. (2002), a desuniformidade no fornecimento de água resulta em variações na quantidade aplicada de fertilizantes, dificultando assim a maior eficiência da fertirrigação. Estes autores afirmam ainda que

determinados sistemas de irrigação são mais eficientes na aplicação de água como o gotejamento e microaspersão, sendo estes os mais indicados para realização da prática da fertirrigação. Porém, a melhor maneira de utilização destes sistemas de irrigação para a prática da fertirrigação necessita de maior discussão no país. Segundo Laurindo et al. (2010), há controvérsias sobre a eficácia do sistema de irrigação por gotejamento na fertirrigação, pois as consequências produtivas e econômicas com a adoção de uma ou duas linhas de emissores por linha de plantas, ainda são pouco estudadas e são de extrema importância para determinar a melhor aplicação de água e consequente melhora na distribuição dos fertilizantes.

As características dos sistemas de irrigação devem ser levadas em consideração para a prática da fertirrigação. Segundo Papadopoulos (2001) a eficiência de absorção pelas plantas dos principais nutrientes utilizados na fertirrigação (N, P, K) pode sofrer variações de acordo com o sistema de irrigação, na ordem de 10%, 40% e 60% para a irrigação por sulco, e de 35%, 85% e 90% para irrigação localizada (Tabela 1).

Tabela 1. Comparações relativas entre sistemas de irrigação com relação à aplicação de água e fertilizantes

Características	Sistema de irrigação		
	Localizada	Aspersão	Sulco
Uso da água	Eficiência alta	Eficiência média	Eficiência baixa
Frequência de aplicação	Maior	Menor	Menor
Uniformidade de distribuição de água	Alta	Média	Baixa
Distribuição de adubos	Próxima ao sistema radicular	Área toda	Varia ao longo do sulco
Variações climáticas	Menor limitação	Maior limitação	Maior limitação
Salinidade da água	Maior limitação	Menor limitação	Menor limitação
Impurezas físicas na água	Maior limitação	Menor limitação	Menor limitação
Sistema radicular	Restrito	Sem restrição	Sem restrição

Adaptado: Villas Bôas et al. (2002)

Além de considerar a eficiência de aplicação dos nutrientes em sistemas de irrigação, o tipo de fertilizante a ser aplicado deve ser considerado, pois a aplicação de minerais solúveis por meio de irrigação localizada resulta em um gradiente

de concentração dos nutrientes de acordo com a sua mobilidade no solo. Nutrientes como fósforo, potássio e amônio apresentam baixa mobilidade, ficando concentrados próximo dos emissores, enquanto nitratos e cloretos movimentam-se rapidamente e tendem a se concentrar nas extremidades do bulbo molhado, o que favorece as perdas por lixiviação (BRAVDO, 2008; HANSON et al. 2006; KHALIL, 2008). Segundo Laurindo et al. (2010), apesar de alguns nutrientes apresentarem baixa mobilidade devido as condições de cultivo de sequeiro, com o uso da irrigação faz com que ocorra o bulbo molhado, o que pode levar a uma maior movimentação dos nutrientes no perfil do solo devido ao uso da água na frente de molhamento em cada evento de fertirrigação.

Para a vitivinicultura, o uso da fertirrigação vem demonstrando ser eficiente para a melhoria da qualidade da uva, pois trabalhos desenvolvidos com o uso desta técnica demonstram um efeito positivo. Rocha (2013), em estudos sobre o efeito da adubação nitrogenada via fertirrigação em videira de vinho cv. Syrah no semiárido pernambucano, não observou aumento na produção das plantas porém, houve uma substancial melhoria na qualidade das uvas como por exemplo na acidez total titulável, o que pode proporcionar melhor qualidade dos vinhos produzidos nesta região. Bravdo (2008), em estudos sobre o manejo de nutrientes em uvas de vinho cv. Cabernet Sauvignon, fertirrigadas com polifostato de amônio em Israel, observou melhoria na produção, teor de açúcar, qualidade e coloração dos vinhos produzidos. Almela et al. (1999), em estudos sobre a influência da poda e diferentes manejos de fertirrigação na coloração do vinho de uvas cv. Monastrell na Espanha, observaram que a coloração dos vinhos produzidos foi fortemente influenciada pelo manejo da fertirrigação utilizado (120 kg ha⁻¹ de N, 176 kg ha⁻¹ de K₂O, 54 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 44 kg ha⁻¹ de MgO), recomendando-se a utilização conjunta da fertirrigação com a aplicação anual de 3000 m³ ha⁻¹ ano⁻¹ de água.

Diante do exposto, o manejo da fertirrigação, realizado de acordo com as características do fertilizante, condições de solo, características climáticas, e demanda da cultura, pode proporcionar o fornecimento de água e nutrientes ajustado às necessidades da videira, contribuindo ainda para maior eficiência de uso da água e da adubação, além de participar de maneira efetiva na melhoria da qualidade das uvas e vinhos produzidos.

2.2. Nitrogênio

O nitrogênio é um dos nutrientes exigidos em maiores quantidades pela videira. É encontrado no solo em formas orgânicas (proteínas, aminoácidos, etc.) e inorgânicas (NH_4^+ e NO_3^-) (ALBUQUERQUE et al., 2009). De acordo com Kishino & Mashima, (1980), a videira absorve o nitrogênio do solo, principalmente, na forma de nitrato (NO_3^-) e em menor quantidade na forma de amônio (NH_4^+).

O nitrogênio participa de processos metabólicos e da regulação de muitos processos fisiológicos da videira. Morinaga et al. (2003) observaram que a partição de N e de fotoassimilados entre as raízes e os frutos foi influenciada pela maior carga de frutos em videiras (*Vitis labruscana* var. Aki-queen), com 5 anos de idade. Estes autores perceberam que uma maior carga de frutos força a videira a acumular menos açúcares nas raízes e na parte aérea. Isto significa que o fruto tem prioridade no acúmulo de fotoassimilados e na partição de N.

Grechi et al. (2007) em estudos sobre bacelos de videira (*Vitis vinifera* L. cv Merlot), com seis semanas de idade, crescidos em condições controladas de irradiância e nutrição nitrogenada, observaram que a ausência de nitrogênio aumentou o crescimento radicular enquanto a matéria seca das folhas foi maior na presença de altas doses de N. Segundo estes autores, as plantas crescidas sob baixo N e alta irradiação apresentaram maior relação raiz-parte aérea do que aquelas crescidas sob baixa luz e altas concentrações de nitrogênio, assim como a distribuição de biomassa entre as partes vegetativas, que esteve fortemente ligada ao conteúdo interno de carbono e nitrogênio da planta.

Zhu et al. (2006), em estudos sobre crescimento e metabolismo de videiras „Fujiminori“ em resposta a doses de nitrogênio e restrição de raiz em Shangay na China, observaram que a restrição do crescimento radicular de videiras também afeta o crescimento da planta e o metabolismo de nitrogênio. Estes autores perceberam que os resultados mostram que a restrição das raízes reduzem a taxa fotossintética e o crescimento da parte aérea, porém favorece o crescimento radicular. Yu et al. (2012) em estudos sobre o efeito da restrição das raízes e níveis de nitrogênio no cultivo de videira „Kyoho“, afirmam que estudos sobre adubação nitrogenada devem ser realizados para investigar os efeitos da restrição da raiz em atividades enzimáticas durante a assimilação e reciclagem de nitrogênio pelas plantas.

Zapata et al. (2004), em estudos sobre o particionamento e mobilização de amido e reservas de nitrogênio em videiras (*Vitis vinifera* L.), sugerem que a aplicação de fertilizantes nitrogenados antes do início da floração nas videiras são considerados ineficientes devido a baixa absorção de N. Estes autores recomendam que a aplicação de adubos nitrogenados devem ser realizadas no começo da floração até a época de colheita, pois a videira no início da brotação dos ramos até o florescimento utiliza as reservas acumuladas em cultivo anteriores. Os mesmo autores relatam que o assimilação de carbono nas folhas no início do florescimento é suficiente para dar suporte ao crescimentos dos ramos. Porém, Zerihun e Treeby (2002) em estudos sobre a distribuição de biomassa e assimilação do nitrato em resposta ao fornecimento de N para *Vitis vinifera* L. cv. Cabernet Sauvignon em cinco porta enxertos de vitis, observaram que o acúmulos de biomassa nas plantas (raiz, caule e as estruturas do tronco), em todos os porta enxertos estudados, mostraram-se sensíveis ao suprimento de N.

Williams e Biscay (1991) e Bates et al. (2002) afirmam que nas raízes da videira encontra-se a maior reserva de N para a planta e que este nutriente é absorvido de maneira mais intensa a partir da fase de florescimento. Peacock et al. (1989) e Peacock et al. (1991) sugerem que a adubação nitrogenada no início da brotação dos ramos não é adequada, devido a baixa taxa de absorção deste nutriente pelas raízes da planta, podendo potencializar perdas de N por lixiviação. Isto foi corroborado por Brunetto et al. (2006) em videiras viníferas das variedades Chardonnay e Riesling Renano, adubadas no período de inchamento das gemas. Os autores observaram que a percentagem de ^{15}N nas folhas, recuperado do fertilizante, foi pequena. As plantas absorveram nitrogênio durante todos os estádios fenológicos. Na colheita da uva, a maior quantidade do N acumulado nas partes anuais e perenes das videiras foi derivada do N do solo (98%), sendo muito pequenas as quantidades de N aplicado no inchamento das gemas armazenado nas partes perenes. O fruto foi a parte que apresentou os maiores teores de ^{15}N , seguido pelos ramos do ano e folhas.

Em trabalho realizado com videiras Cabernet Sauvignon, Brunetto et al. (2007) evidenciaram que a adubação nitrogenada não afetou a produção e seus componentes de rendimento, mas interferiu nas características de qualidade do mostos e do vinho. Entretanto, em outro trabalho realizado por Brunetto et al. (2009) sobre a adubação nitrogenada utilizando doses de 15 e 30 t ha⁻¹ de N, foi observado o aumento da produção de uvas Cabernet Sauvignon. Contudo, a aplicação de N

aumentou os teores de N amoniacal no mosto, diminuiu a concentração de antocianinas, e aumentou a porcentagem de K nas bagas, o que interfere na cor dos vinhos tintos e na formação de precipitados (ALMELA et al., 1999).

O nitrogênio é o nutriente utilizado com maior frequência na fertirrigação, seguido pelos nutrientes potássio e fósforo. Existem vários fertilizantes contendo compostos nitrogenados que podem ser usados na fertirrigação da videira. Entre os mais usados estão a ureia, sulfato de amônio, nitrato de amônio, MAP e DAP (fontes de fósforo e nitrogênio), nitrato de potássio (fonte de potássio e nitrogênio), nitrato de cálcio (fonte de cálcio e nitrogênio) e nitrato de magnésio (fonte de magnésio e nitrogênio). Dentre estes por ter um alto teor de nitrogênio, a ureia vem sendo o fertilizante mais utilizado para esta prática (SILVA e SOARES, 2009).

2.3. Potássio

O potássio é encontrado no solo em minerais primários e secundários na forma trocável e de colóides no solo, fixado por argilas do tipo vermiculita e illita e na solução do solo (ALBUQUERQUE et al. 2009). É um dos elementos mais exigidos pela videira sendo absorvido na forma de K^+ , sendo de maior necessidade na fase de lignificação dos ramos e maturação dos frutos (TERRA, 2001). As causas de deficiência de potássio na planta estão relacionadas principalmente ao baixo teor de potássio no solo, causada por uma adubação potássica deficiente. Segundo Weaver, (1976) a carência desse elemento interfere na síntese proteica, retarda a maturação da uva e promove a produção de cachos pequenos, frutos duros e ácidos. Porém, o excesso de potássio pode provocar o dessecamento da ráquis pela menor absorção de cálcio e magnésio, ocorrendo no início do amolecimento das bagas, caracterizando-se pelo murchamento de bagas nas extremidades dos cachos e progredindo para todo o racemo (TECCHIO et al., 2012). Segundo Iland e Coombe, (1988) o processo de maturação das uvas é caracterizado por aumentos nas quantidades de potássio nas bagas o que causa aumento do peso dos cachos, a aceleração do processo de maturação causado pelo excesso de potássio.

Segundo Fogaça (2005), o potássio é o cátion mais abundante em plantas superiores e é de extrema importância para a nutrição, crescimento, tropismo, homeostase enzimática e regulação osmótica das plantas, sendo um elemento essencial para o crescimento e produção da videira. Conforme afirma Hernandez

(2001), as quantidades de potássio na uva podem oscilar de 1,5 a 3 g kg⁻¹ e entre 2 e 5 g L⁻¹ nos vinhos estabilizados por frio. Dentre os trabalhos de pesquisa sobre a influência da adubação potássica em videiras destacam-se os trabalhos de Beattie e Forshey (1954) em estudos sobre as condições dos elementos nutricionais em videiras e Mpelasoka et al. (2003), revisando as condições da atuação do potássio nas videiras. Dentre as características da influência do potássio na videira citadas por estes autores, destacam-se a qualidade na composição química da uva, pois altos valores de K diminuem os ácidos livres e aumentam o pH global das uvas e interferem na relação entre as quantidade de ácidos tântrico e málico, comprometendo a qualidade dos vinhos.

O potássio é o segundo nutriente aplicado com maior frequência na fertirrigação da videira (SILVA e SOARES, 2009). Os fertilizantes contendo K mais utilizados na fertirrigação são o cloreto, o nitrato e o sulfato de potássio (VILLAS BÔAS et al., 2002), sendo estes utilizados de acordo com fertilidade do solo. Por exemplo, em áreas com baixa concentração de enxofre, o sulfato de potássio pode ser a melhor opção, apesar de apresentar a menor solubilidade dentre os fertilizantes citados. Segundo Silva e Soares (2009) o cloreto de potássio, tem certas restrições no cultivo da videira, pois o excesso de cloro causa injúrias à planta além de comprometer a produtividade e qualidade dos frutos.

Contudo, apesar da grande necessidade deste nutriente pela planta, existem poucas informações sobre respostas da videira a fertirrigação potássica. Com relação à dinâmica do potássio na planta e sua interação com outros fatores, Zhenming et al. (2008) observaram que em folhas de videiras (*Vitis vinifera* L. - *V. labrusca* L.cv. Jingyou) pinceladas com ⁸⁶Rb, isótopo usado para avaliar a absorção e distribuição de potássio, 76,9% a 85,6% do ⁸⁶Rb total ainda estava retido nas folhas tratadas, cinco dias após a aplicação de ⁸⁶RbCl. A maior parte do ⁸⁶Rb foi absorvido pelos frutos, enquanto pequenas quantidades foram transportadas na planta e em folhas não marcadas. A distribuição de ⁸⁶Rb apresentou variações com base nos estágios de desenvolvimento do fruto: terceiro estágio (26,86%) > primeiro estágio (15,44%) > segundo estágio (11,40%) > mudança de cor (9,06%). A absorção de ⁸⁶Rb também foi reduzida pela aplicação de potássio (KCl) na folha, enquanto a aplicação de giberelina (ácido giberélico) aos cachos nas doses 50 ou 100 mg L⁻¹ favoreceu a absorção. A relação fonte - dreno também afetou a absorção de ⁸⁶Rb pelos frutos, pois quanto maior o número de frutos para um mesmo número de folhas (fonte), menor a absorção.

O potássio também afeta os processos fisiológicos, qualidade dos frutos e do vinho. Em amostras de frutos das variedades Pinot Noir, Cabernet Sauvignon e Merlot, coletadas durante o processo de maturação, Fogaça et al. (2007), observaram variações nos teores de potássio absorvidos pelos frutos, sendo o aumento acompanhado pela elevação do pH, enquanto a redução no teor de potássio foi acompanhada pela estabilização dos valores de pH, fato também influenciado pela queda nos teores de acidez titulável. Sugere-se assim, que os altos valores de pH (> 3,7) encontrados nos vinhos elaborados com uvas destes vinhedos, em anos anteriores, estão relacionados com a absorção de potássio e a diminuição da acidez total durante a maturação da uva.

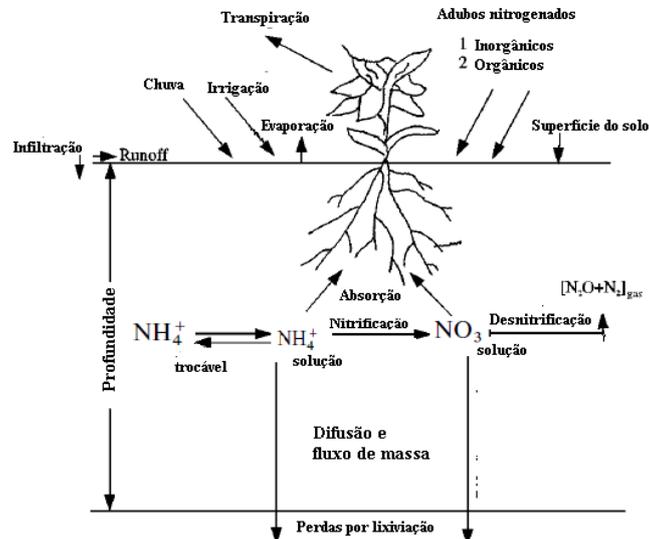
Uma das formas para se monitorar os teores de potássio em videiras é por meio de amostras peciolares durante o estágio de floração e maturação das bagas, e vem sendo utilizadas em diversas pesquisas (FOGAÇA et al., 2007; KLEIN, et al., 2000; NAGARAJAH, 1999), mostrando-se eficiente na avaliação do teor de potássio nos tecidos próximos aos cachos. Dessa forma, a análise peciolar, além de ser utilizada para monitorar os níveis de potássio na planta e avaliar a necessidade de adubações e tratos culturais, pode servir de diagnóstico futuro para os teores de potássio nas uvas e nos vinhos (FOGAÇA et al., 2007). Segundo Klein et al. (2000), em estudos sobre fertirrigação potássica em videiras de vinho cv. Merlot e Cabernet Sauvignon no período de 1992 a 1998 na região de Israel, o consumo de potássio com valores de 2 a 3% maior do que o consumo inicial das plantas é considerado luxuoso na época de colheita dos cachos, sendo desnecessária a adubação neste período. Em estudos sobre a concentração de potássio e suas relações com o pH no suco de uvas e no vinho de videiras do tipo cv. Chardonnay e Shiraz, Walker e Blackmore (2012) observaram que as concentrações de potássio nos pecíolos das plantas não apresentaram relações com a quantidade de potássio no suco de uva produzido.

2.4. Movimento de nitrogênio e potássio no solo

No estudo da fertirrigação, um dos fatores de essencial importância para um manejo adequado dos fertilizantes aplicados, durante o ciclo de cultivo, é o movimento dos nutrientes do solo, pois a otimização da fertirrigação depende da disponibilidade dos nutrientes na profundidade de máxima densidade do

sistema radicular, evitando lixiviações para o lençol freático e por consequência para mananciais e rios (ROCHA et al. 2008).

O nitrogênio (N) é um dos elementos essenciais para a sobrevivência das plantas, porém o seu comportamento é bastante dinâmico no solo. Nos sistemas agrícolas as fontes de N são: a deposição atmosférica, a fertilização nitrogenada (ROCHA et al., 2008), a fixação biológica do N_2 atmosférico, a mineralização do N-orgânico do solo (SIQUEIRA NETO et al., 2010). O N disponível para as plantas é dependente da quantidade de matéria orgânica no solo, do tipo de solo, da aeração do solo, da temperatura e o teor de água no solo, este último influencia de maneira significativa a disponibilidade de N no solo, pois acelera as reações químicas e o metabolismo dos microrganismos, atuando no processo de mineralização do nitrogênio (BASSOI e REICHARDT, 1995). Porém, não é apenas o teor de água no solo o principal fator para mineralização do N, segundo Rocha et al. (2008) a variação no armazenamento de água no solo durante os ciclos de secagem e umedecimento como eventos de irrigação, tem profundo efeito na taxa de mineralização de nitrogênio. Os processos de nitrificação e desnitrificação (Figura 1).



adaptado:Singh e Sondhi (2001)

Figura 1. Mecanismos e processos de transporte de nitrogênio no solo

Segundo Villas Bôas et al. (2002) o movimento de potássio (K) no solo depende do tipo de solo e na maioria dos casos move-se com limitação. Em solos com baixa CTC este nutriente pode ser lixiviado, porém quando se aplicam doses adequadas de fertilizantes, perdas por lixiviação são extremamente baixas para a maioria das condições, segundo ainda estes autores, o K pode movimentar-se no perfil

do solo quando ocorrer concentração do elemento próximo aos emissores do sistema de irrigação. Neves et al. (2008) em estudos sobre a mobilidade de K decorrentes da adição de KCl observaram que a movimentação de K variou de acordo com o tipo de solo e aumentou com a aplicação do fertilizante. Werle et al. (2008) em estudos sobre a lixiviação de potássio em função da textura e da disponibilidade do nutriente no solo, observaram que a movimentação de K no solo esta relacionada com o teor inicial resultante da adubação potássica anterior nos solos estudados.

2.4.1. Movimento da água no solo

Segundo Wagenet e Bhaskar (1983), a descrição do transporte de nitrogênio e de sua transformação como nos processos de nitrificação e desnitrificação no solo sob condições de campo, depende da representação exata dos processos físicos, químicos e biológicos, dentre estes processos, os autores destacam o fluxo de água e o deslocamento de solutos em condições de fluxo não estáveis, a absorção de água e nitrogênio e a adsorção de íons durante o transporte de água são fatores determinantes para a distribuição de nitrogênio dentro do perfil do solo. Bassoi e Rehardt (1995), também fazem atribuição á agua não como fator isolado, mas importante na movimentação de nitrogênio no solo, devido a absorção e uso do N pelas plantas através da água.

Segundo Libardi (2010) a quantificação da água no solo é feita pelas chamadas equações de fluxo de água no solo. Para o movimento da água em condições de campo, Libardi (2012) indicam a equação de Darcy-Buckingham para representar as condições ideais para o movimento de água no solo e suas interações com a planta e atmosfera, conforme equação (1):

$$q = -K(\theta)\nabla\phi_t \quad (1)$$

Onde, $\phi_t = \phi_p + \phi_m + \phi_z + \dots + \phi_n + \dots$ na qual para solos indeformáveis em condições normais de medida, $\nabla\phi_t = \nabla\phi_m + \nabla\phi_z$.

Em que:

q = densidade de fluxo da solução;

$K(\theta)$ = função condutividade hidráulica;

ϕ_t = potencial total;

ϕ_p = potencial pressão;

ϕ_m = potencial mátrico;

ϕ_z = potencial gravitacional.

Diversos estudos (ANTONOPOULOS e WYSEURE 1998; WAGENET e BHASKAR 1983; SINGH e SONDHI 2001) vem sendo realizados com objetivo de interpretar o movimento de nitrogênio no solo. Segundo Wagenet e Bhaskar (1983) o movimento de N, está intimamente relacionada com o fluxo de água (q), que por sua vez está relacionado com a condutividade hidráulica (K), a umidade (θ) e o potencial matricial (ϕ_m) do solo. Este movimento está descrito através da equação de Richards (equação 2, 3 e 4) conforme Libardi et al. (2010):

Na direção x (horizontal), idêntico para a direção y :

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left[K(\theta) \frac{\partial \phi_m}{\partial x} \right] \quad (2)$$

uma vez que $\partial \phi_g / \partial x = 0$, e na direção z (vertical):

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left[K(\theta) \frac{\partial \phi_t}{\partial z} \right] \quad (3)$$

ou quanto se expressa os potenciais em altura de água,

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left[K(\theta) \left(\frac{\partial \phi_m}{\partial z} + 1 \right) \right] \quad (4)$$

Em que,

$\partial \theta / \partial t$ = variação da umidade do solo ($m^3 m^{-3}$) em função do tempo (s);

$K(\theta)$ = condutividade hidráulica do solo ($m s^{-1}$);

$\partial\phi_m/\partial z$ = variação do potencial mátrico (atm, kPa e m.c.a) em função da profundidade ou camada do solo (m);

$\partial\phi_t/\partial z$ = variação do potencial matricial (atm, kPa e m.c.a) em função da camada de solo (m).

2.4.2. Transporte de solutos no solo

O transporte dos íons presentes na solução do solo até as raízes dos vegetais é feito por dois mecanismos, fluxo em massa e difusão (RUIZ et al. 2010). O fluxo em massa está associado ao gradiente de potencial hídrico provocado pela absorção de água pelas plantas. Desse modo, a concentração do íon na solução do solo e a taxa de transpiração do vegetal determinam a quantidade transportada por esse mecanismo (OLIVEIRA et al. 2004; RUIZ et al., 1999) . A difusão, por sua vez, é causada pelo movimento térmico ao acaso dos íons em direção à raiz, em virtude do gradiente de concentração gerado na superfície radicular. Além desses dois mecanismos, a interceptação radicular também é responsável pelo suprimento de nutrientes às plantas, apesar de ser considerada praticamente desprezível a sua participação (BARBER, 1984).

Ruiz et al. (2010) e Ferreira e Martinez (1997) afirmam que o transporte de soluto no solo (J_s) é determinado pela soma dos componentes difusivo (j_D), convectivo (j_M) e dispersivo (j_h):

$$j_s = j_D + j_M + j_h \quad (5)$$

Assim, chega-se a equação (6) de primeira ordem do movimento do soluto no meio poroso conforme descrito em Ruiz et al. (2010), Ferreira e Martinez (1997), Libardi (2012):

$$j_s = -D\theta \frac{\partial C}{\partial x} + qC \quad (6)$$

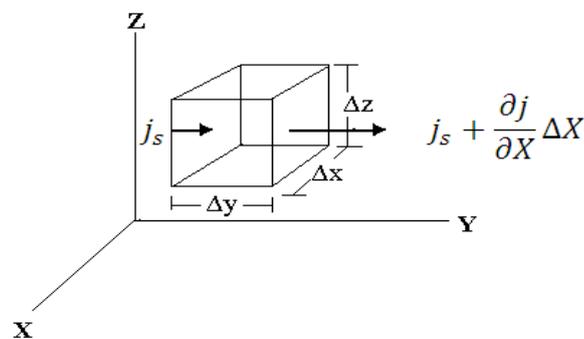
Em que,

D = coeficiente de difusão aparente ou coeficiente dispersivo-difusivo;

C = é a concentração do soluto na fase líquida (kg m^{-3});

q = fluxo de água ($\text{m}^3 \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$).

Os principais processos envolvidos no transporte de nitrogênio no solo é a convecção também chamada de fluxo de massa da solução do solo, e a difusão molecular ou iônica devido ao gradiente de concentração (SINGH e SONDHI, 2001). O transporte de solutos no solo pode ser calculado através de equações diferenciais pelo princípio da conservação de massas, conforme Figura 2, no qual o fluxo de soluto (j_s) move-se através do volume-controle em uma determinada direção por unidade de área e tempo, conforme Ruiz et al. (2010) e demonstrado na Figura 2.



Adaptado de Ruiz et al. (2010)

Figura 2. Volume-controle em um meio poroso através do qual um soluto é transferido por difusão e fluxo de massa.

A diferença total entre a massa que entra e aquela que sai no volume-controle deve ser igual por continuidade à mudança em relação ao tempo na concentração C do soluto no volume-controle conforme equação 7:

$$\text{entrada} - \text{saída} = \left(D(\theta) \frac{\partial^2 C}{\partial t} - q \frac{\partial C}{\partial x} \right) \Delta x \Delta y \Delta z \quad (7)$$

Como descrito por Ruiz et al. (2010), C é a concentração do soluto na fase líquida, a quantidade de massa de soluto dentro do volume-controle é $\theta C(\Delta x \Delta y \Delta z)$, e a taxa à qual a massa de soluto varia por unidade de tempo, dentro do volume controle, é:

$$\frac{\partial}{\partial t} \theta C (\Delta x \Delta y \Delta z) = \left(\frac{\partial \theta C}{\partial t} \right) \Delta x \Delta y \Delta z \quad (8)$$

Portanto, pelo princípio de conservação das massas, a massa de soluto transferida para dentro do volume-controle menos a massa de soluto que sai do volume-controle por unidade de tempo, equivale à variação em massa de soluto dentro do volume-controle na unidade de tempo, considerando a concentração adsorvida (RUIZ et al., 2010):

$$\frac{\partial}{\partial t} (\theta C + \rho_s U) = \left(D(\theta) \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} - q \frac{\partial C}{\partial x} \right) \quad (9)$$

Em que,

C = concentração do soluto na fase líquida (kg m^{-3});

ρ_s = densidade do solo (kg m^{-3});

U = concentração adsorvida (massa de soluto por unidade de massa de solo, (kg kg^{-1});

D = coeficiente de difusão ou coeficiente dispersivo-difusivo;

q = fluxo de água, $\text{m}^3 \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$.

A disponibilidade de potássio no solo para às plantas depende muito do movimento de difusão no solo (ROSOLEM et al., 2003; OLIVEIRA et al., 2004) pois a quantidade de K que chega através do movimento por fluxo de massa às raízes é muito pequena. Segundo Mundson e Nelson (1963) os principais fatores que afetam o movimento de potássio aplicado ao solo são:

- Capacidade de troca catiônica - a matéria orgânica e as frações de argila são as principais responsáveis pela capacidade de troca catiônica no solo, interferindo de maneira significativa no movimento de potássio no solo;
- Matéria orgânica - devido a influência da matéria orgânica na capacidade de troca catiônica no solo, ocorre uma tendência entre os cátions (cargas positivas e negativas) tendendo assim ao equilíbrio, dificultando a movimentação do elemento;
- Textura e tipo de argila no solo - influenciam na retenção e no movimento de água no solo, podendo aumentar ou diminuir o fluxo de potássio.

Segundo Neves et al. (2008) a concentração de K na solução do solo e a capacidade de adsorção de K são os principais atributos químicos que

influenciam a taxa de difusão de K. Em observações sobre o movimento de potássio no solo, Rosolem et al. (2003) afirmam que apesar da difusão ser o principal mecanismo de absorção de K pelas plantas, o fluxo de massa não deve ser desprezado, pois em altas concentrações, este movimento pode contribuir significativamente no suprimento de K para às plantas. Ruiz et al. (1999) em estudos sobre a contribuição dos movimentos de fluxo de massa e difusão para o suprimento de potássio, cálcio e magnésio em plantas de arroz, afirmam que apesar da difusão ser o mecanismo de transporte mais importante para K, o fluxo de massa em solos com elevados teores deste nutriente podem proporcionar suprimento adequado de K às plantas.

O movimento de potássio no solo depende do tipo de solo e na maioria dos casos move-se com limitação, pois o potássio pode ser lixiviado em solos arenosos e com baixa CTC, porém quando se aplicam doses não elevadas de fertilizantes, perdas por lixiviação são baixas (VILLAS BÔAS et al., 2002). Segundo Werle et al. (2008), em estudos sobre a lixiviação de potássio em função da textura e da disponibilidade do nutriente no solo, observaram que a passagem de K considerado não-trocável para trocável se torna rápida com o aumento do efeito residual, influenciando assim na lixiviação deste nutriente.

2.5. Utilização de extratores de cápsulas porosas para obtenção da solução do solo

O solo é constituído das fases sólida (areia, silte e argila), gasosa e líquida. A fase líquida também chamada de solução do solo, contém diversos solutos, principalmente nutrientes que podem ser absorvidos pelas culturas através das raízes (RUIZ et al., 2010). Dentre estes nutrientes a absorção de N e K pelas plantas ocorre na forma iônica, no qual estes nutrientes estão dissolvidos na solução do solo. Portanto, é de extrema importância o monitoramento destes nutrientes durante o ciclo de cultivo, devido aos riscos de excesso ou carência destes nutrientes que são de extrema importância para o desenvolvimento da videira.

Dentre as metodologias existentes para extração de solução do solo como os métodos do deslocamento (ELKHATIB et al., 1986), centrifugação (ADAMS et al. 1980), pasta de saturação do solo (Richards, 1954) e extratos aquosos em diferentes relações solo:água (CHOWDHURY et al., 2011), os extratores de

cápsulas porosas destacam-se pela sua praticidade e tempo de obtenção da amostra (SOUZA et al., 2013, DIAS et al., 2005, SILVA et al., 2000), o que facilita uma possível correção da adubação durante o ciclo de cultivo, evitando queda de rendimento das plantas devido ao excesso ou falta de nutrientes. Isto favorece a utilização da fertirrigação, pois o parcelamento da adubação com esta técnica torna-se viável quando comparada com a adubação convencional (TEIXEIRA et al., 2007b) que é aplicada normalmente em um único momento do ciclo, acarretando perdas por lixiviação, além de favorecer o aumento da condutividade elétrica na solução do solo, causando estresse salino nas plantas e conseqüente redução na produtividade. Os teores de nutrientes presentes na solução do solo devem ser determinados periodicamente para estabelecer um manejo adequado de nutrientes para as culturas (LAO et al., 2004). Silva et al. (2003) em estudos sobre o manejo da fertirrigação e o controle da salinidade na cultura do pimentão com o uso de extratores de cápsulas porosas, observaram que é possível determinar as quantidades de NO_3^- e K^+ na solução do solo com boa precisão. Silva et al. (2000) concluíram que a condutividade elétrica e a concentração de potássio na solução do solo pode ser monitorada através dos extratores de cápsulas porosas, auxiliando no manejo da fertirrigação em todo o ciclo de cultivo.

Dentre os questionamentos sobre o uso de extratores de cápsulas porosas para o monitoramento nutricional das plantas, o seu uso em solos de diferentes texturas é um dos mais importantes. A textura exerce influência sobre a retenção e a movimentação da água no solo para os diferentes tipos de solos. Segundo Oliveira et al. (2011) em estudos sobre a calibração de extratores de cápsulas porosas para o monitoramento da salinidade e da concentração de íons no solo, observaram que para a obtenção de NO_3^- e K^+ na solução do solo, os extratores de cápsulas porosas apresentaram precisão satisfatória, porém a uma necessidade de calibração em cada solo utilizado por este instrumento. Com relação ao posicionamento e a distância dos extratores de cápsulas porosas próximos a planta e aos emissores do sistema de irrigação, Salomão et al. (2012) recomendam a instalação dos extratores a 30 cm de profundidade e 25 cm de distância do emissor para a obtenção de K na solução do solo com valores representativos para tal tipo de solo e tal cultura. Coelho et al. (2003) recomendam a utilização de pelo menos uma bateria de extratores de solução do solo, instalados em duas profundidades de maior concentração das raízes, recomendando-se para fruteiras a instalação entre 0,50 e 0,60m e um outro na profundidade de 0,80 m para acompanhar a lixiviação de nutrientes.

Quanto à intensidade do vácuo a ser aplicado nos extratores para futura coleta de solução do solo, não existe na literatura uma padronização, porém em trabalhos sobre o tema, Dias et al. (2005) e Silva et al. (2000) utilizaram a aplicação de vácuo em tensões de 80 kPa nos extratores após cada evento de fertirrigação, obtendo resultados com boa precisão. Foloni et al. (2006) em estudos sobre o efeito da calagem e sulfato de amônio no algodão, aplicaram tensões de -60 kPa para a obtenção de íons na solução do solo, enquanto Silva et al. (2005) aplicaram tensões de -70 kPa para extração de soluções do solo para estimar a condutividade elétrica e a concentração de potássio, após a aplicação de cloreto de potássio no solo. Quanto a quantidade de solução extraída em relação ao vácuo aplicado, não existe uma correlação aceitável, pois as pesquisas realizadas relacionam apenas o conteúdo de água no solo com a concentração de nutrientes e volume de solução coletadas (ANDRADE NETO et al., 2012).

Uma das principais críticas a esse método de extração de solução do solo é a época de coleta, pois esta pode ser realizada em qualquer época, porém não se percebe na literatura o momento de extração que representa de maneira significativa a quantidade de fertilizantes disponíveis para planta, principalmente com relação a aplicação de nitrogênio e suas transformações no solo. Haynes (1990) observou que são necessários 12 dias para a transformação total da uréia em NO_3^- no perfil do solo em região de climas amenos como no Leste europeu. Porém, Oliveira et al. (2013) em solos de clima tropical, observaram a solução do solo 8 horas após a fertirrigação para determinar a concentração de NO_3^- na solução do solo, valendo resaltar que as condições ambientais em que ambos os experimentos foram realizados são distintas. Souza et al. (2012a) em estudos sobre a dinâmica de nutrientes em pomar de citrus fertirrigado, coletaram soluções 12 horas após a realização da fertirrigação observando a lixiviação de NO_3^- após precipitações elevadas durante o experimento e por isto estes autores consideram os extratores de cápsulas porosas ferramenta auxiliar para o monitoramento da fertirrigação. Lima (2009) afirma que o tempo mínimo para que a concentração iônica na solução do solo tenda ao equilíbrio é de 30 horas após o evento de fertirrigação, o que pode ser uma referência para época ideal de extração da solução. Porém, deve-se levar em consideração a textura de cada solo e sua capacidade de retenção de água.

O monitoramento de potássio na solução do solo por meio do uso de extratores de cápsulas porosas vem sendo realizado em diversas pesquisas sobre

fertirrigação. Segundo Silva et al. (2000) é possível monitorar com boa precisão a concentração de K na solução do solo com o uso de extratores de cápsulas porosas, acompanhando assim a evolução deste nutriente e sua disponibilidade para as plantas. Lima (2009) afirma que a correção da umidade nos valores de K na solução do solo devem ser realizadas para a obtenção de valores mais confiáveis deste nutriente. Silva et al. (2005) utilizando a técnica de reflectometria no domínio do tempo, afirmam que o teor de potássio contido no solo após a fertirrigação pode ser relacionado com a umidade do solo. Segundo Villas Boas et al. (1994) devido a baixa mobilidade do potássio o mesmo fica concentrado na faixa molhada, sendo explicada essa relação com o teor de água no solo.

Uma das maneiras de análise do movimento de nitrato e potássio no solo é por meio de extratores de solução do solo na zona radicular da cultura. O extrato obtido tem sido utilizado para determinação de teores de cátions como o K^+ e ânions como o NO_3^- , entre outros (BASSOI e CARVALHO, 1992; BASSOI e REICHARDT, 1995). Segundo Padilla (1998), a fertirrigação coloca íons na solução do solo em forma assimilável pela cultura em solos com baixa capacidade de troca catiônica, deixando os nutrientes livres e a mercê da lixiviação causadas por precipitação ou irrigações excessivas, como observado por Souza et al. (2012a) em fertirrigação no pomar de citrus monitorada com extratores de cápsulas porosas. Estes autores perceberam um movimento de íons como NO_3^- na profundidade de 60 cm devido a elevadas precipitações. Portanto, os extratores de cápsulas porosas podem auxiliar de maneira eficiente o manejo da fertirrigação na vitivinicultura, permitindo acompanhar o movimento de alguns nutrientes no solo, como NO_3^- e K^+ , por meio da determinação de sua concentração na solução do solo, podendo ser feitas correções nas quantidades de fertilizantes aplicados durante o ciclo de cultivo, além de facilitar o acompanhamento da condutividade elétrica da solução do solo.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Área de estudo

O experimento foi instalado no Campo Experimental de Bebedouro, em Petrolina-PE, localizado na latitude S 09° 08' 08,09", longitude W 40° 18' 33,6" e altitude 373 m. A classificação climática segundo Köppen é do tipo BSW_h, ou seja, tropical Semiárido (REDDY e AMORIM NETO, 1983). A videira (*Vitis vinifera* L.) cultivar Syrah foi enxertada sobre o porta-enxerto 1103 Paulsen. O plantio foi realizado em 30 de abril de 2009, no espaçamento de 1 m entre plantas e 3 m entre fileiras em um Argissolo Vermelho Amarelo (SILVA, 2005). O período de formação do parreiral ocorreu até o mês de abril de 2010, quando ocorreu a primeira poda de produção. As três podas de produção do presente estudo foram realizadas nos dias 17 de junho de 2013, 7 de fevereiro de 2014 e 6 de agosto de 2014. As colheitas foram realizadas em 8 de outubro de 2013, 9 de junho de 2014 e 25 de novembro de 2014, totalizando 113, 122, 111 dias respectivamente.



Foto: Alessandro O. da Silva

Figura 3. Visão frontal da área experimental

3.2. Caracterização físico-hídrica do solo

Anteriormente ao início do experimento, foram coletadas na linha de plantas 36 amostras de solo nas profundidades de 0,20, 0,40 e 0,60 m, retiradas com trado e colocadas em sacos plásticos identificados para posterior análise no Laboratório de Solos e Análise foliar da Embrapa Semiárido, onde foram determinados atributos físicos-hídricos do solo (Tabela 2) conforme metodologia contida em Embrapa (1997).

Tabela 2. Atributos físico-hídricos do Argissolo Vermelho Amarelo da área experimental.

Profundidade	ds	dp	P	Granulometria			Textura
				Areia	Silte	Argila	
M	kg cm ⁻³	kg cm ⁻³	(%)	-----g kg ⁻¹ -----			
0-0,20	1,23	2,54	51,41	764,3	171,18	64,50	Franco-arenoso
0,20-0,40	1,24	2,53	51,08	737,7	180,38	81,88	Franco-arenoso
0,40-0,60	1,30	2,55	49,13	721,4	139,61	139,00	Franco-arenoso

ds - densidade do solo; dp- densidade das partículas; P - porosidade total

3.3. Caracterização química do solo

As mesmas amostras de solo coletadas para a análise físico-hídrica também foram utilizadas pelo Laboratório de Solos e Análise Foliar da Embrapa Semiárido para a realização da análise química (Tabela 3), conforme metodologia contida em Embrapa (1997).

Tabela 3. Características químicas do solo da área experimental antes da aplicação dos tratamentos

Prof. (m)	CE dS m ⁻¹	pH H ₂ O	M.O g dm ⁻³	NO ₃ ⁻ NH ₄ ⁺		P mg dm ⁻³	K Ca Mg		
				---mg kg ⁻¹ ----			----- cmol _c dm ⁻³ ----		
0-0,20	0,7	7,5	20,8	4,28	4,86	156,9	0,9	3,5	1,3
0,20-0,40	0,5	7,2	15,2	3,50	4,67	123,9	0,6	3,1	1,1
0,40-0,60	0,32	6,81	8,92	3,11	4,08	93,79	0,4	2,85	1,1
Prof. (m)	Na	H+Al	SB	CTC	V	Cu	Fe	Mn	Zn
0-0,20	0,1	1,1	5,8	7,0	83,3	1,75	18,08	61,6	21,5
0,20-0,40	0,1	1,3	4,9	6,2	78,8	2,49	19,63	46,4	19,8
0,40-0,60	0,08	1,4	4,4	5,8	75,7	4,71	23,02	26,9	12,2

CE- Condutividade elétrica do extrato de saturação, M.O = matéria orgânica; NO₃⁻ = nitrato, NH₄⁺ = amônio, P = fósforo; K = potássio; Ca = cálcio; Mg = magnésio; Na = sódio, H+Al = acidez potencial; SB = soma de bases; CTC = capacidade de troca catiônica; V (%) = saturação por bases, Cu = cobre, Fe = ferro, Mn = manganês, Zn = zinco

3.4. Tratamentos e delineamento estatístico do experimento

Os tratamentos foram constituídos de cinco doses de nitrogênio (0, 15, 30, 60 e 120 kg ha⁻¹) e cinco doses de K₂O (0, 15, 30, 60 e 120 kg ha⁻¹). Estes tratamentos foram combinados em esquema fatorial 5² fracionado (LITTEL e MOTT, 1975) perfazendo o total de 13 combinações (Tabela 4). O ensaio foi disposto em blocos casualizados com quatro repetições. O nitrogênio foi fornecido na forma de uréia e nitrato e o potássio nas formas de nitrato, cloreto e sulfato de potássio, aplicados via fertirrigação. Os íons acompanhantes foram equilibrados pela adubação complementar. A unidade experimental (U.E) foi constituída de 17 plantas.

Tabela 4. Combinações dos tratamentos utilizados no experimento

Tratamentos	Doses de fertilizantes (kg ha ⁻¹)	
	N	K ₂ O
T ₁	0	0
T ₂	0	30
T ₃	0	120
T ₄	15	15
T ₅	15	60
T ₆	30	0
T ₇	30	30
T ₈	30	120
T ₉	60	15
T ₁₀	60	60
T ₁₁	120	0
T ₁₂	120	30
T ₁₃	120	120

3.5. Obtenção dos dados climáticos

O monitoramento das condições climáticas foi realizado mediante estação agrometeorológica automática e tanque classe “A” localizados a 60 m da área experimental. Foram observados os dados diários de temperatura (máxima, média e mínima), umidade relativa do ar (máxima, média e mínima), radiação solar e evapotranspiração de referência pelo tanque classe A (ALLEN, et al., 1998).

3.6. Sistema de irrigação

O sistema de irrigação utilizado foi o gotejamento, sendo que cada parcela experimental possuía mangueiras de polietileno de 17 m controladas por um registro para abertura em cada evento de fertirrigação. O sistema de sucção era composto por tubulação com 6 m de comprimento até o reservatório de água, conjunto motobomba hidráulica com vazão de $15 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$, filtro de disco, bomba injetora e reservatório de 60 L, para utilização na fertirrigação. A vazão total requerida para o experimento foi de $8,81 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$, obtida através de teste de vazões nos emissores em intervalos de 5 min, em que os resultados mostraram uma vazão média de $3,6 \text{ L h}^{-1}$, com coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC) conforme equação (9):

$$CUC = 1 - \left(\frac{\sum_i^n |q_i - q_m|}{n \cdot q_m} \right) \quad (10)$$

Em que,

CUC - Coeficiente de uniformidade de Christiansen, em %;

q_i - Vazão de cada emissor, L h^{-1} ;

q_m - vazão média dos emissores, L h^{-1} ;

n - número de emissores

A uniformidade de emissão (UE) foi realizada conforme metodologia descrita em Keller e Karmelli (1974) sendo sua definição baseada na razão entre as vazões mínimas e média dos emissores, conforme expressão (11).

$$UE = 100 \frac{q_n}{\bar{q}} \quad (11)$$

Em que:

UE - Uniformidade de emissão (%);

q_n - média das 25% menores vazões observadas ($L h^{-1}$);

\bar{q} - médias das vazões observadas ($L h^{-1}$).

Para a determinação da uniformidade de emissão absoluta (UEa) foram incluídas as vazões máximas dos emissores (KELLER e KARMELLI, 1974) conforme equação 12.

$$UEa = 50 \left(\frac{q_n}{\bar{q}} + \frac{q_x}{\bar{q}} \right) \quad (12)$$

Em que:

q_n - média das 25% menores vazões observadas;

q_x - média das 12,5% das maiores vazões observadas;

\bar{q} - média das vazões observadas

A uniformidade estatística (eq. 13) foi obtida dos trabalhos de Bralts e Edwards (1986) e Bralts et al. (1987), para tanto foram determinado anteriormente o coeficiente de variação das vazões e seu desvio padrão.

$$Us = 100(1 - CV_q) = 100(1 - \frac{S_q}{\bar{q}}) \quad (13)$$

Em que,

Us - Uniformidade estatística;

CV_q - Coeficiente de variação da vazão do emissor;

S_q - Desvio padrão da vazão do emissor;

\bar{q} - média das vazões.

O desempenho do sistema de irrigação por gotejamento também foi avaliado por meio da eficiência de aplicação (EA), conforme (MERRIAN e KELLER, 1978) calculada pela seguinte equação (14):

$$Ea = 0,9 \times UE \quad (14)$$

Em que,

Ea - Eficiência do sistema de irrigação (%);

UE - Uniformidade de emissão.

3.6.1. Tempo, taxa de injeção e uniformidade dos fertilizantes no sistema de irrigação

O tempo de injeção dos fertilizantes foi estimado através de teste de injeção no próprio sistema, por meio de bomba injetora elétrica e utilizando a maior dosagem de fertilizante no tanque de derivação (17,51 g L⁻¹) correspondente a aplicação das doses conjunta de 120 kg ha⁻¹ de N e 120 kg ha⁻¹ K₂O (Tratamento 13). A injeção da solução fertilizante foi feita no sistema com a abertura dos registros referentes às quatro UE do tratamento 13 (simulando a aplicação da fertirrigação em um tratamento). O tempo foi cronometrado para cada UE individualmente, sendo coletadas as soluções com coletores de metal inoxidável, e tomadas medidas com auxílio de condutivímetro até a água de irrigação atingir valores constantes de condutividade elétrica, sendo cada etapa (início da injeção e final da fertirrigação) cronometrada com auxílio de cronômetro digital. A taxa de injeção foi calculada conforme Zanini et al. (2002) a partir das doses dos tratamentos aplicados e da área do experimento conforme equação (15):

$$q_i = \frac{D_p A}{C_p t_t} \quad (15)$$

Em que,

q_i - taxa de injeção em L h⁻¹;

D_p - dose do produto a ser aplicado, ha;

A - área que vai receber a aplicação, ha;

C_p - concentração do produto a solução original, kg L⁻¹;

t_i - tempo de injeção, h

A taxa de injeção para fertirrigação foi de aproximadamente 360 L h⁻¹. Como o tanque para concentração inicial dos fertilizantes possuía o mesmo volume (60 L) a taxa de injeção apresentou o mesmo valor para todos os tratamentos aplicados.

Para determinação da uniformidade dos fertilizantes foi realizado uma simulação usando os tratamentos a serem utilizados durante o experimento, avaliando a distribuição dos fertilizantes em relação a distância dos emissores ao longo da linha lateral e o tempo após a injeção. A adubação constituiu em dois tipos de fertilizantes diluídos no tanque para injeção: nitrogenados tendo como fonte a uréia (46% de N) e o nitrato de potássio (12% de N) em 5 concentrações (0; 1,60; 2,04; 4,66 e 8,35 g L⁻¹), e potássicos em 5 concentrações (0; 1,02; 2,04; 4,08 e 8,16 g L⁻¹) tendo como fontes sulfato de potássio (50% de K₂O), cloreto de potássio (60% de K₂O) e nitrato de potássio (45% de K₂O), perfazendo as 13 combinações descritas anteriormente. A distância dos emissores na linha lateral foi de 0, 6, 12 e 18 m e o tempo após a injeção de 5, 20 e 30 minutos. Os fertilizantes foram aplicados via fertirrigação por meio de bomba injetora com vazão de 300 L h⁻¹, em um tanque com capacidade de 60 L.

Após as injeções de cada fertilizante serem introduzidas totalmente no sistema, foram coletadas alíquotas de 50 mL de solução fertirrigada em recipientes plásticos instalados ao longo das linhas laterais e abaixo dos emissores nos diferentes tempos avaliados. Após a coleta, foi determinada a condutividade elétrica destas soluções através de condutivímetro de bancada no Laboratório de Análise de Solo, Água e Planta da Embrapa Semiárido.

3.7. Manejo da irrigação

O manejo de irrigação foi realizado com base na estimativa da evapotranspiração da cultura (ET_c). Para isso, estimou-se a evapotranspiração de referência (ET_o, mm dia⁻¹), pelo método de Penman-Monteith FAO (ALLEN et al., 1998), com dados meteorológicos coletados por meio de uma estação

agrometeorológica automática instalada a 60 m da área experimental conforme equação 16:

$$ET_o = \frac{0,408\Delta(Rn-G) + \gamma \left(\frac{900U_2}{T+273} \right) (e_s - e_o)}{\Delta + \gamma(1+0,34U_2)} \quad (16)$$

Em que:

Rn= Saldo de irradiação (Mj m⁻² dia⁻¹);

G = densidade de fluxo de calor no solo (MJ m⁻² dia⁻¹);

Δ = é a declinação da curva de saturação de vapor de água (kPa °C⁻¹);

U₂ = Velocidade do vento (m s⁻¹);

T = temperatura do ar (°C);

e_s = Pressão de saturação de vapor (kPa);

e_o = Pressão real de vapor (kPa);

γ = Fator psicrométrico (kPa °C⁻¹).

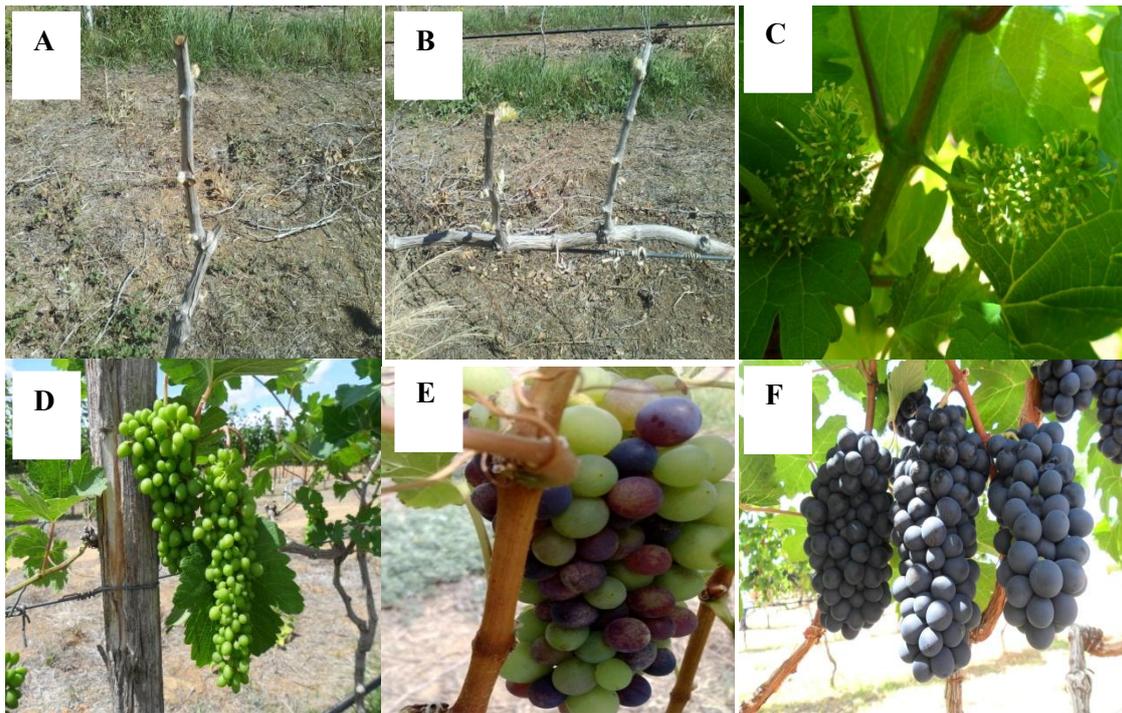
Os coeficientes de cultura utilizados (kc) para videira de vinho cv. Syrah foram obtidos por Bassoi et al. (2007) no mesmo local do experimento (Tabela 5).

Tabela 5. Coeficiente de cultura (kc) para os diferentes estádios fenológicos da videira de vinho no Vale do Submédio do São Francisco

Estádio fenológico	kc
Poda até o início da brotação	0,7
Ínicio do florescimento	1,0
Frutificação	1,0
Cacho formado	0,8
Pintor (início da maturação)	0,5

Fonte: Bassoi et al. (2007)

Para a utilização de cada kc as fases fenológicas das plantas foram monitoradas, percebendo-se a mudança de fase (Figura 4) alterava-se imediatamente o kc no manejo da irrigação.



Fotos: Alessandro O. da Silva

Figura 4. Principais fases fenológicas observadas durante o cultivo da videira: início da brotação (A), abertura das folhas (B), florescimento (C), fase de ervilha (D), início da maturação (E), maturação (F).

A evapotranspiração da cultura (ET_c) obtida pelo produto entre a ET_o e k_c para os diferentes estádios fenológicos da cultura da videira foi obtida conforme equação 17.

$$ET_c = ET_o \times K_c \quad (17)$$

Para a determinação dos valores de evapotranspiração da cultura (ET_c) a fim da utilização no cálculo da irrigação, os mesmos foram corrigidos considerando-se os valores precipitação efetiva (equação 18), que em sentido mais amplo, significa a precipitação útil ou utilizável, ou seja, considerou-se que toda a água de precipitação infiltrou no solo.

$$ET_c' = ET_c - P \quad (18)$$

Em que:

ET_c' = evapotranspiração da cultura corrigida, mm dia^{-1} ;

P = precipitação, mm dia^{-1} .

O tempo de irrigação foi calculado considerando a eficiência do sistema de irrigação por gotejamento, o espaçamento da cultura, o coeficiente de localização e o número de emissores por planta, conforme equação 19.

$$TI = \frac{(ETc' \times E_1 \times E_2 \times Kr)}{(E_i \times n \times q)} \quad (19)$$

Em que:

TI = tempo de irrigação, h;

ETc' = evapotranspiração da cultura corrigida, mm dia^{-1} ;

E_1 = espaçamento entre gotejadores, m;

E_2 = espaçamento entre plantas, m;

Kr = fator de redução (0,5);

E_i = eficiência do sistema de irrigação (0,9);

n = número de emissores por planta;

q = vazão de cada gotejador, L h^{-1} .

3.8. Monitoramento da água no solo

3.8.1. Determinação da umidade do solo

A umidade do solo foi determinada por meio da técnica de tensiometria antes e/ou depois das irrigações, nas profundidades de 0,20, 0,40 e 0,60 m. Foram instaladas 6 baterias de tensiômetros distribuídas pela área experimental, afim de monitorar a tensão de água no solo através de tensímetro digital de punção (Figura 5) de acordo com a profundidade das raízes da cultura (BASSOI et al., 2002).

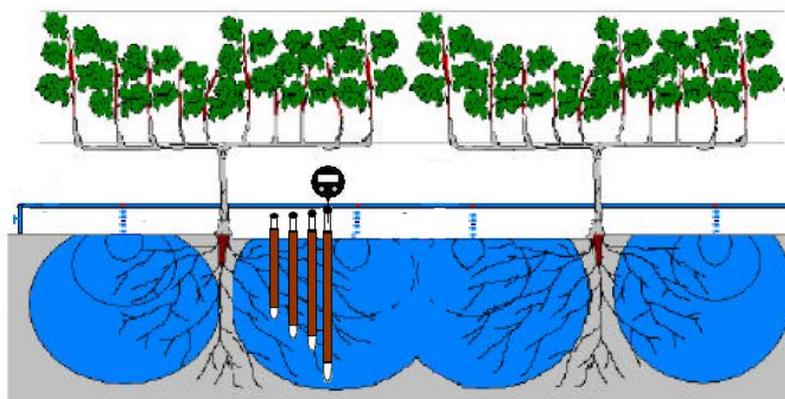


Foto: Alessandro O. da Silva

Figura 5. Esquema de tensiômetros instalados na área experimental

Amostras de solo em todos os blocos foram coletadas por meio de trado nas profundidades de 0-0,20, 0,20-0,40 e 0,40-0,60 m e foram levadas ao Laboratório de Análise de Solo, Água e Planta da Embrapa Semiárido para a determinação da curva característica pelo método da centrífuga (FREITAS JÚNIOR e SILVA, 1984). As curvas características de retenção de água no solo para as profundidade de 0-0,20 m, 0,20-40 m, 0,40-0,60 m são mostradas nas figuras 6A, 6B e 6C, respectivamente.

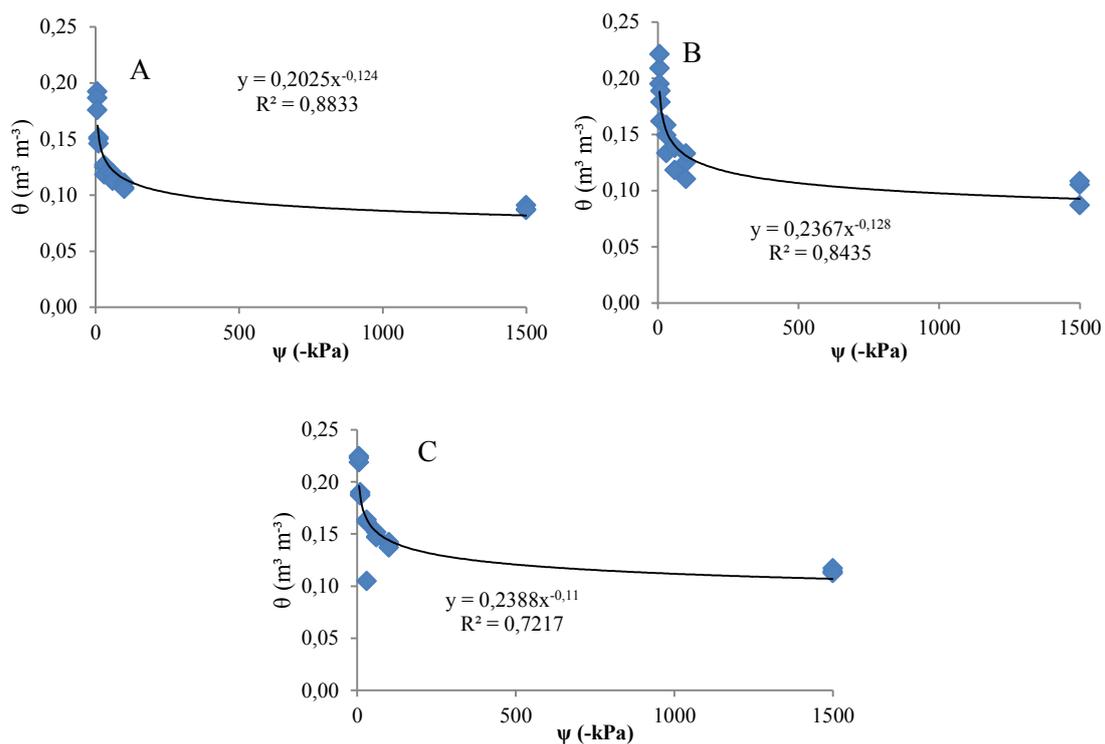


Figura 6. Curvas de retenção de água no solo nas camadas de solo de 0,20 (A), 0,40 (B), 0,60 (C), e 0,80 m (D).

Os parâmetros da equação de ajuste da curva de retenção de água no solo (Genutchen, 1980), demonstrado na equação 20, foram obtidos com auxílio do software SWRC - Soil Water Retention Curve (DOURADO NETO et al., 2000).

$$\theta = \theta_r + \frac{\theta_s - \theta_r}{[1 + |\alpha \times \psi_m|^n]^m} \quad (20)$$

Em que,

θ = umidade do solo, $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$;

θ_r = umidade residual, $m^3 m^{-3}$;

θ_s = umidade de saturação, $m^3 m^{-3}$;

ψ_m = potencial matricial, kPa;

α = parâmetro dependente do solo, cm^{-1} ;

n, m = parâmetros dependente do solo, adimensional.

Os parâmetros ajustados para a equação de Genutchen (1980) estão apresentados na Tabela 6.

Tabela 6. Parâmetros da equação de Genutchen (1980) para diferentes camadas do solo da área experimental

Prof. (m)	α	m	n	θ_r ($m^3 cm^{-3}$)	θ_s ($m^3 cm^{-3}$)
0-0,20	1,338	0,182	3,123	0,086	0,393
0,20-0,40	0,707	0,203	2,311	0,092	0,317
0,40-0,60	1,217	0,170	3,809	0,117	0,489

θ_r - umidade residual, θ_s - umidade saturação, α, m, n - parâmetros empíricos da equação

3.8.2. Potencial matricial

O potencial matricial (ψ_m) foi calculado (equação 21) através de medidas tensiométricas realizadas três vezes por semana e valores das alturas dos tubos tensiométricos fora do solo (medidos com fita métrica) e nas profundidades estabelecidas nas baterias instaladas.

$$\psi_m = Lt - (ht + hc) \quad (21)$$

Em que,

Lt = leitura do tensiômetro, kPa;

ht = altura do tubo tensiométrico acima do solo, cm.

hc = profundidade de instalação do tensiômetro, cm.

3.8.3. Balanço hídrico no solo

O balanço hídrico da videira cv. Syrah foi estimado entre o início da poda até a colheita dos frutos, conforme equação (22):

$$ET = P + I \pm q \pm \Delta A \pm R \quad (22)$$

Em que,

ET= Evapotranspiração, mm;

P = Precipitação pluvial, mm;

I = Irrigação, mm;

ΔA = Armazenamento da água no solo, mm;

q = Fluxo de água na camada limítrofe, mm;

R = Escoamento superficial, mm.

3.8.3.1. Armazenamento de água no solo

O armazenamento de água no solo (A_L) foi determinado pela integração da umidade do solo para cada camada de solo de interesse por meio da Equação 23, adaptada de Haverkamp et al. (1984).

$$A_L = \int_0^L \theta(z) dz \cong [1,5 \theta(z_1) + \sum \theta(z_i) + 0,5(z_n)] \Delta Z \quad (23)$$

Em que,

A_L = Armazenamento de água no solo, mm;

$\theta(z_1)$ = Umidade da primeira camada, $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$;

$\theta(z_i)$ = Umidade das camadas intermediárias, $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$;

$\theta(z_n)$ = Umidade da última camada, $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$;

d_z = Variação da umidade na camada do solo de interesse, $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$.

Δz = Largura da camada do solo, mm;

A variação do armazenamento da água no solo foi calculada durante os períodos de tempo considerado pela seguinte equação (LIBARDI, 2012):

$$\Delta A = A_f - A_i \quad (24)$$

Em que,

ΔA = Variação do armazenamento de água no solo, mm;

A_f = Armazenamento médio no tempo final, mm;

A_i = Armazenamento médio no tempo inicial, mm.

3.8.3.2. Fluxo de água no solo

Para determinação da drenagem profunda ou ascensão capilar (fluxo descendente ou ascendente) no limite inferior do volume de solo considerado ($Z=0,60$ m) utilizou-se a equação de Darcy-Buckingham, conforme Libardi (2012):

$$q = -K(\theta) \frac{\Delta\phi_t}{z} \quad (25)$$

Em que:

q = Densidade de fluxo de água no solo, mm dia^{-1} ;

$K(\theta)$ = Condutividade hidráulica, mm dia^{-1} ;

$\Delta\phi_t/z$ = Gradiente do potencial total;

ϕ_t - Potencial total da água no solo (m);

z = Coordenada vertical de posição (m).

A determinação da condutividade hidráulica do solo não saturado foi realizada no campo pelo método do perfil instantâneo, proposto por Libardi (2012):

$$K(\theta)|_z = \frac{\int_0^z \frac{\partial}{\partial t} dz}{\frac{\partial \psi_t}{\partial z} \Big|_z} = \frac{\frac{\partial h_z}{\partial t}}{\frac{\partial \psi_t}{\partial z} \Big|_z} \quad (26)$$

Em que,

$\partial h_z / \partial t$ = armazenagem de água no solo em relação ao tempo.

$\partial \psi_t / \partial z$ = gradiente do potencial total em relação a profundidade.

Foi utilizado para resolver a equação geral do fluxo de água no sentido vertical, considerando o gradiente do potencial total igual a um de acordo com o modelo:

$$K(\theta) = K_o e^{\gamma(\theta - \theta_o)} \quad (27)$$

Em que,

$K(\theta)$ = condutividade hidráulica do solo não saturado, mm dia^{-1} ;

K_o = condutividade hidráulica do solo saturado, mm dia^{-1} ;

γ = constante dependente do solo;

θ = umidade do solo ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$);

θ_o = umidade do solo saturado ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$).

3.9. Manejo da fertirrigação

O manejo da fertirrigação foi realizado uma vez por semana (fertirrigação periódica), injetados via bomba de injeção. Os fertilizantes utilizados foram o sulfato de potássio, cloreto de potássio, nitrato de potássio e uréia. As concentrações dos fertilizantes encontram-se na Tabela 7.

Tabela 7. Concentrações dos fertilizantes aplicados durante a fertirrigação

Fertilizantes	Composição (%)			
	N	K ₂ O	S	Cl
Uréia	46	-	-	-
Nitrato de potássio	12	45	-	-
Sulfato de potássio	-	50	17	-
Cloreto de potássio	-	60	-	48

A aplicação dos fertilizantes foi feita, de acordo com os tratamentos, durante os ciclos da cultura da seguinte maneira: 40% do total de fertilizantes foram aplicados nas 4 semanas iniciais, iniciando na segunda semana após a poda de produção (dapp), totalizando 32 dias dapp e 60% nas 6 semanas seguintes até os 74 dapp, aproximadamente.

3.10. Monitoramento da fertilidade do solo

3.10.1. Análise química do solo

Durante os três ciclos de produção de uva (cada ciclo com cerca de 110 dias), foram coletadas amostras de solo em todas as unidades experimentais para a realização de análises de pH, CE, MO, P disponível e complexo sortivo, segundo metodologias descritas por Embrapa (1999), e com o objetivo de avaliar o efeito dos tratamentos sobre a concentração de K e de monitorar o estado atual da fertilidade do solo do parreiral.

3.10.2. Monitoramento de íons na solução do solo

O movimento dos íons nitrato e potássio no solo foi monitorado mediante o uso de extratores de solução de cápsulas porosas (BASSOI e CARVALHO, 1992; BASSOI e REICHARDT, 1995), instalados a 40 e 60 cm de profundidade na linha de plantas. A profundidade efetiva do sistema radicular da videira cv. Syrah/1103P é de 60 cm de profundidade (BASSOI et. al., 2007). A determinação da concentração dos íons NO_3^- e K^+ na solução do solo foi realizada mediante o procedimento descrito por Embrapa (1999), no Laboratório de Solos e Nutrição de Plantas da Embrapa Semiárido.

A concentração de NO_3^- e K^+ na solução do solo foi determinada pelo uso de testes rápidos (“cards” específicos para determinação da concentração de nitrato e de potássio) como feito por Silva et al. (2000). Os valores encontrados foram correlacionados com as determinações em laboratório.

Paralelamente aos extratores, foram instalados tensiômetros a 0,20, 0,40, 0,60 m de profundidade, para determinação do potencial matricial da água no solo, da umidade do solo por meio de curva de retenção de água no solo, e do gradiente do potencial hidráulico da água no solo. O conhecimento da umidade do solo no momento da extração foi importante, pois possibilitou estimar a condutividade elétrica e a concentração de íons em uma umidade padrão ou predeterminada. Para tanto, antes da realização do experimento foram coletadas amostras de solo para a determinação da umidade da pasta saturada (RICHARDS, 1954), em que tal valor foi tido como referência e utilizado para corrigir os valores de condutividade elétrica (CE) e da concentração de potássio (K^+) e nitrato (NO_3^-) na solução do solo obtidos pelos extratores de cápsulas porosas (SILVA et al., 2000) conforme equação abaixo:

$$CE_{es} = CE_s \frac{Ua}{Us} \quad (28)$$

Em que,

CE_{es} = é a condutividade elétrica do extrato de saturação estimada a partir da condutividade elétrica da solução do solo obtida com extrator de cápsula porosas, sendo corrigida para a umidade da pasta saturada, dS m^{-1} ;

CE_s = é a condutividade elétrica da solução do solo obtida com extrator de cápsula porosa, dS m^{-1} ;

U_a = é a umidade do solo no momento da retirada da solução com o extrator de cápsula porosa, $g\ g^{-1}$; e U_s é a umidade do solo na pasta saturada, $g\ g^{-1}$.

A umidade da pasta saturada também serviu de referência para o cálculo dos valores de NO_3^- e K^+ estimados para a solução do solo.

3.10.3. Lixiviação de nitrato e potássio no solo

Esta etapa do experimento permitiu observar a disponibilidade e as perdas do nitrogênio e potássio no solo, e tal avaliação é de fundamental importância para avaliar a eficiência do sistema de irrigação e a utilização deste nutriente pela planta (SILVA et al., 2000). Foram coletadas amostras de solução do solo semanalmente até o final dos ciclos da cultura por meio de extratores de solução do solo em diferentes profundidades (0,40 e 0,60 m). As amostras foram compostas por tratamento e por profundidade para análise da concentração de nitrato e potássio em laboratório (BASSOI e REICHARDT, 1995). Admitindo-se as perdas por lixiviação apenas por fluxo de massa, a densidade de fluxo do nitrato em determinada profundidade foi conhecida pelo produto entre a densidade de fluxo de água e a concentração do nutriente, em determinado intervalo de tempo (BASSOI e CARVALHO, 1992; BASSOI e REICHARDT, 1995):

$$qNO_3^- = qH_2O \cdot CMNO_3^- \quad (29)$$

Em que,

qNO_3^- = é a densidade de fluxo de NO_3^- no solo ($cm^3\ cm^{-2}\ dia^{-1}$);

qH_2O = é a densidade de fluxo de água no solo ($cm^3\ cm^{-2}\ dia^{-1}$);

$CMNO_3^-$ = é a concentração média de NO_3^- na solução do solo ($\mu g\ cm^{-3}$), todos na profundidade z (m).

A densidade de fluxo de água no solo será estimada pela equação:

$$qH_2O = K(\theta) \times grad(H) \quad (30)$$

Em que,

$K(\theta)$ = é a condutividade hidráulica do solo ($cm^3 \cdot cm^2 \cdot dia^{-1}$);

$grad(H)$ = é o gradiente hidráulico da água no solo;

Admitindo-se as perdas por lixiviação apenas por fluxo de massa, a densidade de fluxo do nitrato em determinada profundidade foi conhecida pelo produto entre a densidade de fluxo de água e a concentração do nutriente, em determinado intervalo de tempo (BASSOI e CARVALHO, 1992; BASSOI e REICHARDT, 1995). Com relação ao potássio, considerando a importância da difusão no transporte deste íon no solo, para quantificar as perdas de potássio por lixiviação em determinada profundidade, este fator deverá ser considerado juntamente com o potássio transportado por fluxo de massa.

3.11. Monitoramento nutricional das plantas

3.11.1. Análise de plantas

Amostras de folhas de todas as UE foram coletadas nos períodos de florescimento e mudança de cor das bagas para determinação dos teores de macro e micronutrientes, segundo metodologias descritas por Malavolta et al. (1997). As análises foram realizadas no Laboratório de Análise de Solo, Água e Planta. Os critérios utilizados para amostragem foram descritos por Silva e Faria (1999), sendo coletada uma folha por planta, selecionando a folha oposta ao primeiro cacho do ramo, a partir da base do ramo, em todas as plantas da UE.

3.11.2. Análise de seiva do pecíolo das plantas

As análises da solução extraída do pecíolo com éter etílico denominada de seiva, foram realizadas nas fases de florescimento e maturação, paralelamente a retirada de folhas para análise foliar. Foram retirados 30 pecíolos por parcela, considerando as 15 plantas úteis da parcela experimental, sendo dois pecíolos na parte mediana da planta próxima ao fruto (Figura 7A). Os ramos foram acondicionadas em sacos de papel e levados ao laboratório em caixas de isopor. No laboratório os ramos foram limpos com algodão e água destilada e secados com papel filtro, sendo então cortados em pequenos pedaços de 1 a 2 cm (Figura 7B) e armazenados em potes plásticos identificados (Figura 7C) e depois introduzidos em éter etílico (Figura 7D) e congelados (congelador comum) para interromper o metabolismo e extrair a seiva (SOUZA et al., 2012a).

Após duas semanas as amostras foram descongeladas e submetidas a extração da seiva, por pipetagem com auxílio de tubos falcon, pois a seiva e o éter não se misturam. A seiva, por ser mais densa ficou situada na parte inferior do tubo (Figura 7D). A seiva não foi filtrada devido à pequena quantidade extraída.

Determinaram-se os valores de NO_3^- utilizando medidor específico para nitrato (Card Metter Horiba®) sem diluição conforme realizado por Silva et al. (2003) e de K^+ por fotômetria de chama, com diluição de 500 vezes (499:1). Esta metodologia de extração de seiva foi adaptada para a videira baseando-se na metodologia proposta por Souza et al. (2012b) em citros.

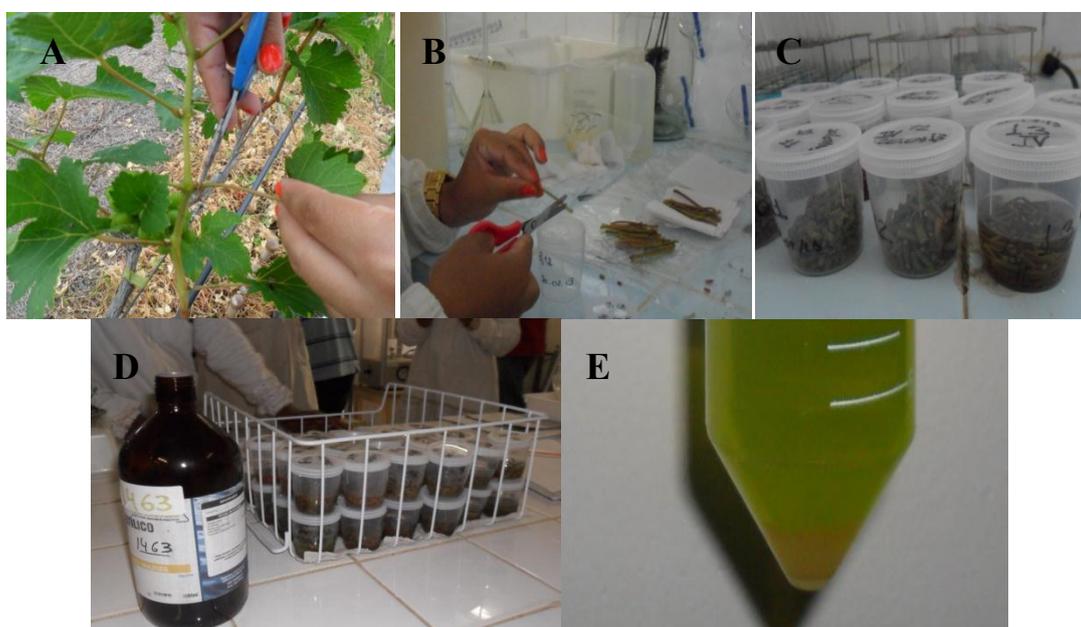


Foto: Alessandro O. da Silva

FIGURA 7. Procedimento para extração da seiva em plantas de videira: corte do pecíolo na planta (A), preparação das amostras (B), identificação das amostras (C), adição de éter (D), seiva (coloração amarela) e éter (coloração verde) após extração (E).

3.11.3. Índice relativo de clorofila

Para a avaliação do teor de clorofila nas folhas das plantas, foram realizadas medidas não destrutivas no campo com o medidor eletrônico de índice relativo de clorofila (clorofiLOG, FALKER®), durante as fases de florescimento e mudança de cor das bagas, em todas as plantas úteis da UE, escolhendo-se as folhas saudáveis e opostas ao primeiro cacho do ramo, a partir da base do ramo. Foram realizadas duas leituras em cada folha, e utilizou-se o índice relativo médio para cada uma.

3.12. Avaliação da produtividade e qualidade das bagas

3.12.1. Produtividade total

Nas colheitas dos três ciclos de produção avaliados, realizadas em 8 de outubro de 2013, 9 de junho de 2014 e 25 de novembro de 2014, foram coletados todos os cachos de cada planta das parcelas. Os cachos foram pesados em balança com precisão de 0,01g. A produção obtida nos três ciclos foram avaliadas pelo número de cachos (NC) e peso total (PT) de cachos por planta, e peso médio dos cachos (PMC) obtido pela relação entre PT / NC, conforme Tecchio et al. (2006).

3.12.2. Parâmetros de avaliação nas bagas

Foram retiradas 100 bagas dos cachos após a colheita para avaliação do peso de 100 bagas (100b, g), volume do mosto (VM, mL), teor de sólidos solúveis totais (TSS, °brix) por meio de refratômetro digital, pH do mosto através de pHmetro de bancada, acidez total titulável (ATT, %) conforme Pregnotatto e Pregnotatto (1985).

3.12.3. Compostos fenólicos

A partir de bagas prensadas dos cachos coletados na área útil de cada UE, foram avaliados os compostos fenólicos. Para determinação de polifenóis totais foram pesadas 5,5 g de polpa e 1,0g de casca de uva de cada UE, adicionando-se 25 mL de metanol a 50% e 25 mL de acetona a 70%, centrifugando-se a 15000 rpm por 15 minutos a cada adição de reagente. O padrão foi preparado com ácido gálico (AOAC, 1997). As leituras no extrato obtido foram realizadas em absorvância, a 280 nm em espectrofotômetro UV/VIS (LARRAURI et al., 1997).

As antocianinas e flavonoides foram determinados pesando-se 0,5g de casca de uva e adicionando-se uma solução com 25 mL de etanol e HCl 1,5N. Após repouso de 24 horas, as amostras foram filtradas com o uso de algodão hidrossolúvel. As leituras das abosrvâncias para antocianinas e flavonoides foram realizadas no extrato obtido nos comprimentos de onda de 535 e 374 nm, respectivamente, em espectofotômetro UV/VIS (OBANDA; OWUOR, 1997).

3.12.4. Ácidos orgânicos

A determinação dos ácidos orgânicos foi realizada no Laboratório de Cromatografia da Embrapa Semiárido. O mosto das uvas de cada UE foi colocado em vials prontamente identificados e analisados por cromatografia líquida de alta eficiência (HPLC), sendo determinados os seguintes ácidos: acético, cítrico, málico, succínico e tartárico.

3.12.5. Análise nutricional do mosto

Em amostras de mosto, obtido a partir de uvas prensadas de cada UE, foram realizadas análises químicas para determinação dos minerais K, Ca, Mg Na e de N-NH₃.

Os minerais foram determinados por via seca em mufla a 500°C, sendo K e Na dosados por fotometria de chama e Ca e Mg por espectrofotometria de absorção atômica (RIZZON; MIELE, 2012). O nitrogênio amoniacal foi obtido por destilação a vapor, segundo a metodologia descrita por Raij et al. (2001).

3.13. Avaliação do desenvolvimento dos ramos e folhas

3.13.1. Crescimento dos ramos

Durante o experimento foram medidos com o auxílio de fita métrica o comprimento dos ramos no início e final do ciclo. A medição foi realizada em três ramos por planta e em cinco plantas por UE, a partir da gema até o final dos ramos.

3.13.2. Área foliar

As medidas para o cálculo da área foliar foram realizadas na área experimental com auxílio de uma régua medindo as nervuras laterais da folha (direita e esquerda), encontrando-se assim com o somatório de ambas as nervuras o valor de L₂ que é a soma do comprimento das nervuras das folhas e o número de folhas por ramo, conforme metodologia proposta por Carbonneau (1976). Obtido este valor, a área foliar foi estimadas conforme a equação obtida por Regina et al. (2000):

$$y = 41,5501 - 5,0167L_2 + 0,5269L_2^2 \quad (31)$$

Em que:

L₂ - Soma dos comprimentos das nervuras das folhas (cm)

Após a obtenção do L_2 as folhas e os ramos eram contados ao longo das plantas para a obtenção da área foliar.

3.14. Análise estatística

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância (teste F) ao nível de 1% ($0,01 > p$) e 5% ($0,05 > p$) de probabilidade utilizando o software Sisvar[®] (Ferreira, 2008). As variáveis com resultados significativos foram submetidas a análise de regressão ao nível de 1% e 5% de probabilidade pelo software R versão 2.8.0 (R Development Core Team, 2008).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Condições Agrometeorológicas

4.1.1. Temperatura do ar

As temperaturas ocorridas no 1º ciclo de produção avaliado (Figura 8A) apresentaram valores médios de 19,5° C (mínima), 25,4°C (média) e 31,9 °C (máxima). As maiores temperaturas foram registradas no período compreendido entre os 99 e 111 dias após a poda de produção (dapp). O 2º ciclo de produção avaliado (Figura 8B) apresentou valores médios de 19,4°C (mínima), 23,9°C (média) e 29,3°C (máxima), sendo que os maiores valores de temperaturas foram observados no período de 41 a 48 dapp. O terceiro ciclo de produção (Figura 8C) apresentou os maiores valores de temperatura dentre os ciclos de cultivo estudados, com valores médios de 20,3°C (mínima), 25,7°C (média) e 31,9°C (máxima).

Embora não tenha ocorrido limitação térmica no período que compreende o 1º ciclo de produção (junho a agosto) do presente experimento, segundo Teixeira et al. (2012), temperaturas médias elevadas (acima de 30°C) durante um longo período podem afetar as plantas. Segundo ainda estes autores, o período de cultivo do segundo ciclo de produção (fevereiro a junho) representa uma época mais amena para as

plantas, diminuindo a demanda evapotranspirativa destas. Segundo Gallina (2012), em estudos sobre a influência da temperatura em bagas de uvas da cv. Pinot Noir, plantas expostas a temperaturas mais elevadas, como ocasionadas no 3º ciclo de produção (agosto a novembro), estão sujeitas a redução no volume e peso de suas bagas, devido as altas taxas de fluxo de vapor d'água demandada para a atmosfera neste período (TEIXEIRA et al., 2007a), podendo ocasionar o aumento no conteúdo de açúcares nas uvas e redução da acidez total e elevação do pH nos vinhos (TEIXEIRA et al., 2012).

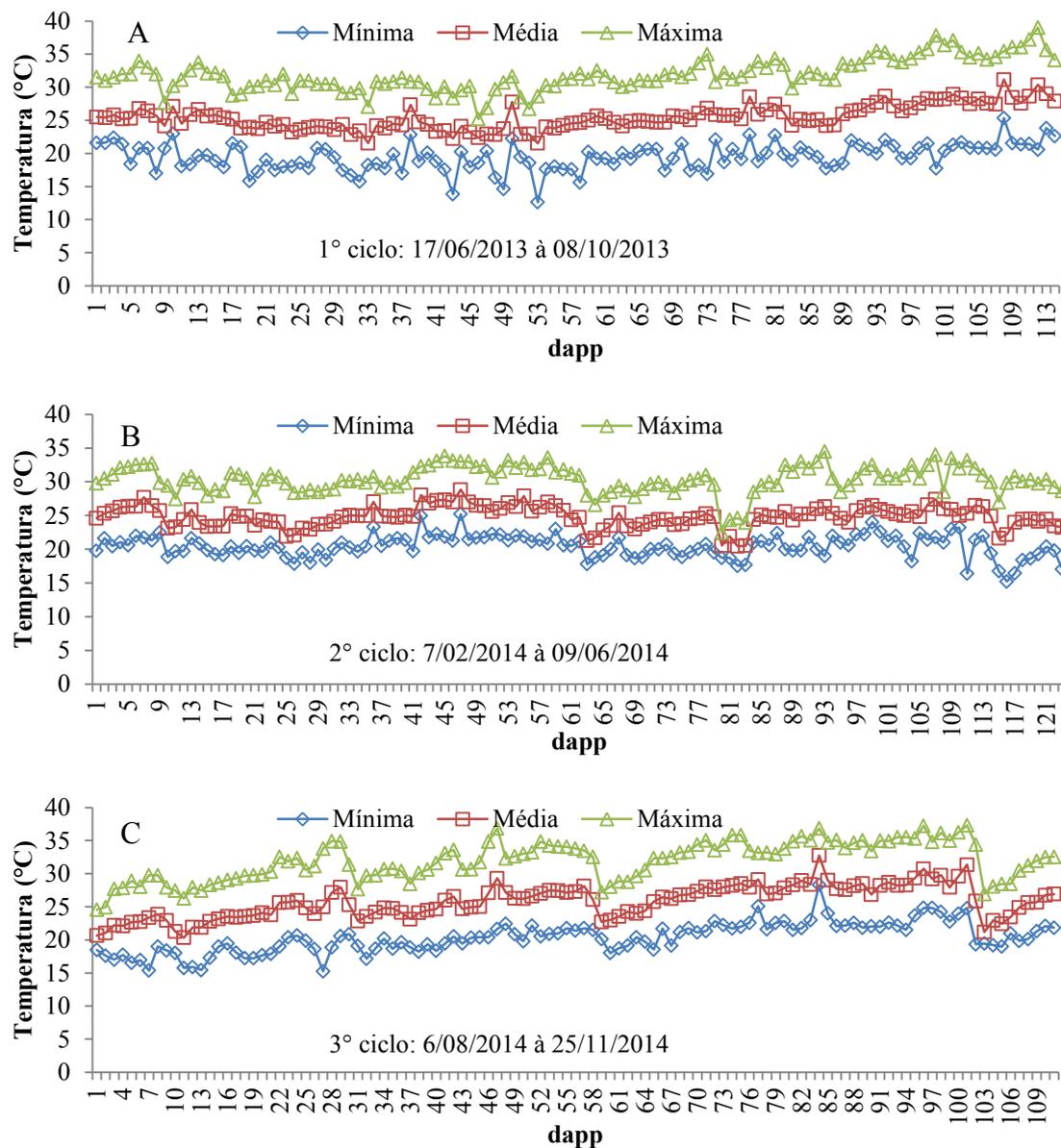


Figura 8. Temperatura mínima, média e máxima do ar nas condições experimentais no primeiro (A), segundo (B) e terceiro (C) ciclo de produção da videira, em função do número de dias após a poda (dapp).

4.1.2. Umidade relativa do ar

Os valores médios de umidade relativa do ar ocorridos no 1º ciclo de produção avaliado (Figura 9A) foram de 31,2%; 55,6% e 81,1% para as umidades mínima, média e máxima, respectivamente. Para o 2º ciclo de produção avaliado (Figura 9B), a umidade média mínima, média e máxima foram de 36,8%; 61,1% e 83,1%, enquanto que para o 3º ciclo de produção considerado (Figura 9C) foram de 29,7%, 52,9% e 77,67%, respectivamente.

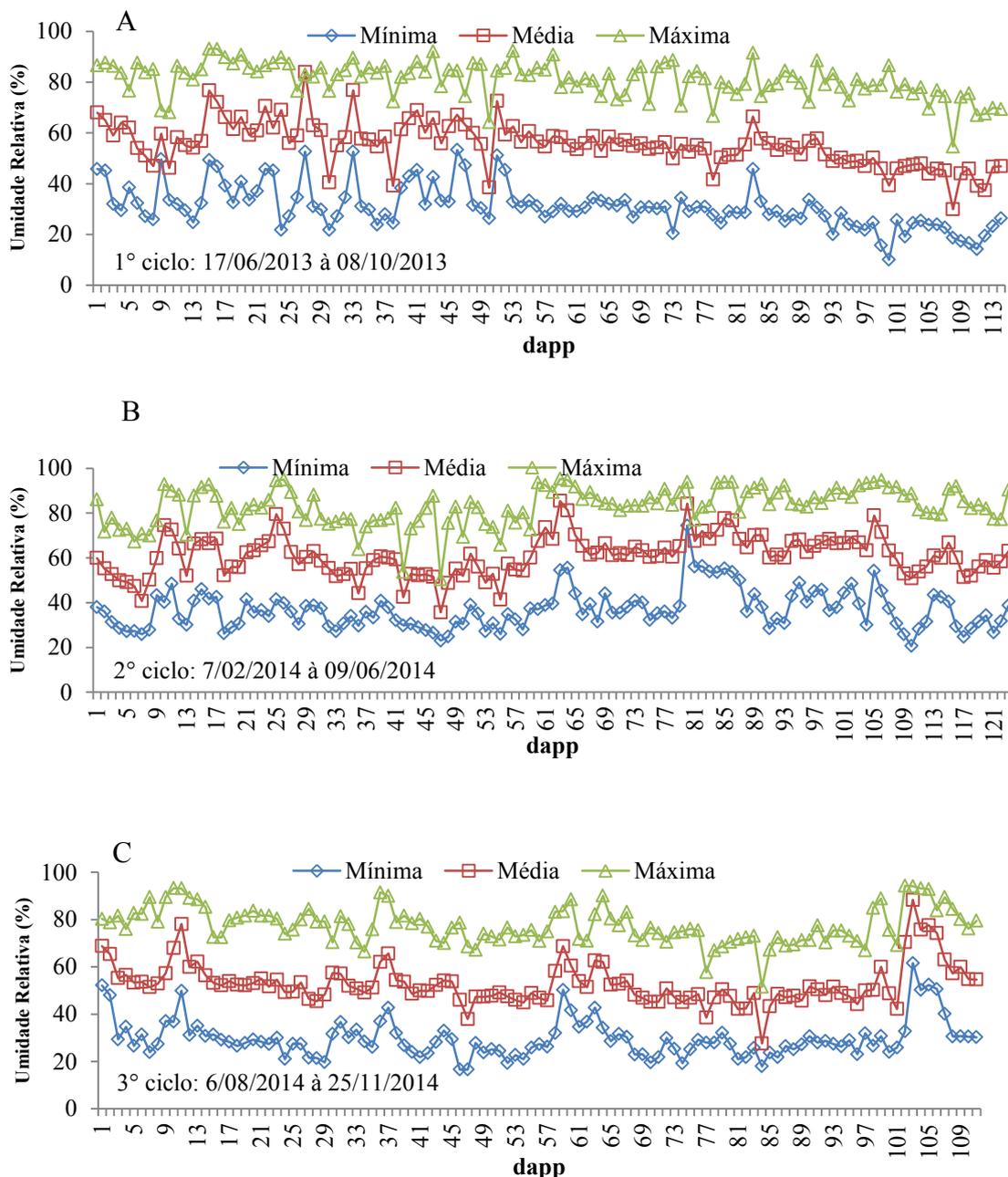


Figura 9. Umidade relativa mínima, média e máxima do ar nas condições experimentais no primeiro (A), segundo (B) e terceiro (C) ciclo de produção da videira, em função do número de dias após a poda (dapp).

4.1.3. Radiação solar

A radiação solar (R_g) atua nos processos de fotoenergia e nos processos de fotoestímulos, além de interferir no período de maturação dos frutos, promovendo maiores teores de açúcares nas uvas quando em elevadas intensidades (TEIXEIRA, 2004). No primeiro ciclo de produção avaliado (Figura 10A), o maior valor de R_g ($25,86 \text{ MJ m}^{-2}$) foi observado aos 49 dapp com valores médios durante o ciclo de $17,08 \text{ MJ m}^{-2}$. Para o segundo ciclo de produção considerado (Figura 10B), o maior valor de R_g ($30,2 \text{ MJ m}^{-2}$) foi observado no 7 dapp, porém os valores médios observados durante o ciclo ($14,45 \text{ MJ m}^{-2}$) foram menores do que os observados no ciclo anterior. No terceiro ciclo de produção observado (Figura 10C), os valores médio da R_g durante o ciclo foi de $16,91 \text{ MJ m}^{-2}$, com maior incidência ($25,08 \text{ MJ m}^{-2}$) aos 84 dapp.

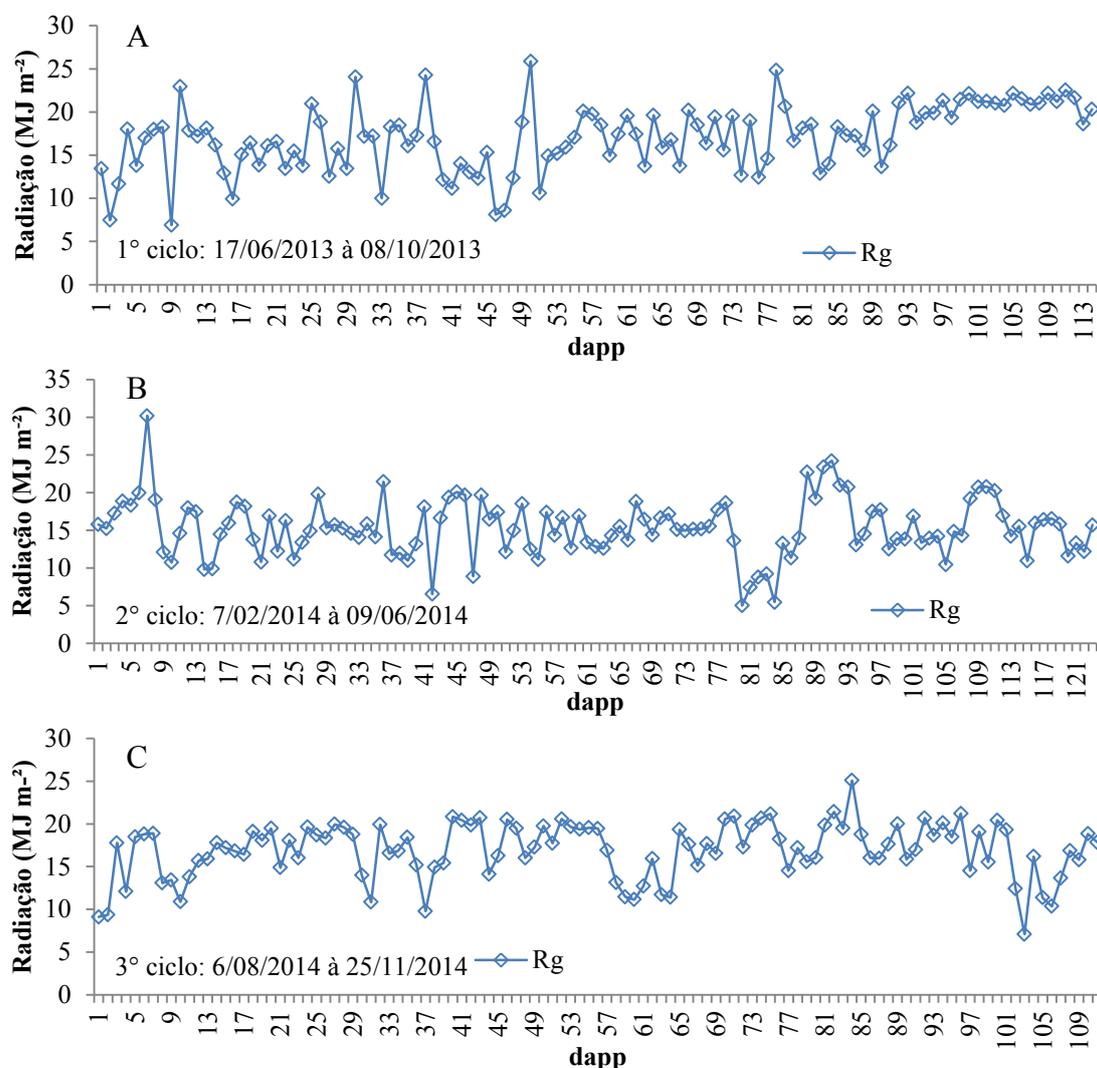


Figura 10. Radiação solar incidente (R_g) nas condições experimentais no primeiro (A), segundo (B) e terceiro (C) ciclo de produção da videira, em função do número de dias após a poda (dapp).

4.1.4. Evapotranspiração

4.1.4.1. Evapotranspiração de referência

A evapotranspiração de referência (ET_o) obtidas pelos métodos de Penman-Monteith (ET_oPM) e tanque classe A (ET_oTCA) apresentaram para o primeiro ciclo de produção observado (Figura 11A) valores totais de 691,9 mm ciclo⁻¹ e 634,0 mm ciclo⁻¹ respectivamente. No segundo ciclo de produção analisado (Figura 11B), a ET_oPM apresentou um total de 485,1 mm ciclo⁻¹ enquanto a ET_oTCA foi de 599,0 mm ciclo⁻¹. O terceiro ciclo de produção avaliado (Figura 11C) apresentou valores de ET_oPM de 641,1 mm ciclo⁻¹ e 480,8 mm ciclo⁻¹ para ET_oTCA. Teixeira et al. (2007a) em estudos sobre a produção de uvas de vinho e de mesa na bacia do rio São Francisco, observaram uma ET_o em dois ciclos de cultivos estudados, valores de 586 mm ciclo⁻¹ e 671 mm ciclo⁻¹, sendo estes valores próximos dos obtidos nos ciclos de produção estudados.

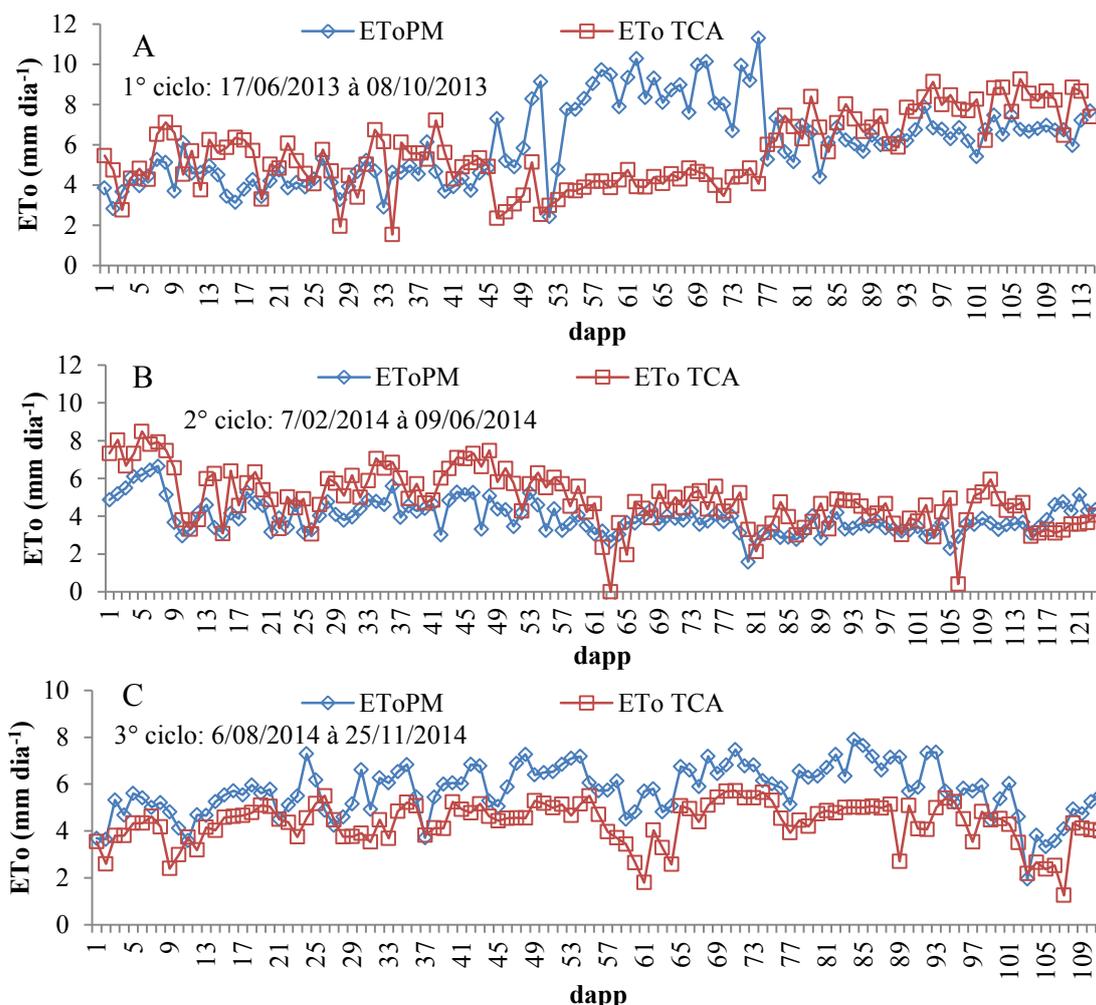


Figura 11. Evapotranspiração de referência nas condições experimentais no primeiro (A), segundo (B) e terceiro (C) ciclo de produção.

4.1.4.2. Evapotranspiração da cultura

A evapotranspiração da cultura (ETc) apresentou valores de 554,3 mm ciclo⁻¹ para o 1º ciclo de produção (Figura 12A), 606,3 mm ciclo⁻¹ para o 2º ciclo (Figura 12B) e 538,3 mm ciclo⁻¹ para o 3º ciclo de produção (Figura 12C). Experimentos realizados em áreas próximas ao do presente estudo apresentaram valores de ETc de 438 e 517 mm ciclo⁻¹ (TEIXEIRA et al., 2007a), 418,2 mm ciclo⁻¹ (BASSOI et al., 2007) e 241,1 mm ciclo⁻¹ (BASSOI et al., 2011). Possivelmente o aumento da demanda atmosférica nos períodos experimentais influenciaram na transpiração das plantas, culminado em altos valores quando comparados com os da literatura. Keller (2010) afirma que as altas evaporações podem estar relacionadas ao suprimento total de água no solo e a queda dos valores ETc ao decréscimo da umidade no solo.

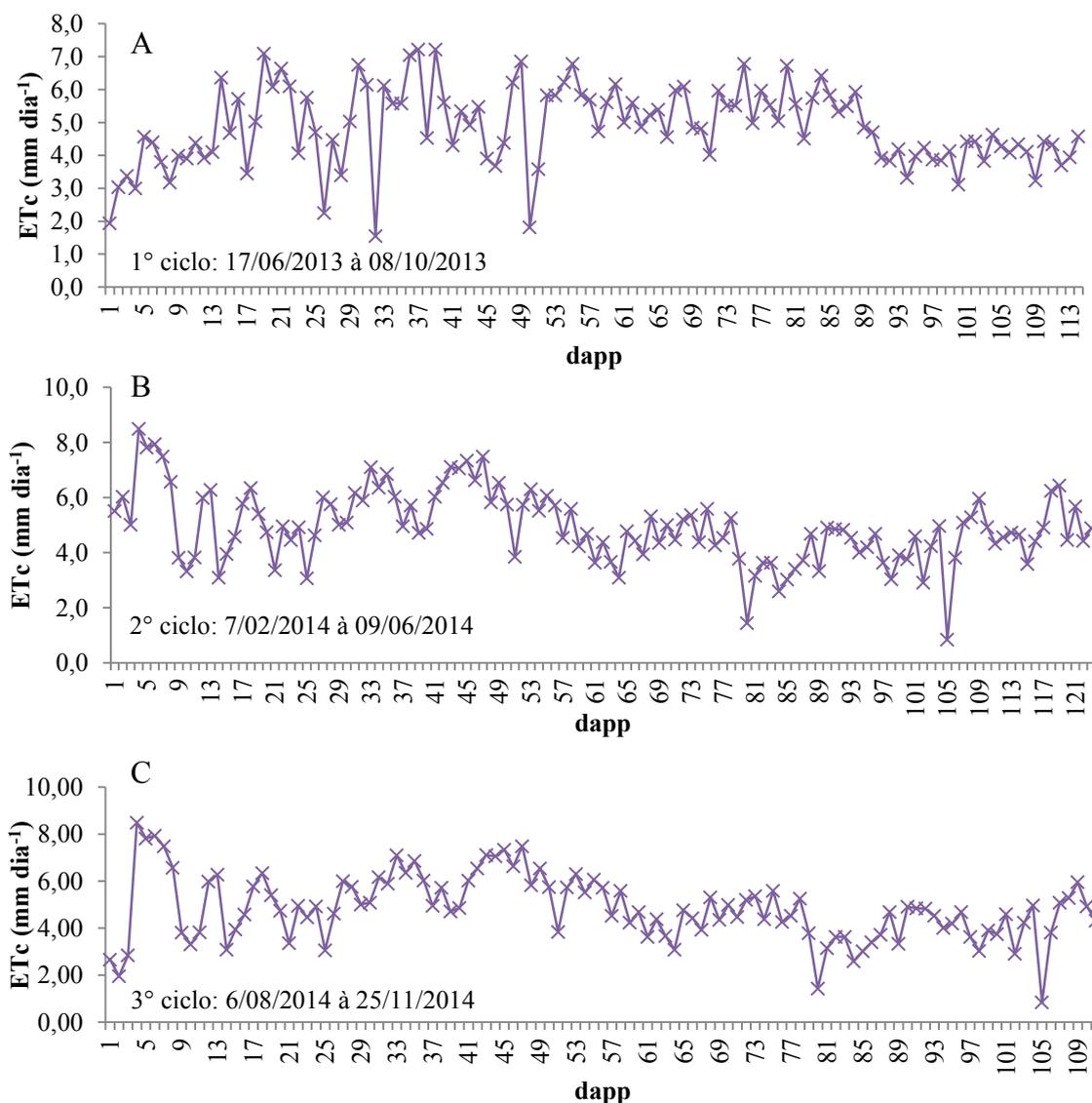


Figura 12. Evapotranspiração da cultura nas condições experimentais no primeiro (A), segundo (B) e terceiro (C) ciclo de produção.

4.2. Uniformidade de distribuição de N e K no sistema de irrigação

O tempo total da fertirrigação para a parcela mais distante foi de 42,8 minutos (Figura 13), adotando-se para o experimento o tempo de injeção de 60 minutos para cada tratamento. Este tempo de injeção foi adotado para assegurar a completa realização da fertirrigação quando aplicadas em cada tratamento.

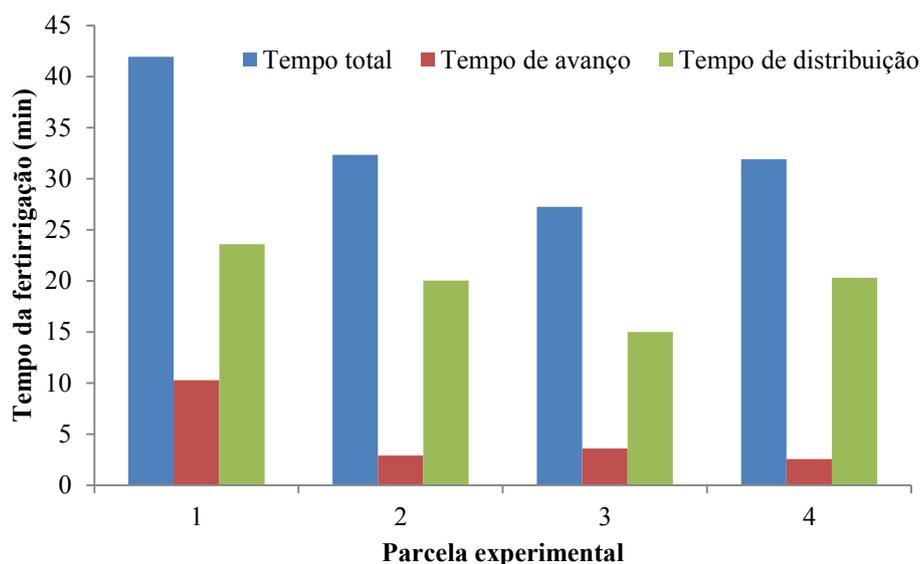


Figura 13. Tempo de distribuição dos fertilizantes no sistema de irrigação.

A análise de dispersão dos dados mostraram que houve um acréscimo dos valores de condutividade elétrica na água de irrigação (CEa) de acordo com o aumento das doses de N e K₂O (Figura 14), em cada aplicação da solução de injeção. Para o emissor na distância de 0 m (Figura 14A) ao longo da linha lateral, observou-se que para a combinação das concentrações de N e K de 8 g L⁻¹ a CEa apresentou valor de 6,64 dS m⁻¹, enquanto nas menores concentrações na solução injetada de K₂O e N (1 g L⁻¹) analisadas isoladamente, os valores foram de 0,33 dS m⁻¹ e 0,37 dS m⁻¹. Nos emissores localizados a 6 m (Figura 14B) os menores valores de CEa foram observadas nas doses de 0 g L⁻¹ de N e 2 g L⁻¹ de K₂O com 0,11 dS m⁻¹ e 7,58 dS m⁻¹ para as concentrações de 8 g L⁻¹ para K₂O e N. Para o emissor localizado na distância de 12 m (Figura 14C), o aumento da CEa de acordo com o acréscimo dos fertilizantes na solução injetada apresentou valores máximos de 6,91 dS m⁻¹ para as concentrações de 8 g L⁻¹ de N e K₂O, enquanto para emissores localizados a 18 m (Figura 14D) os valores máximos de CEa foram de 7,33 dS m⁻¹.

O aumento das doses de fertilizantes na solução injetada além de aumentar a CEa contribui de maneira significativa para o aumento das concentrações dos fertilizantes aplicados no solo como o NO_3^- e K^+ (COELHO et al., 2014a; COELHO et al., 2014b). Sousa et al. (2003) em estudos sobre a distribuição de fertilizantes em um sistema de fertirrigação por gotejamento através da CEa, observaram que não houve diferença na distribuição dos fertilizantes ao longo das linhas laterais. Estes resultados são semelhantes aos observados por Oliveira et al. (2008) em estudos sobre a distribuição de N e K em linhas laterais de irrigação por gotejamento, que não observaram diferenças significativas na uniformidade do sistema.

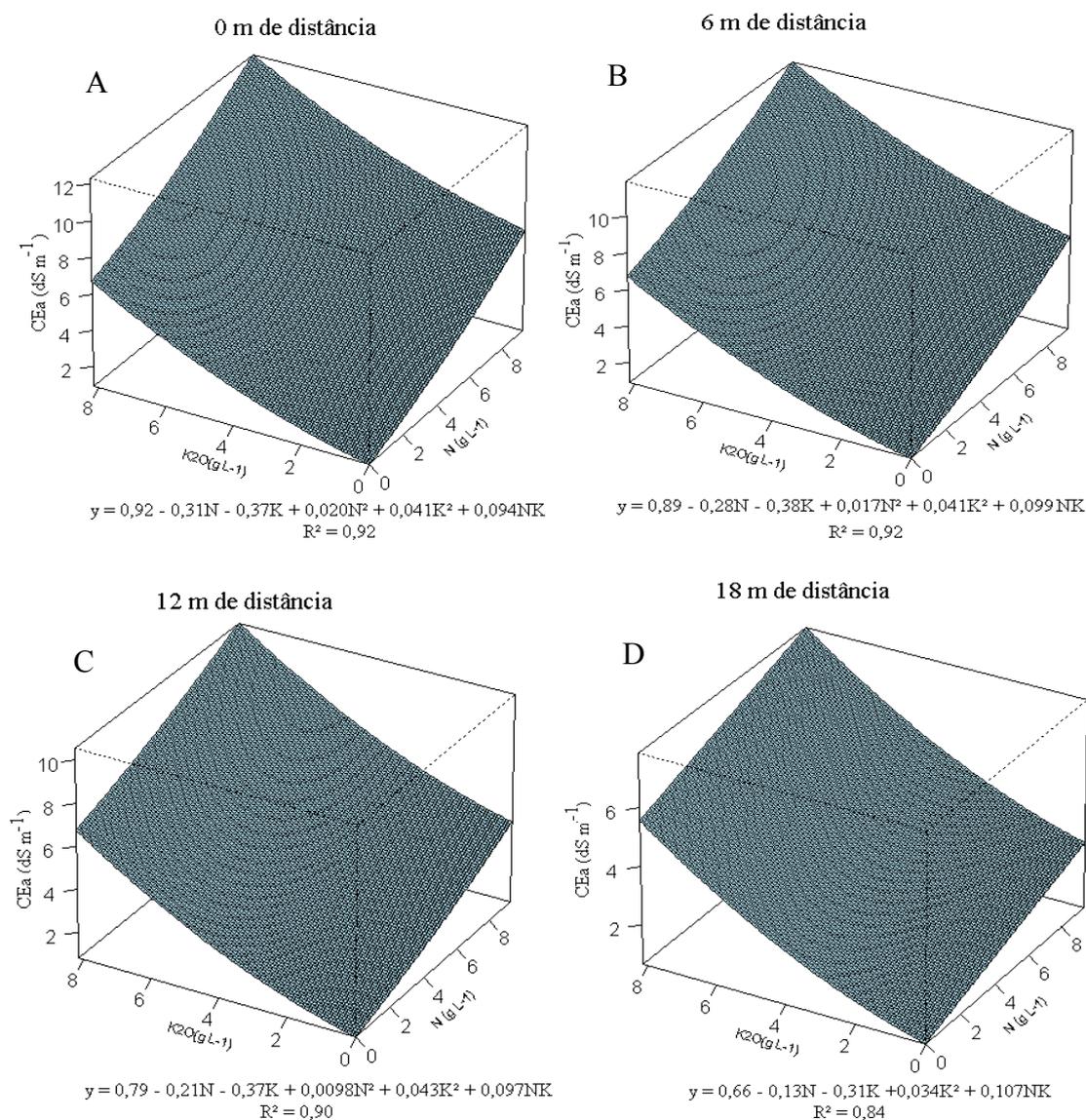


Figura 14. Análise de dispersão da condutividade elétrica da água de irrigação (CEa) submetida a diferentes doses de fertilizantes ao longo da linha lateral nas distâncias de 0 m (A), 6 m (B), 12 m (C) e 18 m (D).

Com relação a CEa nos diferentes tempos de aplicação dos fertilizantes no sistema de irrigação após a completa injeção da solução de fertilizantes, os maiores valores de CEa foram observadas para as maiores concentrações de fertilizantes em todos os tempos estudados. Para os dados obtidos no tempo de 5 minutos após a injeção (Figura 15A), observaram-se valores de CEa entre 0,13 dS m⁻¹ e 6,68 dS m⁻¹ para as menores (1 g L⁻¹ de N e K₂O) e maiores (8 g L⁻¹ de N e K₂O) concentrações de fertilizantes na solução injetora, respectivamente. Para o tempo de 20 minutos após a injeção (Figura 15B), as concentrações de fertilizantes na solução injetora mencionados anteriormente apresentaram valores de CEa entre 0,24 e 7,99 dS m⁻¹; porém foi observada uma menor influência do fertilizantes potássicos na CEa neste período. Para o tempo de 30 minutos (Figura 15C) após a injeção a CEa apresentou aumento progressivo nos seus valores até o máximo de 7,26 dS m⁻¹ (8 g L⁻¹ de K₂O e N), sendo este valor menor do que o observado no tempo de 20 minutos, demonstrando uma possível redução da CEa a partir do tempo de 30 minutos.

Segundo Feitosa Filho e Zanini (2002), o tempo de aplicação dos fertilizantes ou tempo de fertirrigação, deve ser suficiente para aplicar corretamente toda a dose requerida, além de um tempo extra para permitir a lavagem dos instrumentos de irrigação, podendo este variar entre uma ou duas horas. Sousa et al. (2003) observaram que a distribuição de fertilizantes aumentou com o tempo, até os 22 minutos após a injeção completa dos fertilizantes no sistema, mantendo-se constante a partir deste período. Oliveira e Villas Bôas (2008) afirmam que maiores tempos de funcionamento de sistemas de irrigação quando em operação de fertirrigação, possibilitam melhores uniformidades no sistema. Sousa et al. (2011) afirmam que o tempo de fertirrigação não deve ser menor do que 30 minutos, pois poderá haver riscos de baixa uniformidade de distribuição dos fertilizantes ao longo da área, afetando o desenvolvimento e a produtividade da cultura.

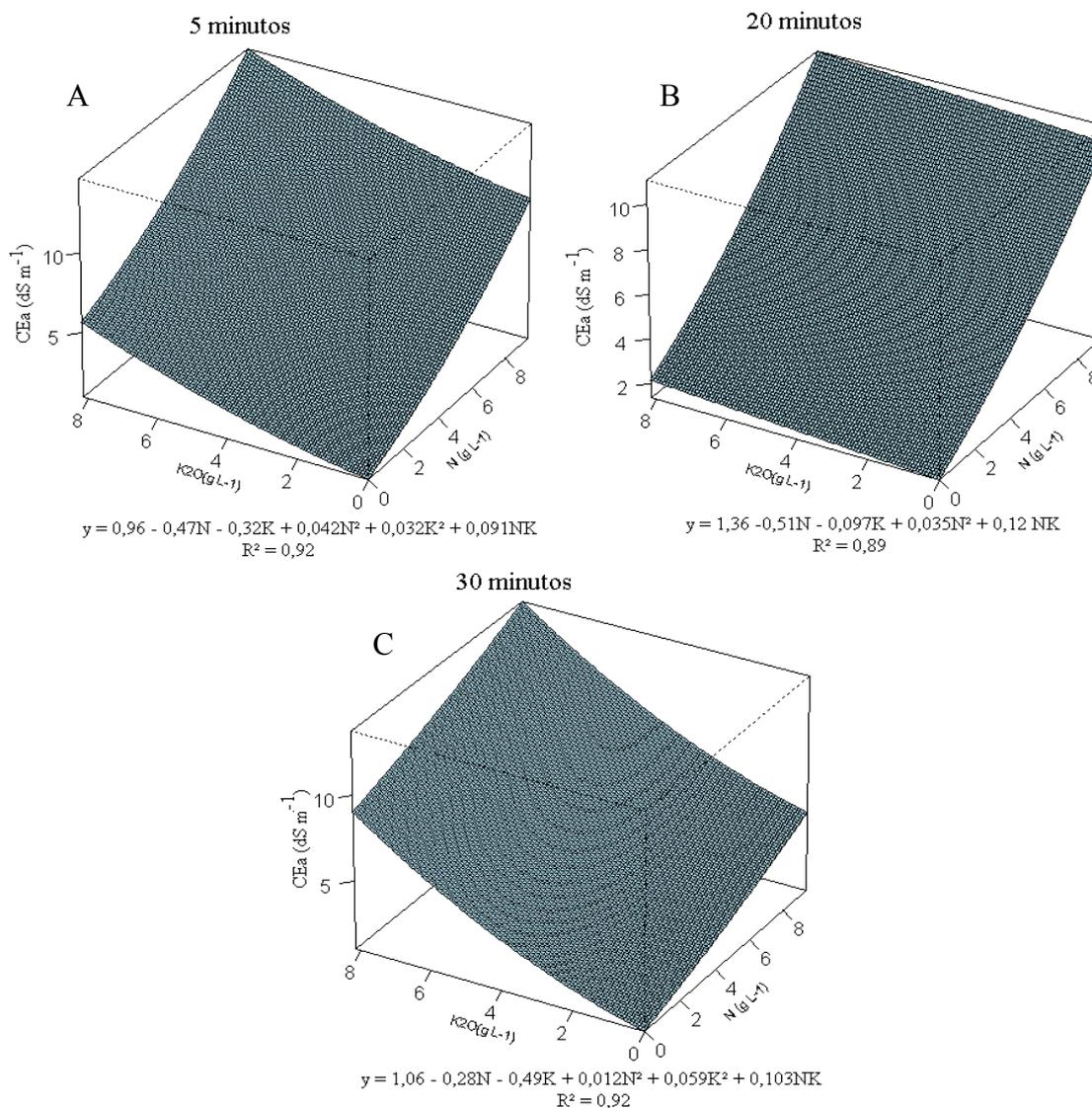


Figura 15. Análise de dispersão da condutividade elétrica da água de irrigação (CEa) submetida a diferentes doses de fertilizantes medida em diferentes tempos 5 min (A), 20 min (B), 30 min (C) na linha lateral.

Avaliando-se a uniformidade de aplicação do sistema de irrigação (Tabela 8) nos diferentes ciclos estudados, observa-se uma redução na vazão inicial do sistema nos ciclos posteriores de cultivo, diminuindo progressivamente a eficiência de aplicação de água. Porém segundo os critérios contidos em Bralts (1986), Bralts et al. (1981) e Keller e Karmelli (1974), os resultados obtidos são considerados entre bom e excelente, apesar do decréscimo dos valores conforme a utilização do sistema. Segundo Favetta e Botrel (2001), o uso dessas equações mostra-se potencialmente viáveis na avaliação pós-implantação de sistemas de irrigação, devido às escolhas dos pontos de coleta para as medições de vazão serem totalmente distintas

entre os conceitos de uniformidade de emissão e uniformidade estatística. Com relação à aplicação dos fertilizantes através do sistema de irrigação estudado, considerou-se satisfatória a sua eficiência, não comprometendo assim o uso da fertirrigação durante os ciclos experimentais.

Tabela 8. Avaliação do sistema de irrigação durante os ciclos experimentais para a vazão média, coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC), uniformidade de emissão (UE), uniformidade de emissão absoluta (UEa), uniformidade estatística (Us) e eficiência de aplicação (EA).

Época	Q média (L h ⁻¹)	CUC (%)	UE	UEa	Us	Ea
1º Ciclo	3,68	96,65	96,30	95,37	95,88	85,6
2º Ciclo	3,21	96,36	94,58	93,98	95,39	84,23
3º Ciclo	3,10	97,47	96,29	95,98	96,99	86,41

4.3. Dinâmica da água no solo

4.3.1. Determinação dos parâmetros da condutividade hidráulica pelo método do perfil instantâneo

Os dados obtidos pelo método do perfil instantâneo ajustaram-se razoavelmente as equações 26 e 27. A Figura 16 apresenta valores de R² maiores que 0,8 para as profundidades de 0,20 e 0,60 m enquanto para a profundidade de 0,40 m o R² foi acima de 0,6. Em consequência dos ajustes apresentados pode-se ter uma confiabilidade dos valores de $\partial\theta/\partial t$ e $\partial\psi/\partial z$, apesar de que valores com R² acima de 0,9 seriam ideais. Porém, como o solo apresenta uma textura média e a drenagem de água acontece de maneira rápida, houve dificuldades para um melhor ajuste. Segundo Jong van Lier e Libardi (1999) em estudos sobre a relação entre os parâmetros da equação da condutividade hidráulica e a umidade do solo observaram que nos 12 locais estudados os valores que correlacionam a umidade do solo ao tempo medido apresentaram correlação acima de 0,9.

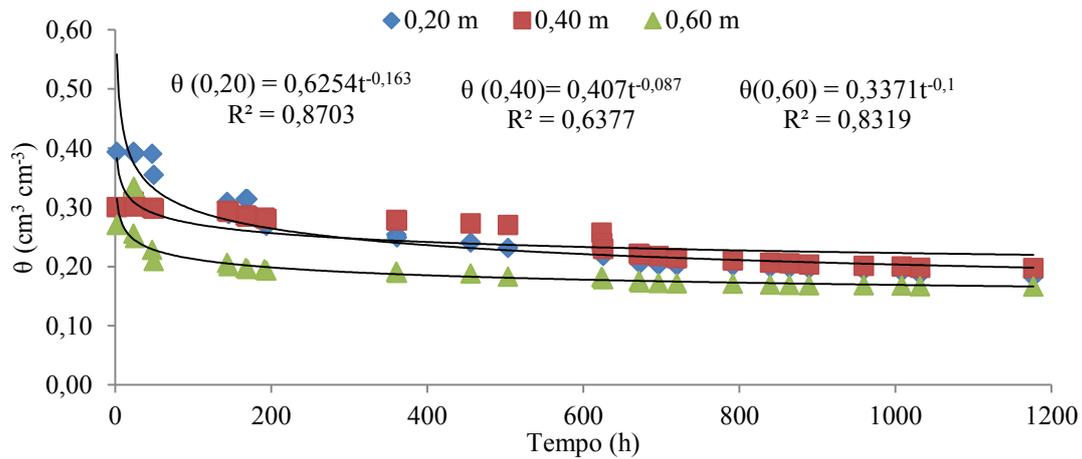


Figura 16. Umidade volumétrica em função do tempo nas profundidades de solo de 0,20, 0,40 e 0,60 m.

A Figura 17 apresenta as equações de ajuste dos dados observados para a diferença entre a umidade de saturação (θ_0) e a umidade atual (θ) no tempo de distribuição e a condutividade hidráulica (K_0) no tempo de distribuição inicial. Observa-se que houve alta correlação ($R^2 > 0,9$) para as profundidades estudadas, podendo-se obter os parâmetros da equação da condutividade hidráulica não saturada de cada profundidade com bastante confiabilidade, conforme Libardi (2012).

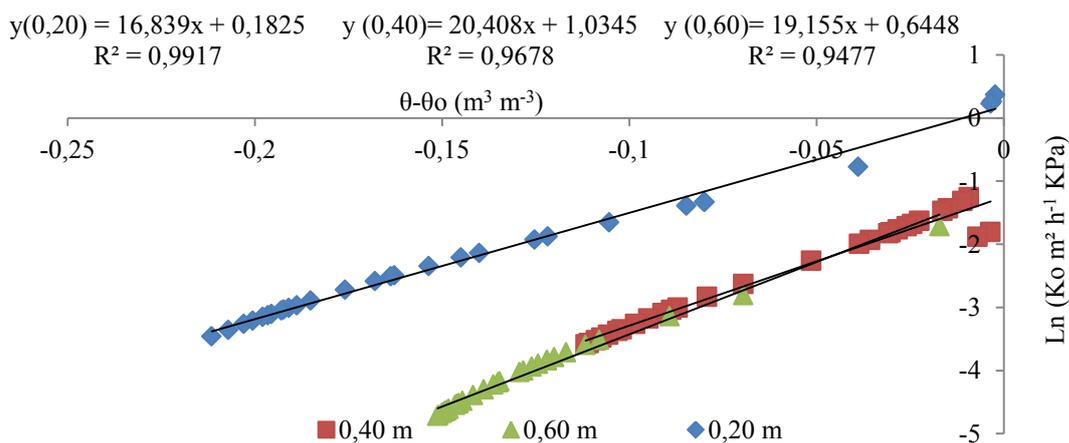


Figura 17. Equação de ajuste para determinação da condutividade não saturada do solo nas profundidades de 0,20, 0,40 e 0,60 m.

Os parâmetros obtidos para a equação da condutividade hidráulica não saturada estão apresentados na Tabela 9. Apesar da variabilidade existente nos solos das regiões semiáridas (SANTOS et al., 2012), os valores obtidos variaram pouco para o solo da área experimental em estudo. Porém, segundo Jong Van Lier e Libardi (1999) maiores números de avaliações nas áreas podem demonstrar a variabilidade da área aos parâmetros estudados, pois existe grande heterogeneidade dos solos, tanto das propriedades físicas como químicas.

Tabela 9. Valores dos parâmetros condutividade hidráulica saturada (K_o , $m^2 h^{-1} KPa^{-1}$), γ e umidade de saturação do solo (θ_o , $m^3 m^{-3}$) para as profundidades de 0,20, 0,40 e 0,60 m.

Prof (m)	K_o	γ	θ_o
0,20	1,200	16,839	0,39
0,40	2,813	20,408	0,31
0,60	1,906	19,155	0,32

4.3.2. Umidade do solo

Devido a frequência da irrigação por gotejamento ser diária, os valores da umidade volumétrica (θ) do solo, em todos os ciclos de produção estudados (Figura 18), ficaram próximo a umidade na capacidade campo. A profundidade 0,20 m apresentou valores de θ com pequena variação para todos os ciclos de produção estudados, com valores médios de $0,16 m^3 m^{-3}$ no primeiro ciclo de produção (Figura 18A), $0,17 m^3 m^{-3}$ no segundo ciclo de produção (Figura 19B) e $0,17 m^3 m^{-3}$ para o terceiro ciclo de produção (Figura 18C). Nas profundidades de 0,40 e 0,60 m os valores de θ foram semelhantes em todos os ciclos estudados, apresentando elevações nos valores de umidade em medições realizadas algumas horas após a irrigação, como pode ser observados nos primeiros 30 dias após a poda de produção (dapp) do terceiro ciclo de produção. Segundo Coelho et al. (2011) a irrigação por gotejamento otimiza o aproveitamento dos fertilizantes aplicados via fertirrigação, pois o volume molhado gerado por este sistema coincide com o sistema radicular das plantas, além de manter a umidade do solo próxima a capacidade de campo, facilitando a absorção de nutrientes. Trabalhos como os de Bar-Yosef et al. (1980) e Oliveira et al. (1996) em solos arenosos indicam que a fertirrigação apresenta bons resultados neste tipo de solo, devido a constante manutenção da umidade do solo pela irrigação por gotejamento, facilitando o transporte de nutrientes pelas plantas (COTE et al., 2003).

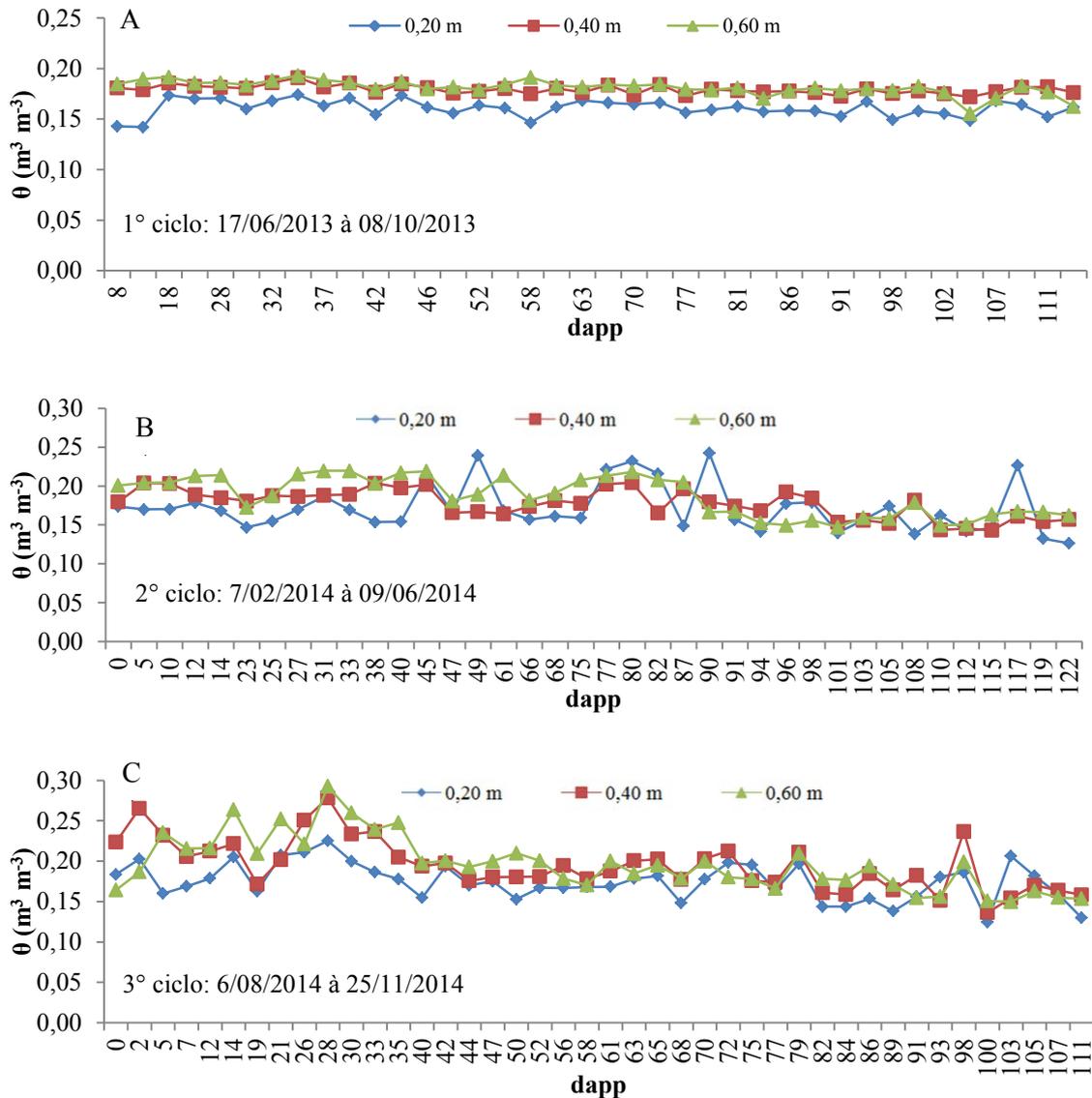


Figura 18. Umidade do solo ao longo do primeiro (A), segundo (B) e terceiro (C) ciclos de produção da videira, em função do número de dias após a poda (dapp).

4.3.3. Balanço hídrico da cultura

Para o balanço hídrico da cultura da videira no primeiro ciclo de produção (Figura 19A) a precipitação (P) apresentou apenas um total de 13,0 mm, ocorrendo uma P máxima de 5,5 mm no dia 28 dapp. Sendo assim, a irrigação foi responsável por disponibilizar toda a água consumida pela planta durante este ciclo, aplicando-se uma lâmina bruta (Lb) total de 600,7 mm ciclo⁻¹.

No segundo ciclo de produção (Figura 19B) os valores de P durante todo o ciclo foi de 99,2 mm, sendo que no dia 61 dapp ocorreu uma precipitação de 35,5 mm, igualando o armazenamento de água no solo (Arm) com a

capacidade de água no solo (CAD) até a profundidade de 0,60 m no período compreendido entre os dias 14 até os 88 dapp. Devido a elevada precipitação ocorrida no período, houve uma redução na Lb total, sendo aplicado um total de 431,3 mm ciclo⁻¹.

No terceiro ciclo de produção (Figura 19C) o valor de P total durante o ciclo foi de 71,6 mm, onde 64,4 mm ocorreram no dia 103 dapp, interrompendo-se a irrigação até o dia da colheita. A Lb total durante o ciclo foi de 644 mm ciclo⁻¹, sendo esta maior do que os ciclos anteriores.

O manejo adequado da água para a cultura da videira é de grande importância para uma melhor qualidade das uvas. Segundo McCarthy e Coombe (1985) as condições hídricas em que a videira se encontra influencia diretamente no aroma e coloração dos vinhos, e pequenos acréscimos na concentração de açúcar nas bagas, quando a cultura é submetida a um estresse hídrico moderado.

Araujo et al. (1999) estudando o efeito de diferentes regimes irrigação por gotejamento na eficiência do uso da água em videiras de vinho nas regiões semiáridas na Venezuela, observaram que o regime parcial de água na cultura apresentou uma máxima produção e uma melhor qualidade das uvas, aumentando assim a eficiência do uso da água. Bassoi et al. (2011) em estudos sobre estratégias de irrigação em Petrolina-PE, observaram que a irrigação plena na cultura da videira proporciona uma maior massa das bagas e volume do mosto quando comparados aos tratamentos com déficit e nenhuma diferença nas concentrações de sólidos solúveis totais.

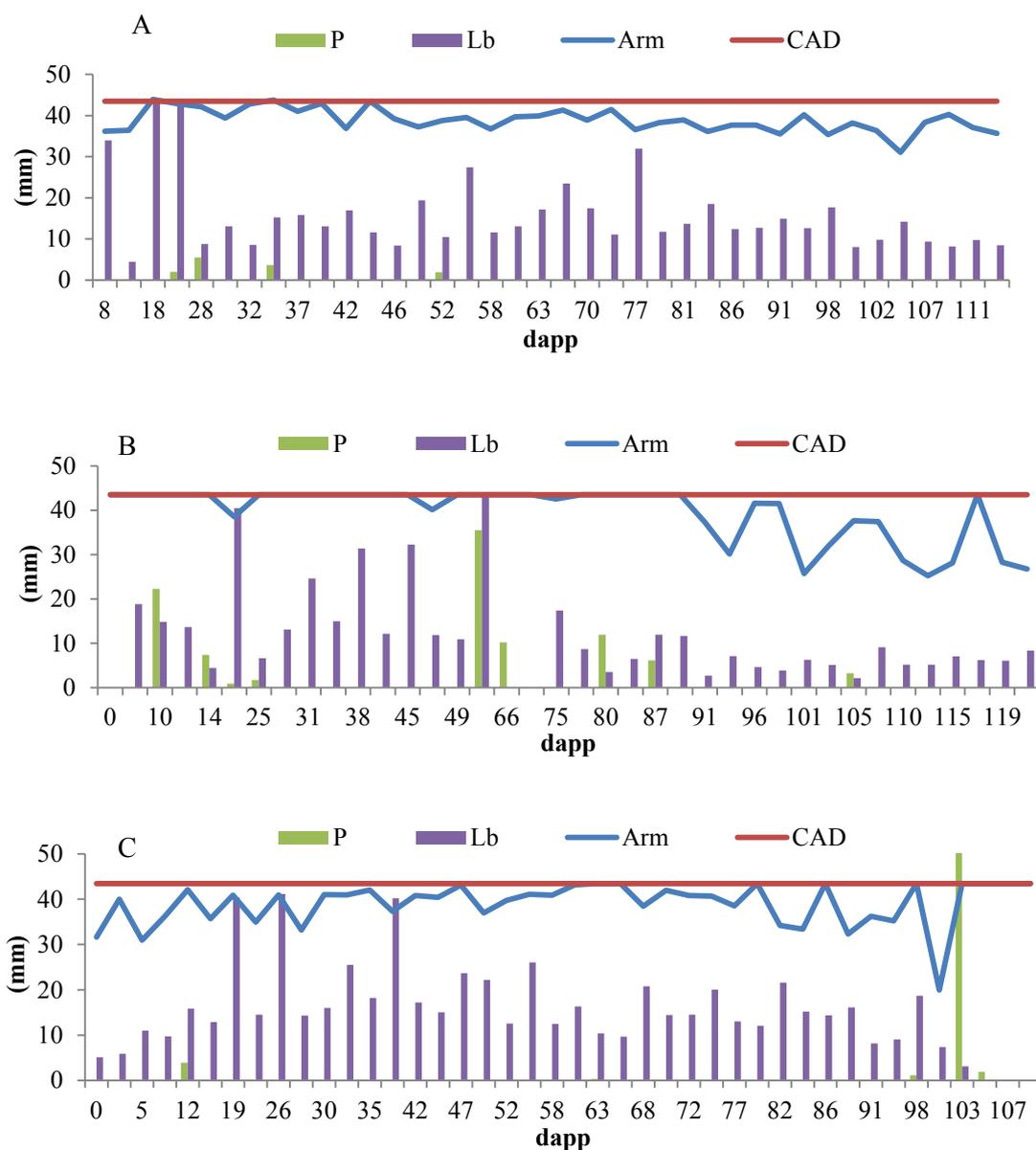


Figura 19. Balanço hídrico simplificado da cultura da videira no primeiro (A), segundo (B) e terceiro ciclo de produção em que P é a precipitação, Lb é a lâmina bruta de irrigação, Arm é o armazenamento de água no solo, e CAD é a capacidade de água disponível.

4.3.4. Densidade do fluxo de água no solo

O monitoramento da densidade de fluxo de água no solo nos três ciclos de produção se mostrou variável de acordo com a profundidade monitorada. A camada de 0,20 m de profundidade mostrou uma drenagem interna frequente em dois ciclos dos três ciclos estudados, excetuando-se o primeiro ciclo avaliado (Figura 20A). A drenagem foi maior no segundo ciclo de produção considerado (Figura 20B), devido

as elevadas magnitudes das precipitações ocorridas. Na camada de 0,40 m de profundidade observou-se uma pequena ascensão capilar no terceiro ciclo de produção avaliado (Figura 20C). As menores umidades observadas a 0,20 m podem ter provocado uma diferença de potencial, o que pode ter ocasionado o movimento ascendente de água (Libardi, 2012).

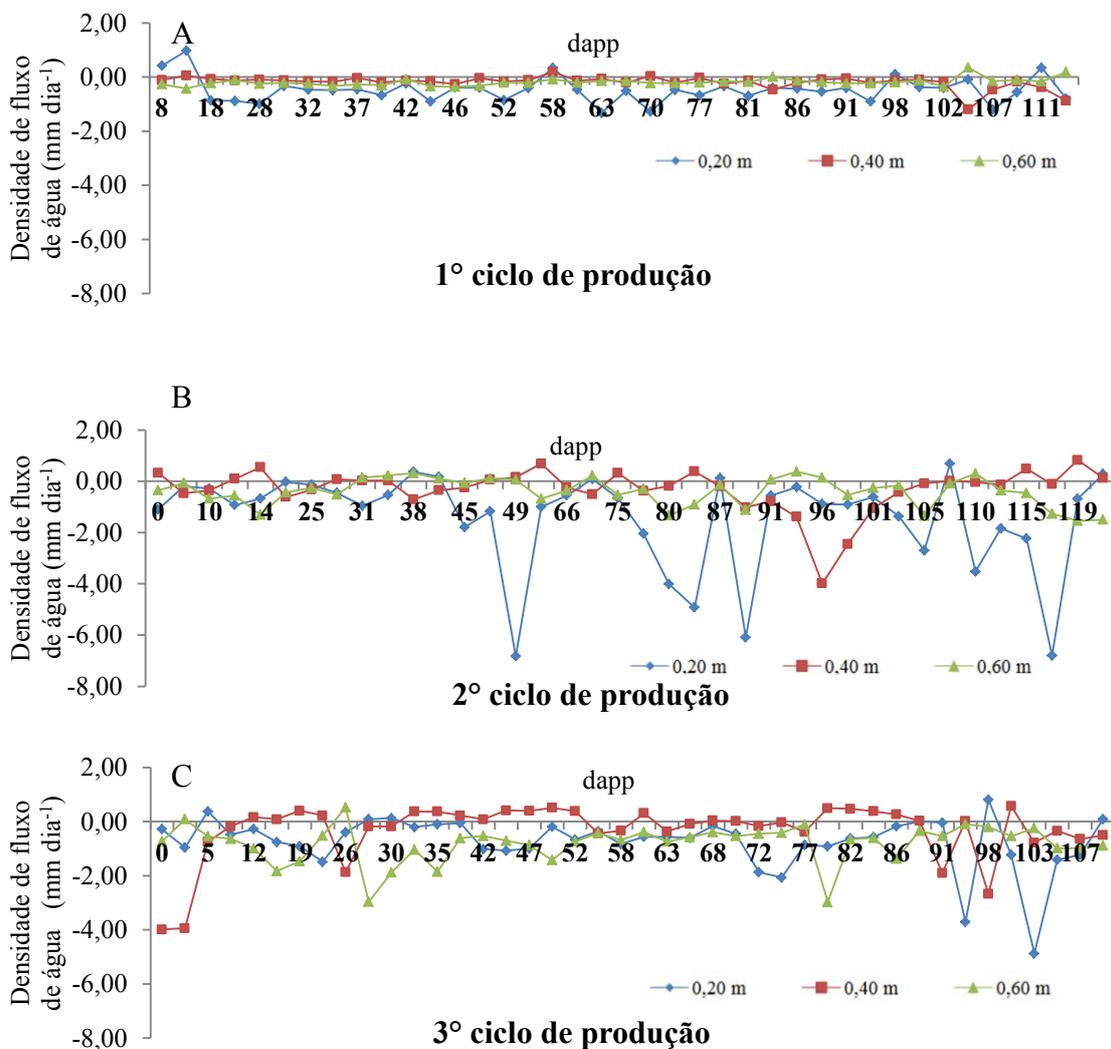


Figura 20. Densidade de fluxo de água no solo cultivado com videira nas profundidades de 0,20, 0,40 e 0,60 m no primeiro (A), segundo (B) e terceiro (C) ciclo de produção.

4.4. Avaliação e monitoramento da fertilidade do solo

4.4.1. Análise química do solo

Na análise de variância (Tabela 10) obtida para a análise do solo após o primeiro ciclo de produção na profundidade de 0-0,20 m, não foram observadas diferenças significativas nos parâmetros analisados, com exceção da variável fósforo

(P) que apresentou efeito significativo para os fatores doses de nitrogênio (N) e potássio (K), apesar do elevado coeficiente de variação obtido (CV).

Tabela 10. Análise de variância para os parâmetros químicos do solo na profundidade de 0-0,20 m após o primeiro ciclo de produção da videira cv. Syrah.

Doses		1º ciclo de produção										
N	K ₂ O	MO	pH-H ₂ O	CE	P	K	Ca	Mg	SB	CTC	V	
kg ha ⁻¹		g kg ⁻¹		dS m ⁻¹	mg dm ⁻³	-----	cmol _c dm ⁻³	-----	-----	-----	%	
----- Profundidade de 0-0,20 m -----												
0	0	19,3	7,08	0,52	137,0	0,23	4,45	1,83	6,56	7,28	91,7	
0	30	15,8	7,13	0,62	112,0	0,33	4,08	1,53	6,00	6,60	92,1	
0	120	15,3	7,08	0,68	67,0	0,27	4,05	1,39	5,79	6,39	91,8	
15	15	14,6	6,90	0,46	47,0	0,18	3,45	1,25	4,92	6,24	82,0	
15	60	13,4	7,15	0,59	45,0	0,25	3,95	1,65	5,91	5,91	100,0	
30	0	13,0	7,12	0,52	75,0	0,22	3,93	1,75	5,95	5,95	100,0	
30	30	15,5	7,09	0,58	87,0	0,27	4,18	1,68	6,18	6,58	94,2	
30	120	14,1	7,18	0,41	78,0	0,25	3,95	1,50	5,76	6,28	93,2	
60	15	14,8	7,14	0,66	44,0	0,30	3,98	1,53	6,05	6,41	94,3	
60	60	13,8	6,95	0,53	74,0	0,25	3,88	1,55	5,74	7,10	80,2	
120	0	14,3	6,63	0,53	73,0	0,20	3,45	1,43	5,26	6,82	78,0	
120	30	14,7	7,03	0,79	59,0	0,32	3,93	1,58	6,17	6,97	90,3	
120	120	18,0	7,04	0,54	70,0	0,32	3,60	1,65	5,63	6,35	89,8	
F.V	G.L	----- Análise de variância -----										
Bloco	3	**	**	**	*	**	**	**	**	**	Ns	*
N	4	Ns	Ns	Ns	**	Ns	Ns	Ns	Ns	Ns	Ns	Ns
K ₂ O	4	Ns	Ns	Ns	*	Ns	Ns	Ns	Ns	Ns	Ns	Ns
N*K ₂ O	4	Ns	Ns	Ns	Ns	Ns	Ns	Ns	Ns	Ns	Ns	Ns
CV		25,4	3,59	20,5	40,4	41,8	12,9	21,2	13,8	15,3	14,9	

CE - condutividade elétrica, M.O - matéria orgânica, P - fósforo, K - potássio, Ca - cálcio, Mg - magnésio, SB - soma de bases, CTC - capacidade de troca catiônica, V - saturação por bases. ** e *: significativo a 1 e 5% respectivamente, Ns: não significativo

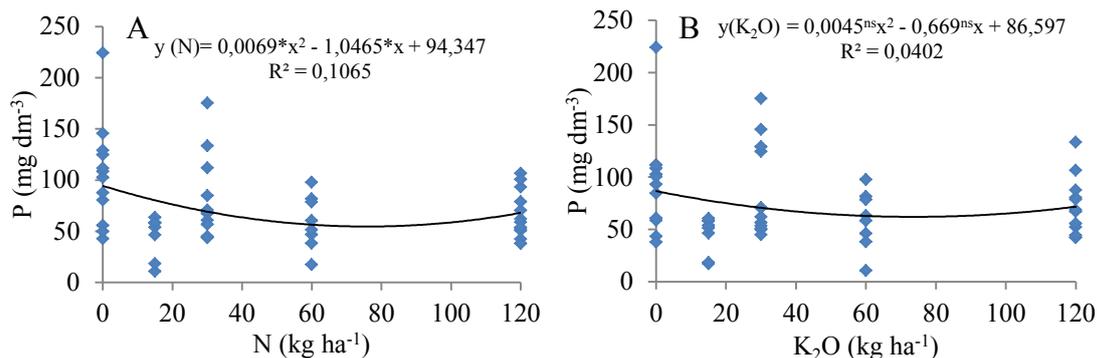
Para a profundidade de 0,20-0,40 m no primeiro ciclo de produção (Tabela 11) não foram observadas respostas para nenhuma das doses de N e K₂O propostas com relação aos parâmetros químicos do solo estudados. Segundo Villas Bôas et al. (1999), a aplicação de alguns fertilizantes como o N e K₂O, podem provocar diversos efeitos no solo, como o aumento da condutividade elétrica devido ao potencial salino dos fertilizantes e alterações no pH do solo; porém, após o primeiro ciclo de produção nenhum destes aspectos foi observado.

Tabela 11. Análise de variância para os parâmetros químicos do solo na profundidade de 0,20-0,40 m após o primeiro ciclo de produção para videira cv. Syrah.

Doses		Primeiro ciclo de produção									
N	K ₂ O	MO	pH-H ₂ O	CE	P	K	Ca	Mg	SB	CTC	V
kg ha ⁻¹		g kg ⁻¹		dS m ⁻¹	mg dm ⁻³	cmol _c dm ⁻³			-----		%
		Profundidade de 0,20-0,40 m									
0	0	8,2	6,60	0,44	58,3	0,15	3,33	1,30	4,81	7,41	65,21
0	30	14,0	6,66	0,48	93,8	0,20	3,60	1,38	5,31	6,91	76,38
0	120	7,7	6,63	0,53	45,0	0,33	2,93	1,23	4,53	6,97	64,79
15	15	11,4	6,46	0,35	52,1	0,17	2,83	1,10	4,13	6,73	61,46
15	60	7,8	6,46	0,40	52,8	0,18	3,18	1,13	4,52	6,96	65,03
30	0	10,4	6,60	0,54	93,5	0,15	3,10	1,46	4,75	6,91	68,55
30	30	6,9	6,48	0,46	52,7	0,18	3,18	1,15	4,54	6,90	65,80
30	120	9,2	6,55	0,43	34,0	0,18	3,10	1,15	4,47	6,87	65,07
60	15	9,3	6,49	0,52	39,7	0,17	3,05	1,20	4,46	6,66	66,45
60	60	9,4	6,45	0,50	52,5	0,18	3,03	1,20	4,45	6,77	65,25
120	0	8,5	6,24	0,44	67,7	0,16	3,18	1,28	4,65	7,29	63,88
120	30	8,6	6,41	0,57	45,3	0,16	3,35	1,40	4,95	7,55	64,27
120	120	7,2	6,19	0,40	41,4	0,17	2,73	1,25	4,18	6,66	63,18
F.V	G.L	----- Análise de variância -----									
Bloco	3	*	**	*	Ns	*	*	Ns	*	*	Ns
N	4	Ns	Ns	Ns	Ns	Ns	Ns	Ns	Ns	Ns	Ns
K ₂ O	4	Ns	Ns	Ns	Ns	Ns	Ns	Ns	Ns	Ns	Ns
N*K ₂ O	4	Ns	Ns	Ns	Ns	Ns	Ns	Ns	Ns	Ns	Ns
CV		39,8	4,1	31,2	60,1	44,4	22,4	21,5	20,0	14,3	11,1

CE - condutividade elétrica, M.O - matéria orgânica, P - fósforo, K - potássio, Ca - cálcio, Mg - magnésio, SB - soma de bases, CTC - capacidade de troca catiônica, V - saturação por bases. ** e *: significativo a 1 e 5% respectivamente, Ns: não significativo

A análise de regressão (Figura 21) demonstrou que apesar da variável P apresentar diferenças significativas pelo teste F para os fatores N (Figura 21A) e K₂O (Figura 21B), não foram observados ajuste adequados dos modelos de regressão propostos, apresentando baixo coeficiente de correlação, apesar de uma leve tendência para redução da disponibilidade de P nas maiores doses dos fertilizantes estudados. O P apresenta elevada fixação no solo sendo pouco móvel, porém a fertirrigação por gotejamento pode aumentar o movimento deste nutriente no solo, principalmente em solos arenosos (VILLAS BOÂS et al., 2002).



**e* significativo a 1 e 5% respectivamente, ^{ns} não significativo

Figura 21. Equações ajustadas para o teor de fósforo no solo na profundidade de 0-0,20 m para as doses de nitrogênio (A) e potássio (B) após o primeiro ciclo de produção da videira cv. Syrah.

Na análise de solo realizada após o segundo ciclo de produção na profundidade de 0-0,20 m (Tabela 12) observou-se efeitos da adubação nitrogenada sobre o pH do solo e saturação por bases. Para os demais parâmetros químicos do solo, não foram observadas influencia das doses de N e K₂O aplicadas. Tais resultados são semelhantes aos observados por Souza et al. (2015) em estudos sobre a fertirrigação em citros, que observaram uma redução no pH do solo nos três ciclos de produção da cultura, atribuída ao caráter ácido dos fertilizantes aplicados.

Em área próxima ao presente experimento, Rocha et al. (2015) em estudos sobre a influência da adubação orgânica e nitrogenada em videiras „Syrah“, não observaram influencia do nitrogênio aplicado nos atributos químicos do solo nos três ciclos de produção estudados corroborando com os resultado obtidos para alguns parâmetros químicos do solo no presente experimento. Por outro lado, Teixeira et al. (2011) observaram em cultivo com adubação nitrogenada na cultura da videira „Niagara Rosada“ reduções no pH conforme o aumento das doses de N aplicadas em quatro ciclos de produção estudadas nas profundidades de 0,20 e 0,40 m. Possivelmente aspectos como a textura, atributos químicos e físicos encontrados no solo no início do presente estudo podem ter influenciado nos resultados obtidos.

Tabela 12. Análise de variância para os parâmetros químicos do solo na profundidade de 0-0,20 m após o segundo ciclo de produção da videira cv. Syrah.

Doses		Segundo ciclo de produção									
N	K ₂ O	MO	pH-H ₂ O	CE	P	K	Ca	Mg	SB	CTC	V
kg ha ⁻¹		g kg ⁻¹		dS m ⁻¹	mg dm ⁻³	----- cmol _c dm ⁻³ -----			-----	%	
----- Profundidade de 0-0,20 m -----											
0	0	10,0	7,40	0,63	115,5	0,40	3,83	1,41	5,73	5,73	100,0
0	30	14,2	7,48	0,73	80,4	0,47	3,93	1,35	5,85	5,85	100,0
0	120	9,7	7,38	0,58	137,5	0,50	3,43	1,33	5,38	5,38	100,0
15	15	11,3	7,58	0,58	99,2	0,55	3,70	1,15	5,48	5,48	100,0
15	60	14,9	7,40	0,51	115,0	0,44	3,68	1,35	5,55	6,13	92,60
30	0	14,0	7,45	0,62	170,7	0,42	4,38	1,65	6,55	6,55	100,0
30	30	15,8	7,53	0,82	156,9	0,46	3,90	1,53	6,00	6,00	100,0
30	120	12,9	7,58	0,64	81,6	0,46	3,68	1,23	5,50	5,50	100,0
60	15	12,9	7,20	0,67	105,2	0,22	3,98	1,33	5,60	6,73	84,7
60	60	13,1	7,08	0,62	164,1	0,37	3,58	1,20	5,25	5,58	94,4
120	0	14,3	7,10	0,66	202,2	7,81	4,10	1,55	13,58	14,40	92,2
120	30	11,2	6,85	0,63	103,6	0,21	3,40	1,23	4,90	5,80	85,3
120	120	11,9	7,20	0,53	122,0	0,37	3,45	1,18	5,10	7,25	77,9
F.V	G.L	----- Análise de variância -----									
Bloco	3	**	**	**	*	Ns	Ns	Ns	Ns	Ns	Ns
N	4	Ns	**	Ns	Ns	Ns	Ns	Ns	Ns	Ns	*
K ₂ O	4	Ns	Ns	Ns	Ns	Ns	Ns	Ns	Ns	Ns	Ns
N*K ₂ O	4	Ns	Ns	Ns	Ns	Ns	Ns	Ns	Ns	Ns	Ns
CV		29,1	5,74	65,1	67,3	41,9	17,9	36,5	65,1	66,0	12,6

CE - condutividade elétrica, M.O - matéria orgânica, P - fósforo, K - potássio, Ca - cálcio, Mg - magnésio, SB - soma de bases, CTC - capacidade de troca catiônica, V - saturação por bases. ** e *: significativo a 1 e 5% respectivamente, Ns: não significativo

Para a profundidade de 0,20-0,40 m no segundo ciclo de produção (Tabela 13) apenas o pH foi influenciado pelas doses de adubação nitrogenada. Possivelmente, o elevado nível de acidez da ureia pode ter influenciado na diferenciação dos tratamentos (VILLAS BÔAS et al., 2002; VILLAS BÔAS et al., 1999) reduzindo assim de maneira considerável nos tratamentos com as maiores dosagens de N aplicadas. Tais resultados também foram evidenciados em diferentes culturas e solos como Teixeira et al. (2007b) em estudos sobre atributos químicos do solo na cultura da bananeira, Souza et al. (2015) na cultura do citros e Teixeira et al. (2011) na cultura da uva de mesa.

A aplicação de fertilizantes ácidos em concentrações elevadas por longos períodos pode prejudicar o desenvolvimento da cultura (ROSOLEM et al., 2003) devido a exposição das plantas à baixo pH na região de maior concentração das raízes.

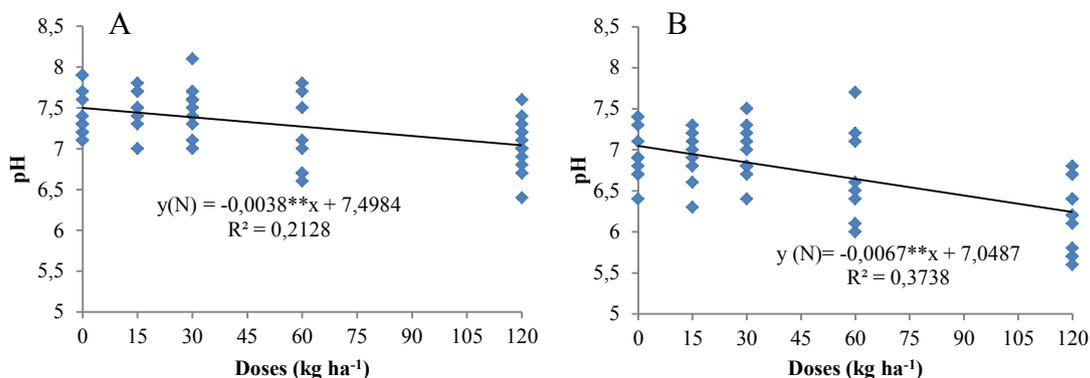
Tabela 13. Análise de variância para os parâmetros químicos do solo na profundidade de 0,20-0,40 m após o segundo ciclo de produção da videira cv. Syrah.

Doses		Segundo ciclo de produção									
N	K ₂ O	MO	pH-H ₂ O	CE	P	K	Ca	Mg	SB	CTC	V
kg ha ⁻¹		g kg ⁻¹		dS m ⁻¹	mg dm ⁻³	mmol _c dm ⁻³			-----		%
----- Profundidade de 0-0,4 m -----											
0	0	4,5	6,90	0,53	84,5	0,26	3,05	1,18	4,58	5,88	78,28
0	30	10,5	7,08	0,55	83,0	0,27	2,90	8,65	11,90	12,95	83,13
0	120	11,7	6,88	0,41	64,2	0,29	2,65	1,03	4,23	5,63	77,68
15	15	5,1	6,83	0,49	68,7	0,35	2,80	1,08	4,30	6,08	72,85
15	60	6,1	6,98	0,33	65,7	0,33	3,08	1,13	4,63	5,63	85,33
30	0	7,7	6,93	0,63	134,0	0,35	3,18	1,20	4,78	5,88	85,08
30	30	7,7	7,13	0,71	85,6	0,44	3,33	1,20	5,08	6,23	80,05
30	120	6,1	6,93	0,57	82,7	0,38	3,20	1,23	4,90	6,25	81,23
60	15	10,1	6,73	0,50	107,3	0,32	3,33	0,98	4,68	5,73	82,90
60	60	6,1	6,68	0,57	138,7	0,32	2,90	1,03	4,33	6,18	70,58
120	0	6,9	6,10	0,55	122,1	0,39	2,70	1,10	4,25	5,95	70,60
120	30	8,9	6,03	0,44	95,1	0,28	2,28	0,98	3,58	5,30	67,65
120	120	6,1	6,45	0,48	105,2	0,37	2,58	1,08	4,10	6,73	62,65
F.V	G.L	----- Análise de variância -----									
Bloco	3	*	*	*	*	**	Ns	Ns	Ns	Ns	**
N	4	Ns	**	Ns	Ns	Ns	Ns	Ns	Ns	Ns	Ns
K ₂ O	4	Ns	Ns	Ns	Ns	Ns	Ns	Ns	Ns	Ns	Ns
N*K ₂ O	4	Ns	Ns	Ns	Ns	Ns	Ns	Ns	Ns	Ns	Ns
CV		63,2	5,77	92,1	68,2	30,5	25,3	52,1	86,7	62,5	19,5

CE - condutividade elétrica, M.O - matéria orgânica, P - fósforo, K - potássio, Ca - cálcio, Mg - magnésio, SB - soma de bases, CTC - capacidade de troca catiônica, V - saturação por bases. ** e * significativo a 1 e 5% respectivamente, Ns não significativo

Para a variável pH a análise de regressão mostrou uma redução dos valores de pH de acordo com o acréscimo das doses de N estudadas. Na profundidade de 0-0,20 m (Figura 22A) houve uma redução de 0,004 no pH do solo para cada aumento unitário das dose de N, para a profundidade de 0,40 m (Figura 22B) esta redução foi de 0,0067. Segundo Borges e Silva (2011) o N-NH₄⁺ após oxidação ou absorção pelas plantas acidificam o solo devido à liberação de hidroxilas e ácidos carbônicos pela rizosfera, o que consequentemente reduz o pH do solo. Diversos trabalhos ao longo dos anos na literatura correlacionam a redução do pH do solo com a adubação nitrogenada. Segundo Nunes e Lamis (1973), em estudos sobre a variação das perdas do N com o pH do solo, quanto maior a volatilização de amônia no solo, maior é o aumento do pH do solo. Rosolem et al. (2003), em estudos sobre a dinâmica do N no solo em razão da calagem e adubação nitrogenada, observaram que solos de pH da ordem de 4,0 provocam limitação do processo de nitrificação. Coelho et al. (2008), em estudos sobre a fertirrigação nitrogenada (18, 108 e 252 kg ha⁻¹) em bananeira,

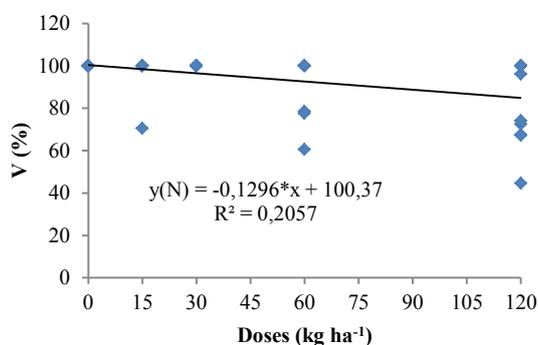
observaram uma redução percentual do pH do solo de até 21,05% no período de 1 ano e 10 meses.



**e* significativo a 1 e 5% respectivamente, ^{ns} não significativo

Figura 22. Análise de regressão para a variável pH nas profundidades de 0-0,20 m (A) e 0,20-0,40 m (B) no segundo ciclo de produção da videira cv. Syrah.

Apesar de uma tendência decrescente dos valores de saturação por base (V) em função das doses de N aplicada (Figura 23), os modelos de regressão estudados não apresentaram bom ajuste para esta variável. Teixeira et al. (2007b) em estudos sobre fertirrigação e adubação convencional com doses de N e K₂O na cultura da bananeira observaram uma redução da V de acordo com o aumento da dosagem recomendada (0, 40, 80,100 e 120%), sendo os menores valores observados para a dose de 100% na cultura conduzida por sequeiro. Por outro lado, Fonseca (2001) em estudos sobre a adubação nitrogenada e efluente de esgoto observou, além da redução da V, uma diminuição da CTC do solo.



**e* significativo a 1 e 5% respectivamente, ^{ns} não significativo

Figura 23. Análise de regressão para a variável saturação por base (V) nas profundidades de 0-0,20 m após o segundo ciclo de produção da videira cv. Syrah.

A Tabela 14 apresenta os resultados do teste F para a análise de solo após o terceiro ciclo de produção na profundidades de 0-0,20 m de profundidade. Observou-se efeito da adubação nitrogenada nos valores de CE e pH e influência das doses de potássio nos valores de V na probabilidade de 5%. As alterações nos atributos químicos do solo no terceiro ciclo de produção foram mais acentuadas do que nos outros ciclos estudados. Diferente dos resultados observados, trabalhos como os de Teixeira et al. (2007), Dolinski et al. (2009) e Peixoto et al. (2006) demonstram que os atributos químicos do solo não são influenciados pela adubação potássica e nitrogenada, com exceção dos valores de pH e K.

Tabela 14. Análise de variância para os parâmetros químicos do solo na profundidade de 0-0,20 m após o terceiro ciclo de produção da videira cv. Syrah.

Doses		Terceiro ciclo de produção									
N	K ₂ O	MO	pH-H ₂ O	CE	P	K	Ca	Mg	SB	CTC	V
kg ha ⁻¹	kg ha ⁻¹	g kg ⁻¹		dS m ⁻¹	mg dm ⁻³			cmol _c dm ⁻³			%
Profundidade de 0-0,20 m											
0	0	19,0	6,65	0,43	22,1	0,21	3,88	2,03	6,20	7,08	86,95
0	30	15,9	6,55	0,42	24,4	0,23	3,88	2,00	6,18	7,33	84,48
0	120	19,7	6,55	0,71	35,4	0,25	3,73	1,88	7,65	9,45	79,03
15	15	14,4	6,70	0,27	19,3	0,24	3,03	1,38	4,70	5,98	78,68
15	60	17,0	6,70	0,36	38,0	0,30	4,08	2,05	6,50	7,38	88,33
30	0	16,8	6,45	0,32	26,6	0,23	3,80	1,98	6,10	8,28	76,80
30	30	11,8	6,50	0,30	21,3	0,27	13,85	1,88	5,95	7,30	81,40
30	120	16,9	6,28	0,23	19,7	0,25	3,35	1,78	5,45	7,10	75,10
60	15	21,0	6,28	0,29	22,0	0,28	3,60	1,95	5,90	7,28	80,70
60	60	21,4	7,03	0,27	43,9	0,36	4,05	1,98	6,48	7,13	89,95
120	0	16,1	5,90	0,48	29,2	0,29	4,58	1,85	6,80	9,13	75,00
120	30	15,3	6,28	0,23	39,6	0,31	3,73	1,80	5,93	7,00	84,00
120	120	16,9	6,20	0,21	30,5	0,30	3,28	1,75	5,40	7,70	69,23
F.V	G.L	Análise de variância									
Bloco	3	Ns	*	*	Ns	Ns	Ns	Ns	*	Ns	*
N	4	Ns	**	*	Ns	Ns	Ns	Ns	Ns	Ns	Ns
K ₂ O	4	Ns	Ns	Ns	Ns	Ns	Ns	Ns	Ns	Ns	*
N*K ₂ O	4	Ns	Ns	Ns	Ns	Ns	Ns	Ns	Ns	Ns	Ns
CV		36,6	7,2	59,0	58,5	51,9	25,0	19,5	23,2	20,9	11,4

CE - condutividade elétrica, M.O - matéria orgânica, P - fósforo, K - potássio, Ca - cálcio, Mg - magnésio, Na - sódio, H+Al - acidez potencial, SB - soma de bases, CTC - capacidade de troca catiônica, V - saturação por bases. ** e * significativo a 1 e 5% respectivamente, Ns: não significativo

Na profundidade de 0,20-0,40 m no terceiro ciclo de produção (Tabela 15) observou-se diferenças para a concentração de K, Mg, SB e CTC em função das doses de potássio aplicadas via fertirrigação. Segundo Teixeira et al. (2007b) em

estudos sobre N e K₂O em bananeira via fertirrigação e adubação convencional, os efeitos da fertirrigação nos atributos químicos do solo são mais difusos do que na adubação convencional, possivelmente o acúmulo dos fertilizantes nas maiores dosagens nos sucessivos ciclos foram determinantes para estas alterações nos atributos químicos do solo.

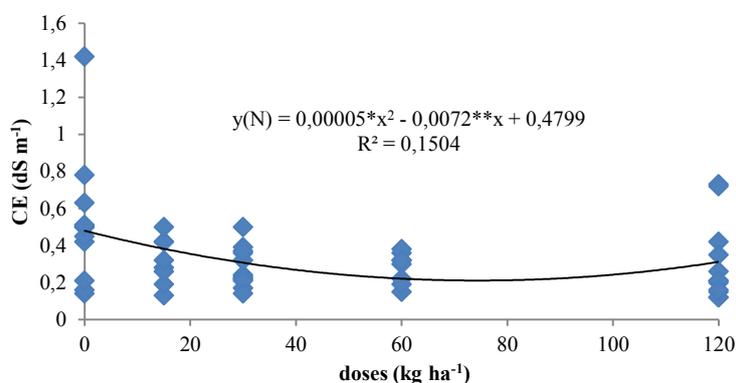
Tabela 15. Análise de variância para os parâmetros químicos do solo na profundidade de 0-0,40 m após o terceiro ciclo de produção da videira cv. Syrah.

Doses		Terceiro ciclo de produção									
N	K ₂ O	MO	pH-H ₂ O	CE	P	K	Ca	Mg	SB	CTC	V
kg ha ⁻¹		g kg ⁻¹		dS m ⁻¹	mg dm ⁻³	cmol _c dm ⁻³			-----		%
----- Profundidade de 0-0,40 m -----											
0	0	7,6	6,63	0,53	42,6	0,17	3,15	1,60	4,98	6,33	79,68
0	30	5,9	6,45	0,36	28,2	0,18	2,50	1,25	4,00	5,43	73,08
0	120	5,9	6,58	0,45	32,8	0,30	2,50	1,25	4,13	4,78	86,58
15	15	8,8	6,58	0,47	17,4	0,20	2,28	1,03	3,58	4,60	79,23
15	60	13,5	6,73	8,56	34,1	0,27	3,23	1,48	5,03	6,93	73,40
30	0	7,4	6,68	0,35	25,0	0,16	2,75	1,45	6,13	6,93	86,05
30	30	10,6	6,50	0,46	20,9	0,19	3,25	1,68	5,20	6,45	81,03
30	120	16,1	6,35	0,48	25,0	0,26	2,60	1,28	4,20	5,68	73,40
60	15	9,3	6,60	0,44	30,5	0,21	2,25	1,08	3,60	4,80	77,45
60	60	15,2	6,70	0,56	55,9	0,28	3,58	2,03	5,98	7,83	76,65
120	0	13,8	6,00	0,39	30,6	0,16	3,08	1,45	4,73	7,20	66,10
120	30	13,5	6,28	0,38	54,4	0,21	3,03	1,55	4,85	6,65	69,65
120	120	13,9	5,95	0,43	37,4	0,29	2,58	1,45	4,38	5,95	73,40
F.V	G.L	----- Análise de variância -----									
Bloco	3	Ns	Ns	Ns	Ns	Ns	Ns	Ns	Ns	Ns	Ns
N	4	Ns	Ns	Ns	Ns	Ns	Ns	Ns	Ns	Ns	Ns
K ₂ O	4	Ns	Ns	Ns	Ns	**	Ns	**	*	**	Ns
N*K ₂ O	4	Ns	Ns	Ns	Ns	Ns	Ns	Ns	Ns	Ns	Ns
CV		54,0	12,5	49,8	67,1	31,9	31,1	31,8	30,5	28,0	15,2

CE - condutividade elétrica, M.O - matéria orgânica, P - fósforo, K - potássio, Ca - cálcio, Mg - magnésio, Na - sódio, H+Al - acidez potencial, SB - soma de bases, CTC - capacidade de troca catiônica, V - saturação por bases. ** e *: significativo a 1 e 5% respectivamente, Ns: não significativo

Para a profundidade de 0,20 m a condutividade elétrica no solo (Figura 24) apresentou um ajuste significativo no modelo polinomial quadrático em função das doses de nitrogênio aplicadas no solo. Os resultados diferem dos apresentados por Dolinski et al. (2009) em estudos sobre pH, CE e concentração de K em um solo do município de Araucária-PR, submetidos a doses de nitrogênio e potássio, onde estes autores não observaram diferenças entre os valores de CE nas diferentes doses de N e K₂O. Rocha et al. (2015) em estudos sobre fertirrigação nitrogenada e

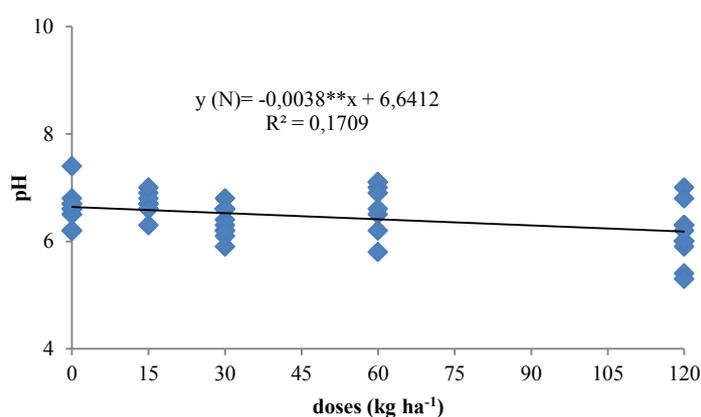
adubação orgânica em videira „Syrah“ não observaram efeito da adubação nitrogenada nos atributos químicos do solo nos três ciclos de produção estudados por estes autores.



** e *: significativo a 1 e 5% de probabilidade

Figura 24. Análise de regressão para a variável condutividade elétrica no solo na profundidade de 0-0,2 m no terceiro ciclo de produção da videira cv. Syrah.

A variável pH no solo apresentou ajuste linear com decréscimo de 0,0038 para cada aumento unitário nas doses de N aplicada (Figura 25). O aumento da acidez no solo em função do aumento das doses de N também foi observado no segundo ciclo de produção e que segundo Villas Boas et al. (2002) a acidificação no solo é consequência da liberação de hidroxilas pelas raízes das plantas além do processo de nitrificação no solo o que contribui para diminuição do pH. Teixeira et al. (2007b) observaram uma redução do pH do solo em função do aumento das doses de N aplicada em cultivo de bananeira, corroborando com os resultados observados neste experimento.

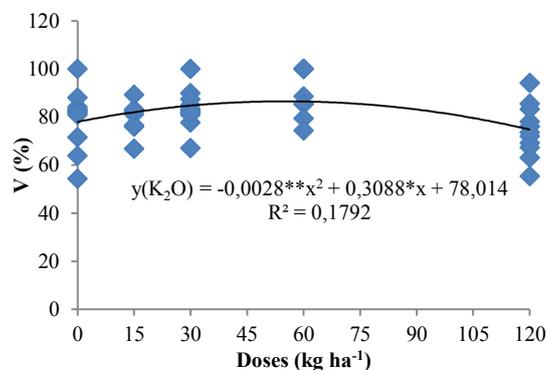


** e *: significativo a 1 e 5% de probabilidade

Figura 25. Análise de regressão para a variável pH no solo na profundidade de 0-0,20 m no terceiro ciclo de produção da videira cv. Syrah

Na profundidade de 0-0,20 m o ajuste foi polinomial quadrático para a saturação por base (Figura 26), onde a aplicação de 60 kg ha⁻¹ de K₂O apresentou

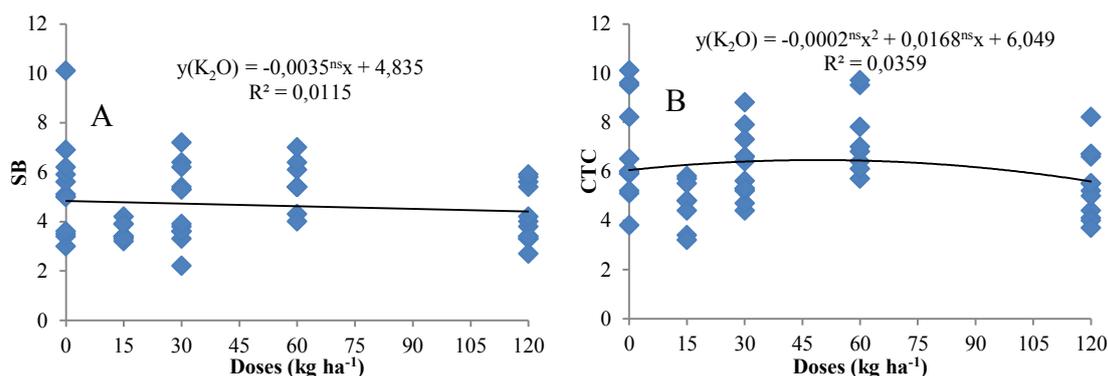
os maiores valores. Peixoto et al. (2006) em estudos sobre alterações de atributos químicos do solo pela fertirrigação potássica e nitrogenada não observaram influência da aplicação dos fertilizantes nos atributos químicos estudados.



**e* significativo a 1 e 5% respectivamente, ^{ns} não significativo

Figura 26. Análise de regressão para a variável saturação por base (V) na profundidade de 0-0,20 m após o terceiro ciclo de produção da videira cv. Syrah.

Para as variáveis soma de bases (SB) e capacidade de troca catiônica (CTC) não houve um ajuste adequado em relação aos modelos de regressão estudados (Figura 27). Araújo et. al. (2012) em estudos sobre adubação potássica em abóbora, não observaram influência das doses de K₂O nos atributos químicos do solo, assemelhando aos resultados dos ciclos anteriores estudados do presente experimento.

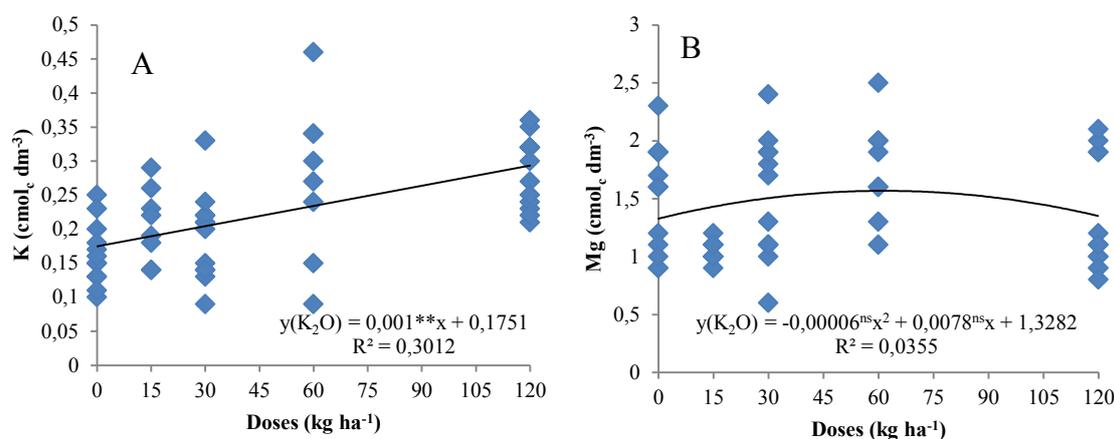


** e *: significativo a 1 e 5% de probabilidade, ns: não significativo

Figura 27. Análise de regressão para a variável SB (A) e CTC (B) na profundidade 0,2-0,4m no terceiro ciclo de produção da videira cv. Syrah.

A análise de regressão para a concentração de potássio no solo (Figura 28A) apresentou um ajuste linear com acréscimo de 0,001 cmol_c dm⁻³ de K para cada aumento unitário das doses de potássio estudadas. Para a concentração de Mg

(Figura 28B) no solo, não houve ajuste para os modelos de regressão estudados, apesar desta variável apresentar efeitos dos tratamentos estudados. Araújo et al. (2012) em estudos sobre doses de K_2O em cobertura observaram um aumento na concentração de K no solo em função do acréscimo de K_2O no solo. Teixeira et al. (2007b) em estudos sobre atributos químicos do solo em cultivo de bananeira fertirrigado com doses de nitrogênio e potássio, observaram um acréscimo de K no solo em função das doses de K_2O aplicadas via água de irrigação, estes autores não observaram efeito da adubação nas doses de Mg no solo.



** e *: significativo a 1 e 5% de probabilidade, ns: não significativo

Figura 28. Análise de regressão para a concentração de potássio (A) e magnésio (B) no solo na profundidade de 0,20-0,40 m no terceiro ciclo de produção da videira cv. Syrah.

4.4.2. Comparação entre medidas da concentração iônica e da condutividade elétrica determinadas nas soluções extraídas pelos extratores de cápsulas porosas e no extrato de saturação do solo.

A Figura 29 ilustra regressões lineares para os valores obtidos para a concentração de nitrato (Figura 29A), potássio (Figura 29B) e condutividade elétrica (Figura 29C) medidas no extrato de saturação do solo e na solução extraída pelos extratores de cápsulas porosas, corrigidas com a umidade da pasta saturada. Observa-se que houve uma correlação com relativa precisão entre os métodos utilizados com a correção da umidade pela pasta saturada, obtendo-se R^2 de 0,62, 0,88 e 0,71. Segundo Oliveira et al. (2011) o uso de extratores providos de cápsulas porosas para o monitoramento da solução pode ser utilizado em solos de diferentes tipos de classes texturais, desde que sejam realizadas calibrações prévias. Silva et al. (2000) afirmam que a utilização de tensiômetros para o conhecimento da umidade do solo no momento

da extração da solução do solo permite corrigir com razoável precisão os valores medidos de CE e K^+ . Porém deve-se ressaltar que estes trabalhos citados foram realizados em condições de vaso, com restrições de volume de solo, sem interferências de agentes externos como drenagem interna e ascensão capilar do solo, plantas daninhas, precipitações etc.

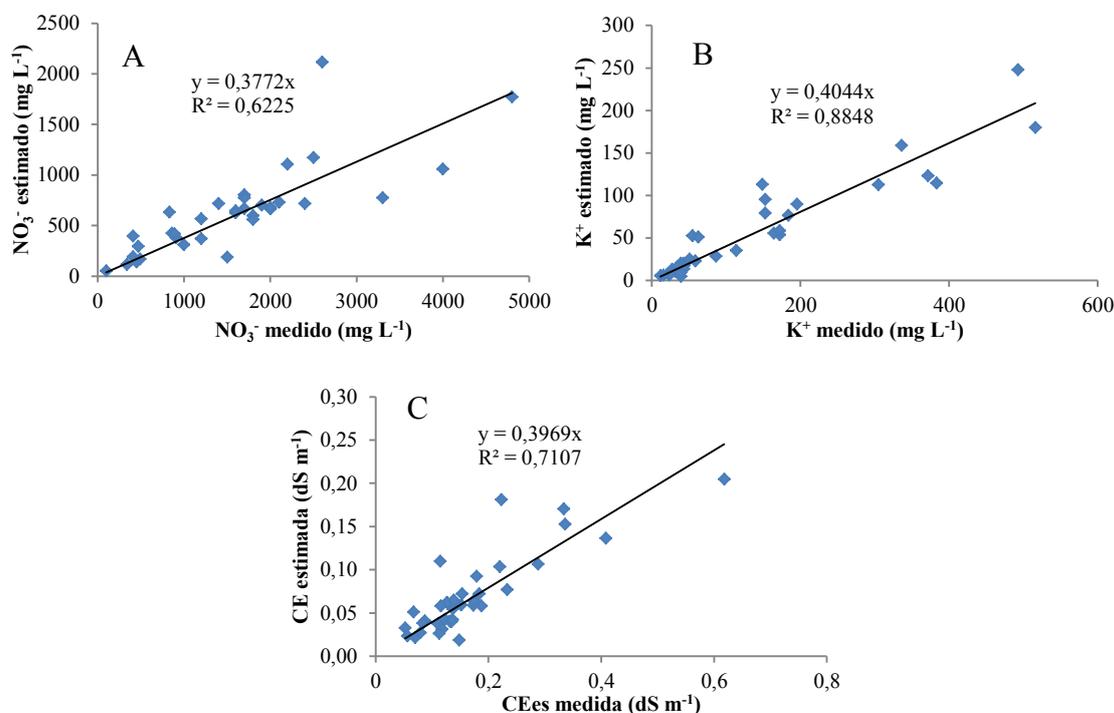


Figura 29. Relação entre os valores de nitrato (A), potássio (B) e condutividade elétrica (C) do extrato de saturação e estimada a partir dos valores de NO_3^- , K^+ e CE obtida com extratores de cápsulas porosas, com correção em função da umidade da pasta saturada.

4.4.3. Monitoramento da concentração dos íons nitrato e potássio e da condutividade elétrica na solução do solo

4.4.3.1. Nitrato na solução do solo

No monitoramento da concentração de nitrato (NO_3^-) na solução do solo ao longo do primeiro ciclo de produção nas profundidades de 0,4 (Figura 30A) e 0,6 m (Figura 30B), as concentrações de NO_3^- foram baixas, até os 73 dias após a poda de produção (dapp). A partir dos 73 dapp observou-se aumento na concentração de NO_3^- , em ambas as profundidades, com valores superiores a $400 mg L^{-1}$. podendo ser explicado de duas maneiras distintas, a primeira seria a transformação de amônia em NO_3^- de maneira lenta até a liberação completa neste período, a segunda maneira seria a baixa necessidade de água pelas plantas neste período, o que contribui para a maior disponibilidade de NO_3^- na solução do solo.

No segundo ciclo de produção houve maior variabilidade entre as concentrações de NO_3^- em comparação com o primeiro ciclo. A 0,40 m de profundidade observou-se concentrações de NO_3^- superiores a 1000 mg L^{-1} durante todo o ciclo de cultivo (Figura 30C), atingindo valores superiores a 3000 mg L^{-1} a 0,60 m de profundidade (Figura 30D), principalmente nos tratamentos com as maiores doses de N. Contudo, as concentrações encontradas em ambas as profundidades no final do ciclo foram muito baixas, sendo inferiores a 100 mg L^{-1} . Assim, parte do NO_3^- presente na solução do solo foi absorvido pelas plantas e a outra parte, possivelmente, se perdeu por lixiviação. Em estudos sobre a fertirrigação em *Vitis vinifera* L. cv. Bukettraube/110 Richter em solos arenos, Conradie e Myburgh (2000) não observaram diferenças significativas quanto à aplicação dos fertilizantes de maneira convencional ou pela fertirrigação, porém constataram que a aplicação de $80 \text{ kg de N por ano}^{-1}$ era insuficiente para suprir as necessidades nutricionais das plantas.

O terceiro ciclo de produção, começou com apenas 57 dias de repouso, após o segundo ciclo, com a concentração de NO_3^- na solução do solo relativamente baixa, reflexo do final do segundo ciclo. A concentração de NO_3^- na solução do solo a 0,40 m de profundidade de (Figura 30E) mostrou-se relativamente constante durante todo o ciclo estudado, com a maior concentração, de 677 mg L^{-1} , alcançada aos 64 dapp. A 0,60 m de profundidade (Figura 30F) houve aumento das concentrações de NO_3^- , atingindo valores superiores a 1000 mg L^{-1} , para o tratamento com aplicação de 120 kg ha^{-1} de N. Estes resultados indicam que houve maior concentração de nitrato nas camadas mais profundas do solo, o que reflete o efeito da aplicação de fertilizantes nitrogenados em elevadas concentrações no solo. Considerando a profundidade efetiva do sistema radicular da videira de 0,60 m (Basso et al., 2007), é possível que concentrações elevadas de NO_3^- tenham sido perdidas por lixiviação, causando a contaminação do lençol freático.

Diversos trabalhos ao longo dos anos na literatura relatam a lixiviação de NO_3^- no solo, segundo Araújo et al. (2004) em estudos sobre a movimentação de NO_3^- e NH_4^+ em colunas de solo, concluíram que doses de adubos nitrogenados de 200 kg ha^{-1} aplicadas em solos argilosos, podem ocasionar a lixiviação de NO_3^- , Anami et al. (2008) em estudos sobre o deslocamento de NO_3^- provenientes de águas residuária da suinocultura em colunas de solo, afirmam que a lixiviação de NO_3^- no solo neste tipo de fertirrigação é uma realidade, Porém Alcântara e Camargo (2010)

em estudos sobre o movimento de NO_3^- em colunas de solos horizontais, afirmam que a movimentação deste íon é retardada em relação ao avanço da frente de molhamento.

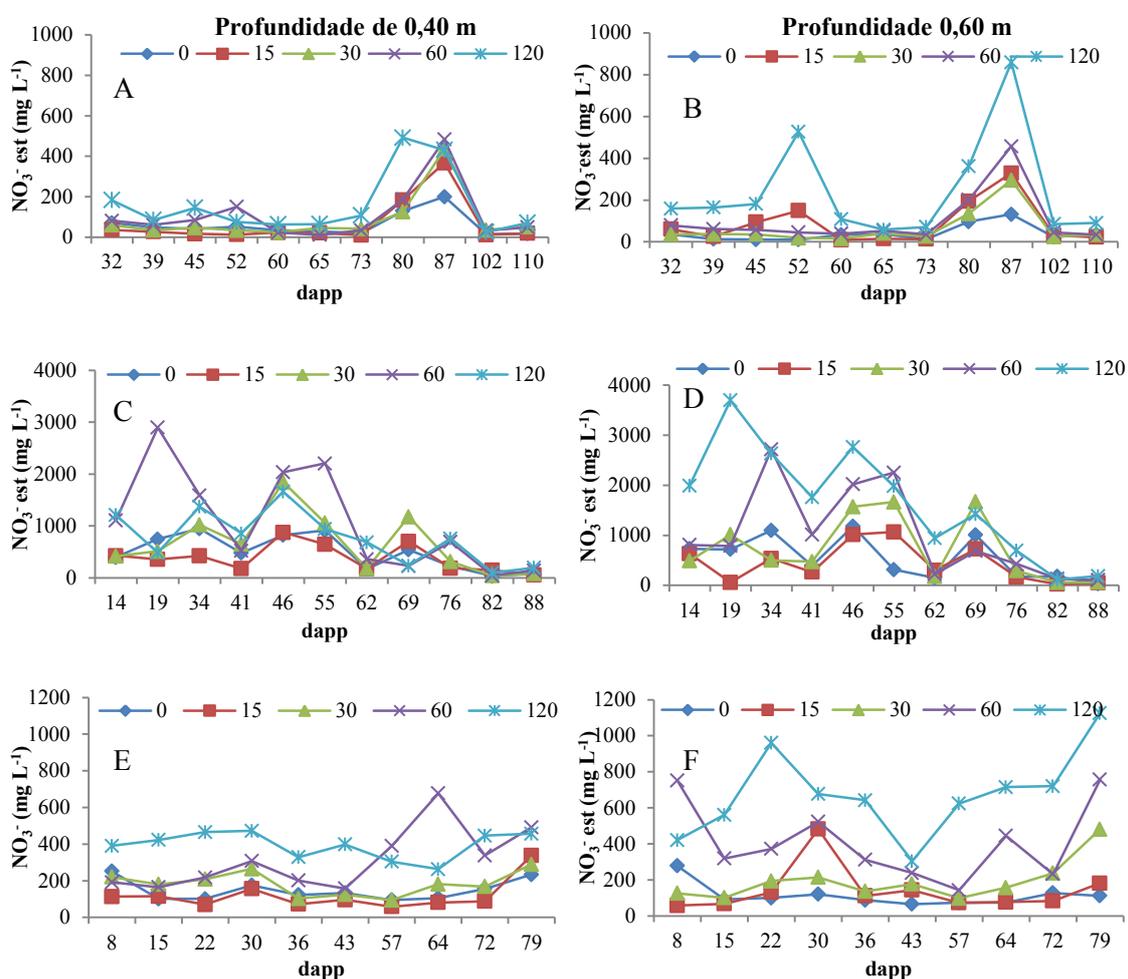


Figura 30. Monitoramento da concentração de nitrato no solo nas profundidades de 0,40 m (A) e 0,60 m (B) - primeiro ciclo, 0,40 m (C) e 0,60 m (D) – segundo ciclo, e ,40 m (E) e 0,60 m (F) – terceiro ciclo de produção da videira.

Os valores médios das concentrações de NO_3^- obtidas pelos extratores de cápsulas porosas foram corrigidos pela umidade da pasta de saturação ao longo dos ciclos de produção da cultura da videira. A concentração de NO_3^- na solução do solo aumentou com o aumento das doses de N em todos os ciclos estudados (Tabela 16), tendo para o fator potássio efeito significativo apenas na profundidade de 0,60 m no primeiro ciclo de produção, possivelmente devido à aplicação do nitrato de potássio. Apesar de haver uma interação das doses estudadas no segundo ciclo de produção na profundidade de 0,60 m não houve ajuste dos modelos estudados.

Tabela 16. Análise de variância para a concentração de nitrato na solução do solo nos três ciclos de produção de produção da videira estudados

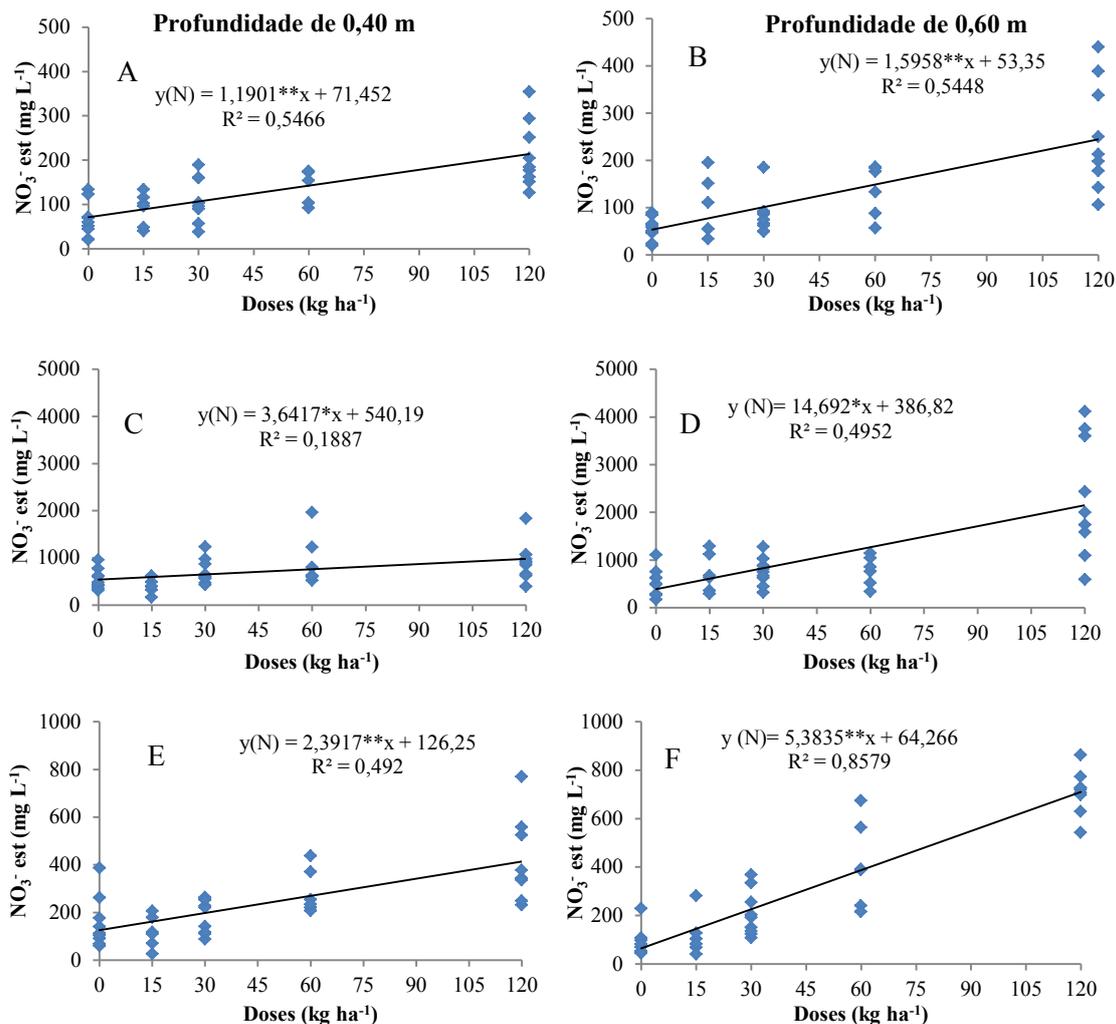
Fonte de variação	G.L	Quadrado médio					
		----- 1º ciclo -----		----- 2º ciclo -----		----- 3º ciclo -----	
		0,40 m	0,60 m	0,40 m	0,60 m	0,40 m	0,60 m
Bloco	2	15561 ^{**}	15088 [*]	8520 ^{ns}	513207 ^{ns}	42197 ^{ns}	60787
N	4	109865 ^{**}	197539 ^{**}	1028795 ^{**}	16745336 ^{**}	443733 ^{**}	2248248 ^{**}
K ₂ O	4	1514 ^{ns}	29973 ^{**}	3722 ^{ns}	140687 ^{ns}	700 ^{ns}	29378 ^{ns}
N*K ₂ O	4	3824 ^{ns}	7530 ^{ns}	270808 ^{ns}	1957997 [*]	267 ^{ns}	228 ^{ns}
CV (%)		57,5	39,61	53,48	62,24	51,07	24,48

** e *significativo a 1 e 5% pelo teste F, ns - não significativo

A análise de regressão dos dados mostra um efeito linear na concentração de NO₃⁻ na solução do solo em resposta às doses de N e K₂O aplicadas. No primeiro ciclo de produção na profundidade de 0,40 m houve um acréscimo de 1,19 mg L⁻¹ na concentração de NO₃⁻ para cada aumento unitário da dose de N aplicada ao solo (Figura 31A), enquanto para a profundidade de 0,6 m o acréscimo foi de 1,59 mg L⁻¹ (Figura 31B).

No segundo ciclo de produção a concentração de NO₃⁻ na profundidade de 0,40 m apresentou um acréscimo de 3,64 mg L⁻¹ (Figura 31C), enquanto na profundidade de 0,60 m (Figura 31D) o valor foi de 14,69 mg L⁻¹ a cada acréscimo unitário das doses de nitrogênio aplicadas.

No terceiro ciclo de produção pode-se observar novamente um ajuste linear para os dados obtidos com acréscimos de 2,39 e 5,38 mg L⁻¹ para cada aumento unitário das doses de nitrogênio aplicadas para às profundidades de 0,40 m (Figura 31E) e 0,60 m (Figura 31F), respectivamente. Os resultados obtidos corroboram com os de Coelho et al. (2014a) que observaram um aumento da concentração de NO₃⁻ na solução do solo de acordo com o aumento da dose de fertilizantes nitrogenados, aplicados via fertirrigação na cultura da bananeira.



** e * significativo a 1 e 5% respectivamente pelo teste t

Figura 31. Análise de regressão para a concentração média de NO_3^- na solução do solo a 0,40 e 0,60 m de profundidade, respectivamente, no primeiro (A e B), segundo (C e D) e terceiro (E e F) ciclos de produção da videira.

4.4.3.2. Potássio na solução do solo

No primeiro ciclo de produção, pode-se observar na profundidade de 0,40 m (Figura 32A) baixas concentrações nos valores de K^+ dos 32 aos 52 dias após a poda de produção (dapp), aos 60 dapp houve um aumento nos valores de K^+ para as doses de 30 ($101,5 \text{ mg L}^{-1}$), 60 ($89,48 \text{ mg L}^{-1}$) e 120 (195 mg L^{-1}) kg ha^{-1} de K_2O , após este período os valores de concentrações estabilizaram, excetuando-se a dose de 60 kg ha^{-1} aos 87 dapp que apresentou concentração de K^+ de $191,8 \text{ mg L}^{-1}$.

Na profundidade de 0,60 m (Figura 32B) as concentrações de K^+ foram inferiores àquelas obtidas a 0,40 m de profundidade, aumentando apenas aos 52

dapp (272,8 mg L⁻¹). De modo geral, a concentração de potássio não ultrapassou 200 mg L⁻¹ em ambas as profundidades estudadas.

No segundo ciclo de produção a profundidade de 0,40 m (Figura 32C) a concentração de K⁺ apresentou elevados valores no período compreendido entre os dias 39 a 46 dapp, após este período houve uma redução na concentração do íon, possivelmente devido ao consumo da planta associada as taxas evapotranspiratórias da cultura (Kc igual a 1,0) com maior absorção da solução do solo. Na profundidade de 0,60 m (Figura 32D) houve um aumento da concentração de K⁺ no tratamento de maior dosagem aos 19 dapp, observando-se assim uma movimentação deste íon entre as camadas estudadas, ao longo do ciclo foram observadas poucas oscilações dos tratamentos. De modo geral, a concentração de potássio não ultrapassou 300 mg L⁻¹.

Segundo Villas Bôas et al. (2002) o potássio move-se com limitação no perfil do solo, onde perdas por lixiviação são baixas mesmo em solos arenosos e com baixa CTC. Miranda et al. (2005) observaram em estudos sobre o deslocamento de potássio em solos verticais, uma baixa movimentação deste íon concentrando-se nas camadas superficiais do solo (0-0,20 m).

No terceiro ciclo de produção a concentração de K⁺ praticamente não ultrapassou 120 mg L⁻¹, sendo reduzida de maneira significativa nos tratamentos com maiores dosagens (60 e 120 kg ha⁻¹ de K₂O) conforme Figura 32E e Figura 32F. Segundo Neves et al. (2009) estudando a mobilidade do potássio em solos com adição de cloreto de potássio, as maiores dosagens de KCl promoveram uma maior deslocamento deste íon, porém Laurindo et al. (2010) em estudos sobre a distribuição deste nutriente no solo via fertirrigação observaram que a concentração K⁺ no solo é reduzida de acordo com o aumento da distância horizontal dos solos em relação ao gotejador.

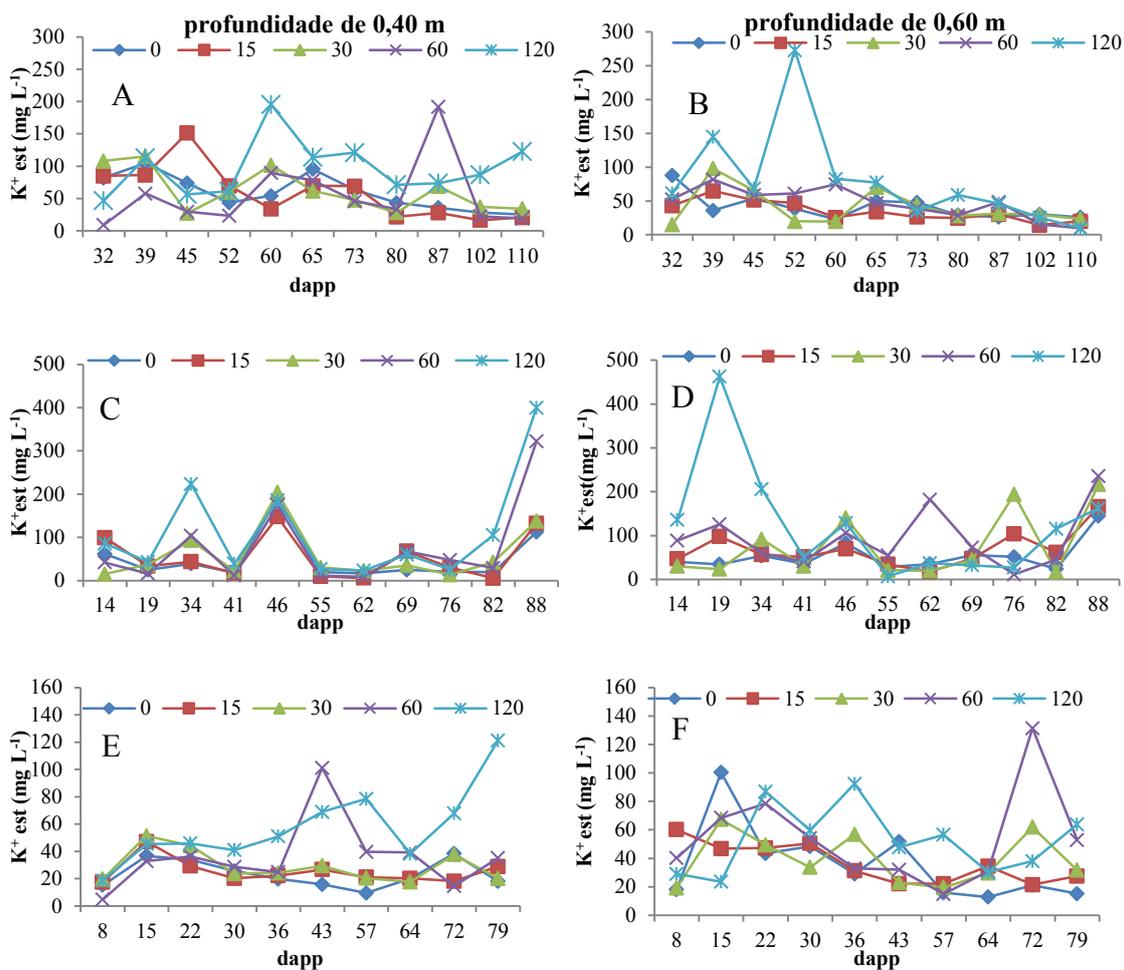


Figura 32. Monitoramento da concentração de potássio no solo nas profundidades de 0,40 m (A) e 0,60 m (B) - primeiro ciclo, 0,40 m (C) e 0,60 m (D) – segundo ciclo, e 0,40 m (E) e 0,60 m (F) – terceiro ciclo de produção da videira.

Na análise de variância (teste F) para probabilidade de 1 e 5% para a variável K⁺ (Tabela 17), pode-se observar o efeito significativo do fator doses de K₂O nesta variável em todos os ciclos de produção e profundidades do solo estudadas na probabilidade de 1%, exceto no segundo ciclo de produção e profundidade de 0,60 m. Em estudos sobre a dinâmica dos nutrientes em pomar de citrus fertirrigado, Souza et al. (2012a) também observaram um aumento da concentração de K⁺ na solução do solo de acordo com o aumento das doses de NPK aplicadas via fertirrigação.

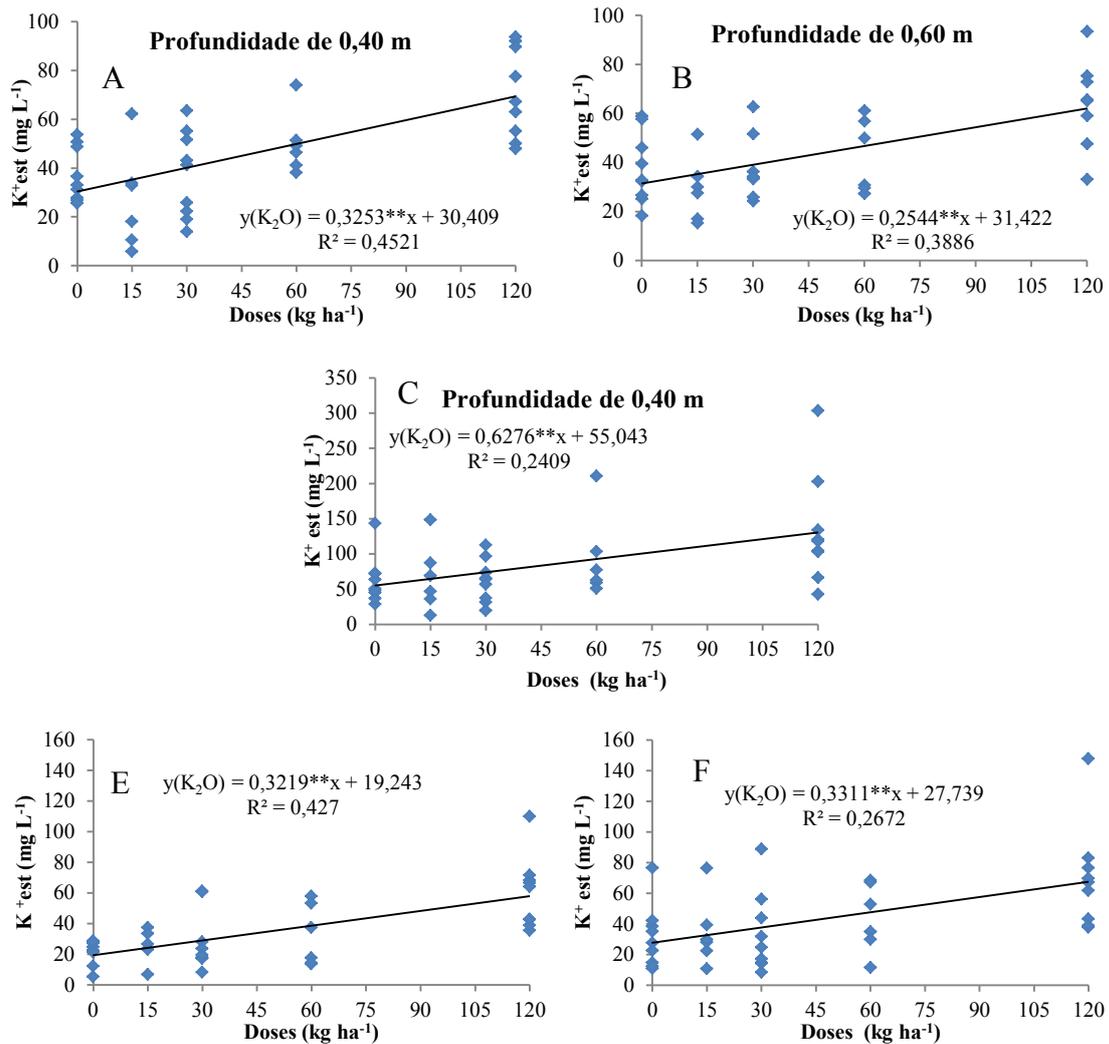
Tabela 17. Análise de variância para a concentração de K^+ na solução do solo nos diferentes ciclos de produção da videira estudados

Fonte de variação	K (mg L ⁻¹)						
	G.L	----- 1º ciclo -----		----- 2º ciclo -----		----- 3º ciclo -----	
		0,40 m	0,60 m	0,40 m	0,60 m	0,40 m	0,60 m
Bloco	2	25,8 ^{ns}	763,8 ^{ns}	431,6 ^{ns}	248,9 ^{ns}	182,8 ^{ns}	992,4 ^{ns}
N	4	63,5 ^{ns}	163,2 ^{ns}	1781,0 ^{ns}	12059,3 ^{ns}	571,5 ^{ns}	794,4 ^{ns}
K ₂ O	4	8188,5 ^{**}	4990,8 ^{**}	30321,2 ^{**}	15856,4 ^{ns}	2268,8 ^{**}	2368,7 ^{**}
N*K ₂ O	4	183,0 ^{ns}	493,8 ^{ns}	620,3 ^{ns}	4038,5 ^{ns}	132,4 ^{ns}	427,7 ^{ns}
CV (%)		40,44	39,6	64,9	75,73	48,55	59,08

** e * significativo a 1 e 5% respectivamente, ns: não significativo

A análise de regressão da concentração do íon potássio (K^+) apresentou um ajuste linear em função das doses de K_2O aplicadas (Figura 34). O primeiro ciclo de produção apresentou para K^+ um acréscimo de 0,3253 mg L⁻¹ e 0,2544 mg L⁻¹ para cada aumento unitário das doses de K_2O utilizadas, para a profundidade de 0,40 m (Figura 33A) e 0,60 m (Figura 33B), respectivamente. No segundo ciclo a profundidade de 0,40 m (Figura 33C) apresentou um acréscimo de 0,6276 mg L⁻¹ para cada aumento unitário das doses de K_2O estudadas. No terceiro ciclo de produção o acréscimo de K^+ foi de 0,3219 mg L⁻¹ para a profundidade de 0,40 m (Figura 33D) e 0,3311 mg L⁻¹ para a profundidade de 60 cm (Figura 33E).

Silva et al. (2000), em estudos sobre doses de K_2O (50, 100 e 150% da dose recomendada) na cultura do tomate em diferentes frequências de fertirrigação e umidade do solo, observaram um efeito linear dos valores de K^+ na solução do solo de acordo com as doses de K_2O estudadas. Santana et al. (2007) em trabalhos realizados sobre a relação entre K^+ na solução do solo, umidade e condutividade elétrica, observaram um aumento da concentração de K^+ de acordo com o aumento da concentração de K_2O aplicada. O baixo ajuste dos modelos estudados podem ter sido causados pela lixiviação das maiores doses de K_2O neste solo de textura franco arenosa. Werle et al. (2008), em estudos sobre a lixiviação de K^+ de acordo com a textura do solo e a disponibilidade deste nutriente, observaram um maior movimento de K^+ de acordo com o teor inicial do íon no solo.



** e * significativo a 1 e 5% respectivamente

Figura 33. Análise de regressão para a concentração média de potássio na solução do solo para as profundidades de 0,40 m (A) e 0,60 m (B) – primeiro ciclo, 0,40 m (C) – segundo ciclo, e 0,40 m (D) e 0,60 m (E) – terceiro ciclo de produção da videira.

4.4.3.3. Condutividade elétrica da solução do solo

A condutividade elétrica da solução do solo foi alterada pelas doses de N, havendo interação com K_2O apenas a 0,40 m de profundidade no segundo ciclo de produção (Tabela 18). Tais resultados reforçam a influência dos fertilizantes nitrogenados na solução do solo conforme observado por Coelho et al. (2014a) e Souza et al. (2012a).

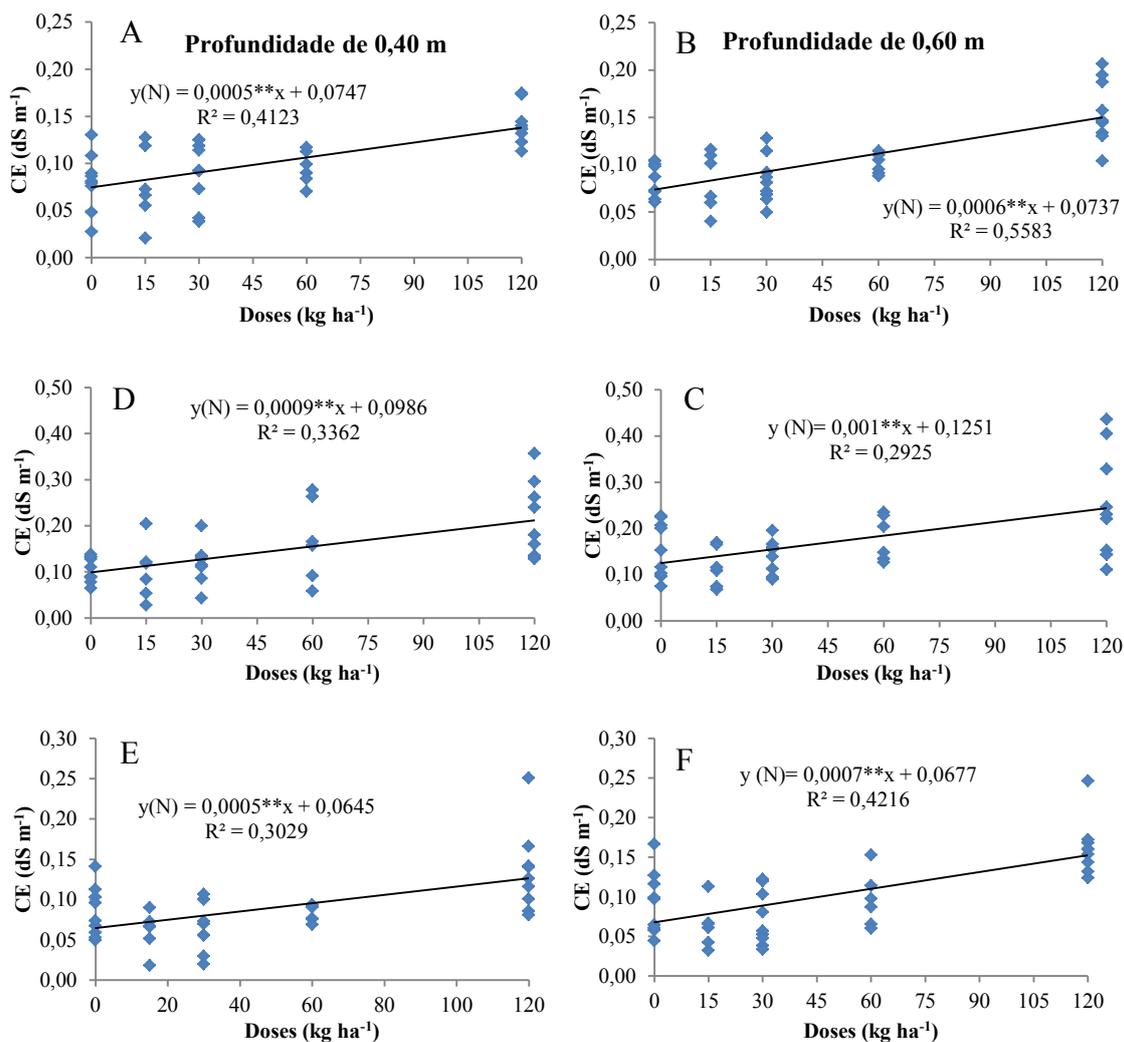
Tabela 18. Análise de variância para a condutividade elétrica na solução do solo nos três ciclos de produção da videira estudados

Fonte de variação	G.L	Quadrado médio					
		----- 1° ciclo -----		----- 2° ciclo -----		----- 3° ciclo -----	
		0,40 m	0,60 m	0,40 m	0,60 m	0,40 m	0,60 m
Bloco	2	570,02 ^{ns}	33,2 ^{ns}	51 ^{ns}	7049 ^{ns}	921,7 ^{ns}	25,4 ^{ns}
N	4	21503,7 ^{**}	31287,7 ^{**}	68786 ^{**}	76153 ^{**}	6883 ^{**}	12542 ^{**}
K ₂ O	4	2669,1 ^{ns}	765,9	2174 ^{ns}	6064 ^{ns}	2703 ^{ns}	2794 ^{ns}
N*K ₂ O	4	190,5 ^{ns}	1609,3 ^{ns}	19645 [*]	8365 ^{ns}	826,1 ^{ns}	2759 ^{ns}
CV (%)		29,29	23,4	45,32	40,48	40,67	28,62

** e * significativo a 1 e 5% respectivamente pelo teste F, ns: não significativo

A Figura 34 ilustra a análise de dispersão dos dados de condutividade elétrica na solução do solo (CE), e o modelo de melhor ajuste foi o linear para todos os ciclos de produção e profundidades estudadas. Para o primeiro ciclo de produção houve um acréscimo da CE de acordo com o aumento unitário das doses de N estudadas, com valores de 0,0005 e 0,0006 dS m⁻¹ nas profundidades de 0,40 m (Figura 34A) e 0,60 m (Figura 34B), respectivamente. No segundo ciclo de produção o aumento da condutividade elétrica foi de, respectivamente, 0,0009 dS m⁻¹ e 0,001 dS m⁻¹ para a profundidade de 0,40 m (Figura 34C) e 0,60 m (Figura 34D). Para o terceiro ciclo de produção, foram observados aumentos de 0,0005 e 0,0007 dS m⁻¹ nas profundidades de 0,40 m (Figura 34E) e 0,60 m (Figura 34F), respectivamente, para cada aumento unitário das doses de N aplicadas via fertirrigação.

Souza et al. (2013), em estudos sobre métodos de extração de solução do solo, afirmam que os extratores munidos de cápsulas porosas apresentaram-se como alternativa viável para extração da solução do solo e monitoramento da condutividade elétrica, Silva (2014) e Dias et al. (2005) afirmam que o monitoramento da CE através dos extratores de cápsulas porosas é uma alternativa para o controle do excesso de sais na solução do solo, mantendo a salinidade em níveis desejados para a cultura.



** e * significativo a 1 e 5% respectivamente, ns - não significativo

Figura 34. Análise de regressão para a concentração média da condutividade elétrica na solução do solo nas profundidades de 0,40 m (A) e 0,60 m (B) - primeiro ciclo, 0,40 m (C) e 0,60 m (D) - segundo ciclo, e 0,40 m (E) e 0,60 m (F) - terceiro ciclo de produção da videira.

A Figura 35 ilustra a superfície de resposta para a CE na profundidade de 0,40 m no segundo ciclo de produção. Os maiores valores foram observados para as maiores doses de N, sendo este fator determinante para o aumento da CE na solução do solo. Segundo Villas Bôas et al. (2002) os fertilizantes possuem diferentes CE, podendo estes contribuir no aumento do seu valor de diferentes formas, dependendo da combinação utilizada para o uso na fertirrigação.

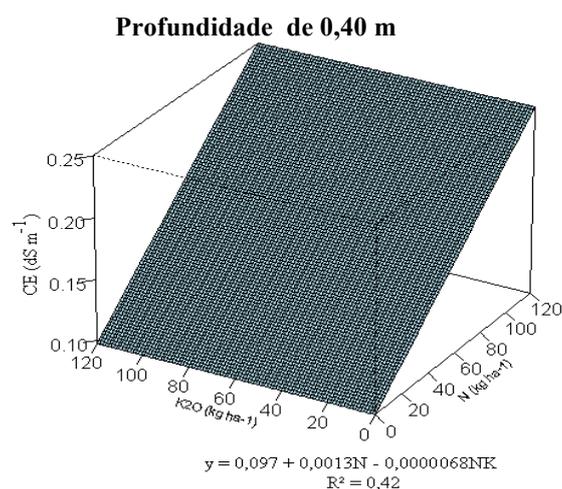


Figura 35. Comportamento da interação entre diferentes concentrações de nitrogênio e potássio em relação a condutividade elétrica na solução do solo para a profundidade de 0,40 m no segundo ciclo de produção da videira.

4.4.4. Lixiviação de NO_3^- e K^+ no solo

4.4.4.1. Lixiviação de NO_3^- no solo

Na análise de variância para a lixiviação de NO_3^- nas profundidades de 0,40 e 0,60 m do solo (Tabela 19) foram observados diferenças significativas para o fator doses de nitrogênio para todos os ciclos estudados, excetuando-se apenas a profundidade de 0,60 m no segundo ciclo de produção. Steenwerth e Belina (2010) em estudos sobre práticas de manejos de vinhedo para evitar as perdas por lixiviação de nitrato no solo, afirmam que práticas culturais e outras fontes de N devem ser utilizadas para diminuir as perdas por lixiviação. Keller (2005) afirma que em regiões com baixa pluviosidade e o adequado manejo da irrigação, perdas por lixiviação podem ser controladas sem causar danos ao ambiente.

Tabela 19. Análise de variância para a lixiviação de NO_3^- na solução do solo em diferentes profundidades e ciclos de produção da videira.

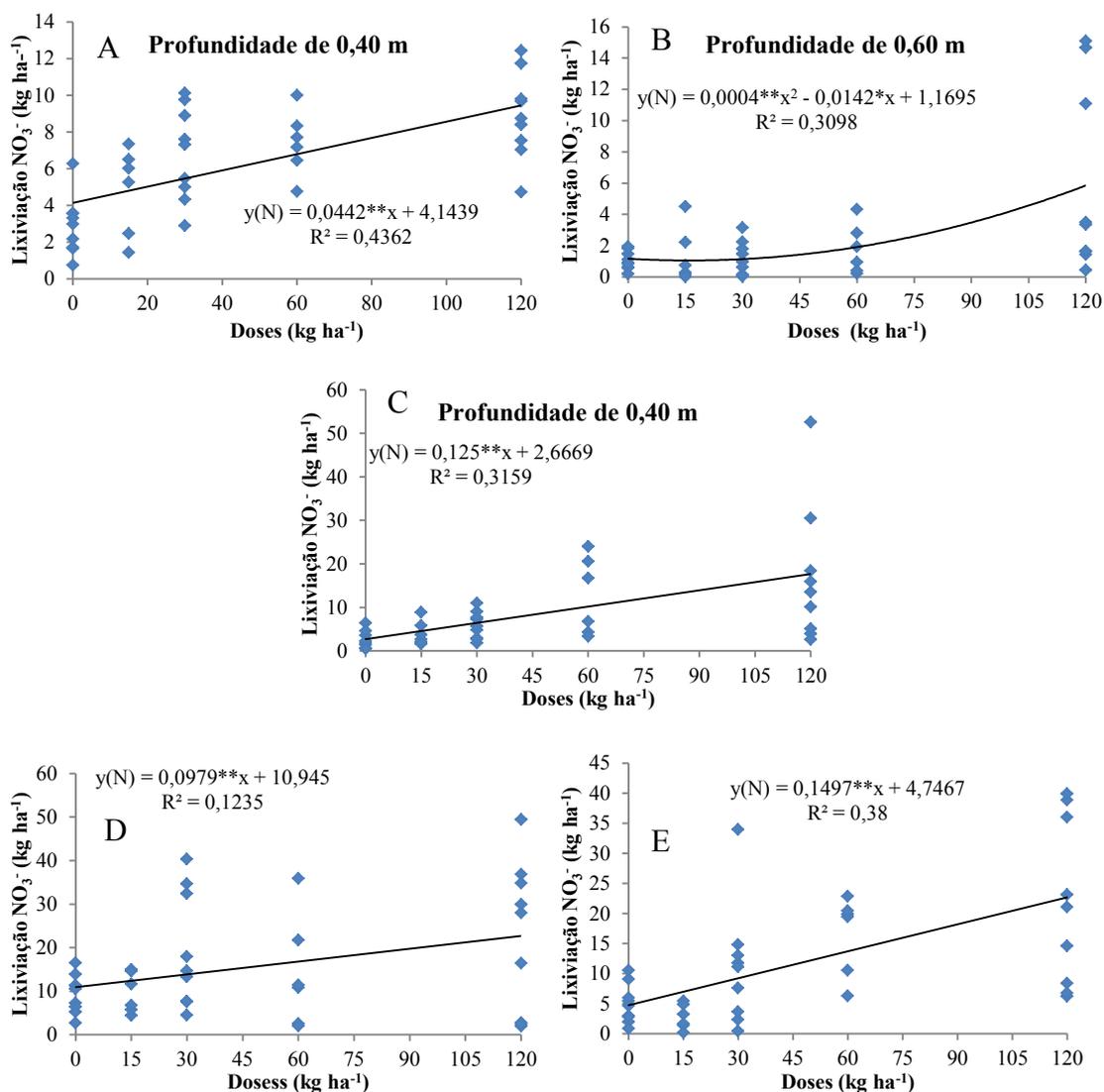
Fonte de variação	G.L	Teste F (Quadrado médio)					
		----- 1º ciclo -----		----- 2º ciclo -----		----- 3º ciclo -----	
		0,40 m	0,60 m	0,40 m	0,60 m	0,40 m	0,60 m
Bloco	2	5,71 ^{ns}	62,84**	17,41 ^{ns}	9,94 ^{ns}	207,41 ^{ns}	99,25 ^{ns}
N	4	46,88**	35,57*	308,21*	106,91 ^{ns}	318,56*	482,53**
K ₂ O	4	2,57 ^{ns}	4,54 ^{ns}	29,85 ^{ns}	62,44 ^{ns}	164,13 ^{ns}	22,86 ^{ns}
N*K ₂ O	4	3,48 ^{ns}	1,04 ^{ns}	30,03 ^{ns}	47,66 ^{ns}	274,90 ^{ns}	54,50 ^{ns}
CV (%)		37,4	52,8	51,4	86,9	66,3	81,47

** e *: significativo a 1 e 5% de probabilidade pelo teste F, ns: não significativo

Na análise de regressão dos dados (Figura 36) o modelo de ajuste adotado foi o linear, excetuando-se os dados obtidos para a profundidade de 0,60 m no segundo ciclo de produção (Figura 36B), que apresentou ajuste polinomial. No primeiro ciclo de produção a profundidade de 0,40 m (Figura 36A) apresentou uma lixiviação de $0,044 \text{ kg ha}^{-1}$ para cada aumento unitário das doses de N aplicadas no solo. No segundo ciclo de produção houve um acréscimo de $0,125 \text{ kg ha}^{-1}$ para cada aumento unitário das doses de N aplicadas.

Observou-se um considerável aumento da lixiviação de NO_3^- no primeiro e segundo ciclos de produção da videira. A textura do solo (74% de areia) e a baixa CTC do solo ($6,3 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) podem ter influenciado de maneira significativa na lixiviação de NO_3^- . Segundo Jalali (2005) a aplicação excessiva de fertilizantes nitrogenados em regiões semiáridas como no Nordeste do Irã promovem a contaminação das águas subterrâneas por NO_3^- em quantidades acima do permitido pela comunidade internacional.

No terceiro ciclo de produção a profundidade de 0,40 m (Figura 36D) de produção apresentou um acréscimo de $0,097 \text{ kg ha}^{-1}$ enquanto a profundidade de 0,60 m (Figura 36E) apresentou acréscimo de $0,147 \text{ kg ha}^{-1}$ para cada aumento unitário das doses de N aplicadas no solo via fertirrigação para a lixiviação de NO_3^- . Conradie (1986) em estudos sobre a utilização de N em uvas de vinho sugere que para solos arenosos o aumento de N mineral no solo pode ser devido ao menor teor de matéria orgânica presentes nestes, o que facilita a lixiviação, o que pode ser relacionado as condições de solo do presente experimento.



** e *: significativo a 1 e 5% de probabilidade.

Figura 36. Dados de dispersão e modelos de ajuste para a lixiviação de nitrato na profundidade de 0,40 m (A) e 0,60 m (B) – primeiro ciclo, 0,40 m (C) – segundo ciclo, e 0,40 m (D) e 0,60 m (E) – terceiro ciclo de produção da videira.

Pela Tabela 20 observa-se que para o primeiro ciclo de produção da videira as maiores perdas por lixiviação de NO_3^- foram encontradas no período de 82 a 113 dias após a poda de produção (dapp) na profundidade de 0,40 m, sendo que 63% do total lixiviado ocorreram neste período. Na profundidade de 0,60 m o período compreendido entre 30 a 46 dapp apresentou 32% do total lixiviado enquanto o período compreendido entre 68 a 81 dapp ocorreram perdas em torno de 36%. No segundo ciclo de produção as maiores perdas foram observadas no período de 73 a 94 dapp para a profundidade de 0,40 m (74,4% do total lixiviado) e 0,60 m (49,2% do total lixiviado). No terceiro ciclo de produção o período de maior lixiviação foi dos 22 a 36 dapp, para a profundidade de 0,40 m as perdas por lixiviação foram de 55% enquanto para a

profundidade de 0,60 m houve uma redução da lixiviação de NO_3^- para 33% do total apresentado para este ciclo.

As elevadas concentrações de NO_3^- lixiviado durante os períodos citados foram ocasionadas pelas elevadas concentrações de NO_3^- na solução do solo e pela drenagem interna. Segundo Bassoi e Reichardt (1995) em estudos sobre a lixiviação de nitrato em solo argiloso e aplicando uma adubação de 120 kg ha^{-1} de N tendo como fonte o uran, as perdas de NO_3^- por lixiviação foram pequenas, não sendo vantajosa a fertirrigação quanto à limitação deste nutriente às maiores profundidades.

No primeiro e segundo ciclo de produção as maiores lixiviações aconteceram no período inicial da fertirrigação até o florescimento das plantas. Possivelmente a baixa absorção de NO_3^- pela planta neste período podem ter contribuído para a elevada lixiviação deste nutriente, pois segundo Conradie (1986), a videira utiliza sua reserva de N durante a fase de brotação até o final do florescimento, sendo a absorção radicular limitada neste período. Portanto, práticas culturais e outras fontes de N neste período podem ajudar a evitar a excessiva lixiviação de NO_3^- em solos de textura arenosa (STEENWERTH e BELINA, 2010).

Tabela 20. Drenagem interna (D) e lixiviação de NO_3^- total a 0,40 e 0,60 m de profundidade para as diferentes doses de N e ciclos de produção da videira

Período	D	Doses de N (kg ha^{-1})				
		0	15	30	60	120
----- 1º ciclo de produção -----						
Profundidade de 0,40 m						
dapp	mm	----- Lixiviação de NO_3^- (kg ha^{-1}) -----				
30 a 46	-1,75	0,97	0,30	0,90	1,41	2,70
47 a 67	-0,91	0,13	0,07	0,19	0,21	0,34
68 a 81	-1,06	0,66	1,09	0,69	0,87	2,69
82 a 113	-5,40	1,89	3,59	5,64	6,12	5,68
Total	-9,13	3,65	5,05	7,43	8,62	11,41
Profundidade de 0,60 m						
dapp	mm	----- Lixiviação de NO_3^- (kg ha^{-1}) -----				
30 a 46	-2,97	0,04	1,23	1,34	2,47	4,51
47 a 67	-2,10	0,72	0,61	0,35	0,61	2,09
68 a 81	-2,85	0,43	1,63	1,35	2,02	4,05
82 a 113	0,07	0,92	0,10	0,17	0,34	0,24
Total	-7,84	2,10	3,57	3,21	5,45	10,89
----- 2º ciclo de produção -----						
Profundidade de 0,40 m						
dapp	mm	----- Lixiviação de NO_3^- (kg ha^{-1}) -----				
9 a 37	-2,58	0,68	0,88	0,95	3,32	2,42
38 a 56	0,09	0,06	0,06	0,10	0,01	0,98
57 a 72	-1,27	0,28	0,23	0,27	0,28	0,55
73 a 94	-15,19	1,91	3,24	4,72	10,15	17,56
Total	-18,95	2,94	4,41	6,04	13,76	21,50
Profundidade de 0,60 m						
dapp	mm	----- Lixiviação de NO_3^- (kg ha^{-1}) -----				
9 a 37	-13,44	1,32	1,55	3,01	3,82	7,55
38 a 56	0,07	0,41	0,10	0,11	0,15	0,37
57 a 72	-6,57	4,37	2,39	5,49	3,04	7,07
73 a 94	-3,04	4,82	3,74	8,11	9,15	14,29
Total	-22,98	10,91	7,79	16,72	16,17	29,29
----- 3º ciclo de produção -----						
Profundidade de 0,40 m						
dapp	mm	----- Lixiviação de NO_3^- (kg ha^{-1}) -----				
8 a 15	-0,35	0,29	0,00	0,00	0,00	0,00
22 a 36	-1,09	5,19	4,22	4,90	8,31	11,47
43 a 57	-2,36	2,54	1,76	4,00	9,89	7,23
64 a 79	-3,01	0,23	0,34	0,50	1,67	3,62
Total	-6,80	8,26	6,31	9,40	19,87	22,31
Profundidade de 0,60 m						
dapp	mm	----- Lixiviação de NO_3^- (kg ha^{-1}) -----				
8 a 15	-1,17	0,58	1,21	1,30	5,74	9,13
22 a 36	-7,21	2,45	2,33	6,27	8,58	15,93
43 a 57	-3,58	2,05	1,84	4,52	9,19	12,07
64 a 79	-3,08	0,93	1,29	0,17	3,22	2,12
Total	-15,04	6,01	6,67	12,26	26,73	39,24

4.4.4.2. Lixiviação de potássio

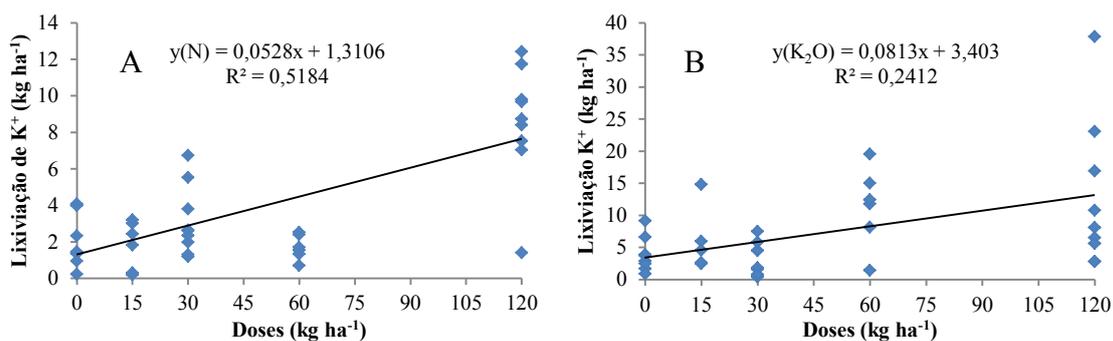
A análise de variância (teste F) para a lixiviação de potássio (K^+) nos diferentes ciclos de produção da videira e profundidades do solo (Tabela 21) apresentou diferenças significativas para 0,40 m no primeiro e segundo ciclo, ao nível de 1%, e para os fatores doses de K_2O e N no primeiro ciclo e doses de K_2O no segundo ciclo de produção na probabilidade de 5%. Yimprasert et al. (1976) observaram que o movimento de potássio em solo franco-arenoso envolveu a redistribuição de K^+ a partir da camada de solo de 0 a 0,15 m com maior acumulação de K^+ ocorrendo na camada de 0,15-0,30 m.

Tabela 21. Análise de variância para a lixiviação de K^+ na solução do solo em diferentes profundidades e ciclos de produção da videira.

Fonte de variação	G.L	Teste F (Quadrado médio)					
		----- 1º ciclo -----		----- 2º ciclo -----		----- 3º ciclo -----	
		0,40 m	0,60 m	0,40 m	0,60 m	0,40 m	0,60 m
Bloco	2	6,95 ^{ns}	19,00**	49,00 ^{ns}	99,79*	6,64 ^{ns}	194,15**
N	4	71,48**	0,82 ^{ns}	18,20 ^{ns}	45,82 ^{ns}	6,64 ^{ns}	15,72 ^{ns}
K_2O	4	24,03**	1,10 ^{ns}	157,81*	43,15 ^{ns}	9,39 ^{ns}	11,05 ^{ns}
$N*K_2O$	4	1,05 ^{ns}	4,17 ^{ns}	39,06 ^{ns}	5,27 ^{ns}	6,04 ^{ns}	23,08 ^{ns}
CV (%)		50,9	99,0	49,9	76,1	77,5	79,4

** e *: significativo a 1 e 5% de probabilidade pelo teste F, ns: não significativo

Para o primeiro ciclo de produção na profundidade de 0,40 m (Figura 37A) houve um aumento progressivo da lixiviação conforme as doses de nitrogênio aplicadas, havendo um acréscimo na lixiviação de K^+ de 0,0528 kg ha⁻¹ para cada aumento unitário das doses de N estudadas, não houve ajuste para as doses de K_2O . No segundo ciclo de produção na profundidade de 0,40 m (Figura 37B) apresentou um ajuste linear com acréscimo de 0,081 kg ha⁻¹ para a lixiviação de K^+ para cada aumento unitário das doses de K_2O aplicadas. Silva et al. (2014) em estudos sobre fertirrigação potássica e adubação orgânica em videiras de vinho „Syrah“, observaram aumento da concentração de K^+ na solução do solo de acordo com o aumento das doses de K_2O aplicadas. Allaire-Leung et al. (2000) em estudos sobre o movimento de potássio e sua relação com a macroporosidade, observaram que o aumento dos macroporos favorece a lixiviação de K^+ .



** e *: significativo a 1 e 5% de probabilidade.

Figura 37. Dados de dispersão e modelos de ajuste para a lixiviação de potássio no primeiro (A) e segundo (B) ciclo de produção da videira na profundidade de 0,40 m.

Pela Tabela 22 pode-se observar que a lixiviação de K^+ foi menor do que as observadas para NO_3^- . No primeiro ciclo de produção, no período compreendido entre 82 a 113 dapp ocorreram as maiores lixiviações de K^+ , correspondendo a 55% das perdas totais de potássio para a profundidade de 0,40 m. Na profundidade de 0,60 m as maiores perdas foram observadas no período de 30 a 46 dapp representando 44% das perdas totais. No segundo ciclo de produção a profundidade de 0,40 m apresentou menores perdas por lixiviação, no qual o período de 73 a 94 dapp representou aproximadamente 80% das perdas totais, enquanto que para o mesmo período, na profundidade de 0,60 m, houve perdas de 44% do total lixiviado. No terceiro ciclo de produção a profundidade de 40 cm apresentou menores perdas comparadas ao ciclo anterior, no qual o período de 8 a 15 dapp apresentou 34% das perdas totais, enquanto na profundidade de 0,60 m as maiores perdas foram de 52% no mesmo período.

Neves et al. (2008) afirmam que o movimento de K^+ variou de acordo com o tipo de solo e aumentou com a dose de KCl aplicada. Segundo Werle et al. (2008), a lixiviação em solos arenosos é intensa no início da aplicação decrescendo com o tempo, com um aumento rápido da passagem de K não-trocável para trocável, o que influencia a lixiviação do íon. Isso possivelmente pode ter ocorrido no terceiro ciclo de produção, onde foram observadas maiores lixiviações, principalmente para as maiores doses de K_2O aplicadas.

Tabela 22. Drenagem interna e lixiviação de K^+ total a 0,40 e 0,60 m de profundidade para as diferentes doses de K_2O nos diferentes ciclos de produção

Período	D	Doses de K_2O ($kg\ ha^{-1}$)				
		0	15	30	60	120
----- 1º ciclo de produção -----						
Profundidade de 0,40 m						
dapp	mm	----- Lixiviação de K^+ ($kg\ ha^{-1}$) -----				
30 a 46	-1,75	0,79	0,28	0,73	1,30	1,65
47 a 67	-0,91	0,26	0,21	0,21	0,09	0,33
68 a 81	-1,06	0,37	0,20	0,34	0,38	2,68
82 a 113	-5,40	1,47	1,42	2,38	1,04	5,68
Total	-9,13	2,89	2,10	3,66	2,80	10,34
Profundidade de 0,60 m						
dapp	mm	----- Lixiviação de K^+ ($kg\ ha^{-1}$) -----				
30 a 46	-2,97	0,03	2,08	0,81	1,39	3,52
47 a 67	-2,10	2,93	0,58	0,95	0,58	0,37
68 a 81	-2,85	0,65	0,76	0,69	0,63	0,61
82 a 113	0,07	0,94	0,07	0,22	0,05	0,06
Total	-7,84	4,55	3,50	2,67	2,65	4,56
----- 2º ciclo de produção -----						
Profundidade de 0,40 m						
dapp	mm	----- Lixiviação de K^+ ($kg\ ha^{-1}$) -----				
9 a 37	-2,58	0,74	0,76	1,24	2,32	0,88
38 a 56	0,09	0,01	0,07	0,22	0,15	0,06
57 a 72	-1,27	0,46	0,26	0,13	0,14	0,21
73 a 94	-15,19	4,42	8,06	6,56	6,12	6,80
Total	-18,95	5,63	9,14	8,14	8,73	7,94
Profundidade de 0,60 m						
dapp	mm	----- Lixiviação de K^+ ($kg\ ha^{-1}$) -----				
9 a 37	-13,44	2,80	3,32	3,59	3,49	1,89
38 a 56	0,07	0,25	0,14	0,36	0,14	0,33
57 a 72	-6,57	2,17	2,27	1,93	2,73	0,98
73 a 94	-3,04	4,20	4,71	4,38	6,33	3,62
Total	-22,98	9,43	10,45	10,26	12,69	6,82
----- 3º ciclo de produção -----						
Profundidade de 0,40 m						
dapp	mm	----- Lixiviação de K^+ ($kg\ ha^{-1}$) -----				
8 a 15	-0,35	1,73	1,32	1,10	0,88	1,06
22 a 36	-1,09	0,43	0,39	0,39	0,23	0,49
43 a 57	-2,36	1,32	1,47	0,71	1,00	1,44
64 a 79	-3,01	0,75	0,53	0,81	0,31	1,22
Total	-6,80	4,22	3,72	3,01	2,42	4,21
Profundidade de 0,6 m						
dapp	mm	----- Lixiviação de K^+ ($kg\ ha^{-1}$) -----				
8 a 15	-1,17	3,81	4,08	2,88	5,22	12,33
22 a 36	-7,21	3,87	2,07	2,61	1,72	3,97
43 a 57	-3,58	1,04	0,69	0,69	0,88	0,32
64 a 79	-3,08	1,06	0,72	0,73	1,36	0,85
Total	-15,04	9,79	7,56	6,91	9,18	17,48

4.5. Monitoramento nutricional das plantas

4.5.1. Análise foliar da videira

4.5.1.1. Análise foliar na fase de florescimento

A Tabela 23 apresenta a análise de variância pelo teste F para análise foliar das videiras na fase de florescimento em relação ao teor de nutrientes nas folhas no primeiro ciclo de produção. Para o teor de macronutrientes apenas as variáveis teor de nitrogênio (N) e de fósforo (P) apresentaram efeito significativo na probabilidade de 5%. Para o teor de micronutrientes observou-se diferenças significativas apenas para a variável resposta ferro (Fe).

Tabela 23. Teor de nutrientes em folhas de videira na fase de florescimento para o primeiro ciclo de produção para a videira cv. Syrah.

N	K ₂ O	N	P	K	Ca	Mg	S	Cu	Fe	Mn	Zn
Kg ha ⁻¹		g kg ⁻¹						mg kg ⁻¹			
-----Florescimento-----											
0	0	32,8	3,2	8,3	14,3	3,1	2,9	12,3	176,5	340,0	23,5
0	30	30,5	3,6	8,4	15,6	3,8	3,1	12,5	147,3	363,3	25,8
0	120	30,9	3,7	8,8	16,2	3,4	3,3	11,5	166,0	377,3	24,0
15	15	33,0	4,1	8,2	16,1	3,2	2,8	13,8	195,0	413,8	21,8
15	60	33,4	3,7	8,4	17,2	3,5	3,4	13,8	213,3	397,0	25,0
30	0	31,1	4,0	8,7	18,4	3,7	2,9	10,3	235,0	373,3	23,5
30	30	33,7	4,3	9,0	19,4	3,6	2,7	13,0	237,5	383,0	26,3
30	120	29,5	4,0	8,8	15,3	3,4	2,6	10,5	189,0	364,8	22,5
60	15	31,3	4,1	8,2	16,2	3,3	3,1	10,0	199,8	381,8	23,0
60	60	31,0	4,5	8,0	17,9	3,4	2,9	13,0	274,8	366,5	25,0
120	0	32,6	3,9	7,3	15,8	3,2	3,0	8,5	182,8	362,0	22,5
120	30	34,9	3,7	7,4	17,3	3,3	3,0	8,8	189,0	406,3	22,5
120	120	35,3	3,8	6,9	17,6	3,1	3,2	9,8	215,3	372,5	20,5
F.V	GL	----- Análise de variância -----									
Bloco	3	Ns	**	**	**	Ns	**	**	**	Ns	**
N	4	*	*	Ns	Ns	Ns	Ns	Ns	*	Ns	Ns
K ₂ O	4	Ns	Ns	Ns	Ns	Ns	Ns	Ns	Ns	Ns	Ns
N*K ₂ O	4	Ns	Ns	Ns	Ns	Ns	Ns	Ns	Ns	Ns	Ns
CV		7,6	12,8	19,4	13,5	9,8	12,7	33,5	26,9	17,7	15,1

N- nitrogênio, P - fósforo, K - potássio, Ca - cálcio, Mg - magnésio, S - enxofre, Cu - cobre, Fe - ferro, Mn - mangânes, Zn - zinco. ** e *: significativo a 1 e 5% de probabilidade pelo teste F, Ns - não significativo.

No segundo ciclo de produção (Tabela 24) observaram-se diferenças significativas para a interação doses de N e K₂O para as variáveis respostas magnésio (Mg) e enxofre (S) na probabilidade de 1%. Para o teor de micronutrientes observou-se diferenças significativas apenas para a variável ferro (Fe). Como pode-se observar a escolha pelo delineamento em blocos casualizados parece ter sido acertada, pois a maioria das análises apresentou efeito para os blocos.

Tabela 24. Teor de nutrientes em folhas de videira na fase de florescimento para o segundo ciclo de produção da videira cv. Syrah.

N	K ₂ O	g kg ⁻¹						mg kg ⁻¹			
		N	P	K	Ca	Mg	S	Cu	Fe	Mn	Zn
Kg ha ⁻¹		-----Florescimento-----									
0	0	25,0	2,9	11,1	13,1	2,7	2,7	6,1	125,6	284,4	18,8
0	30	25,5	3,0	12,5	12,5	3,0	3,2	7,1	200,8	319,9	19,5
0	120	24,5	3,0	11,0	10,8	2,8	3,2	6,9	134,2	278,4	19,2
15	15	25,7	2,8	10,4	11,0	2,8	3,2	7,5	117,2	283,8	17,4
15	60	25,2	2,7	9,5	11,5	2,8	3,0	7,9	115,9	296,7	21,0
30	0	25,3	2,8	9,5	11,8	2,9	3,3	9,1	116,1	296,2	18,5
30	30	25,2	2,8	8,9	11,2	2,9	2,8	6,9	116,6	294,0	19,2
30	120	25,1	2,8	10,4	12,8	3,1	3,2	6,6	117,5	294,3	19,4
60	15	25,5	2,8	9,9	11,3	2,9	3,0	7,3	108,6	291,7	18,7
60	60	24,5	3,2	10,4	11,5	2,9	3,2	6,9	83,3	226,8	19,6
120	0	26,0	2,6	9,8	11,9	2,9	3,1	6,8	113,4	286,9	18,7
120	30	24,8	3,0	9,4	11,9	2,9	3,0	6,7	109,8	286,4	19,3
120	120	25,2	2,7	8,8	11,5	2,7	3,0	6,5	110,4	287,3	17,7
F.V	GL	----- Análise de variância -----									
Bloco	3	**	*	**	**	Ns	**	Ns	**	**	**
N	4	Ns	Ns	Ns	Ns	Ns	Ns	Ns	*	Ns	Ns
K ₂ O	4	Ns	Ns	Ns	Ns	Ns	Ns	Ns	Ns	Ns	Ns
N*K ₂ O	4	Ns	Ns	Ns	Ns	**	**	Ns	Ns	Ns	Ns
CV		5,0	15,8	22,5	10,5	5,4	10,6	20,9	31,3	16,6	10,4

N- nitrogênio, P - fósforo, K - potássio, Ca - cálcio, Mg - magnésio, S - enxofre, Cu - cobre, Fe - ferro, Mn - mangânes, Zn - zinco. ** e *: significativo a 1 e 5% de probabilidade pelo teste F, Ns - não significativo.

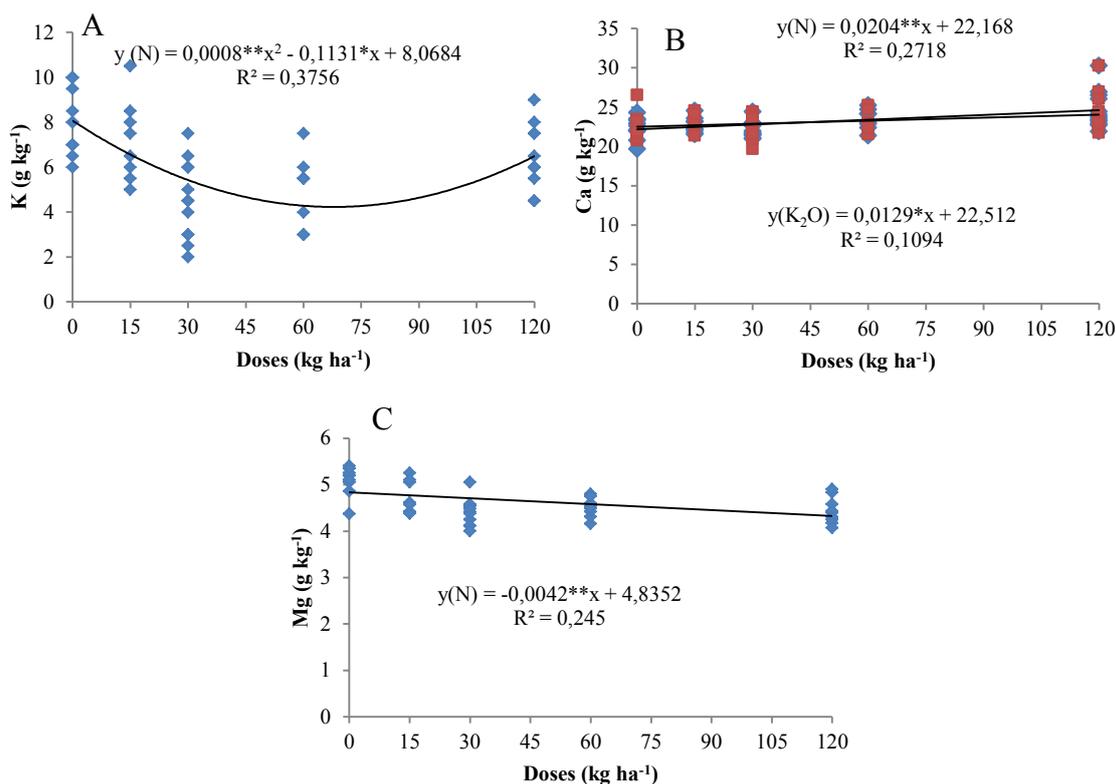
No terceiro ciclo de produção na fase de florescimento (Tabela 25) para os macronutrientes, observou-se que os teores de potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg) apresentaram efeito para as doses de nitrogênio (N) na probabilidade de 5%. Para o teor de micronutrientes observou-se diferenças significativas apenas para a variável ferro (Fe).

Tabela 25. Teor de nutrientes em folhas de videira na fase de florescimento para o terceiro ciclo de produção da videira cv. „Syrah“.

N	K ₂ O	N	P	K	Ca	Mg	S	Cu	Fe	Mn	Zn
Kg ha ⁻¹		-----g kg ⁻¹ -----						----- mg kg ⁻¹ -----			
-----Florescimento-----											
0	0	27,3	3,2	7,8	22,1	5,2	3,1	415,0	139,8	321,0	617,8
0	30	27,9	3,2	8,4	22,0	5,0	3,2	423,0	137,3	333,8	658,3
0	120	27,7	3,6	8,3	23,1	5,2	3,2	422,8	145,0	329,0	675,8
15	15	26,4	2,8	8,6	23,6	5,0	3,1	420,0	136,5	328,8	486,8
15	60	27,1	3,2	5,8	21,9	4,4	3,4	120,8	116,8	308,5	283,0
30	0	27,3	3,4	4,0	21,8	4,5	3,3	128,0	123,0	319,5	295,8
30	30	26,7	3,9	4,4	21,8	4,3	3,4	129,8	119,0	309,8	287,5
30	120	27,1	3,4	5,3	23,0	4,5	3,2	121,3	120,6	311,0	309,3
60	15	26,8	3,3	5,0	23,2	4,5	3,0	128,0	107,3	306,8	290,8
60	60	27,3	3,3	5,0	23,9	4,6	3,4	122,0	110,5	310,3	312,8
120	0	26,8	3,1	5,9	23,6	4,4	3,3	125,5	107,5	308,0	324,5
120	30	26,6	3,2	6,5	23,9	4,4	3,3	117,0	101,4	315,0	327,0
120	120	27,6	3,4	6,9	26,6	4,5	3,3	125,8	105,9	320,3	324,5
F.V	GL	----- Análise de variância -----									
Bloco	3	Ns	Ns	Ns	Ns	Ns	Ns	Ns	Ns	Ns	**
N	4	Ns	Ns	**	**	*	Ns	Ns	**	Ns	Ns
K ₂ O	4	Ns	Ns	Ns	*	Ns	Ns	Ns	Ns	Ns	Ns
N*K ₂ O	4	Ns	Ns	Ns	Ns	Ns	Ns	Ns	Ns	Ns	Ns
CV		3,9	16,4	25,2	5,9	9,8	14,7	4,08	12,9	4,15	21,8

N- nitrogênio, P - fósforo, K - potássio, Ca - cálcio, Mg - magnésio, S – enxofre, Cu –cobre, Fe – ferro, Mn – mangânes, Zn - zinco. ** e *: significativo a 1 e 5% de probabilidade pelo teste F, Ns - não significativo.

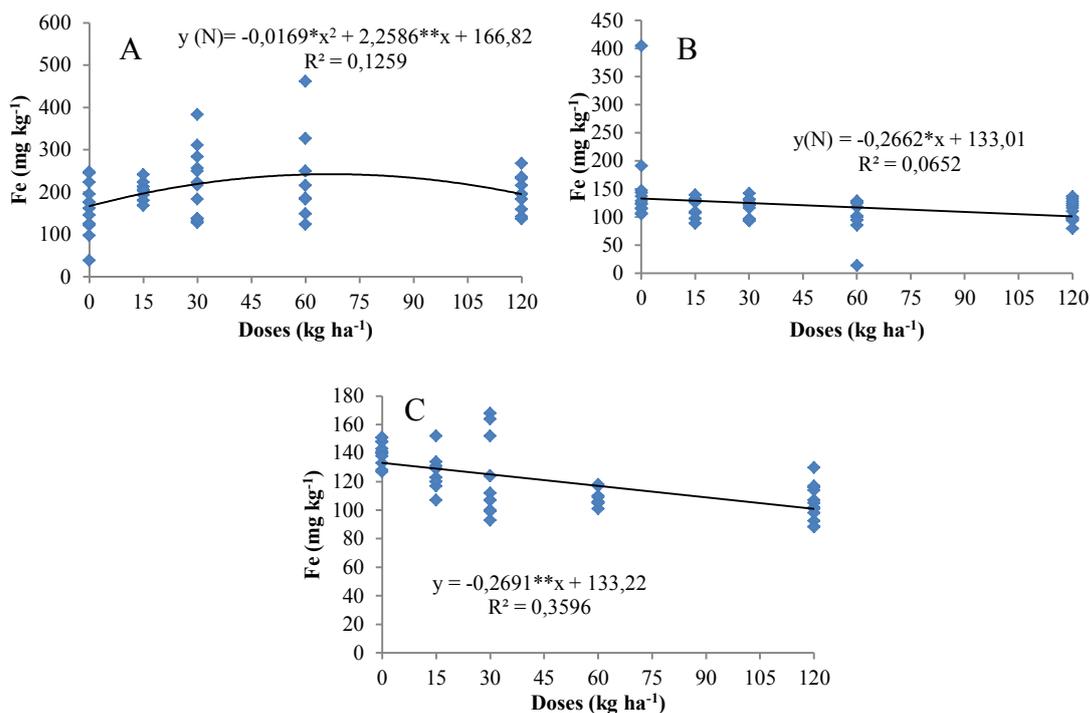
A Figura 38 apresenta os teores de K (Figura 38A), Ca (Figura 38B) e Mg (Figura 38C) no terceiro ciclo de produção. O teor de K na folha apresentou ajuste polinomial onde os menores valores foram observados para as doses de 60 kg ha⁻¹. O teor de Ca apresentou ajuste linear para as doses de N e K₂O, com acréscimo de 0,020 e 0,01 para o acréscimo unitário de N e K₂O respectivamente. O teor de Mg apresentou decréscimo de 0,042 para cada aumento unitário das doses de N estudadas.



** e *: significativo a 1 e 5% de probabilidade pelo teste t.

Figura 38. Equações ajustadas para o teor de potássio (A), cálcio (B) e magnésio (C) em folhas de videira na fase de florescimento no terceiro ciclo de produção da videira.

Para variável ferro (Fe) observou-se para o primeiro ciclo um ajuste polinomial quadrático (Figura 39A). Derivando-se a equação de ajuste observou-se que os maiores teores de Fe ($309,10 \text{ mg kg}^{-1}$) foram observados na dose de $66,82 \text{ kg ha}^{-1}$ de N, enquanto no segundo (Figura 39B) e terceiro ciclo (Figura 39C) de produção houve um ajuste linear com decréscimo de $0,266$ e $0,269 \text{ mg kg}$ para cada acréscimo das doses de N aplicadas. Os valores de Fe observados no presente experimento foram superiores aos observados por Pessanha et al. (2011) em estudos sobre nutrientes minerais em limbo foliar de videiras no Norte Fluminense, que observaram valores máximos de $139,5 \text{ mg kg}^{-1}$ para a cultivar Rubi.



** e *: significativo a 1 e 5% de probabilidade pelo teste t.

Figura 39. Equações ajustadas para o teor foliar de ferro nas folhas de videira na fase de florescimento no primeiro (A), segundo (B) e terceiro (C) ciclo de produção da videira.

4.5.1.2. Análise foliar na fase de maturação

Na fase de maturação os teores de nutrientes nas folhas no primeiro ciclo de produção (Tabela 26) não apresentaram respostas para as doses de N e K₂O estudadas. Possivelmente, o fim da fertirrigação durante o período de maturação pode ter colaborado para estes resultados, além da baixa necessidade de alguns nutrientes nesse período. Autores como Terra (2001) e Conceição et al. (2011) afirmam que a necessidade de K⁺ nas plantas é mais intensa na maturação dos frutos, sendo assim as doses de K₂O aplicadas durante este período podem não ter sido suficientes para expressar diferenças.

Tabela 26. Teor de nutrientes em folhas de videira na fase de maturação para o primeiro ciclo de produção da videira cv. Syrah.

N	K ₂ O	N	P	K	Ca	Mg	S	Cu	Fe	Mn	Zn
Kg ha ⁻¹		-----g kg ⁻¹ -----						----- mg kg ⁻¹ -----			
-----Maturação-----											
0	0	25,2	3,5	4,3	8,5	1,6	1,9	7,6	123,7	435,3	39,8
0	30	24,0	3,1	4,4	8,9	1,9	1,8	7,5	177,1	468,7	40,9
0	120	24,7	2,8	4,1	8,8	1,9	2,1	6,6	161,3	482,9	41,2
15	15	24,9	3,0	3,4	10,3	1,8	1,8	7,0	186,6	477,7	41,6
15	60	25,5	2,8	3,8	8,9	1,9	2,2	17,8	292,7	544,2	96,5
30	0	24,0	3,3	3,3	8,7	1,3	2,2	7,8	969,2	466,8	49,1
30	30	25,6	2,7	3,6	8,9	1,7	2,0	7,3	263,7	440,9	41,3
30	120	23,7	2,7	6,8	14,4	2,6	1,9	7,1	198,1	448,6	41,6
60	15	24,8	3,2	4,4	13,0	2,3	1,6	7,2	216,7	505,5	42,1
60	60	24,7	2,7	5,6	13,8	2,7	1,6	6,8	263,2	468,6	40,0
120	0	26,1	2,8	3,9	14,2	2,5	1,7	6,8	239,1	418,8	39,5
120	30	24,9	2,5	4,5	12,8	2,6	1,9	6,9	223,8	461,9	39,2
120	120	25,0	2,8	5,3	13,0	2,4	1,9	6,8	289,4	456,1	38,0
F.V	GL	----- Análise de variância -----									
Bloco	3	Ns	*	*	**	**	**	Ns	Ns	**	Ns
N	4	Ns	Ns	Ns	Ns	Ns	Ns	Ns	Ns	Ns	Ns
K ₂ O	4	Ns	Ns	Ns	Ns	Ns	Ns	Ns	Ns	Ns	Ns
N*K ₂ O	4	Ns	Ns	Ns	Ns	Ns	Ns	Ns	Ns	Ns	Ns
CV		7,8	22,3	38,4	49,7	48,5	18,1	70,4	26,0	16,7	67,3

N- nitrogênio, P - fósforo, K - potássio, Ca - cálcio, Mg - magnésio, S – enxofre, Cu –cobre, Fe – ferro, Mn – mangânes, Zn - zinco. ** e *: significativo a 1 e 5% de probabilidade pelo teste F, Ns - não significativo.

No segundo ciclo de produção na fase de maturação (Tabela 27) não foram observadas diferenças significativas para os teores de nutrientes nas folhas, em nenhum dos fatores estudados. Estes resultados foram diferentes dos observados por Brunetto et al. (2008) que obtiveram resultados expressivos com aplicação foliar de nitrogênio, na qual a cultura apresentou respostas em diferentes períodos de aplicação de N e em diferentes dosagens (0; 1,11; 2,23; 3,31; 4,41 g planta⁻¹) na qual os teores foliares apresentados nas plantas tiveram resposta linear crescente com o aumento das doses. Dessa forma, aplicações foliares de determinados nutrientes podem apresentar respostas plausíveis conforme a fase e necessidade das plantas, sendo um complemento da adubação via solo.

Tabela 27. Teor de nutrientes em folhas de videira na fase de maturação para o segundo ciclo de produção da videira cv. Syrah.

N	K ₂ O	N	P	K	Ca	Mg	S	Cu	Fe	Mn	Zn
Kg ha ⁻¹		-----g kg ⁻¹ -----						----- mg kg ⁻¹ -----			
-----Maturação-----											
0	0	22,2	2,1	6,4	21,5	2,9	2,6	8,1	83,7	347,9	15,5
0	30	23,4	2,2	6,0	22,3	3,1	2,5	7,6	71,5	317,2	15,7
0	120	24,3	6,8	5,9	23,0	2,7	2,7	9,4	95,3	336,9	17,5
15	15	25,6	2,1	6,1	23,1	3,0	2,7	6,9	79,9	315,6	15,7
15	60	24,8	2,2	7,3	20,9	2,8	2,8	7,4	82,3	317,0	16,2
30	0	23,2	2,1	8,4	22,8	3,1	2,7	6,9	81,6	316,3	16,3
30	30	24,7	1,9	6,4	22,5	2,8	2,7	6,4	77,3	282,1	15,8
30	120	24,5	2,0	7,9	22,5	3,1	2,5	6,4	86,2	323,6	15,3
60	15	24,2	1,9	6,9	22,9	2,9	2,7	6,3	84,8	315,4	14,9
60	60	25,2	1,8	5,8	21,1	2,8	2,5	6,0	84,3	298,3	14,8
120	0	24,8	1,9	5,1	22,9	2,9	2,5	6,4	78,5	307,4	16,0
120	30	23,2	2,0	10,0	22,5	3,2	2,5	6,5	85,0	363,8	16,7
120	120	23,1	2,2	9,0	22,4	3,0	2,5	6,4	98,8	326,6	15,4
F.V	GL	----- Análise de variância -----									
Bloco	3	Ns	Ns	Ns	**	Ns	Ns	**	Ns	Ns	Ns
N	4	Ns	Ns	Ns	Ns	Ns	Ns	Ns	Ns	Ns	Ns
K ₂ O	4	Ns	Ns	Ns	Ns	Ns	Ns	Ns	Ns	Ns	Ns
N*K ₂ O	4	Ns	Ns	Ns	Ns	Ns	Ns	Ns	Ns	Ns	Ns
CV		11,2	15,3	34,7	6,2	4,65	17,5	26,6	16,1	15,9	12,6

N- nitrogênio, P - fósforo, K - potássio, Ca - cálcio, Mg - magnésio, S – enxofre, Cu –cobre, Fe – ferro, Mn – mangânes, Zn - zinco. ** e *: significativo a 1 e 5% de probabilidade pelo teste F, Ns - não significativo.

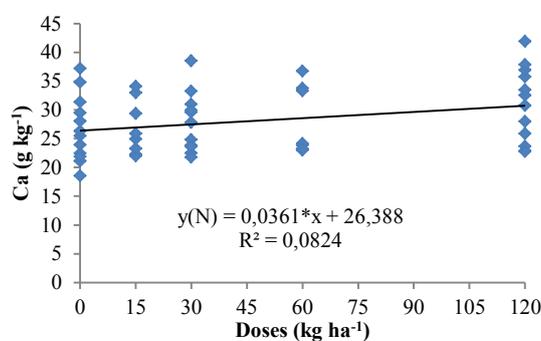
Para o teor de nutrientes nas folhas de videira na fase de maturação (Tabela 28) no terceiro ciclo de produção, não foram observadas diferenças significativas para os fatores doses de N e K₂O para as variáveis estudadas na probabilidade de 1% e 5%. A variável Fe, apesar de ser influenciada na fase de florescimento pelas doses de N aplicadas, não teve o mesmo comportamento na fase de maturação, apesar das elevadas concentrações observadas no primeiro ciclo de produção nesta fase, com média de 480 g kg⁻¹. Estes valores são superiores aos observados por Tonin et al. (2009) em estudos sobre o estado nutricional das cultivares Itália e Rubi no Estado do Paraná, devendo-se ressaltar a diferença das condições climáticas e de solo, além das adubações realizadas nos experimento citado.

Tabela 28. Teor de nutrientes em folhas de videira na fase de maturação para o terceiro ciclo de produção da videira cv. Syrah.

N	K ₂ O	N	P	K	Ca	Mg	S	Cu	Fe	Mn	Zn	
Kg ha ⁻¹		-----g kg ⁻¹ -----						----- mg kg ⁻¹ -----				
-----Maturação-----												
0	0	23,2	2,7	5,5	25,5	4,2	2,5	399,8	197,0	334,0	686,3	
0	30	26,3	2,4	5,8	27,7	3,9	2,4	416,0	169,0	330,0	684,8	
0	120	23,1	2,1	5,9	27,0	4,2	2,5	405,5	188,3	338,8	643,0	
15	15	23,0	2,7	4,4	26,5	4,3	2,4	426,0	165,4	344,5	711,0	
15	60	24,6	2,8	4,0	27,2	3,9	2,9	423,5	196,5	314,0	777,3	
30	0	23,1	2,3	5,4	27,9	4,4	2,4	408,0	174,3	320,3	666,5	
30	30	25,0	2,6	4,0	28,1	4,2	2,8	419,8	187,0	305,8	679,3	
30	120	23,3	2,7	4,6	26,6	4,0	2,8	425,5	215,5	376,0	646,5	
60	15	24,4	2,9	5,5	25,7	4,3	2,5	402,3	165,7	366,5	629,5	
60	60	22,5	2,7	4,1	29,6	4,4	2,3	420,0	234,5	351,3	698,3	
120	0	24,1	2,8	5,9	31,3	4,7	2,7	417,3	214,3	354,0	714,3	
120	30	24,5	2,9	5,6	32,0	4,8	2,6	404,5	208,5	364,3	1371,8	
120	120	24,0	2,8	6,1	29,7	4,4	2,5	429,5	242,3	358,8	1313,3	
F.V	GL	----- Análise de variância -----										
Bloco	3	Ns	**	**	**	**	Ns	**	**	**	**	
N	4	Ns	Ns	Ns	**	Ns	Ns	Ns	Ns	Ns	Ns	
K ₂ O	4	Ns	Ns	Ns	Ns	Ns	Ns	Ns	Ns	Ns	Ns	
N*K ₂ O	4	Ns	Ns	Ns	Ns	Ns	Ns	Ns	Ns	Ns	Ns	
CV		10,1	22,5	31,4	8,6	14,2	18,2	6,7	26,1	13,7	61,7	

N- nitrogênio, P - fósforo, K - potássio, Ca - cálcio, Mg - magnésio, S - enxofre, Cu - cobre, Fe - ferro, Mn - manganês, Zn - zinco. ** e *: significativo a 1 e 5% de probabilidade pelo teste F, Ns - não significativo.

Para a concentração de cálcio nas folhas da videira (Figura 40) na fase de maturação o ajuste foi linear com acréscimo de 0,036 g kg⁻¹ para cada aumento unitário nas doses de N aplicadas. Os valores apresentados no presente trabalho foram maiores que os demonstrados por Tecchio et al. (2011) em estudos sobre teores foliares em videiras „Niagara Rosada“ na região de Jales, SP e por Tonin et al. (2009) em cultivares „Itália“ no município de Marialva, PR.



** e *: significativo a 1 e 5% de probabilidade pelo teste t.

Figura 40. Equações ajustadas para o teor foliar de cálcio no terceiro ciclo de produção da videira na fase de maturação

4.5.2. Análise de seiva no pecíolo

A análise de variância (Tabela 29) para a seiva no pecíolo apresenta o efeito das doses de N e K₂O nas variáveis nitrato (NO₃⁻) e potássio (K⁺) nos três ciclos de produção estudados. A variável NO₃⁻ na fase de florescimento apresentou efeito significativo para o fator N em todos os ciclos de produção enquanto a interação N x K apresentou diferenças significativas apenas no segundo ciclo de produção. Na fase de maturação para a variável NO₃⁻ foram observadas diferenças significativas para o fator N em todos os ciclos estudados, enquanto para as doses de K₂O, foram observadas diferenças significativas no segundo e terceiro ciclos de produção na probabilidade de 5%. Para a interação N x K₂O houve diferenças significativas no segundo ciclo na probabilidade de 5%. Para a variável K⁺ na fase de florescimento foram observadas diferenças significativas para o fator doses de K₂O na probabilidade de 1% no primeiro e terceiro ciclos de produção. Para a fase de maturação o fator nitrogênio influenciou significativamente a variável K⁺ na probabilidade de 5% no primeiro ciclo de produção e a 1% de probabilidade no segundo ciclo de produção.

Tabela 29. Análise de variância (Teste F) para a concentração de nitrato (NO₃⁻) e potássio (K⁺) na seiva do pecíolo da videira cv. Syrah.

F.V	G.L	Quadrado médio			
		NO ₃ ⁻	K ⁺	NO ₃ ⁻	K ⁺
----- primeiro ciclo -----					
		Florescimento		Maturação	
Bloco	3	212898 ^{ns}	312969 ^{ns}	188462 ^{ns}	11988909*
N	4	69055484**	449758 ^{ns}	21603673**	28658792*
K ₂ O	4	889995 ^{ns}	3625977**	512,0 ^{ns}	6812733 ^{ns}
N*K ₂ O	4	1007361 ^{ns}	1755257 ^{ns}	346995 ^{ns}	2614106 ^{ns}
CV(%)		30,54	22,07	49,08	35,49
----- segundo ciclo -----					
		Florescimento		Maturação	
Bloco	3	4325304 ^{ns}	125775 ^{ns}	5318886 ^{ns}	4754867*
N	4	49428910**	107889 ^{ns}	1251625185**	15362867**
K ₂ O	4	17709431**	68280 ^{ns}	353827060*	2391495 ^{ns}
N*K ₂ O	4	1044423*	83423 ^{ns}	47963799*	3483279 ^{ns}
CV(%)		24,58	24,88	32,30	28,05
----- terceiro ciclo -----					
		Florescimento		Maturação	
Bloco	3	32708173 ^{ns}	198637,8 ^{ns}	344089915 ^{ns}	879930,1 ^{ns}
N	4	91008994**	365048,1 ^{ns}	7701848040**	337827,7 ^{ns}
K ₂ O	4	18706911 ^{ns}	1738798,1**	1167016741*	1111348,5 ^{ns}
N*K ₂ O	4	22738662 ^{ns}	336201,9 ^{ns}	850128272 ^{ns}	1072178,5 ^{ns}
CV(%)		34,18	34,26	51,44	29,63

** e *: significativo a 1 e 5% respectivamente, ns: não significativo

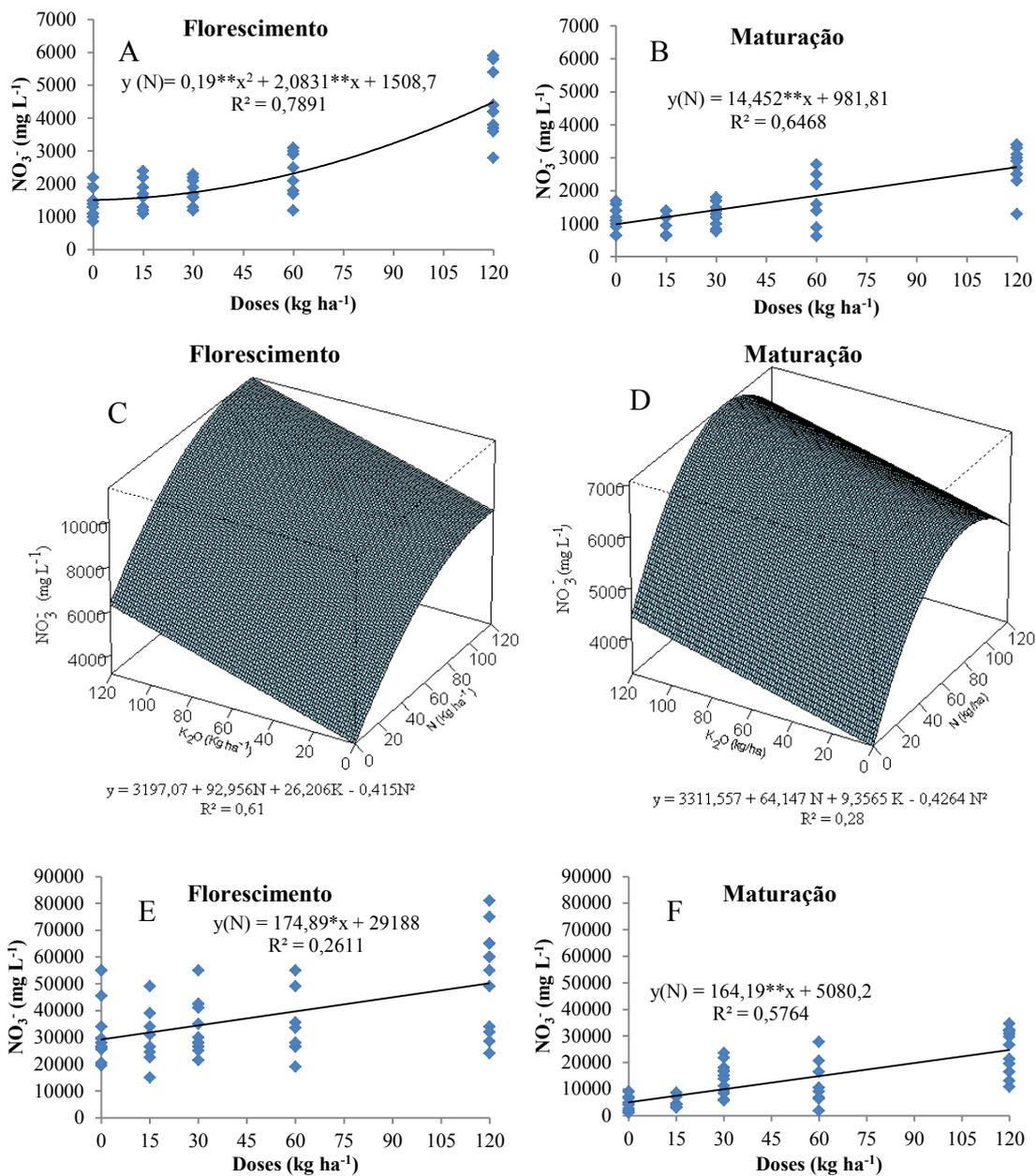
4.5.2.1. Concentração de nitrato na seiva das plantas

A Figura 41 ilustra a análise de regressão para a concentração de nitrato (NO_3^-) na seiva do pecíolo para as fases de maturação e florescimento nos três ciclos de produção estudados. No primeiro ciclo de produção na fase de florescimento (Figura 41A) o ajuste foi polinomial quadrático, onde as maiores doses de N proporcionaram as maiores concentrações de NO_3^- na seiva do pecíolo ($4494,67 \text{ mg L}^{-1}$). Na fase de maturação (Figura 41B) o modelo de ajuste adotado foi o linear, com acréscimo de $14,452 \text{ mg L}^{-1}$ de NO_3^- na seiva do pecíolo a cada aumento unitário das doses de N aplicadas. Percebe-se que houve uma redução significativa nas concentrações de NO_3^- da fase de florescimento para fase de maturação o que constata a menor necessidade do nutriente neste período para a cultura.

No segundo ciclo de produção a superfície de resposta para a concentração de NO_3^- nas doses estudadas na fase de florescimento (Figura 41C) apresentou os maiores valores nas doses de 120 kg ha^{-1} de N e K_2O , obtendo-se a concentração de $11002,1 \text{ mg L}^{-1}$. Na fase de maturação (Figura 41D) a redução na concentração de NO_3^- na seiva das plantas foi novamente visível nesta fase, e os maiores valores ($6846,90 \text{ mg L}^{-1}$) foram obtidos nas doses de $75,22 \text{ kg ha}^{-1}$ de N e 120 kg ha^{-1} de K_2O .

No terceiro ciclo de produção na fase de florescimento (Figura 41E) o ajuste adotado foi o linear com acréscimo de NO_3^- na concentração da seiva do pecíolo de $174,89 \text{ mg L}^{-1}$ para cada aumento unitário das doses de N. Na fase de maturação (Figura 41D) o acréscimo de NO_3^- foi de $164,19 \text{ mg L}^{-1}$ para cada aumento unitário das doses de N via fertirrigação. Os teores de NO_3^- na seiva do pecíolo na fase de florescimento foram superiores aos valores observados por Tecchio et al. (2011) na videira „Niagara Rosada“ na região de Jales, onde as maiores concentrações de NO_3^- foram de 1859 ppm.

Apesar da menor concentração de NO_3^- na fase de maturação os valores obtidos no presente estudos foram superiores aos de Richter (2008). As doses de N aplicadas via fertirrigação tem grande influência na concentração de NO_3^- , devendo-se ter um controle na aplicação deste nutriente, pois este é drenado para as bagas das uvas auxiliando na futura produção de vinhos (ZOECKLEIN et al., 2001; DUTRA et al., 1999).



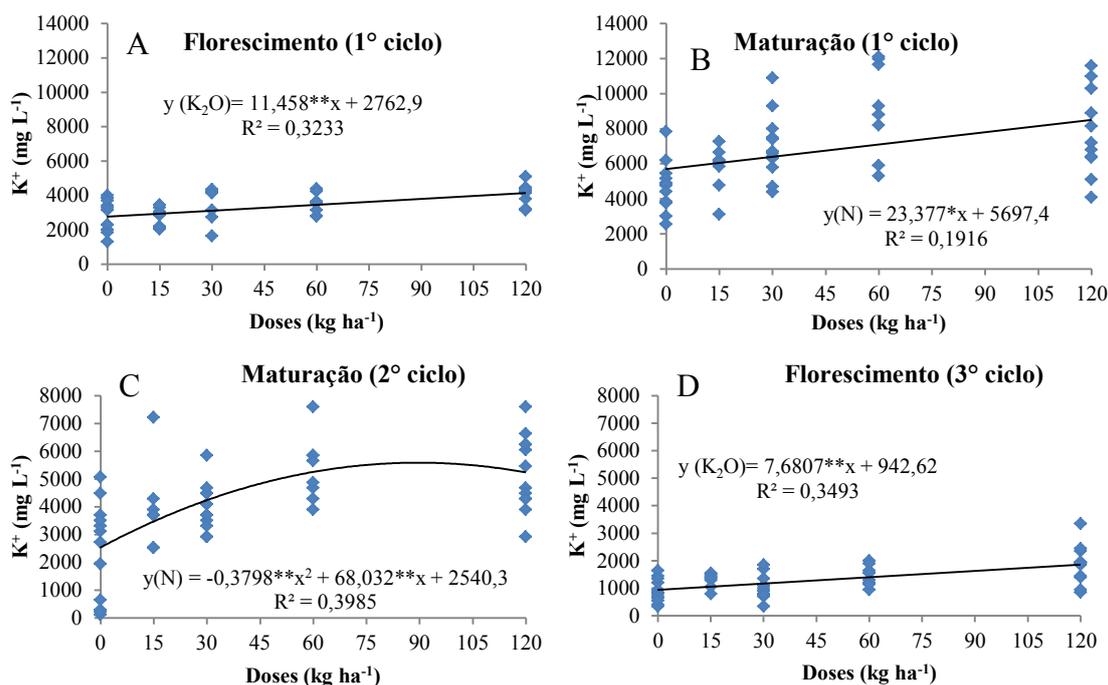
** e *: significativo a 1 e 5% de probabilidade pelo teste t.

Figura 41. Análise de regressão para a variável nitrato na seiva do pecíolo em função das doses de N e K₂O para na fase de florescimento e maturação, respectivamente no primeiro (A) e (B), segundo (C) e (D) e terceiro ciclo de produção da videira (E) e (F).

4.5.2.2. Concentração de potássio na seiva das plantas

A Figura 42 ilustra os modelos ajustados para os dados de K^+ obtidos na seiva do pecíolo da videira durante as fases de florescimento e maturação. No primeiro ciclo de produção o ajuste adotado foi o linear, para a fase de florescimento (Figura 42A) houve um acréscimo de $11,58 \text{ mg L}^{-1}$ para cada aumento unitário das doses de K_2O aplicado. Na fase de maturação (Figura 42B) o acréscimo foi de $23,377 \text{ kg ha}^{-1}$ para cada aumento unitário das doses de N aplicadas. Pode-se observar que o consumo de K^+ pelas plantas foi maior na fase de maturação, o que ocorreu de maneira contrária nas análises de NO_3^- . Percebe-se assim que existe uma maior exigência de K^+ durante a fase de maturação das uvas por parte das plantas.

Para a fase de maturação no segundo ciclo de produção (Figura 42C) o ajuste foi polinomial quadrático onde o maior valor ($5586,87 \text{ mg L}^{-1}$) foi observado para a dose de $89,56 \text{ kg ha}^{-1}$ de N. No terceiro ciclo de produção na fase de florescimento (Figura 42D) o ajuste do modelo de regressão adotado foi o linear com acréscimo de $7,6807 \text{ mg L}^{-1}$ para cada aumento unitário das doses de K_2O . Nagarajah (1999) em estudos sobre a concentração de nitrato e potássio no pecíolo de folhas de videira de vinho, observaram concentrações de K^+ entre 100 e 375 mg L^{-1} , enquanto Tecchio et al. (2011) obtiveram valores entre 2181 e 2545 ppm para videiras com enfoque na produção de uvas de mesa. Apesar das diferenças entre os valores na literatura citada e no presente estudo, uma comparação aprofundada parece ser equivocada, por se tratar de diferentes tratamentos, dentre outras relações. Porém, a vantagem do presente estudo esta relacionada aos períodos de coleta e o consumo dos nutrientes estudados (N e K_2O), em que se observa a inversão do aumento do consumo entre NO_3^- e K^+ nestas duas fases.



** e *: significativo a 1 e 5% de probabilidade pelo teste t.

Figura 42. Equação de ajuste para a concentração de K^+ na seiva das videiras: primeiro ciclo de produção na fase de florescimento (A) e maturação (B), segundo ciclo de produção na fase de maturação (C) e terceiro ciclo de produção na fase de florescimento (D)

4.5.2.3. Teor de clorofila nas folhas

A análise de variância (Tabela 30) ilustra os teores de clorofila A, B e total em folhas de videiras nas fases de florescimento e maturação. Para a variável clorofila A na fase de maturação, houve diferenças significativas para o fator doses de nitrogênio (N) no primeiro e terceiro ciclos de produção, e na fase de maturação apenas no terceiro ciclo de produção.

Para a variável teor de clorofila B na fase de florescimento houve diferenças significativas na probabilidade de 1% no primeiro e terceiro ciclos de produção para doses de N, enquanto para a fase de maturação o primeiro e terceiro ciclos apresentaram efeito das doses de N na probabilidade de 1% e 5%, respectivamente.

Os teores de clorofila total para fase de florescimento apresentaram efeito para doses de N no primeiro e terceiro ciclos de produção na probabilidade de 1% enquanto na fase de maturação, esta variável apresentou resposta para o fator doses de potássio na probabilidade de 5% ($0,05 > p$) no segundo ciclo de produção e para doses de N na probabilidade de 1% no terceiro ciclo de produção.

Tabela 30. Análise de variância (Teste F) para o teor de clorofila A, B e total em videiras de vinho cv. Syrah submetida a diferentes doses de nitrogênio e potássio

Fonte de variação	G.L	Quadrado médio					
		A	B	Total	A	B	Total
		-----primeiro ciclo de produção-----					
		-----Florescimento-----			-----Maturação-----		
Bloco	3	0,341 ^{ns}	11,56 ^{**}	15,885 ^{ns}	12,153*	1,967 ^{ns}	16,666 ^{ns}
N	4	98,267 ^{**}	29,07 ^{**}	234,24 ^{**}	5,818 ^{ns}	0,718 ^{ns}	7,449 ^{ns}
K ₂ O	4	5,715 ^{ns}	0,234 ^{ns}	8,263 ^{ns}	4,109 ^{ns}	2,885 ^{ns}	11,491 ^{ns}
N*K ₂ O	4	6,241 ^{ns}	5,193*	22,821 ^{ns}	1,004 ^{ns}	1,645 ^{ns}	4,040 ^{ns}
CV(%)		5,65	11,90	5,94	5,65	11,36	6,04
		-----segundo ciclo de produção-----					
		-----Florescimento-----			-----Maturação-----		
Bloco	3	2,384 ^{ns}	2,307*	5,897 ^{ns}	5,897 ^{ns}	5,538 ^{ns}	22,685*
N	4	4,902 ^{ns}	0,560 ^{ns}	5,718 ^{ns}	1,933 ^{ns}	6,442*	11,937 ^{ns}
K ₂ O	4	5,391 ^{ns}	0,404 ^{ns}	6,093 ^{ns}	5,308 ^{ns}	7,358*	25,437*
N*K ₂ O	4	2,129 ^{ns}	0,053 ^{ns}	6,687 ^{ns}	4,306 ^{ns}	0,516 ^{ns}	6,500 ^{ns}
CV(%)		7,39	14,54	8,16	4,15	12,33	5,53
		-----terceiro ciclo de produção-----					
		-----Florescimento-----			-----Maturação-----		
Bloco	3	45,04 ^{ns}	1,725 ^{ns}	1,154 ^{ns}	6,849 ^{ns}	1,367 ^{ns}	7,874 ^{ns}
N	4	16,86 ^{**}	6,128 ^{**}	42,761 ^{**}	26,359 ^{**}	11,675 ^{**}	71,30 ^{**}
K ₂ O	4	1,520 ^{ns}	1,713 ^{ns}	6,275 ^{ns}	1,862 ^{ns}	1,942 ^{ns}	68,37 ^{ns}
N*K ₂ O	4	8,907 ^{ns}	1,088 ^{ns}	3,994 ^{ns}	3,484 ^{ns}	1,017 ^{ns}	6,711 ^{ns}
CV(%)		4,44	15,89	6,34	4,65	7,17	4,89

A - Clorofila A, B - Clorofila B, Total - Clorofila total, ** e *: significativo a 1 e 5% respectivamente, ns: não significativo

Para o índice relativo do teor de clorofila, o fator doses de N foi responsável pelas melhores respostas das plantas nas duas fases fenológicas estudadas (Figura 43). Tal resposta já foi comprovada em diversas culturas (SOUZA et al., 2011; ARGENTA et al., 2001; CHAPMAN et al., 1997; DWYER, 1995) comprovando a importância deste estudo. Na fase de florescimento do primeiro ciclo de produção (Figura 44A), o ajuste adotado foi o linear com acréscimo de 0,0476; 0,0308; 0,0168 no índice relativo a cada aumento unitário da adubação nitrogenada, para a clorofila total, A e B respectivamente.

No segundo ciclo de produção na fase de maturação das uvas (Figura 43B) não foram obtidos ajustes significativos para as doses de K₂O estudadas nas variáveis clorofila total e B, onde o coeficiente de determinação (R²) ficou abaixo de 0,10, apesar de ser observada uma tendência ao aumento do índice relativo de clorofila conforme as doses de K₂O aplicadas. Para as doses de N, não foi obtido ajuste adequado para o índice relativo neste ciclo para a variável clorofila B, onde a equação linear

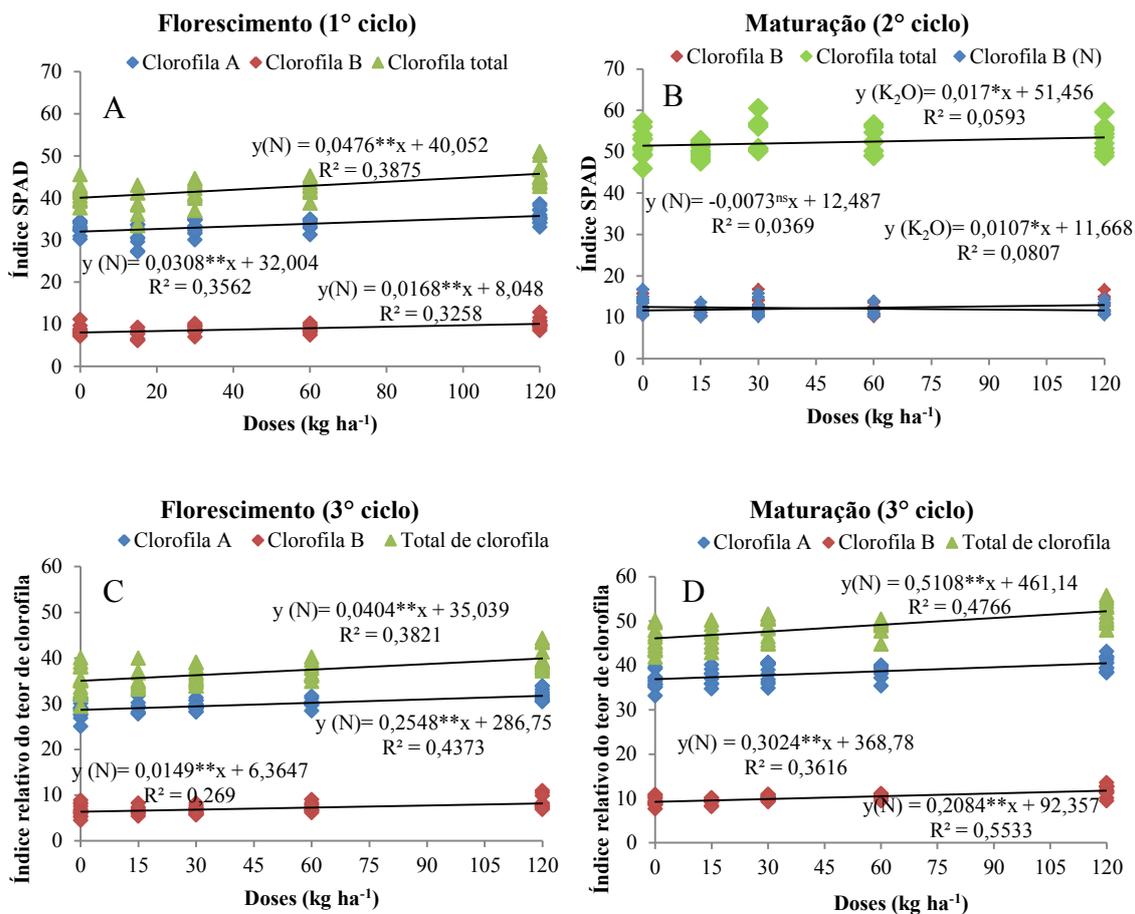
apresentou R^2 menor que 0,10, indicando que este modelo não apresentou boa representatividade dos dados obtidos neste período.

No terceiro ciclo de produção, a fase de florescimento (Figura 43C) mostrou um ajuste linear entre as doses de N aplicadas e o índice relativo, para a clorofila A, B e total, com aumento de 0,0149 (clorofila A); 0,0258 (clorofila B) e 0,040 (clorofila total) de índice relativo a cada aumento unitário das doses de nitrogênio no solo. Para a fase de maturação (Figura 43D) o ajuste linear proposto apresentou acréscimo de 0,2084 (clorofila A), 0,3024 (clorofila B), 0,5108 (clorofila total) a cada aumento unitário das doses de nitrogênio aplicadas.

Em estudos sobre a comparação de duas técnicas de medição de clorofila em folhas de videiras de vinho, Steele et al. (2008) concluíram que o medidor relativo mostra sensibilidade adequada para conteúdos de clorofila em folhas com índice abaixo de 300 mg m^{-2} de clorofila. Sendo assim, a utilização destes aparelhos se mostra confiável.

Em relação à resposta obtida no presente experimento em relação aos teores de N aplicados no solo, trabalhos como os de Chavarria et al. (2012), estudando a anatomia, teor de clorofila e potencial fotossintético de folhas de videira sob cobertura plástica, obtiveram valores médios de clorofila A (19,36), B (4,22) e total (20,61) inferiores aos apresentados no presente estudo.

Taskos et al. (2015) em estudos no norte da Grécia, utilizando medidores de clorofila para estimar o estado de nitrogênio e produtividade de videiras Cabernet Sauvignon e Xinomavro (*Vitis vinifera* L.) com aplicação de 0, 60 e 120 kg ha^{-1} de N, obtiveram valores próximos aos dos presente experimento, onde as maiores doses de N (120 kg ha^{-1}) apresentaram índice relativo do teor de clorofila de 40,1 (Cabernet Savgnion) e 38,1 (Xinomavro). Estes autores também observaram um aumento crescente do índice relativo de acordo com o aumento das doses de N aplicadas.



** e *: significativo a 1 e 5% de probabilidade pelo teste t. ns - não significativo

Figura 43. Equações de ajuste para o índice relativo do teor de clorofila em folhas de videira para as doses de nitrogênio e potássio aplicadas nas seguintes fases: de florescimento no primeiro ciclo de produção (A), maturação no segundo ciclo de produção (B), florescimento (C) e maturação (D) no terceiro ciclo de produção.

4.6. Características produtivas, composição do mosto, compostos fenólicos e ácidos orgânicos nas uvas

4.6.1. Produção total, peso médio dos cachos e número de cachos

A Tabela 31 ilustra a análise de variância para os parâmetros produtivos da videira cv. Syrah submetidas a diferentes doses de adubação nitrogenada e potássica via fertirrigação. No primeiro ciclo de produção apenas a variável peso médio dos cachos (PMC) apresentou efeito significativo na probabilidade de 5% ($0,05 > p$) para o fator doses de nitrogênio. No segundo ciclo de produção o fator doses de N apresentou diferenças significativas em todas as variáveis estudadas na probabilidade de 5% ($0,05 > p$), enquanto o fator doses de K₂O apresentou efeito nas variáveis produção total (PT) e o peso médio dos cachos (PMC). No terceiro ciclo de

produção apenas o fator doses de N apresentou efeito sobre as variáveis estudadas com probabilidade de 1% ($0,01 > p$).

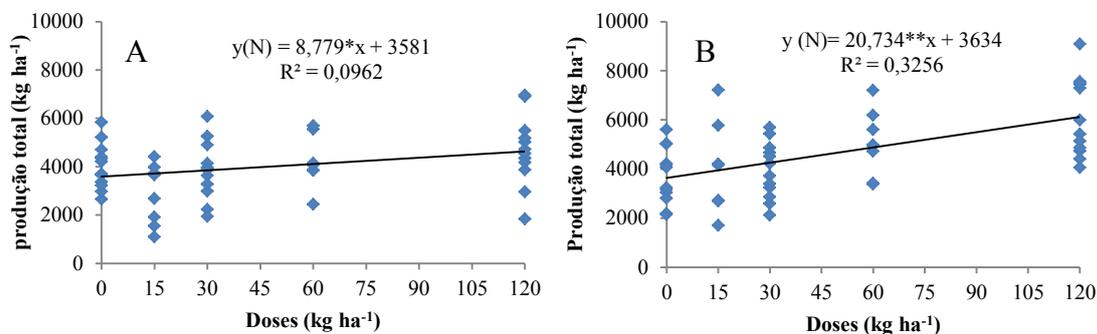
Tabela 31. Análise de variância para as variáveis produção total, peso médio dos cachos e número de cachos em três ciclos de produção de videira cv. Syrah.

Doses		Ciclo de produção								
		1°	2°	3°	1°	2°	3°	1°	2°	3°
N kg ha ⁻¹	K ₂ O	Produção total			Peso Médio de Cacho			Número de Cachos		
		----- kg ha ⁻¹ -----			----- g -----			----- planta ⁻¹ -----		
0	0	1283,3	4662,5	3063,5	72,9	90,4	99,5	5,3	15,4	9,1
0	30	1100,0	3507,3	3843,8	59,4	85,8	101,8	5,4	12,3	11,0
0	120	1384,4	3908,3	4274,0	72,3	84,0	116,2	5,6	13,8	11,1
15	15	620,8	2337,5	3191,7	47,8	69,5	95,3	3,6	9,8	9,8
15	60	1397,9	3415,6	4974,0	68,2	86,8	126,3	6,2	11,6	11,5
30	0	1508,3	4444,8	3842,7	79,1	91,7	112,5	5,9	14,4	10,0
30	30	1255,2	3849,0	4553,1	71,4	86,1	115,1	5,2	13,2	11,8
30	120	784,4	3264,6	3440,6	57,3	76,8	108,8	4,1	12,7	9,4
60	15	1316,7	3922,9	4427,1	73,3	80,9	116,8	5,0	14,3	11,3
60	60	1619,8	4511,5	5685,4	80,5	92,5	137,8	6,0	14,6	12,6
120	0	1729,2	4821,9	5972,9	87,6	98,9	141,1	5,8	14,6	12,6
120	30	1371,9	5308,3	5964,6	80,5	94,8	127,6	5,0	16,7	14,0
120	120	1078,1	3866,7	6449,0	79,9	91,4	144,6	3,9	12,2	13,2
F.V.		----- Análise de variância (teste F) -----								
Bloco		Ns	**	Ns	Ns	**	**	Ns	Ns	Ns
N		Ns	*	**	*	*	**	Ns	*	**
K ₂ O		Ns	*	Ns	Ns	*	Ns	Ns	Ns	Ns
N*K ₂ O		Ns	Ns	Ns	Ns	Ns	Ns	Ns	Ns	Ns
CV (%)		30,54	27,03	28,3	20,72	13,37	15,27	39,19	18,82	18,68

** e * significativo a 1 e 5% de probabilidade pelo teste F pelo teste F, Ns - não significativo

Para a variável produção total (PT) a análise de regressão apresentou ajuste linear tanto para o segundo (Figura 44A) como para o terceiro (Figura 44B) ciclo de produção, no qual houve um acréscimo de 8,779 kg ha⁻¹ e 20,734 kg ha⁻¹ a cada aumento unitário das doses de N aplicadas no solo no segundo e terceiro ciclo respectivamente, apresentando assim produções máximas de 4634,48 kg ha⁻¹ no segundo ciclo de produção e 6122,08 kg ha⁻¹ no terceiro ciclo de produção. A resposta do PT não apresentou ajuste para as doses de K₂O aplicadas via fertirrigação para nenhum dos modelos de regressão estudados (linear e quadrático). Os resultados obtidos para a resposta de N no presente experimento são semelhantes aos observados por Rocha et al. (2015) em estudos sobre fertirrigação nitrogenada e adubação orgânica em videiras de vinho cv. Syrah, onde foram observados valores máximos de 7.049,9 kg ha⁻¹, sem que houvesse efeito das doses de N aplicadas (0, 10, 20, 40 e 80 kg ha⁻¹) sobre a produção. Estudando o efeito de déficit hídrico em videiras Syrah, Bassoi et al. (2011)

também observaram um rendimento total nas videiras acima de 7.000 kg ha⁻¹, para o tratamento com irrigação plena, sendo este resultado próximo dos valores obtidos no presente experimento.



** e *: significativo a 1 e 5% de probabilidade pelo teste t.

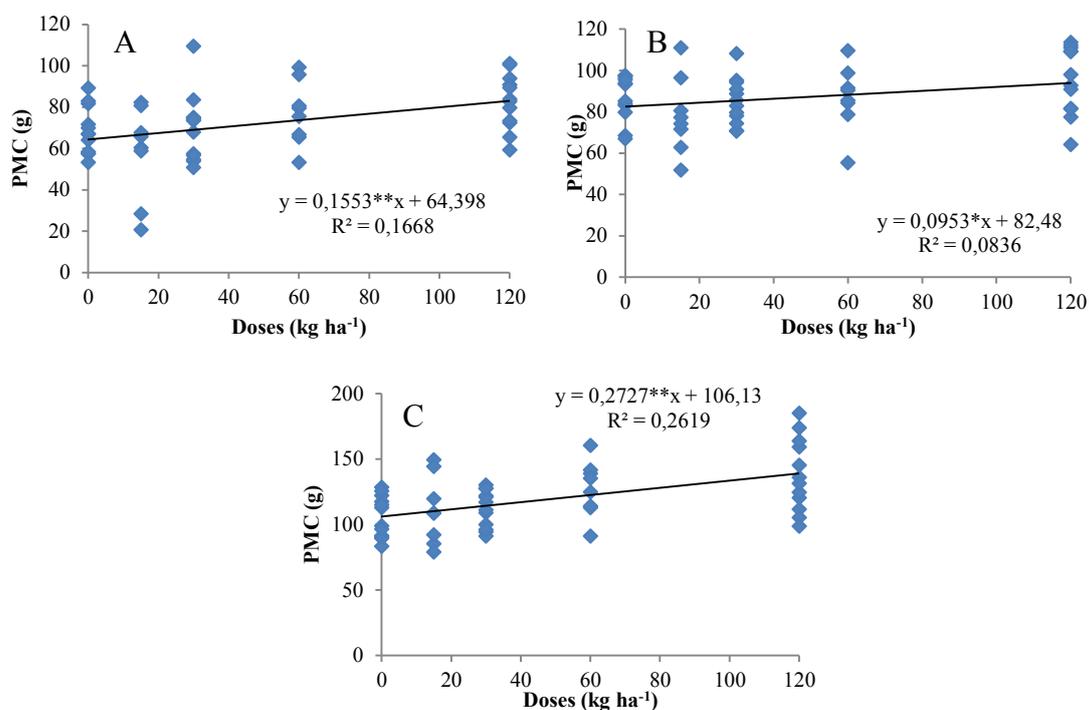
Figura 44. Equação de ajuste para a variável produção total da videira cv. Syrah submetida a diferentes doses de N via fertirrigação no segundo (A) e terceiro (B) ciclo de produção de videira cv. Syrah.

Para o peso médio dos cachos (PMC) o melhor ajuste estudado foi o linear com acréscimo de 0,1553 g para o primeiro ciclo (Figura 45A), 0,0953 g para o segundo ciclo (Figura 45B) e 0,2727 g para o terceiro ciclo (Figura 45C), a cada aumento unitário das doses de N estudadas. Apesar do primeiro e terceiro ciclos de produção apresentarem respostas as doses de N aplicadas para a variável PMC, apenas o terceiro ciclo de produção houve um aumento considerável de ganho de peso desta variável.

A resposta dos parâmetros produtivos da cultura da videira a adubação nitrogenada ainda é contraditória, pois diversos trabalhos no país relatam baixas respostas da cultura a adubação de N. Rocha et al. (2015) não obtiveram diferenças entre as adubações de N utilizadas para a produção de uvas da cultivar Syrah. Brunetto et al. (2013) em estudos sobre diferentes fontes de N na produção de videiras Cabernet Sauvignon não observaram diferenças na produção da cultura, apesar dos valores superiores apresentados pelos autores em relação ao presente estudo. Além da adubação mineral, outras fontes de N como a adubação orgânica não apresentaram efeitos sobre a produção. Trabalhos como os de Silva et al. (2014) utilizando esterco de caprino e Melo et al. (2012) demonstram a falta de reposição da produção a este tipo de fonte de nitrogenada.

Em relação a resposta apresentada no presente estudo às doses de N, Brunetto et al. (2007) em estudos sobre a aplicação de N em videiras Cabernet

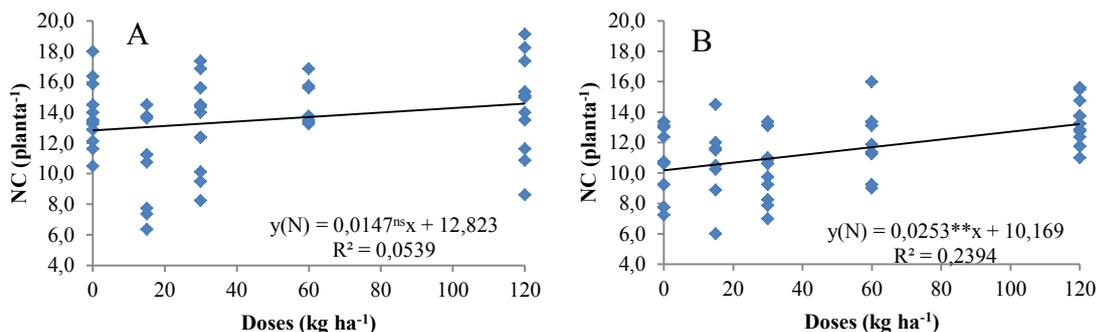
Sauvignon nas doses de 0, 15, 30, 45, 60 e 85 kg ha⁻¹ N observaram um efeito linear na produção de uvas de acordo com o aumento das doses de N aplicadas. Brunetto et al. (2009) observaram um efeito quadrático com maiores rendimentos na produção de uvas com aplicação de doses de 45 kg ha⁻¹, onde os maiores valores (3.920 kg ha⁻¹) foram menores do que os apresentados no presente estudo.



** e *: significativo a 1% e 5% de probabilidade respectivamente

Figura 45. Ajuste do modelo de regressão para a variável peso médio do cacho (PMC) submetida a diferentes doses de N no primeiro (A), segundo (B) e terceiro (C) ciclo de produção da videira cv. Syrah.

Para a variável número de cachos (NC) o ajuste adotado foi o linear, onde apesar de apresentar efeito significativo para as doses de N no teste F, o segundo ciclo de produção (Figura 46A) não apresentou ajuste adequado para a probabilidade adota ($0,05 > p$). No terceiro ciclo de produção (Figura 46B) o ajuste linear apresentou acréscimo de 0,0253 no número de cacho para cada aumento unitário das doses de N estudadas. Estes valores estão de acordo com os observados por Rocha et al. (2015) e Silva et al. (2014) em experimentos com adubação nitrogenada e potássica, realizados próximos a área do presente experimento. Porém, os valores apresentados foram inferiores aos obtidos por Brunetto et al. (2013) com média superior a 20 cachos por planta.



** e *: significativo a 1% e 5% de probabilidade respectivamente, ns - não significativo

Figura 46. Equação de ajuste para a variável número de cacho (NC) para a videira cv. Syrah submetida a diferentes doses de nitrogênio via fertirrigação no segundo (A) e terceiro (B) ciclo de produção.

4.6.2. Qualidade do mosto

No primeiro ciclo de produção (Tabela 32) a análise de variância (teste F) apresenta para o peso médio das bagas (P100b) diferença significativa na interação doses de N e K₂O na probabilidade de 1%. Na variável volume do mosto (VM) todos os fatores estudados apresentaram efeito dos fatores proposto no experimento na probabilidade de 1%, mas para a variável pH apenas o fator doses de N apresentou efeito na probabilidade de 1%. A acidez total titulável (ATT) apresentou diferenças para todos os fatores estudados a 1% de significância, enquanto que para a variável sólidos solúveis totais não foram observadas diferenças em relação aos fatores em estudo.

No segundo ciclo de produção apenas a variável pH do mosto foi influenciada por um dos fatores estudados, onde para as doses de N apresentou diferenças significativas na probabilidade de 5%. Para o terceiro ciclo de produção observou-se que o fator doses de N influenciou nos valores das variáveis VM (0,01>p), pH (0,01>p), ATT (0,05>p) e SST (0,05>p), enquanto as doses de K₂O influenciou apenas a variável AAT (0,05>p).

Tabela 32. Análise de variância para o peso médio de 100 bagas (P100b), volume do mosto (VM), pH, acidez total titulável (ATT) e sólido solúveis totais no mosto (SST).

Doses		Ciclos de produção														
		1°	2°	3°	1°	2°	3°	1°	2°	3°	1°	2°	3°	1°	2°	3°
N	K ₂ O	PCB			VM			pH			ATT			SST		
kg ha ⁻¹		----- g -----			----- mL -----			-----			-- %Ac. Tartári.--			----- °Brix -----		
0	0	153	131	165	64	63	84	3,8	3,9	3,6	7,2	5,7	5,8	22	22	19
0	30	161	143	188	59	78	85	3,8	4,1	3,5	7,2	5,6	6,7	22	22	20
0	120	182	142	183	61	66	87	3,8	4,0	3,5	7,2	6,5	6,9	22	22	20
15	15	141	137	178	52	65	88	3,8	4,2	3,7	7,3	5,3	6,2	22	22	20
15	60	183	147	191	50	77	89	3,8	4,1	3,6	7,7	6,2	6,8	21	22	19
30	0	181	139	177	97	74	73	3,8	4,0	3,4	4,8	5,9	6,8	22	22	20
30	30	164	139	180	68	77	71	3,9	4,1	3,5	6,6	5,6	6,9	22	23	18
30	120	158	136	170	43	70	64	3,7	4,0	3,5	6,9	6,4	6,8	22	23	16
60	15	192	138	174	77	66	72	3,9	4,0	3,5	6,5	6,2	6,8	22	23	17
60	60	163	144	183	70	76	83	3,8	3,9	3,5	7,2	6,4	7,0	22	24	18
120	0	166	144	172	77	70	68	4,0	3,9	3,5	7,1	6,7	6,5	23	22	17
120	30	185	152	182	94	72	78	4,0	3,9	3,4	6,6	7,5	7,2	22	22	19
120	120	176	143	178	99	79	88	3,9	4,2	3,5	5,1	6,3	7,5	21	23	17
F.V		----- Análise de variância (teste F) -----														
Bloco		Ns	**	Ns	Ns	Ns	Ns	Ns	Ns	Ns	*	Ns	**	Ns	Ns	Ns
N		Ns	Ns	Ns	**	Ns	**	**	*	**	**	Ns	*	Ns	Ns	*
K ₂ O		Ns	Ns	Ns	**	Ns	Ns	Ns	Ns	Ns	**	Ns	*	Ns	Ns	Ns
N*K ₂ O		**	Ns	Ns	**	Ns	Ns	Ns	Ns	Ns	**	*	Ns	Ns	Ns	Ns
CV (%)		9,22	8,32	8,51	12,3	15,7	14,6	2,28	14,5	12,8	8,54	3,91	8,0	3,7	8,1	9,3

** e * significativo a 1 e 5% de probabilidade pelo teste F pelo teste F, Ns - não significativo

Para a variável peso de 100 bagas, observa-se pela superfície de resposta (Figura 47) que o maior valor obtido pela equação de regressão ajustada foi de 173,86 g para as doses de 120 kg ha⁻¹ de N e K₂O. Este valor apresenta como superior aos obtidos por Rocha et al. (2015) em estudos sobre adubação nitrogenada e orgânica, onde no 1° ciclo de produção foram obtidos peso máximo das bagas no valor de 159,8 g. Porém, tais valores quando comparadas a outras regiões produtoras de uvas no mundo mostram-se superior e inferior dependendo da região. Fidelibus et al. (2006) na Califórnia, na região de San Joaquin Valley, observaram para cv. Cabernet Sauvignon o valor de 153,69g para o peso de 100 bagas, na safra de 2003. Jones e Davis (2000), em estudos sobre a influência climática nas características de uvas na região de Bordeaux na França, observaram para o peso de 100 bagas na variedade Cabernet Sauvignon valores próximos a 160 g, enquanto para a variedade Merlot os valores foram superiores a 180 g.

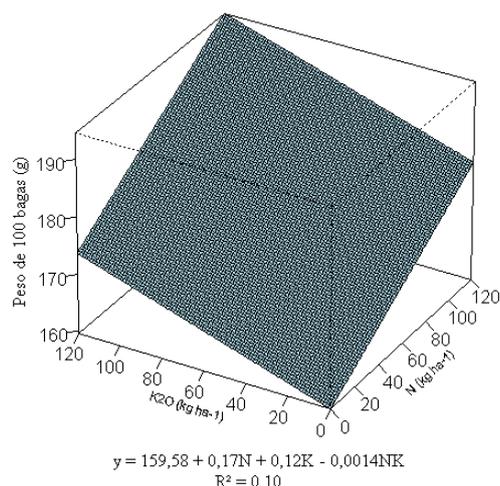
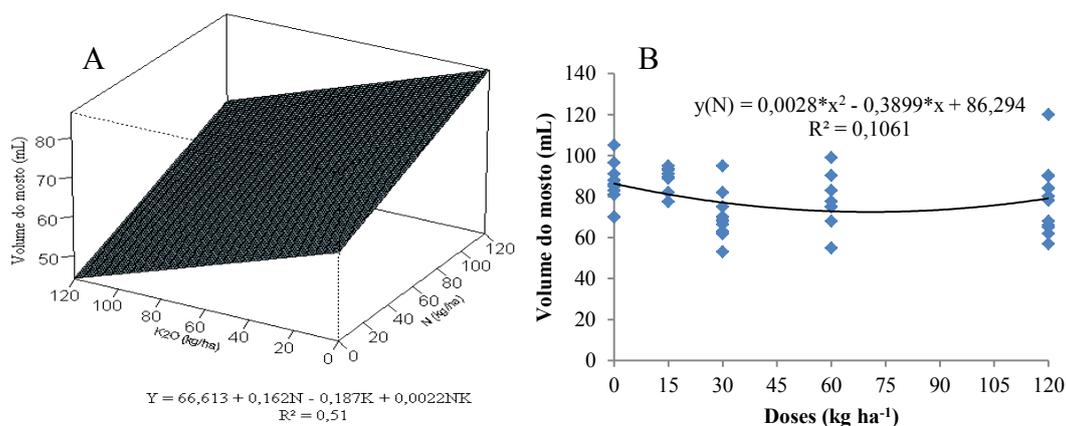


Figura 47. Superfície de resposta para a variável peso de 100 bagas no primeiro ciclo de produção da videira cv. Syrah.

Para a variável volume do mosto no primeiro ciclo de produção (Figura 48A), de acordo com a equação ajustada, apresentou o valor máximo de 95,29 mL obtido com a aplicação de 120 kg ha⁻¹ de N e K₂O. Para o terceiro ciclo de produção (Figura 48B) a equação polinomial quadrática ajustada apresentou os maiores valores (72,72 mL) para a aplicação de 69,6 kg ha⁻¹ de N. Tais valores estão próximos do obtido por Rocha et al.(2015) e maiores quando comparado aos valores obtidos por Bassoi et al. (2011) em áreas experimentais próximas. Em estudos sobre estratégias de fertirrigação e irrigação em diferentes frequências, Howell et al. (2013) observaram que a fertirrigação em conjunto com a irrigação frequente podem aumentar o volume das bagas das uvas colaborando para um aumento do volume total produzido.

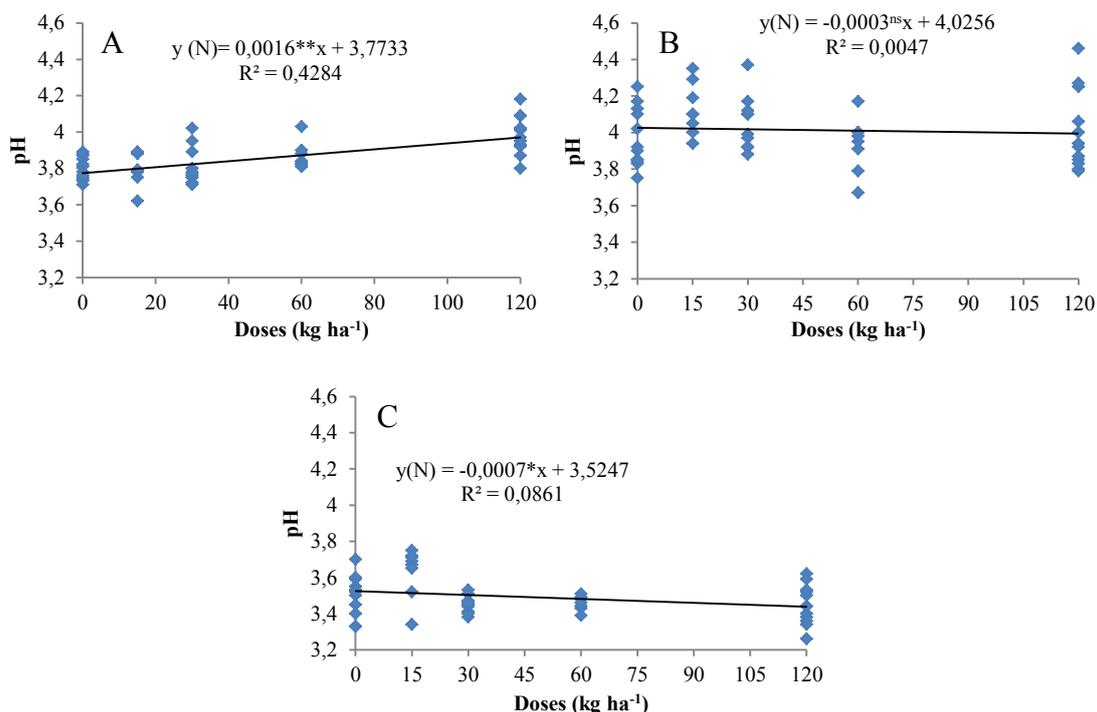


e *: significativo a 1% e 5% de probabilidade respectivamente, ns - não significativo

Figura 48. Análise de regressão para a variável volume do mosto em função de doses de N e K₂O (kg ha⁻¹) no primeiro (A) e terceiro (B) ciclo de produção da videira cv. Syrah.

Para a variável pH no mosto, observou-se para o primeiro ciclo de produção (Figura 49A) um ajuste linear com acréscimo de 0,0016 para cada aumento unitário das doses de N aplicadas via fertirrigação. No segundo ciclo de produção (Figura 49B) não houve um ajuste dos dados aos modelos de regressão estudados, apesar do teste F apresentar significância na probabilidade de 5%. Para o terceiro ciclo de produção (Figura 49C) o modelo ajustado foi o linear com decréscimo de 0,007 para cada aumento unitário das doses de N aplicada.

Estes resultados foram semelhantes aos apresentados por Keller et al. (1998), onde valores de pH de 3,35 no mosto de uvas Pinot Noir foram observados com aplicação de 90 kg ha⁻¹ de N, apresentando diferenças estatísticas em relação a não aplicação de adubações nitrogenadas. Hilbert et al. (2003) observaram para a cv. Merlot, que o fornecimento de N em diferentes concentrações não alteraram o pH do mosto das uvas ficando este no valor máximo de 3,75. Gachons et al. (2005) observaram em estudos sobre déficit hídrico e adubação nitrogenada para a cv. Sauvignon Blanc que o pH do mosto das uvas em três distintas safras ficou entre 3,20 e 3,42.



**e *: significativo a 1% e 5% de probabilidade respectivamente, ns - não significativo

Figura 49. Ajuste de modelo de regressão para a variável pH no primeiro (A), segundo (B) e terceiro (C) ciclos de produção da videira cv. Syrah.

A superfície de resposta para a acidez total titulável (ATT) no primeiro ciclo de produção (Figura 50A) apresentou um ajuste do modelo de regressão significativo a probabilidade de 5% pelo teste t, no qual os maiores valores de ATT (9,11 em % de ácido tartárico) foram obtidos para as doses de 120 kg ha⁻¹ de N e 30 kg ha⁻¹ de K₂O. No segundo ciclo de produção (Figura 50B) a superfície de resposta apresentou um ajuste significativo a 5% de probabilidade pelo teste t, no qual o maior valor de ATT (7,05 em % de ácido tartárico) foi observado para as doses de 120 kg ha⁻¹ de N e 0 kg ha⁻¹ de K₂O. No terceiro ciclo de produção (Figura 50C) apesar da análise de variância não apresentar diferenças significativas nos valores de probabilidade estabelecidos, foi realizada a análise de regressão em que se observou significância dos parâmetros estudados em relação à resposta de ATT na probabilidade de 5% gerando uma superfície de resposta em que as doses conjuntas de 120 kg ha⁻¹ de N e K₂O apresentaram valor de 7,18 % de ácido tartárico.

Delgado et al. (2004) em estudos sobre a alteração na composição fenólica de uvas sobre diferentes doses de N (0, 50 e 200 g videira⁻¹) e K₂O (0, 60 e 120 g videira⁻¹) em videiras Tempranillo, observaram valores máximos de acidez total de 4,47 para as doses de N e 4,99 para doses de K₂O. Freeman e Kliewer (1983), em estudos sobre déficit hídrico (sem irrigação e irrigação plena) e doses de sulfato de potássio (0 e 2,2 kg videira⁻¹), não observaram diferenças significativas entre as doses de sulfato de potássio aplicadas, observando-se apenas uma queda nos valores de ATT de acordo com o aumento dos sólidos solúveis totais. Spayd et al. (1994), em estudos sobre doses de adubação nitrogenada (0, 56, 112 e 224 kg ha⁻¹) em uvas Riesling e sua influência na composição do mosto não observaram diferenças significativas em relação as doses de N aplicadas obtendo-se maiores valores de ATT nas doses de 0 kg ha⁻¹ (8,10 g L⁻¹) e 112 kg ha⁻¹ (8,10 g L⁻¹).

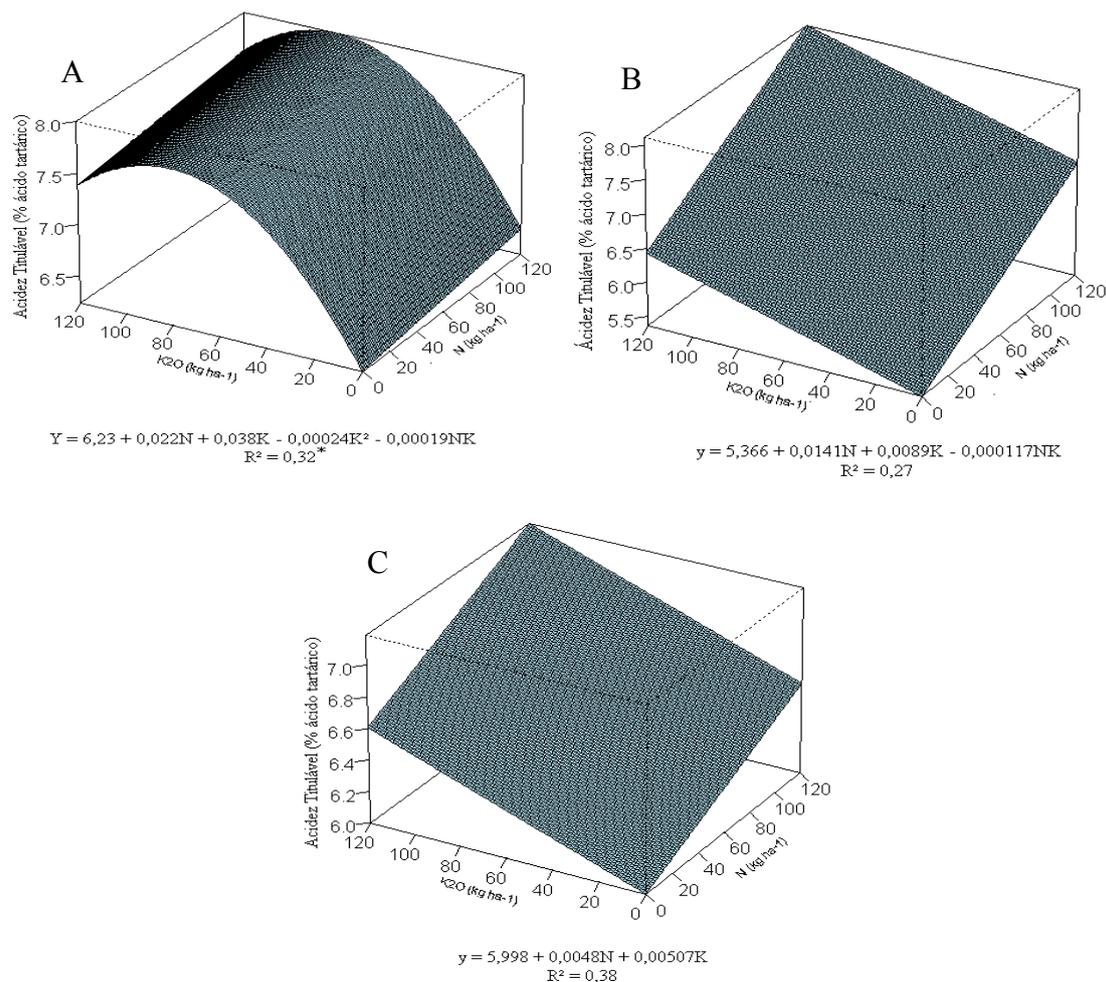
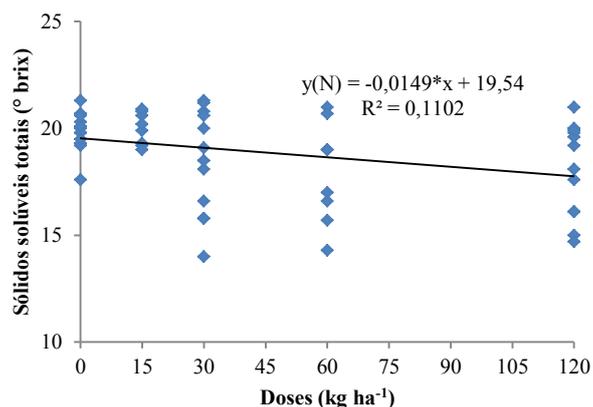


Figura 50. Modelos ajustados para a variável acidez titulável em função de doses de N e K₂O no primeiro (A), segundo (B) e terceiro (C) ciclos de produção da videira cv. Syrah.

Para a variável sólido solúveis totais (SST) apenas o terceiro ciclo de produção apresentou diferenças significativas, sendo a variável SST influenciada apenas pelas doses de N estudadas (Figura 51). O modelo de regressão melhor ajustado foi o linear com decréscimo de 0,0149 °brix a cada aumento unitário das doses de N propostas. Keller et al. (1999) em estudos sobre doses de N (0, 30, 60, 90 kg ha⁻¹) em videiras de vinho cv. Pinot Noir, não observaram influência das doses de N em relação aos valores SST nas uvas. Délgado et al. (2004) observaram uma redução da variável SST de acordo com o aumento das doses de N aplicadas (0, 50, 200 g videira⁻¹), sendo estes resultados mais próximos dos observados no terceiro ciclo de produção do presente experimento.



**e *: significativo a 1% e 5% de probabilidade respectivamente, ns - não significativo

Figura 51. Equação de ajuste para a variável sólidos solúveis totais no terceiro ciclo de produção da videira cv. Syrah.

4.6.3. Compostos fenólicos

A análise de variância (Teste F) ilustra os fenólicos totais para as uvas de vinho submetida a diferentes doses de N e K₂O (Tabela 33). Para a variável antocianinas (AT) houve diferenças significativas para a interação N e K₂O nos três ciclos de produção na probabilidade de 5%.

Para a variável flavonóide (FL) houve diferenças significativas para o fator K₂O e para a interação N e K₂O na probabilidade de 5% para o segundo ciclo de produção, enquanto o terceiro ciclo de produção houve diferenças significativas apenas para a interação N e K₂O na probabilidade de 1%.

Para a variável polifenóis totais (PT) houve diferenças significativas em todos os ciclos de produção estudados. Para o primeiro ciclo de produção houve diferenças significativas na probabilidade de 1% para os fatores doses de N e doses de K₂O, enquanto o fator doses de N e K₂O apresentou diferenças significativas na probabilidade de 5%. O segundo ciclo de produção apresentou diferenças significativas para os fatores doses de N e a interação doses de N e K₂O na probabilidade de 1%. No terceiro ciclo de produção a variável PT apresentou diferenças significativas apenas para as doses de N aplicadas na probabilidade de 1%.

Tabela 33. Análise de variância para as variáveis antocianinas (AT), favonoídes (FL) e polifenóis totais (PT) nos diferentes ciclos de produção de videira estudados.

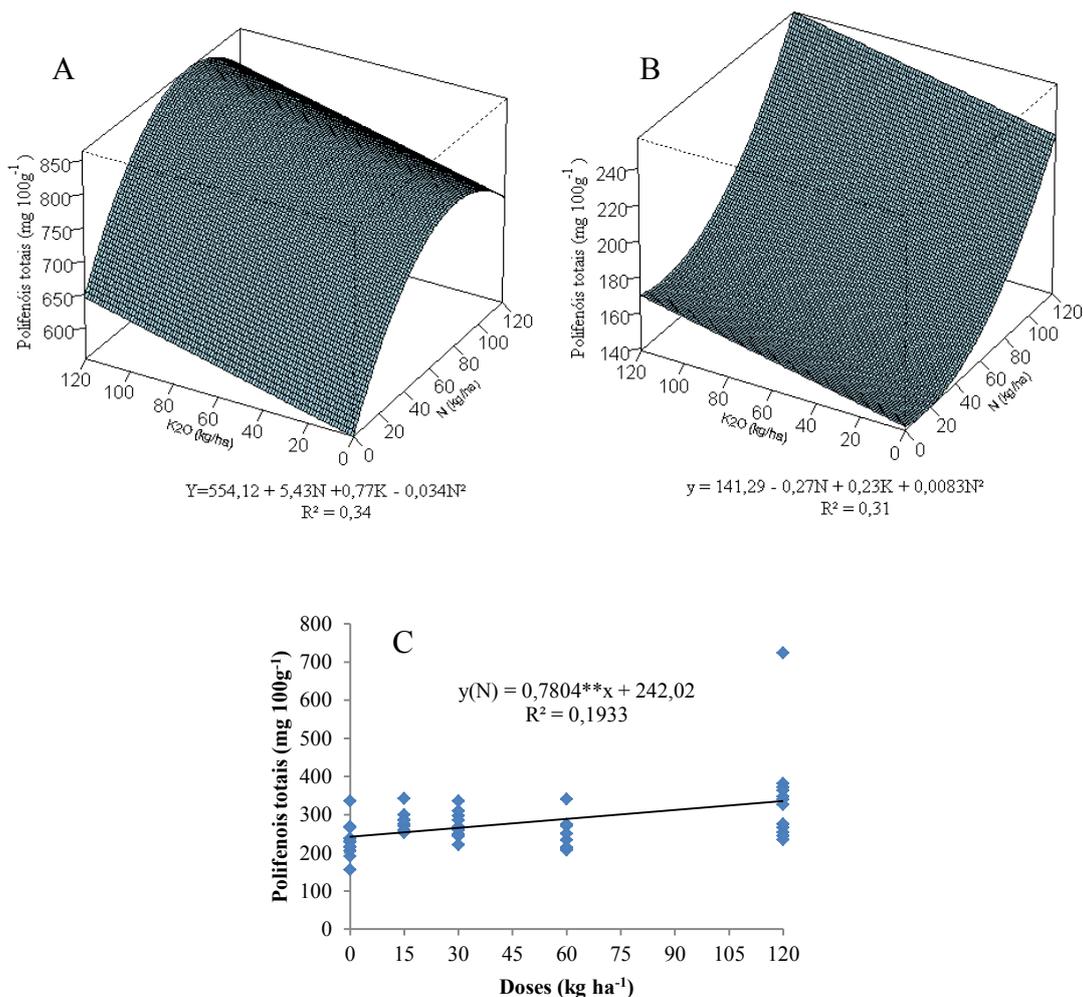
Doses		Ciclos de produção								
		1°	2°	3°	1°	2°	3°	1°	2°	3°
N kg ha ⁻¹	K ₂ O	Polifenóis			Antocianinas			Flavonoídes		
		-----mg 100g ⁻¹ -----			-----mg 100g ⁻¹ -----			---- mg 100g ⁻¹ ---		
0	0	593	199	245	369	422	588	212	130	157
0	30	604	108	208	384	313	509	197	92	155
0	120	586	195	245	468	416	453	234	141	132
15	15	653	136	288	383	416	494	204	130	148
15	60	635	150	281	471	328	402	230	107	127
30	0	621	98	278	469	346	421	206	104	113
30	30	748	155	253	327	298	384	186	102	98
30	120	827	109	282	348	328	808	192	96	217
60	15	816	154	249	374	424	542	192	128	134
60	60	745	249	253	366	394	465	201	115	145
120	0	581	239	428	352	165	505	190	132	124
120	30	863	194	265	448	373	521	194	109	135
120	120	818	274	340	378	316	384	179	99	116
F.V		----- Análise de variância (teste F) -----								
Bloco		Ns	Ns	Ns	Ns	Ns	Ns	Ns	Ns	Ns
N		**	**	**	Ns	**	Ns	Ns	Ns	Ns
K ₂ O		**	Ns	Ns	Ns	*	Ns	Ns	*	Ns
N*K ₂ O		*	**	Ns	**	*	**	Ns	*	**
CV (%)		14,2	27,3	23,5	15,7	21,3	29,1	15,3	16,9	29,8

** e * significativo a 1 e 5% de probabilidade pelo teste F pelo teste F, Ns - não significativo

Para a variável polifenóis totais no primeiro ciclo de produção (Figura 52A) a superfície de resposta apresentou um ajuste significativo na probabilidade de 5% ,onde o maior valor obtido (862,65 mg 100 g⁻¹) foi observado nas doses de 75,42 kg ha⁻¹ de N e 120 kg ha⁻¹ de K₂O. No segundo ciclo de produção (Figura 52B) observou-se um ajuste significativo na probabilidade de 5% no modelo de regressão ajustado, onde os maiores valores (256,01 mg 100g⁻¹) foram observados nas doses de 120 kg ha⁻¹ de N e K₂O. No terceiro ciclo de produção (Figura 52C) o ajuste foi linear com aumento de 0,78 mg 100g⁻¹ para cada aumento unitário das doses de N no solo via fertirrigação.

O suprimento de N e K₂O via fertirrigação promoveu aumento nas concentrações de polifenóis totais. Tais resultados diferem dos observados por Cavaliere et al. (2010) em estudos sobre irrigação e doses de N em videiras cv. Red Globe, que não observaram diferenças na concentração de polifenóis em relação às doses de adubação nitrogenada aplicada. A prática de uma adubação adequada e um manejo de irrigação eficiente na época de colheita são fatores decisivos na concentração

de polifenóis totais nas uvas, pois segundo Kennedy et al. (2000) existe uma redução drástica na concentração de polifenóis nas bagas durante o amadurecimento. Segundo Peña-Neira et al. (2004), o vigor das plantas também podem influenciar nos composto fenólicos das uvas após a fase de amadurecimento destas, além de que cada variedade e região podem apresentar valores e comportamentos diferentes aos apresentados no presente estudo (KATALINIC' et al., 2010).



**e *: significativo a 1% e 5% de probabilidade respectivamente, ns - não significativo

Figura 52. Superfície de resposta para a variável polifenóis totais (mg 100g⁻¹) em função de doses de N e K₂O (kg ha⁻¹) no primeiro (A), segundo (B) e terceiro (C) ciclo de produção da videira cv. Syrah.

Para a variável antocianinas (AT) a superfície de resposta no primeiro ciclo de produção (Figura 53A) apresentou uma equação com baixo ajuste ($R^2 = 0,10$) onde os maiores valores ($416,48 \text{ mg } 100\text{g}^{-1}$) foram observados para as doses de 0 kg ha^{-1} de N e 120 kg ha^{-1} de K_2O .

No segundo ciclo de produção novamente houve um efeito inversos entre as doses de N, que apresentou menor concentração de AT conforme o aumento das doses aplicadas, e as doses de K_2O que apresentaram um aumento inicial na concentração de antocianinas nas primeiras doses de adubação aplicadas (Figura 53B). Os maiores valores de AT para este ciclo ($387,24 \text{ mg } 100\text{g}^{-1}$) foram obtidos para as doses de 0 kg ha^{-1} de N e 30 kg ha^{-1} de K_2O .

No terceiro ciclo (Figura 53C) os maiores valores obtidos pela equação ajustada ($520,36 \text{ mg } 100\text{g}^{-1}$) foram observados para as doses de 0, 30 e 120 kg ha^{-1} de N e 0 kg ha^{-1} de K_2O . Souberyand et al. (2014), em estudos sobre o suprimento de N (0, 60 e 120 kg ha^{-1}) e sua influência na biossíntese de antocianinas em videiras Cabernet Sauvignon, observaram que existe uma redução na síntese de antocianinas nas plantas com o aumento da adubação nitrogenada como observado no presente experimento nos dois primeiros ciclos de produção.

Hilbert et al. (2003) também observaram menores concentrações de AT nas maiores doses de N (1,4 mM; 3,6 mM e 7,2 mM) além de uma redução nos valores de AT em todos os tratamentos de acordo com a época de maturação.

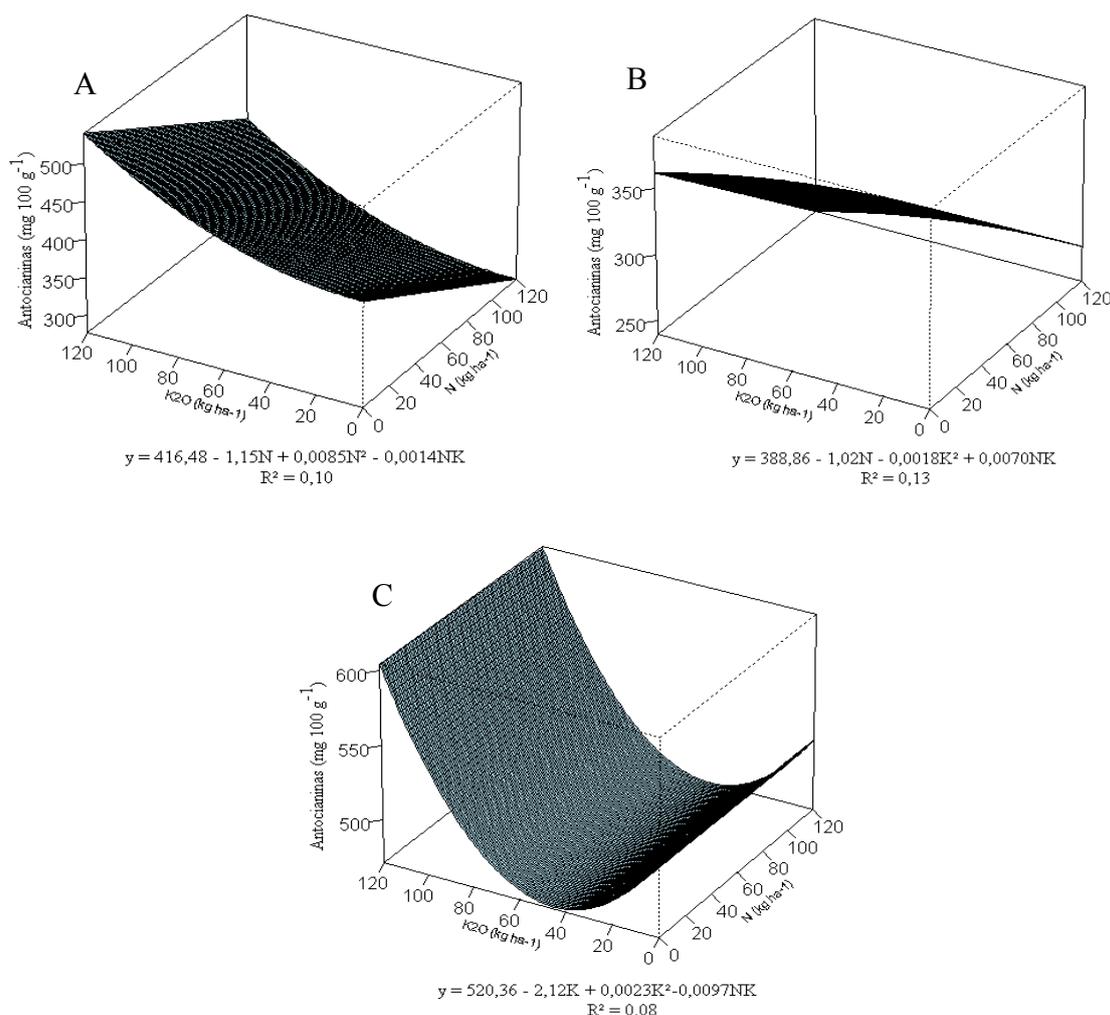


Figura 53. Superfície de resposta para a variável antocianinas ($\text{mg } 100\text{g}^{-1}$) em função de doses de nitrogênio e potássio (kg ha^{-1}) no primeiro (A), segundo (B) e ciclo (C) ciclo de produção da videira cv. Syrah.

Para a variável flavonoides no segundo ciclo de produção (Figura 54A) apesar do baixo ajuste da equação apresentada, os maiores valores, que estão entre $131,66$ e $136,76 \text{ mg } 100\text{g}^{-1}$, foram obtidos para as doses de 120 kg ha^{-1} de N e 0 kg ha^{-1} de K_2O , e 120 kg ha^{-1} de N e 30 kg ha^{-1} de K_2O . No terceiro ciclo (Figura 54B) de produção o maior valor ($158,96 \text{ mg } 100\text{g}^{-1}$) foi observado para as doses de 30 kg ha^{-1} de N e 120 kg ha^{-1} de K_2O .

Segundo Downey et al. (2004) o excesso de nutrientes como o N e K_2O provocam vigor excessivo nas plantas, reduzindo o teor dos compostos fenólicos nas bagas das uvas. Tal questão também foi observada por Keller e Hrazdina (1998), estudando o suprimento de N e sua influencia nos compostos fenólicos após a

maturação e por Delgado et al. (2004), em estudos sobre as alterações nos compostos fenólicos submetida a diferentes doses de N e K₂O.

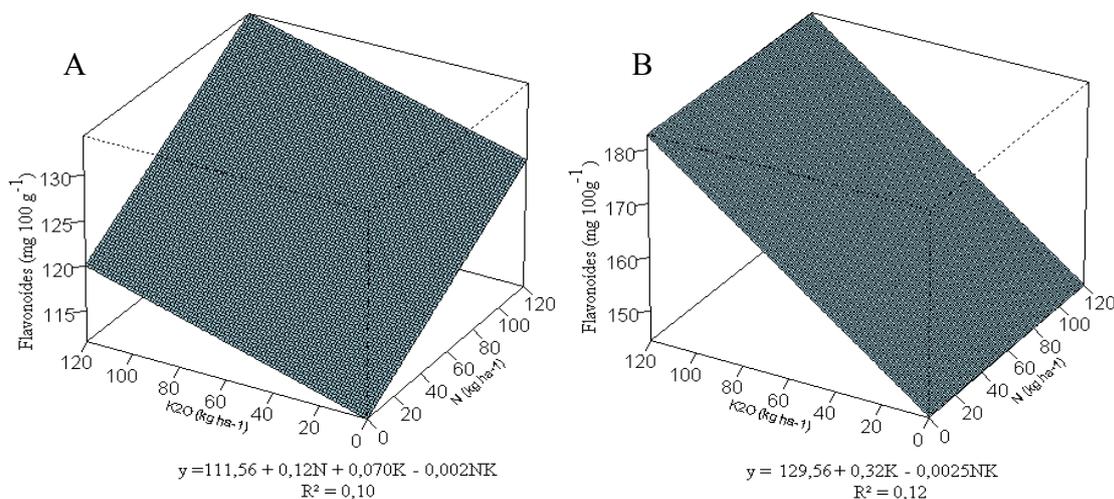


Figura 54. Superfície de resposta para a variável flavonoides (mg 100 g⁻¹) em uvas de videira cv. Syrah submetida a diferentes doses de nitrogênio e potássio via fertirrigação no segundo (A) e terceiro (B) ciclo de produção da videira cv. Syrah.

4.6.4. Ácidos orgânicos

A Tabela 34 ilustra a análise de variância para a concentração de ácidos orgânicos nos três ciclos de produção estudados. No primeiro ciclo de produção todas as variáveis estudadas foram influenciadas pelo fator N na probabilidade de 1%. Para o fator doses de K₂O apenas o ácido tartárico foi influenciado, apresentando diferenças significativas na probabilidade de 1% pelo teste F. Para a interação N e K₂O apenas a variável ácido tartárico apresentou diferenças significativas na probabilidade de 1%.

Tabela 34. Análise de variância para as variáveis ácido acético (AAC), ácido cítrico (AC), ácido málico (AM), ácido succínico (AS), ácido tartárico (AT), obtidas em uvas de videiras Syrah submetidas a diferentes doses de nitrogênio e potássio via fertirrigação.

Fonte de variação	Quadrado médio					
	G.L	AAC	AC	AM	AS	AT
1º ciclo de produção						
Bloco	3	9266,3 ^{ns}	66,2 ^{ns}	42168,0 ^{ns}	79506*	56429,3 ^{ns}
N	4	27513,6**	393,2**	379522,6**	1121021**	231455**
K ₂ O	4	2575,2 ^{ns}	91,7 ^{ns}	47029,0 ^{ns}	2117 ^{ns}	111403,2**
N*K ₂ O	4	6983,2	35,5 ^{ns}	16983,7 ^{ns}	102426 ^{ns}	156272,7**
CV(%)		31,1	16,7	9,27	18,9	29,5
2º ciclo de produção						
Bloco	3	5832,9 ^{ns}	80,0 ^{ns}	21733,2 ^{ns}	7788,7 ^{ns}	18526,1 ^{ns}
N	4	4837,2 ^{ns}	107,1 ^{ns}	23010,7 ^{ns}	57876,7*	9837,7 ^{ns}
K ₂ O	4	3351,1 ^{ns}	179,2 ^{ns}	52924,2 ^{ns}	104675,9*	7105,7 ^{ns}
N*K ₂ O	4	6924,6 ^{ns}	125,4 ^{ns}	24777,9 ^{ns}	47936,3 ^{ns}	29182,8 ^{ns}
CV(%)		32,4	17,8	10,3	21,9	23,8
3º ciclo de produção						
Bloco	3	16588,7*	186,9 ^{ns}	26503,6 ^{ns}	25599,1 ^{ns}	74083,2 ^{ns}
N	4	21242,9**	715,5**	50342,6*	128729,5**	317785,5**
K ₂ O	4	11726,9*	93,1 ^{ns}	38778,7*	57505,2*	79606,8 ^{ns}
N*K ₂ O	4	28279,8**	162,1 ^{ns}	10805,2 ^{ns}	7392,0 ^{ns}	32729,1 ^{ns}
CV(%)		52,9	20,6	7,89	16,6	16,0

** e * significativo a 1 e 5% de probabilidade pelo teste F pelo teste F, ns - não significativo

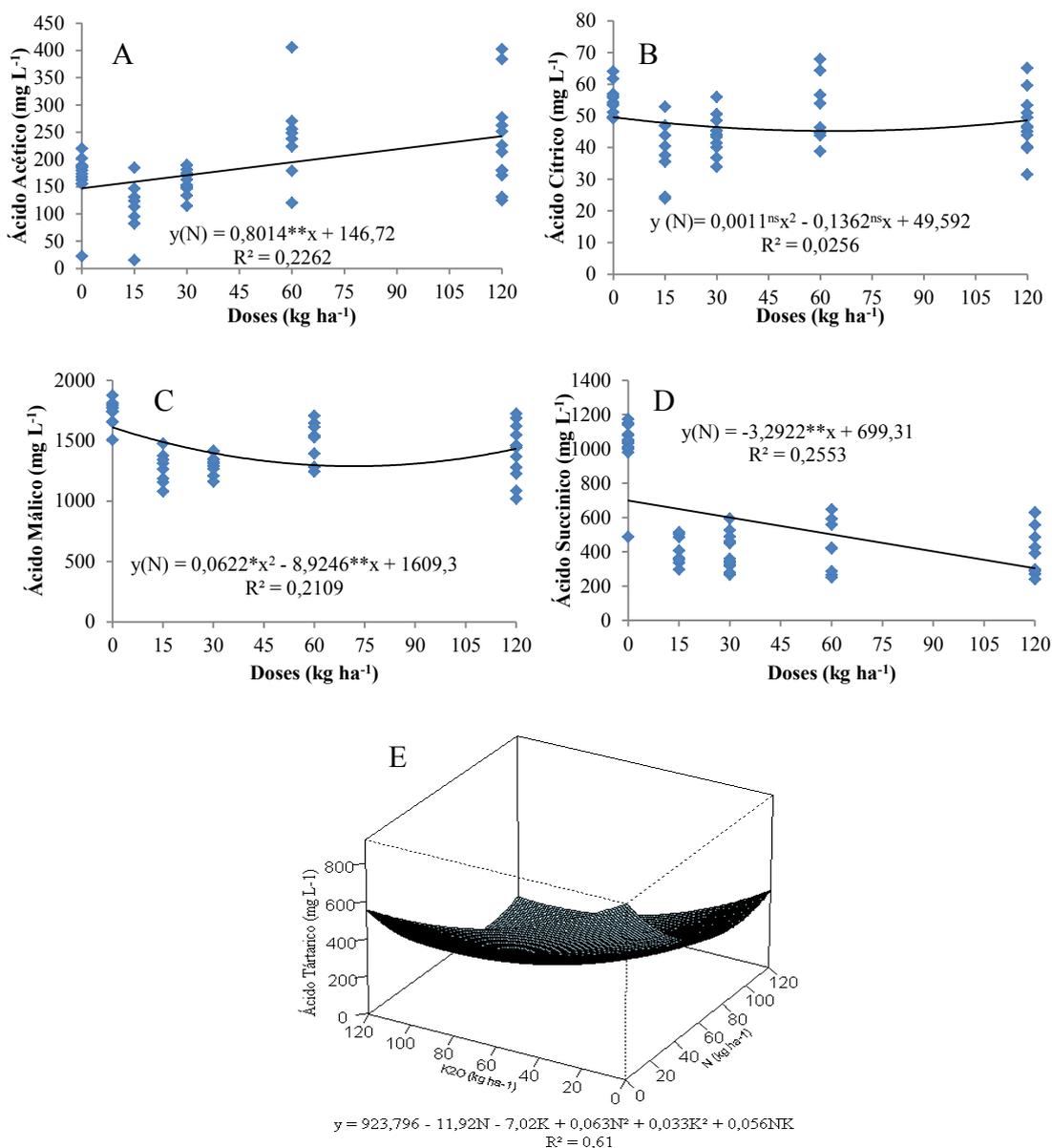
Para a variável ácido acético (Figura 55A) houve um ajuste linear significativo a 1% de probabilidade pelo teste T, para o fator doses de nitrogênio, no qual houve um acréscimo de 0,80 mg L⁻¹ para cada aumento unitário das doses de N aplicadas. Para o ácido cítrico (Figura 55B) os modelos estudados não apresentaram ajuste dos modelos estudados para os dados obtidos. Para o ácido málico (Figura 55C) o ajuste foi polinomial quadrático onde os maiores valores foram obtidos para a dose de 0 kg ha⁻¹ de N.

Para a variável ácido succínico (Figura 55D) o ajuste foi linear significativo na probabilidade de 1% (0,01>p) com decréscimo de 3,29 mg L⁻¹ para cada aumento unitário das doses de N. Para a variável ácido tartárico a superfície de resposta apresentou maior valor (923,79 mg L⁻¹) para as doses de 0 kg ha⁻¹ de N e K₂O e menor valor (542,95 mg L⁻¹) para as doses de 94,15 kg ha⁻¹ de N e 105,51 kg ha⁻¹ de K₂O.

Spayd et al. (1994) em estudos sobre doses de nitrogênio (0, 56, 112 e 224 kg ha⁻¹) em videiras não observaram diferenças entre as doses estudadas e as variáveis ácido tartárico e málico. Preiner et al. (2013) estudando a concentração de

ácidos orgânicos em diferentes cultivares de *Vitis vinifera* L. em vinícolas da Croácia observaram uma variação na concentração de ácido tartárico entre 4,5 à 7,18 g L⁻¹, enquanto para o ácido málico houve uma variação de 0,31 à 3,40 g L⁻¹ e ácido cítrico de 110 a 368 mg L⁻¹.

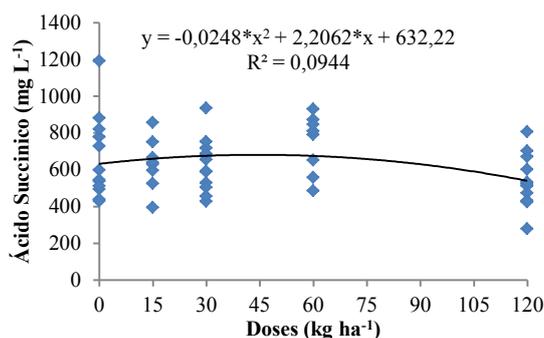
Hilbert et al. (2003) em estudos sobre diferentes concentrações de nitrogênio em videiras cv. Merlot observaram um aumento crescente na concentração de ácido tartárico e uma redução no ácido málico de acordo com o aumento das doses de N utilizadas.



**e *: significativo a 1% e 5% de probabilidade respectivamente, ns - não significativo

Figura 55. Concentração dos ácidos orgânicos em uvas de videira cv. Syrah submetida à adubação potássica e nitrogenada no primeiro ciclo de produção: ácido acético (A), ácido cítrico (B), ácido málico (C), ácido succínico (D) e ácido tartárico.

Para o segundo ciclo de produção a variável ácido succínico (Figura 56) apresentou ajuste polinomial quadrático significativo na probabilidade de 5% onde o maior valor foi observado para a dose de 44,47 kg ha⁻¹ de N. Segundo Budola et al. (2012) os ácidos orgânicos tem grande contribuição para a composição, estabilidade e características organolépticas dos vinhos. O ácido succínico participa da fermentação alcoólica e normalmente é formado pela ação das leveduras, como afirmam Baron e Fiala (2012) e Guitierrez (1988). Baron e Fiala (2012) constataram que as fontes de nitrogênio estão associadas a produção de ácido glutâmico que é um dos responsáveis pela síntese de ácido succínico nos vinhos. Porém, Guitierrez (1998) observou que a adição de sulfato de amônio na produção de vinhos reduzem a produção de ácido succínico, como ocorrido no presente experimento na composição do mosto nos três ciclos de produção estudados.



**e *: significativo a 1% e 5% de probabilidade respectivamente, ns - não significativo

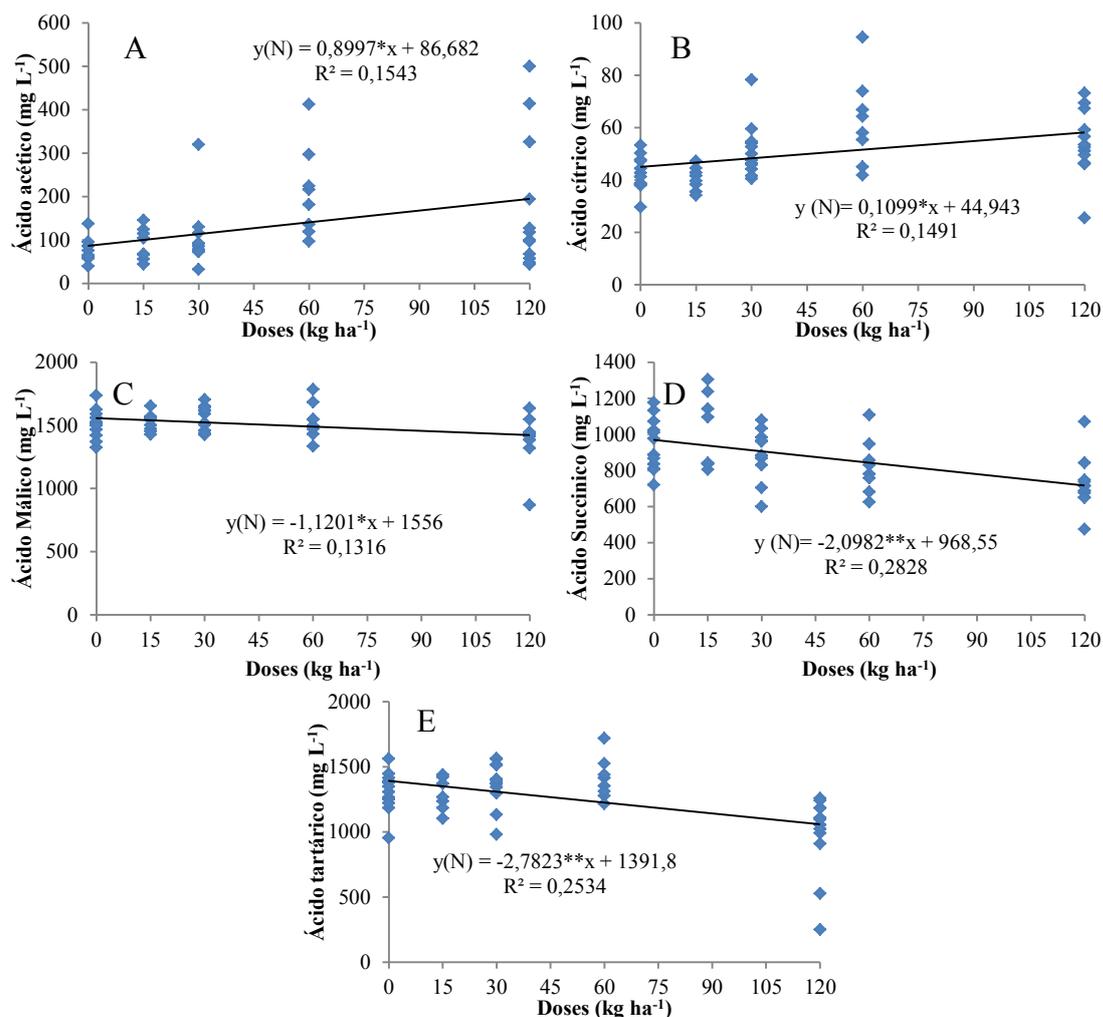
Figura 56. Ajuste de equação para a concentração de ácido succínico no mosto da uva no segundo ciclo de produção da videira cv. Syrah.

No terceiro ciclo de produção apenas o fator doses de N apresentou diferenças significativas entre as variáveis estudadas. Para a concentração de ácido acético (Figura 57A) o ajuste foi linear com acréscimo de 0,8997 mg L⁻¹ para cada aumento unitário nas doses de N aplicadas. O ácido cítrico (Figura 57B) também apresentou ajuste linear com significância de 5% de probabilidade no qual houve um acréscimo de 0,1099 mg L⁻¹ para cada aumento unitário das doses de N estudadas. Para o ácido málico (Figura 57C) houve um decréscimo de 1,2101 mg L⁻¹ em sua concentração para cada aumento unitário das doses de N, mesmo comportamento apresentado para o ácido succínico (Figura 57D), na qual a redução foi de 2,0982 mg L⁻¹

Para o ácido tartárico, ao contrário do ocorrido no ciclo inicial do experimento, onde tanto a aplicação de nitrogênio como a de potássio influenciaram em sua concentração, apenas as doses de N apresentaram influência sobre esta variável, apresentando para o modelo de regressão ajustado uma probabilidade de 1% de significância para o fator estudado. Observa-se que houve um decréscimo de 2,7823 mg L⁻¹ para cada aumento unitário das doses de N aplicadas via fertirrigação.

Importante para as características organolépticas do vinho (VOLSCHEK et al., 2006) o ácido málico nem sempre é influenciado pela aplicação de N no solo, como no presente experimento. Segundo Bell e Henschike (2005) este fato pode ocorrer devido a diversos fatores (água, solo, clima etc.) em que as videiras estão submetidas no campo. Porém, trabalhos como os de Hilbert et al. (2003) e Brunetto et al. (2007) demonstram que o ácido málico apresenta diferenças quando submetidos a doses de N.

Na concentração de ácido tartárico em uvas existe na literatura trabalhos que relatam o aumento da concentração deste ácido de acordo com as doses de N. Brunetto et al. (2007), em experimentos na região da Campanha Gaúcha, observaram um aumento crescente na concentração de ácido málico em uvas de vinho até a dose de 45 kg ha⁻¹ de N. Hilbert et al. (2003) também observaram aumento na concentração desta variável em uvas de cv. Merlot de acordo com incremento da adubação nitrogenada. Porém, como no presente estudo, Keller et al. (1999) observaram que a dose de N (90 kg ha⁻¹) aplicada reduziu a concentração de ácido tartárico nas uvas de videira cv. Pinot Noir.



**e *: significativo a 1% e 5% de probabilidade respectivamente, ns - não significativo

Figura 57. Concentração dos ácidos orgânicos em uvas de videira cv. Syrah submetida à adubação potássica e nitrogenada no terceiro ciclo de produção: ácido acético (A), ácido cítrico (B), ácido málico (C), ácido succínico (D) e ácido tartárico (E).

4.6.5. Análise nutricional do mosto

Para a variável nitrogênio amoniacal (N-NH₃) no mosto das uvas, apenas o fator doses de N apresentou influência nesta variável pelo teste F, apresentando significância na probabilidade de 1% em todos os ciclos de produção (Tabela 35). Para a variável K, o primeiro ciclo de produção apresentou diferenças significativas para todos os fatores estudados, na probabilidade de 1% para os fatores doses de N e K, e na de 5 % para a interação N e K. No segundo ciclo de produção nenhum dos fatores estudados influenciaram na variável em questão, enquanto o terceiro ciclo de produção apenas o fator doses de N apresentou influência na probabilidade de 1%. Para a concentração de Ca no mosto das uvas, observou-se no primeiro ciclo de produção efeito das doses de K e da interação N e K na probabilidade

de 5%. No segundo ciclo de produção os efeitos foram observados para os fatores doses de N ($0,01 > p$) e interação N e K ($0,05 > p$), enquanto no terceiro ciclo de produção, apenas o fator doses de N apresentou influência na variável Ca na probabilidade de 1%.

Para a variável Mg no mosto das uvas, o segundo ciclo de produção apresentou efeito significativo na probabilidade de 5% na interação N e K. No terceiro ciclo de produção apenas o fator doses de N, na probabilidade de 1%, influenciou na concentração de Mg no mosto das uvas. Para a variável Na no mosto das uvas, o primeiro ciclo de produção apresentou diferenças significativas em todos os fatores na probabilidade de 1% para a dose de N e a interação N e K, e na de 5% de probabilidade para as doses de K_2O . O segundo ciclo de produção não apresentou diferenças nos fatores estudados em relação ao Na, enquanto o terceiro ciclo de produção, apenas o fator doses de N influenciou na concentração de Na ($0,05 > p$).

Tabela 35. Análise de variância (Teste F) para as variáveis nitrogênio amoniacal (NH_4^+), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e sódio (Na) no mosto de uvas de videiras cv. Syrah submetida a diferentes doses de nitrogênio e potássio.

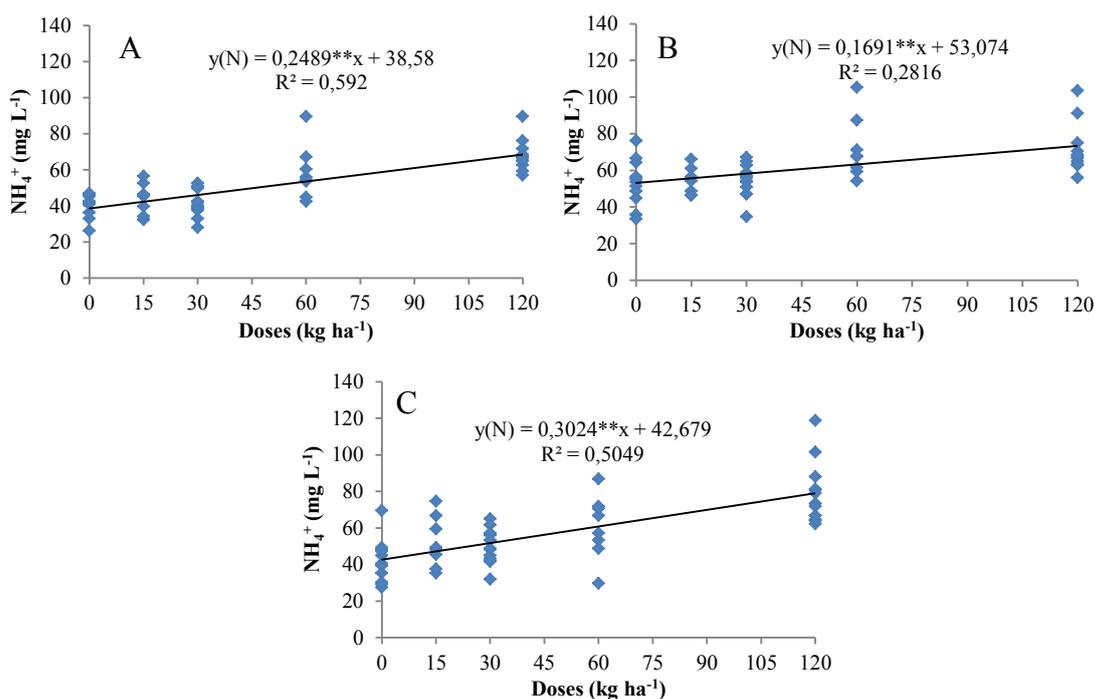
Fonte de variação	Quadrado médio					
	G.L	NH_4^+	K^+	Ca	Mg	Na
----- 1º ciclo de produção -----						
Bloco	3	181,6 ^{ns}	668736 ^{ns}	192,2*	100,05*	117,1 ^{ns}
N	4	1747**	1158925**	102,6 ^{ns}	44,9 ^{ns}	592,0**
K_2O	4	131,0 ^{ns}	1138725**	135,6*	57,4 ^{ns}	409,8*
N* K_2O	4	59,2 ^{ns}	877633*	132,7*	11,8 ^{ns}	713,5**
CV(%)		17,1	15,3	16,2	14,3	7,99
----- 2º ciclo de produção -----						
Bloco	3	110,8 ^{ns}	118196 ^{ns}	7,89 ^{ns}	4,12 ^{ns}	121,6 ^{ns}
N	4	934,3**	1089268 ^{ns}	20,87**	16,6 ^{ns}	878,1 ^{ns}
K_2O	4	341,4 ^{ns}	1320735 ^{ns}	6,72 ^{ns}	6,44 ^{ns}	563,6 ^{ns}
N* K_2O	4	74,1 ^{ns}	77445 ^{ns}	13,2*	31,4*	738,2 ^{ns}
CV(%)		18,8	31,4	12,0	7,2	21,9
----- 3º ciclo de produção -----						
Bloco	3	143,2 ^{ns}	429169 ^{ns}	323,7 ^{ns}	187,8*	555,1 ^{ns}
N	4	2456,9**	1429124**	4803,5**	422,1**	2418,3*
K_2O	4	161,7 ^{ns}	788124 ^{ns}	358 ^{ns}	20,6 ^{ns}	544,9 ^{ns}
N* K_2O	4	225,5 ^{ns}	792058 ^{ns}	24,4 ^{ns}	18,2 ^{ns}	2089 ^{ns}
CV(%)		24,7	29,5	13,8	16,1	19,6

** e * significativo a 1 e 5% de probabilidade pelo teste F pelo teste F, ns - não significativo

Para a variável NH_4^+ no mosto das uvas a análise de regressão apresentou ajuste linear, no qual para o primeiro ciclo de produção (Figura 58A) apresentou acréscimo de $0,2489 \text{ mg L}^{-1}$ para cada aumento unitário das doses de N. No segundo ciclo de produção (Figura 58B) houve um aumento na concentração de NH_4^+

quando comparado ao ciclo anterior, havendo um acréscimo de $0,1691 \text{ mg L}^{-1}$ a cada aumento unitário das doses de N conforme a equação ajustada. No terceiro ciclo de produção (Figura 58C), de acordo com a equação de ajuste, houve um acréscimo de $0,3024 \text{ mg L}^{-1}$ para cada aumento unitário das doses de N aplicadas.

O aumento da concentração de NH_4^+ no mosto conforme o aumento da adubação nitrogenada também foi observado por Brunetto et al. (2007), que também obtiveram um ajuste linear desta variável em função da adubação nitrogenada. Porém, Brunetto et al. (2009), em estudos sobre a composição química da uva de videiras Cabernet Sauvignon, não observaram diferenças na concentração de nitrogênio no mosto das uvas em relação a adubação nitrogenada. Possivelmente, outros fatores como as condições climáticas podem sobrepor o efeito dos tratamentos, já que cada safra pode sofrer ações desejáveis ou indesejáveis do clima, reduzindo ou aumentando a concentração de N- NH_3 no mosto da uva (RIZZON e MIELE, 2006).



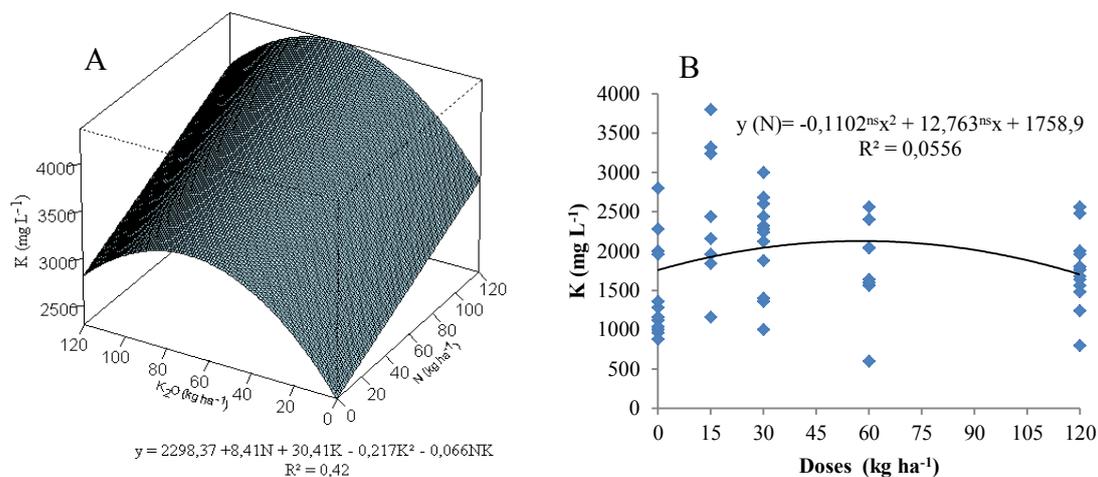
**e *: significativo a 1% e 5% de probabilidade respectivamente, ns - não significativo

Figura 58. Análise de regressão para a variável nitrogênio amoniacal (NH_4^+) no mosto das uvas cv. Syrah no primeiro (A), segundo (B) e terceiro (C) ciclos de produção da videira.

Para a concentração de K^+ no mosto das uvas do primeiro ciclo de produção (Figura 59A), observou-se para a superfície de resposta obtida pela

interação entre doses de N e K₂O um ajuste significativo a 1% de probabilidade, no qual o maior valor (3819,28 mg L⁻¹) foi obtido para as doses de 120 kg ha⁻¹ de N e 69,91 kg ha⁻¹ de K₂O. No terceiro ciclo de produção (Figura 59B) não foi obtido um ajuste adequado dos dados em relação aos modelos de regressão propostos.

Segundo Treeby (2005) grandes quantidades de K são frequentemente aplicadas durante o período de maturação das uvas para apressar essa fase, existindo uma acumulação maior de K⁺ pelo fornecimento deste nutriente, Conceição et al. (2011) afirmam que o potássio é absorvido na forma de K⁺ nas plantas e é absorvido principalmente para a lignificação dos ramos e maturação do fruto, porém Kodur (2011) afirmam que o consumo de K⁺ pelas plantas varia de acordo com o seu porta enxerto. Bravdo e Hepner (1987) em estudos sobre o manejo da irrigação e fertirrigação para a otimização e composição do vinho de uvas Cabernet Sauvignon observaram com a adubação de NPK nesta cultura, observaram uma resposta apenas da concentração de K nas uvas, enquanto as concentrações de N e P não foram aumentadas nas bagas mesmo com o incremento da adubação.



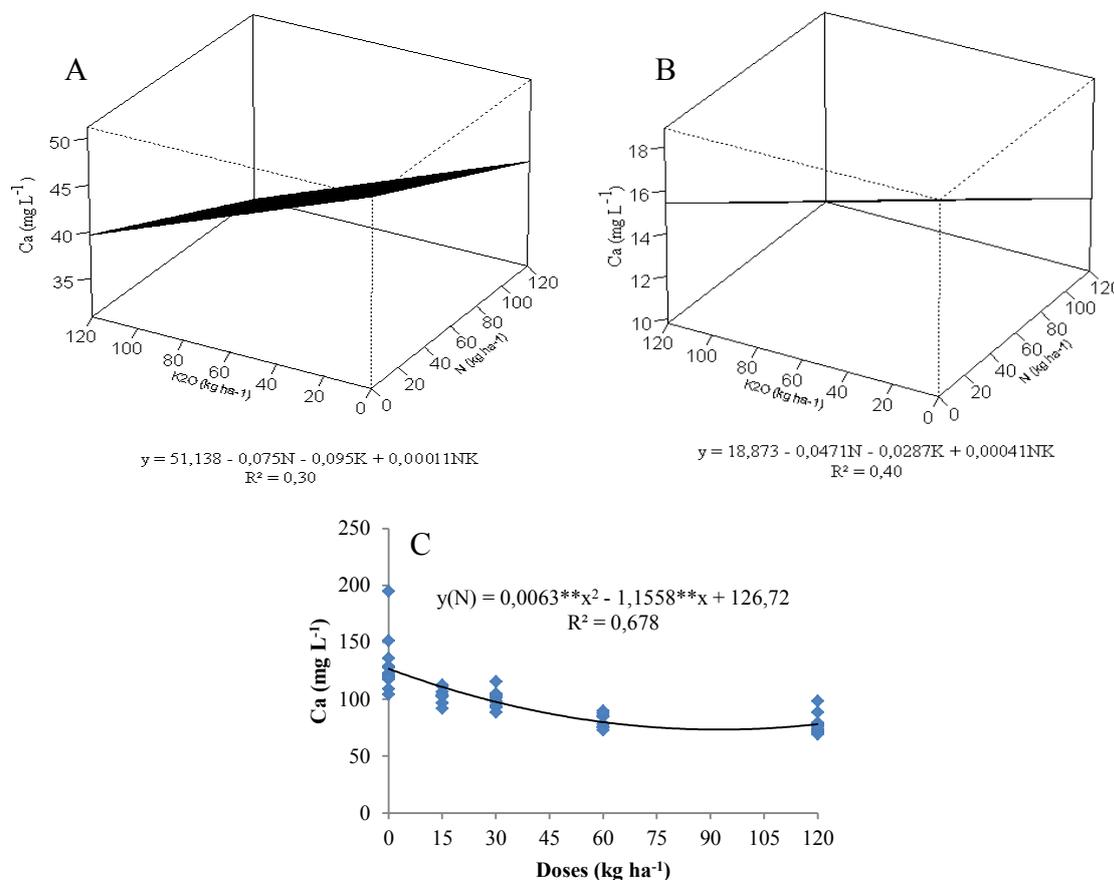
**e *: significativo a 1% e 5% de probabilidade respectivamente, ns - não significativo

Figura 59. Superfície de resposta para a variável potássio no mosto das uvas cv. Syrah no primeiro (A) e terceiro (B) ciclo de produção da videira.

Para a concentração de Ca no mosto da uva o primeiro ciclo de produção (Figura 60A) ilustra a superfície de resposta para a interação doses de nitrogênio e potássio na qual a equação ajustada apresentou significância na probabilidade de 5%. O maior valor (51,138 mg L⁻¹) para esta equação foi obtido com

as doses de 0 kg ha⁻¹ de N e K₂O. Para o segundo ciclo de produção (Figura 60B) a superfície de resposta para a interação doses de nitrogênio e potássio apresentou para a equação de ajuste uma significância na probabilidade de 5%, com o valor máximo (18,873 mg L⁻¹) nas doses de 0 kg ha⁻¹ de N e K₂O. Porém, a concentração de Ca neste ciclo foi inferior ao ciclo anterior. No terceiro ciclo de produção (Figura 60C) apenas o fator doses de N influenciou na concentração de Ca, no qual o ajuste foi polinomial quadrático significativo a 1% de probabilidade, com valor máximo obtido para a dose mínima de N (0 kg ha⁻¹).

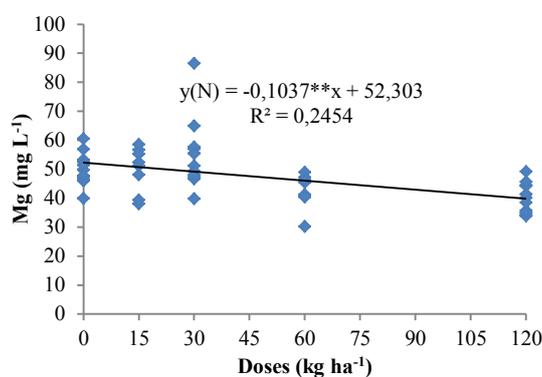
Percebe-se com os resultados expostos que a utilização de adubação nitrogenada e potássica influenciaram de maneira negativa as uvas com relação à concentração de Ca. Estes resultados foram diferentes dos apresentados por Brunetto et al. (2009) em que estes autores não observaram influências da adubação nitrogenada na concentração de Ca nas uvas. Porém, Hilbert et al. (2003) observaram em doses elevadas de N uma redução na concentração de Ca no mosto de uvas cv. Merlot.



**e *: significativo a 1% e 5% de probabilidade respectivamente, ns - não significativo

Figura 60. Análise de regressão para os teores de cálcio no mosto das uvas cv. Syrah no primeiro (A), segundo (B) e terceiro (C) ciclo de produção da videira.

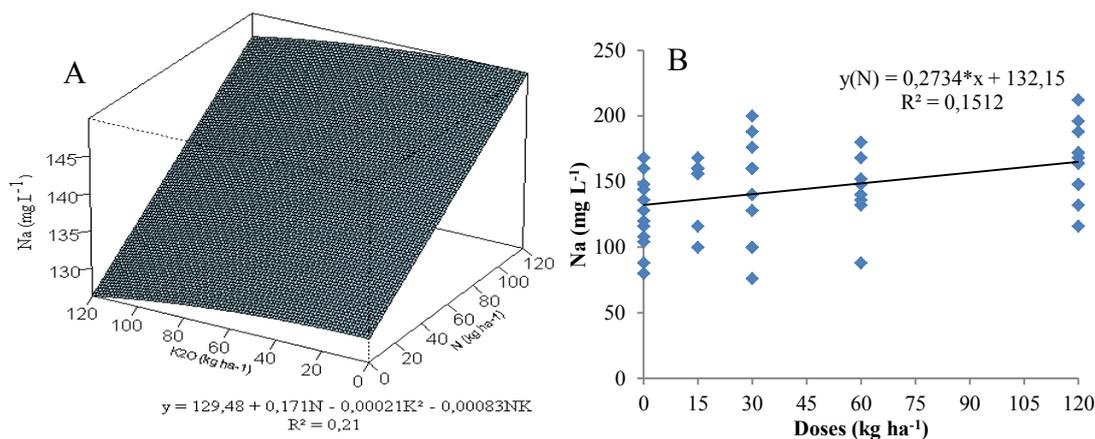
Para a concentração de Mg (Figura 61) no mosto das uvas o ajuste do modelo de regressão foi linear e significativo na probabilidade de 1%, com decréscimo de $0,1037 \text{ mg L}^{-1}$ para cada aumento unitário das doses de nitrogênio aplicada. O resultado exposto demonstra que o excesso de adubação nitrogenada foi prejudicial a concentração de Mg no mosto das uvas. Ao contrário do que foi observado no presente experimento, Hilbert et al. (2003), Brunetto et al. (2007) e Brunetto et al. (2009) não observaram influência da adubação nitrogenada na concentração de Mg nas bagas.



** e *: significativo a 1% e 5% de probabilidade respectivamente, ns - não significativo

Figura 61. Análise de regressão para o teor de magnésio no mosto das uvas cv. Syrah no terceiro ciclo de produção da videira.

Para a concentração de sódio no mosto a superfície de resposta para as doses de N e K_2O estudadas no primeiro ciclo de produção (Figura 62A), apresentou uma equação ajustada significativa na probabilidade de 5%. Apesar do baixo coeficiente de determinação ($R^2 = 0,21$), o valor máximo obtido ($149,88 \text{ mg L}^{-1}$) foi encontrado para as doses de 120 kg ha^{-1} de N e 0 kg ha^{-1} de K_2O . No terceiro ciclo de produção (Figura 62B) o ajuste foi linear significativo na probabilidade de 5%, com acréscimo de $0,2734 \text{ mg L}^{-1}$ para cada aumento unitário das doses de N. Shellie e Brown (2012) não observaram diferenças entre diferentes cultivares de uvas de vinho com relação a concentração de Na no mosto. Linsenmeier et al. (2008), em estudos sobre fertilização nitrogenada ($30, 60$ e 90 kg ha^{-1} de N) em videiras Riesling, não observaram influência das doses de N aplicadas nas concentrações de Na no mosto.



**e *: significativo a 1% e 5% de probabilidade respectivamente, ns - não significativo

Figura 62. Análise de regressão para o teor de sódio no mosto de uvas cv. Syrah no primeiro (A) e terceiro (B) ciclo de produção da videira.

4.7. Desenvolvimento dos ramos e área foliar

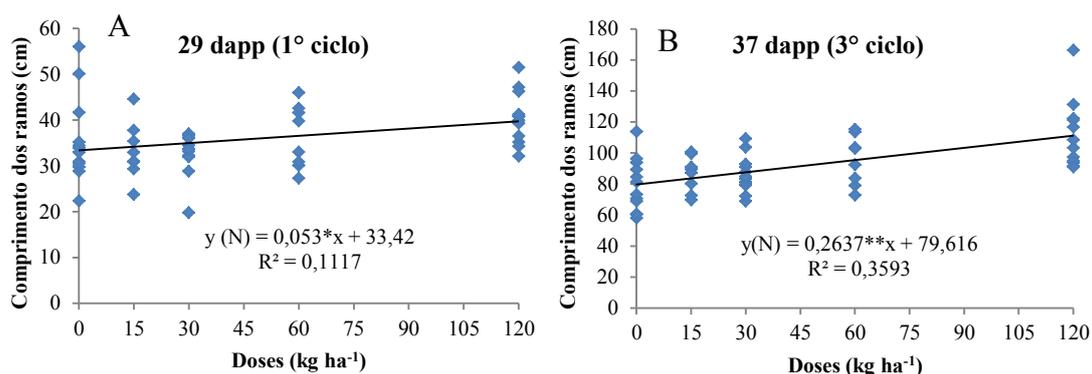
Para a variável crescimento dos ramos (Tabela 36) a análise de variância apresentou no primeiro ciclo de produção diferenças significativas para o fator doses de N na probabilidade de 5% aos 29 dapp, enquanto aos 77 dapp não houve efeito dos fatores avaliados. No segundo ciclo de produção não houve diferenças significativas para os fatores estudados para as avaliações feitas aos 42 e 103 dapp. No terceiro ciclo de produção as avaliações realizadas aos 37 dapp apresentaram influência do fator doses de N ($0,05 > p$) enquanto as avaliações realizadas aos 97 dapp não foram observadas diferenças estatísticas para os fatores estudados.

Tabela 36. Análise de variância (teste F) para a variável crescimento em videiras cv. Syrah no primeiro ciclo de produção aos 29 e 77 dias após a poda de produção (dapp), no segundo ciclo de produção aos 42 e 103 dapp e terceiro ciclo de produção aos 37 e 97 dapp

Doses		Ciclos de produção					
		1°	2°	3°	1°	2°	3°
N	K ₂ O	Florescimento			Maturação		
		----- cm -----					
kg ha ⁻¹							
0	0	34,4	73,8	72,8	92,3	91,3	121,6
0	30	41,7	85,8	79,0	104,6	108,0	107,3
0	120	30,5	77,0	85,8	97,6	101,8	133,3
15	15	31,0	71,8	85,0	103,1	104,8	148,0
15	60	35,4	64,8	87,5	103,8	94,5	100,3
30	0	36,6	75,3	80,0	106,1	107,3	106,7
30	30	28,8	70,3	91,0	113,9	95,0	123,5
30	120	33,7	75,8	87,4	99,6	111,3	103,8
60	15	33,0	61,8	86,9	99,7	102,5	108,8
60	60	39,8	60,5	103,8	108,8	105,5	115,8
120	0	40,8	53,8	108,6	104,9	105,8	123,5
120	30	39,3	78,0	101,5	100,1	108,0	129,0
120	120	41,2	70,5	99,2	103,2	94,5	115,6
F.V		----- Análise de variância (teste F) -----					
Bloco		*	Ns	*	*	Ns	Ns
N		*	Ns	*	Ns	Ns	Ns
K ₂ O		Ns	Ns	Ns	Ns	Ns	Ns
N*K ₂ O		Ns	Ns	Ns	Ns	NS	Ns
CV (%)		16,8	35,3	36,6	10,4	11,8	7,4

** e * significativo a 1 e 5% de probabilidade pelo teste F pelo teste F, Ns - não significativo

No primeiro ciclo de produção (Figura 63A) a variável crescimento dos ramos (avaliada aos 29 dapp) o ajuste da equação foi linear e significativa na probabilidade de 5% em que houve um acréscimo de 0,053 cm no crescimento dos ramos a cada aumento unitário das doses de adubação nitrogenada. No terceiro ciclo de produção (Figura 63B) a variável crescimento dos ramos (avaliada aos 37 dapp) apresentou um ajuste linear e significativo na probabilidade de 1%, com acréscimo de 0,2637 cm a cada aumento unitário das doses de N aplicadas. Estes resultados diferem dos apresentados por Barth et al. (2006) em estudos sobre a expressão da fertilidade de gemas de videira em função de diferentes épocas de poda e doses de N (0, 50 e 100 kg ha⁻¹). Estes autores não observaram diferenças no crescimento inicial dos ramos da videira Niagara Rosada (*Vitis labrusca*) sobre a brotação e desenvolvimento inicial dos ramos, porém foi observada influência da adubação nitrogenada em ramos oriundos de gemas apicais e em podas precoce e tardia.



**e *: significativo a 1% e 5% de probabilidade respectivamente, ns - não significativo

Figura 63. Ajuste do modelo de regressão para a variável comprimento dos ramos (cm) da videira cv. Syrah na fase de florescimento no primeiro ciclo de produção aos 29 dias após a poda de produção - dapp (A) e terceiro ciclo de produção aos 37 dapp (B).

Para a variável número de folhas por ramo não foram observadas influências das doses de N e K₂O aplicadas (Tabela 37) nos três ciclos de produção estudadas. Diferentemente do que foi observado para o crescimento dos ramos, as doses de N não influenciaram no número de folhas por ramo da cultura. Lopes et al. (2004) observaram que o número de folhas é uma das principais co-variáveis para a obtenção da área foliar.

A variável área foliar não apresentou resposta para das doses de N e K₂O aplicadas em nenhum dos ciclos de produção estudados na fase de maturação. Pedro Júnior et al. (1986) observaram que a estimativa da área foliar da videira „Niagara Rosada“ pode ser feita através de simples determinação da largura da folha, apresentando boa determinação. Mota et al. (2008) em estudos sobre o comportamento vegetativo de videiras „Cabernet sauvignon“ cultivadas sobre cobertura plástica, observaram maiores valores de área foliar quando comparadas a videiras cultivadas em campo. Nascimento et al. (2014) em estudos sobre a área foliar (AF) na cultura da videira „Isabel“ submetidas a diferentes doses de biofertilizantes observaram uma redução da AF de acordo com o aumento das doses de biofertilizantes aplicadas.

Tabela 37. Análise de variância (teste F) para a variável número de folhas e área foliar em videiras cv. Syrah na fase de maturação.

Doses		Ciclos de produção					
		1°	2°	3°	1°	2°	3°
N kg ha ⁻¹	K ₂ O	Número de folhas			Área foliar		
		ramo ⁻¹			m ²		
0	0	15,7	17,3	16,2	3,5	2,2	1,7
0	30	17,9	19,0	18,0	4,2	3,2	1,7
0	120	16,1	19,3	16,5	4,0	3,0	1,6
15	15	18,3	18,3	16,5	4,4	3,3	1,5
15	60	17,5	21,3	15,0	4,1	3,4	1,6
30	0	16,7	17,8	18,6	4,3	2,4	1,7
30	30	16,3	16,0	16,3	3,9	2,7	1,5
30	120	16,1	16,0	16,6	3,9	2,4	1,7
60	15	18,4	15,0	16,7	4,5	3,6	1,5
60	60	15,4	19,5	15,9	3,8	2,3	1,5
120	0	16,7	20,0	16,0	4,3	3,0	1,7
120	30	18,3	17,0	17,2	4,7	4,0	1,7
120	120	17,1	21,8	18,4	4,3	3,4	2,0
F.V		----- Análise de variância (teste F) -----					
Bloco		**	Ns	**	**	**	*
N		Ns	Ns	Ns	Ns	Ns	Ns
K ₂ O		Ns	Ns	Ns	Ns	Ns	Ns
N*K ₂ O		Ns	Ns	Ns	Ns	Ns	Ns
CV (%)		12,5	21,4	8,83	14,3	31,6	28,9

** e * significativo a 1 e 5% de probabilidade pelo teste F pelo teste F, ns - não significativo

5. CONCLUSÕES

Pela utilização de doses de N e K_2O em videiras Syrah via fertirrigação podemos concluir que:

1. As doses de adubação não influenciaram na concentração de nutrientes no solo. A acidez do solo aumentou conforme o aumento das doses de N.

2. O extrator de solução do solo foi uma ferramenta útil para o monitoramento da concentração de NO_3^- e K^+ na solução do solo para a cultura da videira fertirrigadas com N e K_2O .

3. A lixiviação de NO_3^- e K^+ foram elevadas, acarretando em perdas consideráveis destes nutrientes.

4. A concentração de NO_3^- na seiva do pecíolo das folhas de videiras foi influenciada pelas doses de nitrogênio aplicadas no solo, ocorrendo maiores concentrações na fase de florescimento dos frutos. A concentração de K^+ na seiva das plantas foram maiores na época de maturação dos frutos. Foi possível pela técnica de extração de seiva em pecíolos de videira através da utilização de éter monitorar as cocentrações de NO_3^- e K^+ nas plantas, porém esta técnica mostrou-se trabalhosa, sendo apenas indicadas para a pesquisa científica desta cultura.

5. Os parâmetros produtivos das uvas estudados foram influenciados apenas pelas doses de adubação nitrogenada propostas, aumentando os níveis produtivos a cada dose e cada ciclo de produção.

6. Para o mosto das uvas a acidez total e a concentração de antocianinas foram influenciadas pelas doses de N e K_2O em todos os ciclos de produção. A adubação nitrogenada promoveu alterações na concentração dos ácidos orgânicos estudados no primeiro e terceiro ciclo de produção. A concentração de NH_4^+ no mosto das uvas aumentou com as doses de adubação nitrogenada.

7. O início do crescimento dos ramos é fortemente influenciado pela adubação nitrogenada, promovendo elevado crescimento inicial para doses elevadas de N, provando a necessidade deste nutriente no início da poda de produção.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADAMS, F. et al. A comparison of column-displacement and centrifuge methods for obtaining soil solutions. **Soil Science Society of American Journal**, New York, v.44, p.733-735, 1980.

ALBUQUERQUE, T. C. S. et al. Nutrição e adubação. In: SOARES, J. M.; LEAO, P. C. de S. (Ed.). **A vitivinicultura no Semiárido brasileiro**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica; Petrolina: Embrapa Semi-Árido, 2009. v.1, cap. 10, p.431-480.

ALCÂNTARA, M. A. K.; CAMARGO, O. A. Movimentação de nitrato em horizonte superficial e subsuperficial de Latossolo e Nitossolo com cargas variáveis. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília v.45, n.1, p.81-88, jan./mar. 2010.

ALLAIRE-LEUNG, S. E.; GUPTA, S. C.; MONCRIEF, J. F. Water and solute movement in soil as influenced by macropore characteristics 1. Macropore continuity. **Journal of Contaminant Hydrology**, Amsterdam, v.41, p.283-301, 2000.

ALLEN, R. G. et al. **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements**. Rome: FAO, 1998. 300p (Irrigation and Drainage Paper, 56).

ALMELA, L. et al. Influence of pruning and fertigation on the colour of wines from monastrell grapes. **Investigación. Agraria. Producción y Protección. Vegetales**, Madrid, v. 14, n.3, 423-435, 1999.

ANAMI, M. H. et al. 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, jan./mar.2008.

ANDRADE NETO, T.M. et al. Estimating potassium in the soil solution as a function of electrical conductivity and soil water content. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.16, n.6, p.618-623, jun. 2012.

ANTONOPOULOS, V.; WYSEURE, G. Modeling of water and nitrogen dynamics on an undisturbed soil and a restored soil after open-cast mining. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v.37, p.21-40, 1998.

ARAÚJO, A. R. et al. Movimentação de nitrato e amônio em colunas de solo. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.28, n.3, p.537-541, jul./set. 2004.

ARAÚJO, F. J. et al. A drip irrigation strategy for maximizing grapevine water use efficiency in tropical vineyards of Venezuela. **Acta Horticulturae**, Leuven, v.493, p.117-140, 1999.

ARAÚJO, H. S. et al. Doses de potássio em cobertura na cultura da abóbora. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v.42, n.4, p.469-475, out./dez. 2012.

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

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. **Official methods of analysis of AOAC International: food composition, additives, natural contaminants**. 16. ed. Gaithersburg: AOAC, v.2, 1997. 1094p.

BARBER, S.A. **Soil nutrient bioavailability: a mechanist approach**. New York, John Wiley, 1984. 398p.

BARON, M.; FIALA, J. Chasing after minerality, relationship to yeast nutritional stress and succinic acid production. **Czech Journal Food Science**, Prague, v.30, n.2, p.188-193, 2012.

BARTH, C. V.; CARVALHO, R. I. N.; SIMÕES, F. Expressão da fertilidade de gemas da videira em função de diferentes épocas de poda e doses de nitrogênio. **Scientia Agraria**, Curitiba, v.7, n. 1-2, p. 67-73, jan./jun. 2006.

BAR-YOSEF, B.; STAMMERS, C., SAGIV, B. Groth of trickle irrigation tomato as related to rooting volume and uptake of N and water. **Agronomy Journal**, Madison, v.72, p.815-822, 1980.

BASSOI, L. H.; CARVALHO, A. M. Lixiviação de macronutrientes em um solo cultivado com milho (*Zea mays* L.) com e sem irrigação suplementar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 16, n. 3, p. 283-287, jul./set. 1992.

BASSOI, L. H. et al. **Interrupção da irrigação no período de maturação da uva cv. Itália**. Petrolina: Embrapa semiárido, 1999, 15p. (Comunicado técnico).

BASSOI, L. H. et al. Root distribution of irrigated grapevine rootstocks in a coarse texture soil of the São Francisco Valley, Brazil. **Revista brasileira de fruticultura**, Jaboticabal, v.24, n.1, p.35-38, jan./mar. 2002.

BASSOI, L. H.; et al. M. Influência de manejos de irrigação sobre aspectos de ecofisiologia e de produção da videira Cv. Syrah/Paulsen 1103. **Irriga**, Botucatu, v.16, n.4, p. 395-402, out./dez. 2011.

BASSOI, L.H. et al. Preliminary results of a long-term experiment about RDI and PRD irrigation strategies in winegrapes in São Francisco Valley, Brazil. **Acta Horticulturae**, Leuven, v. 754, p. 275-282, 2007.

BASSOI, L. H.; REICHARDT, K. Lixiviação de nitrato em terra roxa estruturada latossólica cultivada com milho fertirrigado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 19, n. 3, p. 541,548, jul./set.1995.

BATES, T. R.; DUNST, R. M.; JOY, P. Seasonal dry matter, starch, and nutrient distribution in Concord grapevine roots. **HortScience**, Alexandria, v. 37, p. 313,316, 2002.

BEATTIE, J.M.; FORSHEY, C.G. A survey of the nutrient element status of Concord grapes in Ohio. **Proceedings of the American Society Horticultural Science**, Alexandria. n. 64, p. 21-28, 1954.

BELL, S.J.; HENSCHKE, P. A. Implications of nitrogen nutrition for grape, fermentation and wine. **Australian Journal of Grape and Wine Research**, Adelaide, v.11, p.242-295, 2005.

BORGES, A. L.; SILVA, D. J. Fertilizantes para a fertirrigação. In: SOUSA, V. F.; MAROUELLI, W. A.; COELHO, E. F.; PINTO, J. M. COELHO FILHO, M. A. (Coord). **Irrigação e fertirrigação em fruteiras e hortaliças**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2011. 253-264p.

BRALTS, V. F.; EDWARDS, D. M. Field evaluation of drip irrigation submain units. **Transactions of the ASAE**, New York, v.29, p.1659-1664, 1986.

BRALTS, V. F.; EDWARDS, D. M.; WU, I. P. **Drip irrigation design and evacuation based of the statistical uniformity concept**. In: Hillel, D. (ed.). *Advances in Irrigation*. Massachusetts: Academic Press, 1987, 67-117p.

BRALTS, V. F.; WU, I. P.; GITLIN, H. M. Drip irrigation uniformity considering emitter plugging. **American Society of Agricultural Engineers**, St. Joseph, v.81, p.1234-1240, 1981.

BRAVDO, B.; HEPNER, Y. Irrigation management and fertigation to optimize grape composition and wine performance, **Acta Horticulturae**, Leuven, v.206, p.49-67, 1987.

BRAVDO, B. Nutrient management in table and wine grapes by fertigation. **Acta Horticulturae**, Leuven, v. 785, p.165-173, 2008.

BRUNETTO, G. et al. Aplicação de nitrogênio em videiras na Campanha Gaúcha: produtividade e características químicas do mosto da uva. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.37, n.2, p.389,393, mar./abr. 2007.

BRUNETTO, G. et al. Aplicação foliar de nitrogênio em videira: avaliação do teor na folha e das reservas nitrogenadas e de carboidratos nas gemas dos ramos do ano. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v.30, n.4, p.1119-1123, out./dez. 2008.

BRUNETTO, G. et al. Application of nitrogen sources on grapevines and effect on yield and must composition. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v.35, n.4, p.1042-1051, out./dez. 2013.

BRUNETTO, G. et al. Produção e composição química da uva de videiras Cabernet Sauvignon submetidas à adubação nitrogenada. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.39, n.7, p.2035-2041, ago. 2009.

BRUNETTO, G. et al. Recuperação e distribuição do nitrogênio fornecido a videiras jovens. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.41, n.8, p.1299,1304, ago.2006.

BUDOLA, M. et al. Effects of fruit zone leaf removal on the concentrations of phenolic and organic acids in Istrian Malvasia Grape Juice and wine. **Food Technology and Biotechnology**, Amsterdam, v.50, n.2, p.159-166, 2012.

CARBONNEAU, A. Analyse de lacrois sance des feuil lesdusarment de vine: Estimation de la surfasse foliar e par enchantil lonnage. **Connaissance Vigne Vin**, Bordeaux, v. 10, n. 2, p. 141 -159, 1976.

CAVALIERE, C. et al. The Interactive effects of irrigation, nitrogen fertilisation rate, delayed harvest and storage on the polyphenol content in red grape (*Vitis vinifera*) berries: A factorial experimental design. **Food Chemistry**, Londres, v.122, p.1176-1184, 2010.

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

CHAVARRIA, G. et al. Anatomy, chlorophyll content and photosynthetic potential in grapevine leaves under plastic over. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v.34, n.3, p. 661-668, jul./ago. 2012.

CHOWDHURY, N.; MARSCHNER, P.; BURNS, R. G. Response of microbial activity and community structure to decreasing soil osmotic and matric potential. **Plant and Soil**, The Hague, v.344, p.241-254, 2011.

COELHO, E. F. et al. **Aspectos de fertirrigação em bananeira**. Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura Tropical, 2008. 28p. (Embrapa Mandioca e Fruticultura Tropical. Documentos, 171).

COELHO, E. F. et al. Concentração de nitrato no perfil do solo fertigado com diferentes concentrações de fontes nitrogenas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.18, n.3, p. 263-269, mar. 2014a.

COELHO, E. F.; ANDRADE NETO, T. M.; BARROS, D. Concentration of injection solution and its effects on soil and on yield of fertirrigated banana cv. Terra Maranhão. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.34, n.6, p.1104-1113, nov./dez. 2014b.

COELHO, E. F.; OR, D.; SOUSA, V. F. Aspectos básicos em fertirrigação. In: SOUSA, V. F.; MAROUELLI, W. A.; COELHO, E. F.; PINTO, J. M. COELHO FILHO, M. A. (Coord). **Irrigação e fertirrigação em fruteiras e hortaliças**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2011. 233-251p.

COELHO, E. F.; SOUSA, V. F. de; PINTO, J. M. Manejo de fertirrigação em fruteiras. **Bahia Agrícola**, Salvador, v. 6, n. 1, p. 67-70, jan./mar. 2003.

CONCEIÇÃO, M. A. F.; SILVA, D. J.; PINTO, J. M. Irrigação e fertirrigação na cultura da uva. In: SOUSA, V. F.; MAROUELLI, W. A.; COELHO, E. F.; PINTO, J. M. COELHO FILHO, M. A. (Coord). **Irrigação e fertirrigação em fruteiras e hortaliças**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2011. 523-551p.

- CONRADIE, W. J.; MYBURGH, P.A. Fertigation of *Vitis vinifera* L. cv. Bukerttraube/100 Richter on a sandy soil. **Science African Journal of Enology and Viticulture**, Dennesig, v.21, n.1, p. 41-47, 2000.
- CONRADIE, W. J. Utilisation of nitrogen by the grape vine as affected by time of application and soil. **South African Journal Enology and Viticulture**, Dennesig, v.7, n.2, p.76-83, 1986.
- COTE, C. M. et al. Analysis of soil wetting and solute transport in subsurface trickle irrigation. **Irrigation Science**, New York, v.22, p.143-156, 2003.
- DELGADO, R. et al. Changes in the phenolic composition of grape berries during ripening in relation to vineyard nitrogen and potassium fertilization rates. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, London, v.84, p.623-630, 2004.
- DIAS, N. S. et al. Manejo da fertirrigação e controle da salinidade do solo sob ambiente protegido, utilizando-se extratores de solução do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.9, n.4, p.496-504, out./dez. 2005.
- DOLINSKI, M. A. et al. Condutividade elétrica e potássio do solo após três anos de aplicações de nitrogênio e potássio em ameixeira, no município de Araucária –PR. **Scientia Agraria**, Londrina, v.10, n.5, p.371-376, set./out. 2009.
- DOURADO NETO, D. et al. Software to model soil water retention curves (SWRC, version 3.00). **Scientia agricola**, Piracicaba, v.57, n.1, p.191-192, jan./mar. 2000.
- DOWNEY, M. O.; HARVEY, J. S.; ROBINSON, S. M. The effect of bunch shading on berry development and flavonoid accumulation in Shiraz grapes. **Australian Journal of Grapes and Wine Research**, Adelaide, v.10, p.55-73, 2004.
- DUTRA, S. V.; DAUDT, C. E.; SOUZA, M. Aminoácidos livres e ureia durante a fermentação de mosto de Chardonnay com diferentes leveduras. **Ciência e Tecnologia dos alimentos**, Campinas, v.19, n.2, p.179-182, jan./mar. 1999.
- DWYER, L.M. Quantifying the nonlinearity in chlorophyll meter response to corn leaf nitrogen concentration. **Journal of Plant Science**, Amsterdam, v.75, p.179-182, 1995.
- ELKHATIB, E. A. et al. A centrifuge method for obtaining soil solution using an immiscible liquid. **Soil Science Society of American Journal**, New York, v.50, p.297-299, 1986.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de métodos de análises de solo. 2ed. rev. atual. Rio de Janeiro, 1997. 212p. (EMBRAPA-CNPS. Documentos; 1).

EMBRAPA. Embrapa Solos/Embrapa Informática Agropecuária. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. In: SILVA, F. C. (org.). Brasília: Embrapa Transferência de Tecnologia, 1999. 370p.

FAVETTA, G. M.; BOTREL, T. A. Uniformidade de sistemas de irrigação localizada: validação de equações. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.58, n.2, p.427-430, abr./jun. 2001

FEITOSA FILHO, J. C.; ZANINI, J. R. **Injeção de fertilizantes em sistemas de irrigação**. In: ZANINI, J. R.; VILLÂS BÔAS, R. L.; FEITOSA FILHO, J. C. Uso e manejo da fertirrigação e hidroponia. Jaboticabal: Funep, 2002. 27-51p.

FERREIRA, D. F. Sisvar: Um programa para análises e ensino de estatística. **Revista Symposium**, Viçosa, v.6, p.36-41, 2008.

FERREIRA, P. A.; MARTINEZ, M. A. Movimento e modelagem de sais no solo. In: GHEYI, H. R.; QUIEROZ, J. E.; MEDEIROS, J. F. **Manejo e controle da salinidade na agricultura irrigada**. Campina Grande: UFPB, 1997, 171-208p.

FIDELIBUS, M. W. et al. Yield components and fruit composition of six „Cabernet Sauvignon“ grapevine selections in the central San Joaquin Valley, California. **Journal of the American Pomological Society**, Virginia, v.60, n.1, p.32-36, 2006.

FOGAÇA, A.O. **Avaliação do Estado nutricional de vinhedos e sua correlação com a produção de uvas víniferas de qualidade**. 2005. 88p. Dissertação (Ciência e Tecnologia de Alimentos), Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2005.

FOGAÇA, A. O.; DAUDT, C.E.; DORNELES, F. Potássio em uvas II – Análise peciolar e sua correlação com o teor de potássio em uvas viníferas. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v.27, n. 3, p. 597-601, jul./set. 2007.

FOLONI, J. S. S.; ROSOLEM, C. A.; GARCIA, R. A. Efeito da calagem e sulfato de amônio no algodão. II – Concentração de cátions e ânions na solução do solo e absorção de nutrientes pelas plantas. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, v. 30, n. 3, p. 433-442, jul./ set. 2006.

FONSECA, A. F. **Disponibilidade de nitrogênio, alterações nas características química do solo e do milho pela aplicação de efluente de esgoto tratado**. Dissertação (mestrado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Quieroz, 2001. 110p.

FREEMAN. B. M.; KLIEWER, M. W. Effect of irrigation, crop level and potassium fertilization on Carignane vines. II. Grape and wine quality. **American Journal of Enology and Viticulture**, Davis, v.34, n.3, 1983.

FREIRE FILHO, J. J. P. et al. Uso da fertirrigação na cultura da uva na região do sub-médio Vale do São Francisco no Nordeste do Brasil. **Ciência Técnica em Vitivinicultura**, Dois Portos, v.23, n.2, p.75-80, 2008.

FREITAS JÚNIOR, E.; SILVA, E. M. Uso da centrífuga para a determinação da curva de retenção de água do solo, em uma única operação. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.19, n.1, p.1423-1428, 1984.

GACHONS, C. P. des. et al. Influence of water and nitrogen deficit on fruit ripening and aroma potential of *Vitis vinifera* L. cv. Sauvignon blanc in field conditions. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, London, v.85, p.73-85, 2005.

GALLINA, M. Influence of temperature on the composition of *Vitis vinifera* L. cv Pinot Noir bunches, exposed to the east and west and in different stages of maturity. **RIA**, Buenos Aires, v.38, n.1, p.1-6, 2012.

GENUTCHEN, M. van Th. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v.44, p.892-8, 1980.

GRECHI, I. et al. Effect of light and nitrogen supply on internal C:N balance and control of root-to-shoot biomass allocation in grapevine. **Environmental and Experimental Botany**, Elmsford, v.59, p. 139-149, 2007.

GUITIERREZ, L. E. Efeito da adição de sulfato de amônio sobre a produção de ácido succínico durante a fermentação alcoólica. **Anais da Esalq**, Piracicaba, v.45, n.2, p.433-440, 1988.

HANSON, B.R.; SIMUNEK, J.; HOPMANS, J.W. Evaluation of urea–ammonium–nitrate fertigation with drip irrigation using numerical modeling. **Agricultural water management**, Amsterdam, v. 86, p. 102-113, 2006.

HAVERKAMP, R.; VAUCLIN, M.; VACHAUD, G. Error analysis in estimating soilwater content from neutron probe measurement. Local stand point. **Soil Science**, Baltimore, v. 137, n. 2, p. 78-90, 1984.

HAYNES, R. J. Active ion uptake and maintenance of cation-anion balance: A critical examination of their role in regulating rhizosphere pH. **Plant and Soil**, The Hague, v.1, 126, p.247-264, 1990.

HERNANDEZ, M. R. **Las variedades de Vid y la calidad de los vinos**. Madrid: AMV Ediciones y Ediciones Mundi-Prensa. 2001. 300p.

- HILBERT, G. et al. Effects of nitrogen supply on must quality and anthocyanin accumulation in berries of cv. Merlot. **Vitis**, Geneva, v.2, p.69-76, 2003.
- HOWELL, C. L.; MYBURGH, P. A.; CONRADIE, W. J. Comparison of three different fertigation strategies for drip irrigated table grape - Part III. Growth, yield and quality. **South African Journal Enology and Viticulture**, Dennesig, v.34, n.1, 21-29, 2013.
- ILAND, P. G.; COOMBE; B. G. Malate, tartare, potassium and sodium in flesh and skin of shiraz grapes during ripening: concentration and compartmentation. **American and Journal Enology and Viticulture**, Davis, v.39,p.71-76, 1988.
- JALALI, M. Nitrates leaching from agricultural land in Hamadan, western Iran. **Agriculture, Ecosystems and Environmental**, Amsterdam, v.110, p.210-218, 2005.
- JONES, G. V.; DAVIS, R. E. Climate influence on grapevine phenology, grape composition, and wine production and quality for Bordeaux, France. **American Journal Enology and Viticulture**, Davis, v.51, n.3, 2000.
- JONG VAN LIER, Q.; LIBARDI, P. L. Variabilidade dos parâmetros da equação que relaciona a condutividade hidráulica com a umidade do solo no método do perfil instantâneo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**,Campinas, v.23, n.1, 1005-1014, jan./mar. 1999.
- KATALINIC', V. et al. Polyphenolic profile, antioxidant properties and antimicrobial activity of grape skin extract of 14 *Vitis vinifera* varieties grown in Dalmatia (Croatia). **Food Chemistry**, London, v.119, p.715-723, 2010.
- KELLER, J.; KARMELI, D. Trickle irrigation design parameters. **Transactions of the ASAE**, New York, v.17, p.678-684, 1974.
- KELLER, M. Deficit irrigation and vine mineral nutrition. **American Journal Enology and Vitiviculture**, Davis, v. 56, n.3, 267-283, 2005.
- KELLER, M.; HRAZDINA, G. Interaction of nitrogen availability during bloom and light intensity during veraison. II. Effects on anthocyanin and phenolic development during grape ripening. **American Journal of Enology and Viticulture**, Davis, v.49, p.314-349, 1998.
- KELLER, M. Managing grapevines to optimise fruit development in a challenging environment: a climate change primer fo viticulturists. **Australian Journal of Grape and wine Research**, Adelaide, v.16, p.56-59, 2010.

KELLER, M.; POOL, R. M.; HENICK-KLING, T. Excessive nitrogen supply and shoot trimming can impair colour development in Pinot Noir grapes and wine. **Australian Journal of Grape and wine Research**, Adelaide, v.5, p.45-55, 1999.

KENNEDY, J. A. et al. Development of seed polyphenols in berries from *Vitis vinifera* L. cv. Shiraz. **Australian Journal of Grape and Wine Research**, Adelaide, v.6, p.244-254, 2000.

KHALIL, A. Simulation of nitrogen distribution in soil with drip irrigation system. **Journal of Applied Sciences**, Pakistan, v. 8, n. 18, p. 3157-3165, 2008.

KISHINO, A.; MASHIMA, M. **Uva**. Manual agropecuário para o Paraná. Londrina: IAPAR, p.139-176. 1980.

KLEIN, I. et al. Irrigation and fertigation effects on phosphorus and potassium nutrition of wine grapes. **Vitis**, Genevea, v.39, p.55-62, 2000.

KODUR, S. Effects of juice pH and potassium on juice and wine quality, and regulation of potassium in grapevine through rootstocks (*vitis*): a short review. **Vitis**, Genevea, v.50, n.1, p.1-6, 2011.

LAO, M. T. et al. 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.

LARRAURI, J.A.; RUPÉREZ, P.; SAURA-CALIXTO, F. Effect of drying temperature on the stability of polyphenols and antioxidant activity of red grape pomace peels. **Journal of Agricultural Food Chemistry**, Washington, v.45, p.1390-1393, 1997.

LAURINDO, V. T. et al. Padrão de distribuição de K^+ , Ca^{++} , Mg^{++} e P no solo de um pomar de citros em função da fertirrigação. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.30, n.5, p.909-921, set./out. 2010.

LIBARDI, P. L. **Água no solo**. In: Jong van Lier, Q.(Coord.). Física do solo. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2010, 103-152p.

LIBARDI, P. L. **Dinâmica da água no solo**. São Paulo: 2ed. Edusp, 2012 346p.

LIMA, C. J. G. S. **Calibração e manejo de extratores providos de cápsulas porosas e transdutores de pressão para o monitoramento de íons na fertirrigação**. 2009. 109p. Dissertação (Agronomia/Irrigação e Drenagem) – Escola Superior Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2009.

LINSENMEIER, A. W.; LOOS, U.; LÖHNERTZ, O. Must composition and nitrogen uptake in a long-term trial as affected by timing of nitrogen fertilization in a cool-

climate Riesling vineyard. **American Journal of Enology and Viticulture**, Davis, v.59, n.3, p. 255-264, 2008.

LITTEL, R.C.; MOTT, G.O. Computer assisted design and analysis of response surface experiments in agronomy. **Soil and Crop Society of Florida Proceedings**, Florida, v.34, p.94-97, 1975.

LOPES et al. Modelos empíricos para a estimativa da área foliar da videira na casta Jaen. **Ciência e Técnica Vitivinícola**, Dois Portos, v.19, n.2, p.61-75, dez. 2004

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

McCARTHY, M. G.; COOMBE, B. G. Water status and winegrape quality. **Acta Horticulturae**, Leuven, v.171, p.447-456, 1985.

MELO, G. W. B. et al. Resposta das videiras a diferentes modos de distribuição de composto orgânico no solo. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v.34, n.2, p.493-503, Jaboticabal, abr./ jun. 2012.

MERRIAN, J. L.; KELLER, J. **Farm irrigation systems evaluation: A guide for management**. Logan: Agricultural and Irrigation Engineering Department, Utah State University, 1978. 271 p.

MIRANDA, J. H. et al. Simulação , do deslocamento de potássio em colunas verticais de solo não-saturado. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.25, n.3, p.677-685, set./ dez. 2005.

MORINAGA, K. et al. Effects of fruit load on partitioning of ¹⁵N and ¹³C, respiration, and growth of grapevine roots at different fruit stages. **Scientia Horticulturae**, Leuven, v. 97, p. 239–253, 2003.

MOTA, C. S. et al. Comportamento vegetativo e produtivo de videiras „Cabernet Sauvignon“ cultivadas sob cobertura plástica. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v.30, n.1, p.148-153, mar. 2008.

MPELASOKA, B. S. et al. review of potassium nutrition in grapevines. **Australian Journal of Grape and Wine Research**, Adelaide, v.9, p.154-168, 2003.

MUNDSON, R. D.; NELSON, W. L. Movement of applied potassium in soils. **Agricultural and Food Chemistry**, Quedlinburg, v.11, n.3, 193-201, 1963.

- NAGARAJAH, S. A petiole sap test for nitrate and potassium in Sultana grapevines. **Australian Journal of Grape and Wine Research**, Adelaide, v.5, 56–60, 1999.
- NASCIMENTO, O. S. et al. Comportamento da área foliar da videira “Isabel” submetida a diferentes tipos e doses de biofertilizantes. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, Mossoró, v.9, n.2, p.52-58, abr./mai. 2014.
- NEVES, L. S.; ERNANI, P. R.; SIMONETE, M. A. Mobilidade de potássio em solos decorrente da adição de doses de cloreto de potássio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.33, n.1, p.25-32, jan/fev. 2008.
- NUNES, M. R.; LAMIS, A. T. Variação da perda de nitrogênio com o pH do solo. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiania, v.3, n.1, p.53 -63, 1973.
- OBANDA, M.; OWUOR, P. O. Flavonol composition and caffeine content of green leaf as quality potential indicators of kenyan black teas. **Journal of the science of food and Agriculture**, London, v.74, p.209-215, 1997.
- OLIVEIRA, E.M.M. et al. Fatores de retardamento e coeficientes de dispersão-difusão de fosfato, potássio e amônio em solos de Minas Gerais. **Revista Brasileira Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.8, n.2, p.196-203, mai./dez. 2004.
- OLIVEIRA, F. A. et al. Manejos da fertirrigação e doses de N e K no cultivo de pimentão em ambiente protegido. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola**, Campina Grande, v.17, n.11, p.1152-1159, nov. 2013.
- OLIVEIRA, F. A. et al. Calibração de extratores providos de cápsulas porosa para monitoramento da salinidade e da concentração de íons. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.31, n.3, p.520-528, jul./ set. 2011.
- OLIVEIRA, M. R. G.; CALADO, A. M.; PORTAS, C. A. M. Tomato root distribution under drip irrigation. **Journal American Society of Horticulture**, Davis, v.4, n.121, p.644-648, 1996.
- OLIVEIRA, M. V. A. M.; VILLAS BÔAS, R. L. Uniformidade de distribuição do potássio e do nitrogênio em sistema de irrigação por gotejamento. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.28, n.1, p.95-103, jan./mar. 2008.
- PADILLA, W.A. **Factores que limitan el crecimiento y desarrollo de las plantas**. Segundo Curso Internacional de Fertirrigacion en cultivos protegidos. Universidad San Francisco de Quito. Quito: Ecuador, 1998. 1-10p.

PAPADOPOULOS, I. **Processo de transição da fertilização convencional para fertirrigação**. In: FOLLEGATTI, M.V.; CASARINI, E.; BLANCO, F.F.; BRASIL, C.R.P.; RESENDE, R.S. (Coord.) *Fertirrigação: flores, frutas e hortaliças*. Guaíba: Agropecuária, 2001. 9-69 p.

PEACOCK, W. L.; CHRISTENSEN, L. P.; HIRSCHFELT, D. J. Influence of timing of nitrogen fertilizer application on grapevines in the San Joaquin Valley. **American Journal of Enology and Viticulture**, Davis, v. 42, p. 322,326, 1991.

PEACOCK, W. L.; CHRISTENSEN, L. P.; BROADBENT, F. E. Uptake, storage, and utilization of soil applied nitrogen by Thompson Seedless as affected by time of application. **American Journal of Enology and Viticulture**, Davis, v. 40, p. 16,20, 1989.

PEDRO JÚNIOR, M. J.; RIBEIRO, I. J. A.; MARTINS, F. P. Determinação da área foliar em videira cultivar Niagara Rosada. **Bragantia**, Campinas, v.45, n.2, p.199-204, 1986.

PEIXOTO, J. F. S.; GUERRA, H. O. C.; CHAVES, L. H. G. Alterações de atributos químicos do solo pela fertirrigação com nitrogênio e potássio. **Agropecuária Técnica**, Areia, v.27, n.2, abr./jun. 2006.

PEÑA-NEIRA, A. et al. Effects of ripening stages and of plant vegetative vigor on the phenolic composition of grapes (*Vitis vinifera* L.) cv. Cabernet Sauvignon in the Maipo Valley (Chile). **Vitis**, Quedlinburg, v. 43, n.2, p.51-57, 2004.

PESSANHA, P. G. O. et al. Nutrientes minerais no limbo foliar de genótipos de videira cultivados no norte fluminense. **Revista Caatinga**, Mossoró, v.24, n.2, p.33-39, abr./jun. 2011.

PREGNOLATTO, W.; PREGNOLATTO, N.P. (Coord.). **Normas analíticas do Instituto Adolfo Lutz: métodos químicos e físicos para análise dos alimentos**. 3.ed. São Paulo: Instituto Adolfo Lutz, 1985. 533p.

PREINER, D. et al. Organic acids profiles of the most important Dalmatian native grapevine (*V. vitis vinifera* L.) cultivars. **Journal of Food Composition and Analysis**, Amsterdam, v.32, p.162-168, 2013.

R DEVELOPMENT CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing: reference index version 2.8.0**. Vienna Foundation for Statistical Computing, 2008. Disponível em: <<http://www.r-project.org>> 11 Jan. 2008.

REDDY, S. J.; AMORIM NETO, M. S. **Dados de precipitação, evapotranspiração potencial, radiação solar global de alguns locais e classificação climática do**

Nordeste do Brasil. Petrolina: Embrapa-CPATSA, 1983. 280 p.

REGINA, M. de A. et al. Cálculo da área foliar em videira por método não destrutivo. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 22, n. 3, p. 310 - 313, jul./out. 2000.

RICHARDS, L. A. (Ed.). **Diagnosis and improvement of saline and alkali soils.** Washington, DC: United State Salinity Laboratory, 1954. 160 p. (USDA Agriculture Handbook, 60).

RICHTER, G. T. **Nitrogênio total em pecíolo de videiras e nitrogênio amoniacal, assimilável e total em uvas e mostos.** Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria-RS, 2008. 101p.

RIZZON, L. A.; MIELE, A. Analytical characteristics and discrimination of Brazilian commercial grape juice, nectar, and beverage. **Ciência e Tecnologia de Alimentos, Campinas**, v.32, n.1, p.93-97, jan./mar. 2012

RIZZON, L. A.; MIELE, A. Efeito da safra vitícola na composição da uva, do mosto e do vinho Isabel da Serra Gaúcha, Brasil. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.36, n.3, p.959-964, jun. 2006.

ROCHA, F. et al. Modelo numérico do transporte de nitrogênio no solo. Parte II: Reações biológicas durante a lixiviação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.12, n.1, p.54– 61, jan./mar. 2008.

ROCHA, M. G.; BASSOI, L. H.; SILVA, D. J. Atributos do solo, produção da videira „Syrah“ irrigada e composição do mosto em função da adubação orgânica e nitrogenada. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v.37, n.1, p.198-207, jan./mar. 2015.

ROCHA, M. G. **Manejo da fertirrigação nitrogenada em videira C. Syrah no Vale do Submédio do São Francisco.** 2013.99f.Tese (Doutorado em Agronomia/Irrigação Drenagem)-Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2013.

ROSOLEM, C. A.; FOLONI, J. S. S.; OLIVEIRA, R. H. Dinâmica do nitrogênio no solo em razão da calagem e adubação nitrogenada, com palha na superfície. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.38, n.2, p. 301-309, fev. 2003.

RUIZ, H. A. et al. **Transporte de solutos no solo.** In: Jong van Lier (Coord.). Física do Solo. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2010, 214-227p.

RUIZ, H. A.; MIRANDA, J. E.; CONCEIÇÃO, J. C. S. Contribuição dos mecanismo de fluxo de massa e de difusão para o suprimento de K, Ca, Mg às plantas de arroz. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.23, n.4, p.1015-1018, out./dez. 1999.

SALOMÃO, L. C. et al. Posicionamento de extratores de cápsulas porosas em solo arenoso na citricultura fertirrigada por gotejamento. **Irriga**, Botucatu, v.17, n.1, p.469-480, jan./mar. 2012.

SANTANA, G. S. et al. Relação entre potássio na solução do solo, umidade e condutividade elétrica aparente do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.11, n.2, p.142-151, nov. 2007.

SANTOS, K. S. et al. Variabilidade espacial de atributos físicos em solos de vale aluvial no Semiárido de Pernambuco. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.16, n.8, p. 828-835, ago. 2012.

SHELLIE, K.; BROWN, B. Influence of deficit irrigation on nutrient indices in wine grape (*Vitis vinifera* L.). **Agricultural Sciences**, Bejin, v.3, n.2, p.268-273, 2012.

SILVA, J. A. M. **Irrigação lateralmente alternada e com deficit hídrico na videira cv. Petite Syrah**. 2005. 99 f. Dissertação (Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2005.

SILVA, A. O. A fertirrigação e o processo de salinização de solos em ambiente protegido. **Nativa**, Sinop, v.02, n.03, p.180-186, jul./ out. 2014.

SILVA, D. J. et al. Adubação orgânica e fertirrigação potássica em videira „Syrah“ no Semiárido. **Irriga**, Botucatu, v. especial, n.1, p.168-178, jan./mar. 2014.

SILVA, D. J.; SOARES, J. M. **Fertirrigação**. In: SOARES, J. M.; LEAO, P. C. de S. (Ed.). A vitivinicultura no Semiárido brasileiro. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica; Petrolina: Embrapa Semi-Árido, 2009. cap. 11, p. 483-512.

SILVA, D. J.; FARIA, C. M. B. **Amostragem para análise foliar de videira**. Petrolina: Embrapa Semiárido. 1999. 4 p. (Instruções Técnicas, 4.)

SILVA, E. F. F. et al. Extratores de cápsulas porosas para o monitoramento da condutividade elétrica e teor de potássio na solução do solo. **Scientia agrícola**, Piracicaba, v.57, n.4, p.785-789, out./dez. 2000.

SILVA, E. F. F. et al. Utilização de testes rápidos e extratores de solução do solo na determinação de nitrato e potássio. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.23, n.3, p.460-467, jul./ago. 2003.

SILVA, P. C. G.; COELHO, R. C. **Cultivo da videira**: caracterização social e econômica da cultura da videira. 2ªed. Petrolina: Embrapa semiárido, 2010, 3p. (comunicado técnico).

SILVA, T. S. M. et al. Teor de potássio na solução do solo com uso de técnica de reflectometria no domínio do tempo. **Irriga**, Botucatu, v.10, n.4, p.393-402, 2005.

SINGH, K. G., AND S. K. SONDHII. Validation of a fertilizer nitrogen model during crop production. **Journal of Agricultural Engineering Research**, Orlando, v.78, p.317-324, 2001.

SIQUEIRA NETO, M. et al. Mineralização e desnitrificação do nitrogênio do solo sob sistema de plantio direto. **Bragantia**, Campinas, v.69,n.4, p.923-936, out./dez. 2010.

SOUBERYAND, E. et al. Nitrogen supply affects anthocyanin biosynthetic and regulatory genes in grapevines cv. Cabernet-Sauvignon berries. **Phytochemistry**, London, v.103, p.38-49, 2014.

SOUSA, V. F. et al. Distribuição de fertilizantes em um sistema de fertigação por gotejamento. **Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.7, n.1, p.186-189, jan./fev.2003.

SOUSA, V. F. et al. Manejo da fertirrigação em fruteiras e hortaliças. In: SOUSA, V. F.; MAROUELLI, W. A.; COELHO, E. F.; PINTO, J. M. COELHO FILHO, M. A. (Coord). **Irrigação e fertirrigação em fruteiras e hortaliças**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2011. 317-337p.

SOUZA, E. R. et al. Comparação de métodos de extração da solução do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.17, n.5, p.510-517, mai. 2013.

SOUZA, T. R. et al. Dinâmica de nutrientes na solução do solo em pomar fertirrigado de citros. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.47, n.6, p. 846-854, dez. 2012a.

SOUZA, T. R. et al. Medida indireta da clorofila e sua relação com o manejo da adubação nitrogenada em plantas cítricas fertirrigadas. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v.33, n.3, p.993-1003, jun./ago. 2011.

SOUZA, T. R. et al. Nutrientes na seiva de plantas cítricas fertirrigadas. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v.34, n.2, p.482-492, abr./jun. 2012b.

SOUZA, T. R. et al. Nutrientes no solo e na solução do solo na citricultura fertirrigada por gotejamento. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.35, n.3, p.484-493, mai./jun. 2015.

SPAYD, S. E. et al. Nitrogen fertilization of white Riesling grape in Washington. Must and wine composition. **American Journal of Enology and Viticulture**, Davis, v.45, n.1, 1994.

STEELE, M. R.; GITELSON, A. A.; RUNDQUIST, D. C. A comparison of two techniques for nondestructive measurement of chlorophyll content in grapevine leaves. **Agronomy Journal**, Madison, v.100, n.3, p.779-782, 2008.

STEENWERTH, K. L.; BELINA, K. M. Vineyard weed management practices influences nitrate leaching and nitrous. **Agriculture, Ecosystems and Environmental**, Amsterdam, v.138, p.127-131, 2010.

TASKOS, D. G. et al. Using active canopy sensors and chlorophyll meters to estimate grapevine nitrogen status and productivity. **Precision Agriculture**, New York, v.16, p.16-98, 2015.

TECCHIO, M. A. et al. Teores foliares de nutrientes, índice relativo de clorofila e teores de nitrato e de potássio na seiva do pecíolo na videira „Niagara Rosada“. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v.33, n.2, p.649-659, abr./jun. 2011.

TECCHIO, M. A.; TERRA, M. M.; MAIA, J. D. **Nutrição, calagem e adubação da videira Niágara**. In: MAIA, J. D. G.; CAMARGO, U. A. (Coord.). O cultivo da videira Niágara no Brasil. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2012. 137-186p.

TECCHIO, M.A. et al. Correlação entre a produtividade e os resultados de análise foliar e de solo em vinhedos de niagara rosada. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 30, n. 6, p. 1056-1064, nov./dez. 2006.

TEIXEIRA, A. H. C. **Cultivo da videira: clima**. Embrapa Semiárido: sistema de produção 1, 2004. (Circular técnica).

TEIXEIRA, A. H. C.; BASTIAANSEN, W. G. M.; BASSOI, L. H. Crop water parameters of irrigated wine and table grapes to support water productivity analysis in the São Francisco river basin, Brazil. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v.94, p.31-42, 2007a.

TEIXEIRA, A. H. C. et al. Delimitação da aptidão agroclimática para videira sob irrigação no Nordeste Brasileiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.16, n.4, p.399-407, abr. 2012.

TEIXEIRA, L. A. J. et al. Alterações em atributos químicos de um solo submetido à adubação e cultivado com videira „Niagara Rosa“. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v.33, n.3, p.983-992, set. 2011.

- TEIXEIRA, L.A. J. et al. Nitrogênio e potássio em bananeira via fertirrigação e adubação convencional-atributos químicos do solo. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v.29, n.1, p.143-152, jan./mar. 2007b.
- TERRA, M. M. Nutrição e adubação da videira. In: BOLIANI, A. C.; CORRÊA, L. de S. (Ed.). **Cultura de uvas de mesa: do plantio à comercialização**. Ilha Solteira: Unesp - Fapesp, 2001. 149-176p.
- TONIN, T. A. et al. Avaliação do estado nutricional das cultivares de uva Itália e rubi no município de Marialva, Estado do Paraná. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v.31, n.1, p. 63-69, jan./mar. 2009.
- TREEBY, M. **Manipulating grapevine annual shoot growth, yield and composition of grapes using fertigation**. In: IMAS, P. & PRICE, M. R. (eds.). International Symposium on Fertigation. Beijing: International Potash Institute, 2005. 89-102p.
- VILLAS BÔAS, R. L.; BOARETO, A. E.; VITTI, G. C. **Aspectos da fertirrigação**. In: VITTI, G. C.; BOARETO, A. E. (Ed.). **Fertilizantes líquidos**. Piracicaba: POTAFOS, 1994. p.284-308.
- VILLAS BÔAS, R. L.; BÜLL, L. T.; FERNANDES, D. M. **Fertilizantes em fertirrigação**. In: FOLLEGATTI, M.V.; CASARINI, E.; BLANCO, F.F.; BRASIL, C.R.P.; RESENDE, R.S. (Coord.) **Fertirrigação: flores, frutas e hortaliças**. Guaíba: Agropecuária, 1999. 293-319p.
- VILLAS BÔAS, R. L.; ZANINI, J. R.; DUENHAS, L. H. Uso e manejo de fertilizantes em fertirrigação. In: ZANINI, J. R.; VILLAS BÔAS, R. L.; FEITOSA FILHO, J. C. **Uso e manejo da fertirrigação e hidroponia**. Jaboticabal: FUNEP, 2002, p.1-26.
- VOLSCHENK, H.; VUUREN, H. J. J. van.; VILJOEN-BLOOM, M. Malic acid in wine: origin, function and metabolism during vinification. **South African Journal Enology and Viticulture**, Dennesig, v.27, n.2, p.123-136, 2006.
- WAGENET, R. J.; BHASKAR, K. R. Description of nitrogen movement in the presence of spatially variable soil hydraulic properties. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v.6, p.227-242,1983.
- WALKER, R. R.; BLACKMORE, D. H. Potassium concentration and pH inter-relationships in grape juice and wine of Chardonnay and Shiraz from a range of rootstocks in different environments. **Australian Journal of Grape and Wine Research**, Adelaide, v.18, p.183-193, 2012.
- WEAVER, R. J. **Grape growing**, New York: J. Wiley, 1976, 371p.

WERLE, R.; GARCIA, R. A.; ROSOLEM, C. A. Lixiviação de potássio em função da textura e da disponibilidade do nutriente no solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.32, n1. p.2297-2305, jan./mar. 2008.

WILLIAMS, L. E.; BISCAY, P. J. Partitioning of dry weight, nitrogen and potassium, and root distribution of Cabernet Sauvignon grapevines for anthesis until harvest. **American Journal of Enology and Viticulture**, Davis, v. 42, p. 113-117, 1991.

YIMPRASERT, S.; BLEVINS, R. L.; CHAEWSAMOOT, S. Movement of nitrate, chloride, and potassium in a sandy loam soil. **Plant and Soil**, The Hague, v.45, p.227-234, 1976.

YU, X. et al. Effect of root restriction on nitrogen levels and glutamine synthetase activity in „Kioho“ grapevines. **Scientia Horticulturae**, Leuven, v.137, 156-163, 2012.

ZAPATA, C. et al. Partitioning and mobilization of starch and N reserves in grapevine (*Vitis vinifera* L.). **Journal of Plant Physiology**, Melbourne, v.161, p.1031-1040, 2004.

ZERIHUN, A.; TREEBY, M. T. Biomass distribution and nitrate assimilation in response to N supply for *Vitis vinifera* L. cv. Cabernet Sauvignon on five vitis rootstock genotypes. **Australian journal of grapes and wine Research**, Adelaide, v.8, p.157-162, 2002.

ZHENMING, N. et al. Effects of leaf-applied potassium, gibberellin and source–sink ratio on potassium absorption and distribution in grape fruits. **Scientia Horticulturae**, Leuven, v.115, p.164-167, 2008.

ZHU, L. et al. Vine growth and nitrogen metabolism of „Fujiminori“ grapevines in response to root restriction. **Scientia Horticulturae**, Leuven, v.107, p. 143-149, 2006.

ZOECKLEIN, B. W. et al. **Análisis y producción de vino**. Zaragoza: Acribia. 2001.613p.