

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

**MANEJO DA VITICULTURA IRRIGADA NO SEMIÁRIDO COM BASE
EM ZONAS HOMOGÊNEAS DO SOLO E DA PLANTA**

PATRICIA DOS SANTOS NASCIMENTO

**Tese apresentada a Faculdade de Ciências
Agronômicas da Unesp – Campus de Botucatu,
para obtenção do título de Doutor(a) em
Agronomia (Irrigação e Drenagem)**

**BOTUCATU, SP
Fevereiro, 2013**

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

**MANEJO DA VITICULTURA IRRIGADA NO SEMIÁRIDO COM BASE
EM ZONAS HOMOGÊNEAS DO SOLO E DA PLANTA**

PATRICIA DOS SANTOS NASCIMENTO

Orientador: Luís Henrique Bassoi

Tese apresentada a Faculdade de Ciências
Agronômicas da Unesp – Campus de Botucatu, para
obtenção do título de Doutor(a) em Agronomia
(Irrigação e Drenagem)

BOTUCATU, SP

Fevereiro, 2013

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

Nascimento, Patrícia dos Santos, 1982-
N244m Manejo da viticultura irrigada no semiárido com base em
zonas homogêneas do solo e da planta / Patrícia dos Santos
Nascimento. - Botucatu : [s.n.], 2013
xv, 125 f. : ils. color., grafs., tabs., fots. color.

Tese (Doutorado) - Universidade Estadual Paulista,
Faculdade de Ciências Agrônomicas, Botucatu, 2013
Orientador: Luís Henrique Bassoi
Inclui bibliografia

1. Irrigação. 2. Geoestatística. 3. Uva - Cultivo.
3. Solos - Umidade. 4. Agricultura de precisão. I. Bassoi,
Luiz Henrique. II. Universidade Estadual Paulista "Júlio de
Mesquita Filho" (Campus de Botucatu). Faculdade de Ciências
Agrônomicas. III. Título.

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

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

**TÍTULO: “MANEJO DA VITICULTURA IRRIGADA NO SEMIÁRIDO COM BASE
EM ZONAS HOMOGÊNEAS DO SOLO E DA PLANTA”**

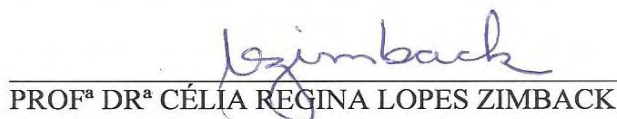
ALUNA: PATRÍCIA DOS SANTOS NASCIMENTO

ORIENTADOR: PROF. DR. LUÍS HENRIQUE BASSOI

Aprovado pela Comissão Examinadora



PROF. DR. LUÍS HENRIQUE BASSOI



PROFª DRª CÉLIA REGINA LOPES ZIMBACK



PROF. DR. RICARDO YASSUSHI INAMASU



PROFª DRª CÉLIA REGINA GREGO



PROF. DR. PAULO MILTON BARBOSA LANDIM

Data da Realização: 22 de fevereiro de 2013.

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

À **Deus**, pelo dom da vida e por me
provar a cada dia, que nele eu tudo posso.

Aos meus pais: **Raimundo e Ednalva**
por todo amor, educação, confiança, esforço
e apoio.

DEDICO

AGRADECIMENTO

Á **Deus**, pela presença constante e persistente na minha vida....

Ao Prof. Dr. **Luis Henrique Basso** pela credibilidade, companheirismo, paciência e motivação em todas as etapas do desenvolvimento dessa pesquisa, sobretudo pelas palavras de estímulo ao longo do convívio;

À **Faculdade de Ciências Agrônomicas** e a todos os funcionários e professores do Departamento de Engenharia Rural, da Biblioteca do Lageado e da Seção de Pós Graduação, por toda atenção e apoio.

À Prof(a) **Célia Regina Lopes Zimback** pela disponibilidade, carinho, atenção e paciência;

Ao Prof. **João Carlos Cury Saad** pelo auxílio, estímulo e competência;

Ao **CNPq** pela concessão de bolsa de estudos durante o curso de Doutorado.

À FACEPE e a Rede de Agricultura de Precisão da Embrapa, pelo recurso financeiro para a realização do experimento.

Aos colegas do programa de **Pós Graduação em Agronomia** (Irrigação e Drenagem) pelos bons momentos vividos ao longo do convívio;

Aos amigos do **GEPAG** pelo aprendizado, convívio, amizade e carinho;

Á **Embrapa Semiárido** pela infraestrutura e apoio durante a realização dessa pesquisa;

Á fazenda **Sasaki** pela concessão da área experimental, fornecimento de dados e todo o apoio oferecido, em especial: Ao Sr. Paulo Sasaki, Patricia Villar, e Janeide Sá;

Aos amigos da **Embrapa**, muito obrigada pela amizade, ajuda nos trabalhos de campo, leveza no convívio e pelas inúmeras risadas: Ana Rita, Bruno, Joselina, Juliano, Leide, Marlon, Miriam e Simone.

Aos amigos de **SEMPRE** que mesmo distante, demonstram que não existem barreiras para um sentimento verdadeiro: Adriana, Audenice, Edyene, Fabio, Jamile, Josi, Laura e Valéria.

Ao **Grupo de Oração Divina Misericórdia** de Botucatu, costumo dizer que ter partilhado do convívio de vocês durante o período que estive em Botucatu foi a melhor experiência que tive em Botucatu, não são só palavras. Tudo mais foi muito mais fácil com o carinho de vocês: Família Camargo, Edvar e todos que compõem o GODM.

Á **Carmen Regina**, pela amizade, companheirismo, carinho, compreensão e todo o apoio necessário para que minha estadia em Petrolina fosse a melhor possível;

Aos **novos amigos**, presentes recebidos durante o doutorado, sem os quais dificilmente chegaríamos até aqui. À Renata Marques por toda a luz que irradia, por todo amor, cuidado e companheirismo. À Ana Carolina Lara pelo maravilhoso convívio, pela doçura e amizade. À Livia Sancinetti por toda amizade, disponibilidade e carinho. À Indiamara Marasca por todo carinho e sorrisos.

Aos amigos: Aurélia Araújo, Bruna Lapenna, Camila Tomaz, Camila Abrahão, Miguel Menegazzo e Ricardo Nakamura, muito obrigada pelos bons momentos.

À **minha família** que esteve sempre muito presente, ainda que em orações para que eu conseguisse suportar a distância e atingir os meus objetivos, em especial minha avó Benedita, minha madrinha Elisabeth, Andreia e Andreza.

Aos **meus pais**, Raimundo e Ednalva, meus irmãos: Ana Paula, Robson e Priscila e meus sobrinhos: Cauã Victor e Maria Eduarda por todo amor, incentivo e torcida ao longo da vida. Vocês são a razão de tudo.

A todos que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste sonho, meu muito obrigado!

SUMÁRIO

	Páginas
LISTA DE TABELAS	VIII
LISTA DE FIGURAS	X
LISTA DE EQUAÇÕES	XV
RESUMO:	1
SUMMARY	3
INTRODUÇÃO.....	5
CAPÍTULO 1 - ZONAS HOMOGÊNEAS DE ATRIBUTOS DO SOLO PARA O MANEJO DE IRRIGAÇÃO EM POMAR DE VIDEIRA.....	8
1.1- Introdução.....	11
1.2 - Material e Métodos.....	15
1.3- Resultados e Discussão	20
1.4- Conclusões	42
1.5- Referências Bibliográficas	42
CAPITULO 2 - APLICAÇÃO DAS ZONAS HOMOGÊNEAS PARA O MANEJO DIFERENCIADO DA IRRIGAÇÃO EM POMAR DE VIDEIRA	49
2.1- Introdução.....	51
2.2- Material e Métodos.....	55
2.3- Resultados e Discussão	63
2.4- Conclusões	83
2.5- Referências Bibliográficas	83
CAPITULO 3 - DEFINIÇÃO DE ZONAS HOMOGÊNEAS DE NITROGÊNIO FOLIAR EM VIDEIRA COM DIFERENTES INTENSIDADES AMOSTRAIS	87
3.1- Introdução.....	89
3.2- Material e Métodos.....	92
3.3- Resultados e Discussão	96
3.4- Conclusões	108
3.5- Referências Bibliográficas	108
CONCLUSÕES	113
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	114
APENDICE 1	115
APENDICE 2.....	121
APENDICE 3.....	122

LISTA DE TABELAS

	Páginas
CAPITULO 1	
Tabela 1. Estatística descritiva dos atributos densidade do solo (D_s , kg.m^{-3}), densidade de partículas (D_p , kg.m^{-3}), porosidade total (PT, %), areia total (kg.kg^{-1}), silte (kg.kg^{-1}) e argila (kg.kg^{-1}), nas profundidades de 0,0-0,20 m e 0,20-0,40 m.	21
Tabela 2. Parâmetros do variograma dos atributos densidade do solo (D_s , kg.m^{-3}), densidade de partículas (D_p , kg.m^{-3}), porosidade total (PT, %), Areia Total (AT, kg.kg^{-1}), silte (kg.kg^{-1}) e argila (kg.kg^{-1}) nas profundidades de 0,0-0,20 m e 0,20-0,40 m.	23
Tabela 3. Estatística descritiva da umidade do solo (Θ , $\text{m}^3.\text{m}^{-3}$) em cada tensão aplicada (MPa) e da água disponível (AD, mm) nas profundidades de 0,0-0,20 m e 0,20-0,40 m.....	25
Tabela 4. Parâmetros do variograma da umidade do solo(Θ , $\text{m}^3.\text{m}^{-3}$) em cada tensão aplicada (MPa) e da água disponível (AD, mm), nas profundidades de 0,0-0,20 m e 0,20-0,40 m.....	26
Tabela 5. Estatística descritiva dos atributos: densidade do solo (D_s , kg.m^{-3}), densidade de partículas (D_p , kg.m^{-3}), porosidade total (PT, %), areia total(kg.kg^{-1}), silte (kg.kg^{-1}) e argila (kg.kg^{-1}) nas profundidades de 0,0-0,20; 0,20-0,40; 0,40-0,60; 0,60-0,80; 0,80-1,00 m.	36
Tabela 6. Parâmetros do variograma dos atributos densidade do solo (D_s , kg.m^{-3}), densidade de partículas (D_p , kg.m^{-3}), porosidade total (PT, %), areia total (kg.kg^{-1}), silte (kg.kg^{-1}) e argila (kg.kg^{-1}) nas profundidades de 0,0-0,20; 0,20-0,40; 0,40-0,60; 0,60-0,80; 0,80-1,00 m.....	38
CAPITULO 2	
Tabela 1. Parâmetros do variograma do número de cachos de uva produzido na área de produção nos ciclos de 2011 e 2012.....	83
CAPITULO 3	

Tabela 1. Estatística descritiva do teor foliar de N total aos 29/30; 36/37; 43/44 e 91/92 dias após a poda de produção (dapp) da videira de mesa, nas respectivas densidades amostrais: 820, 410, 180, 90 e 45 ..	98
Tabela 2. Parâmetros do variograma para o teor foliar de N total aos 29/30; 36/37; 43/44 e 91/92 dias após a poda de produção (dapp) da videira de mesa, nas respectivas densidades amostrais: 820, 410, 180, 90 e 45 ..	99
Tabela 3. Acidez total titulável (ATT, g.L de ácido tartárico ⁻¹), pH e teor de sólidos solúveis totais (SST, °Brix) em diferentes zonas homogêneas de teor foliar de N total na videira cv. Thompson Seedless.....	108

LISTA DE FIGURAS

	Paginas
CAPITULO 1	
Figura 1- Croqui com as transeções (fileiras 5, 15, 25 e 35) para coleta de solo nas profundidades de 0-0,2 e 0,2-0,4 m e subunidades nas profundidades de 0,0-0,20; 0,20-0,40; 0,40-0,60; 0,60-0,80 e 0,80-1,00 m.....	17
Figura 2- Área com videiras irrigadas por microaspersão e numeradas, conduzidas no sistema de latada.....	18
Figura 3- Mapas de zonas homogêneas da densidade do solo (D_s , kg.m^{-3}), densidade das partículas (D_p , kg.m^{-3}), porosidade total (PT, %), areia total (kg.kg^{-1}), silte (kg.kg^{-1}) e argila (kg.kg^{-1})..	27
Figura 3- Continuação..	28
Figura 3- Continuação..	29
Figura 4- Distribuição espacial da umidade do solo ($\text{m}^3.\text{m}^{-3}$) nas diferentes tensões da curva de retenção de água e da água disponível (AD, mm), nas profundidades de 0,0-0,20 e 0,20-0,40 m.....	30
Figura 4- Continuação	31
Figura 4- Continuação	32
Figura 5- Zonas de manejo selecionadas com os pontos para o monitoramento da umidade do solo.....	34
Figura 6a. Distribuição espacial dos atributos densidade do solo (D_s , kg.m^{-3}), densidade de partículas (D_p , kg.m^{-3}), porosidade total (PT, %), nas profundidades de 0,0-0,20; 0,20-0,40; 0,40-0,60; 0,60-0,80; 0,80-1,00 m.	40
Figura 6b. Distribuição espacial dos atributos areia total (kg.kg^{-1}), silte (kg.kg^{-1}) e argila (kg.kg^{-1}) nas profundidades de 0,0-0,20; 0,20-0,40; 0,40-0,60; 0,60-0,80; 0,80-1,00 m.	41

Figura 7. Mapa da distribuição espacial das cotas topográficas na área cultivada com videira.....	41
---	----

CAPITULO 2

Figura 1. Mapa de distribuição da água disponível na profundidade de 0,2-0,4 m em pomar de videira cv. Thompson Seedless.....	57
---	----

Figura 2. Croqui da área experimental, com as transeções para as coletas de amostras de solo (fileiras 5, 15, 25 e 35), e os 6 pontos de monitoramento da umidade do solo; 1, 2 e 4 (critério do produtor) e 3,5 e 6 (AD).....	58
--	----

Figura 3. Tensiômetros nas profundidades de 0,2 m, 0,4 m e 0,6 m (a); Sonda de nêutrons utilizada para o monitoramento da umidade do solo nas profundidades de 0,15; 0,30; 0,45; 0,60; 0,75; 0,90; 1,05 e 1,20 m (b).....	60
---	----

Figura 4. Sistema de irrigação utilizando duas mangueiras de polietileno com registros de linhas para a alternância do lado da planta a ser irrigado	61
--	----

Figura 5. Disposição das baterias nas zonas de manejo, para avaliação da umidade a partir dos 70 dapp.	61
---	----

Figura 6. Volume de água aplicado por videira (m^3) até os 70 dias após a poda (dapp) no ciclo de produção de 2011, nas válvulas de derivação de água 1 (fileiras 1 a 10) e 2 (fileiras 11 a 20).....	63
---	----

Figura 7. Umidade do solo (θ , $m^3.m^{-3}$) medida com tensiômetros a partir dos 71 dias após a poda de produção (dapp) nas profundidades 0,0-0,20; 0,20-0,40 e 0,40-0,60 m durante o ciclo de 2011, nas zonas 1, 2, e 4, e em ambos os lados da videira.....	64
---	----

Figura 8. Umidade do solo (θ , $m^3.m^{-3}$) medida com tensiômetros a partir dos 71 dias após a poda de produção (dapp) nas profundidades 0,0-0,20; 0,20-0,40 e 0,40-0,60 m durante o ciclo de 2011, nas zonas 3, 5, e 6, e em ambos os lados da videira.	65
--	----

Figura 9. Umidade do solo (θ , $\text{m}^3.\text{m}^{-3}$) medida pela sonda de neutrons, desde o início do ciclo (lado 1 da videira) e desde os 71 dias após a poda de produção – dapp (lado 2 da videira), nas profundidades de 0,15; 0,30; 0,45; 0,60; 0,75; 0,90; 1,05 e 1,20 m, durante o ciclo 2011, nas zonas 1,2 e 4.	66
Figura 9. Continuação.	67
Figura 9. Continuação.	68
Figura 10. Umidade do solo (θ , $\text{m}^3.\text{m}^{-3}$) medida pela sonda de neutrons, desde o início do ciclo (lado 1 da videira) e desde os 71 dias após a poda de produção – dapp (lado 2 da videira), nas profundidades de 0,15; 0,30; 0,45; 0,60; 0,75; 0,90; 1,05 e 1,20 m, durante o ciclo 2011, nas zonas 3, 5 e 6.....	69
Figura 10. Continuação	70
Figura 10. Continuação	71
Figura 11. Volume de água aplicado por videira (m^3) a partir dos 71 dias após a poda de produção (dapp) nas zonas de manejo 1 e 6 durante o ciclo de produção de 2011, e em ambos os lados da planta.....	72
Figura 12. Volume de água aplicado por videiraa (m^3) a partir dos 71 dias após a poda de produção (dapp) nas zonas de manejo 2, 3, 4 e 5 durante o ciclo de produção de 2011, e em ambos os lados da planta.....	72
Figura 13. Volume de água aplicado por videira (m^3) até 69 dias após a poda de produção (dapp), no ciclo de produção de 2012, nas zonas 1, 2 e 3.	73
Figura 14. Volume de água aplicado por videira (m^3) até 69 dias após a poda de produção (dapp) no ciclo de produção de 2012, nas zonas 4, 5 e 6.	73
Figura 15. Umidade do solo (θ , $\text{m}^3.\text{m}^{-3}$) medida com tensiômetros a partir dos 71 dias após a poda de produção (dapp) nas profundidades 0,0-0,20; 0,20-0,40 e 0,40-0,60 m durante o ciclo de produção de uva de 2012, nas zonas 1, 2, e 4, e em ambos os lados da planta.	74

Figura 16. Umidade do solo (θ , $\text{m}^3.\text{m}^{-3}$) medida por tensiômetros a partir dos 71 dias após a poda de produção (dapp) nas profundidades 0,0-0,20; 0,20-0,40 e 0,40-0,60 m durante o ciclo de 2012, nas zonas 3, 5, e 6 em ambas os lados da videira.....	75
Figura 17. Umidade do solo (θ , $\text{m}^3.\text{m}^{-3}$) medida com sonda de nêutrons em função dos dias após a poda de produção (dapp), em ambos os lados da videira, e nas profundidades de 0,15; 0,30; 0,45; 0,60; 0,75; 0,90; 1,05 e 1,20 m de profundidade, durante o ciclo 2012, nas zonas 1, 2 e 4.....	76
Figura 17. Continuação... ..	77
Figura 17. Continuação... ..	78
Figura 18. Umidade do solo (θ , $\text{m}^3.\text{m}^{-3}$) medida com sonda de neutrons, em função dos dias após a poda de produção (dapp), em ambos os lados da videira, e nas profundidades de 0,15; 0,30; 0,45; 0,60; 0,75; 0,90; 1,05 e 1,20 m, durante o ciclo 2012, nas zonas 3, 5 e 6.....	79
Figura 18. Continuação.....	80
Figura 19. Volume de água aplicado por videira (m^3) a partir de 70 dias após a poda de produção (dapp) no ciclo de produção de 2012, nas zonas 1, 2 e 3.....	81
Figura 20. Volume de água aplicado por videira (m^3) a partir de 70 dias após a poda de produção (dapp) no ciclo de produção de 2012, nas zonas 4, 5 e 6.....	81
Figura 21. Variabilidade espacial do número de cachos de uva produzido na área nos ciclos de 2011 e 2012.....	83
CAPITULO 3	
Figura 1. Croqui das diferentes intensidades de amostragem 820(a); 410(b); 180(c);90(d) e45(e).....	96
Figura 2. Distribuição espacial do índice relativo de clorofila aos 29/30 dapp da videira, nas respectivas densidades amostrais: 820, 410, 180, 90 e 45 pontos amostrais.....	101

Figura 3. Distribuição espacial do índice relativo de clorofila aos 36/37 dapp da videira, nas respectivas densidades amostrais: 820, 410, 180, 90 e 45 pontos amostrais.....	102
Figura 4. Distribuição espacial do índice relativo de clorofila aos 43/44 dapp da videira, nas respectivas densidades amostrais: 820, 410, 180, 90 e 45 pontos amostrais.....	103
Figura 5. Distribuição espacial do índice relativo de clorofila aos 91/92 dapp da videira, nas respectivas densidades amostrais: 820, 410, 180, 90 e 45 pontos amostrais.....	104
Figura 6. Variogramas escalonados do teor foliar de N total aos 29/30(a); 36/37(b); 43/44(c) e 91/92(d) dapp da videira nas diferentes intensidades amostrais.....	106

LISTA DE EQUAÇÕES

	Páginas
$PT = \left(1 - \frac{D_s}{D_p}\right) * 100$	Eq. 1..... 18
$AD = (\theta_{cc} - \theta_{pmp}) * Z$	Eq. 2 18
$\theta = 0,1089 * LR - 0,0224$	Eq. 3 59
$ET_c = ET_0 * K_c$	Eq. 4 62
$LB = ET_c / Ea_$	Eq. 5 62
$V = (TI . n . q) / 1000$	Eq. 6 62

RESUMO:

A crescente necessidade por tecnologias que otimizem o rendimento de áreas agrícolas e que paralelamente causem menor impacto ao meio ambiente, com redução dos insumos utilizados, têm conferido à agricultura de precisão uma área de atuação cada vez mais ampla no sistema produtivo agrícola. A aplicação dos conceitos intrínsecos a agricultura de precisão tem contribuído fortemente para a investigação e caracterização da variabilidade espacial e temporal de atributos que se relacionam direta ou indiretamente com a produtividade das culturas, possibilitando a construção de mapas que permitem uma melhor visualização da distribuição dos mesmos atributos, e auxiliando os produtores no processo de tomada de decisão. A aplicação dos conceitos da agricultura de precisão na viticultura irrigada do Vale do Submédio São Francisco alia-se a necessidade de aperfeiçoamento de critérios utilizados no manejo de irrigação e no monitoramento do estado nutricional das plantas. Nesse sentido, o objetivo deste trabalho foi caracterizar a variabilidade espacial existente nos atributos físico-hídricos do solo e estabelecer zonas homogêneas que auxiliem na tomada de decisão quanto ao manejo de irrigação; e avaliar a distribuição espacial e temporal do teor foliar de N em diferentes intensidades amostrais ao longo do ciclo de cultivo. O estudo foi realizado em Petrolina-PE, em um pomar de videira cv. Thompson Seedless irrigado por microaspersão, onde foram determinadas a granulometria do solo, curva de retenção de água no solo, densidade do solo, densidade das partículas e porosidade total do solo. Os dados foram submetidos às análises de estatística descritiva, geoestatística (interpolação por krigagem) e geração de mapas de contorno, para verificação da variabilidade espacial dos atributos do solo e delimitação das zonas homogêneas do solo. Com base nas zonas homogêneas de água disponível no solo, foram selecionadas 6 zonas de manejo para instalação de tensiômetros e tubo de acesso para sonda de neutrons para o monitoramento da umidade do solo, e auxílio à tomada de decisão pelo produtor quanto ao manejo da irrigação. Com isso, foi possível aplicar um menor volume de água em zonas que permaneceram com maiores valores de umidade do solo durante dois ciclos de produção de uva (2011 e 2012). O acompanhamento da distribuição espacial do teor foliar de N foi realizado em 4 datas ao longo de um ciclo de produção (2011), com dados coletados em grade total (820 plantas). A análise da distribuição espacial do teor foliar de N também foi feita com diferentes intensidades amostrais (410, 180,

90 e 45 plantas), que influenciaram o padrão de distribuição espacial dos dados coletados. As zonas homogêneas de teor foliar de N orientaram os locais de coletas de bagas de uva para a sua análise qualitativa antes da colheita de cachos. As técnicas e ferramentas de agricultura de precisão empregadas nesse trabalho podem auxiliar o produtor quanto à tomada de decisão para a realização de práticas agrícolas.

Palavras-chaves: geoestatística, variabilidade espacial, umidade do solo, clorofila, nitrogênio, agricultura de precisão.

MANAGEMENT OF IRRIGATED VITICULTURE IN THE BRAZILIAN SEMI-ARID BASED ON SOIL AND PLANT HOMOGENEOUS ZONES.

Botucatu, 2013. 140p. Tese (Doutorado em Agronomia/Irrigação e Drenagem)–Faculdade de Ciências Agrônômicas de Botucatu, Universidade Estadual Paulista.

Author: Patricia dos Santos Nascimento

Advisor: Luís Henrique Bassoi

SUMMARY

The increasing need for technologies that optimize the agriculture yield with less environmental impact and reduced inputs, have given to the precision farming an important role in agricultural production system. The use of the concepts of precision agriculture is greatly contributing to the investigation and characterization of the spatial and temporal variability of attributes which are directly or indirectly related to crop yield. The construction of maps allow a better visualization of the distribution of the same attributes and assist growers in the decision-making process. In the Lower Middle São Francisco Valley the use of precision agriculture concepts and tools in irrigated viticulture joins the need for improvement of criteria used in irrigation management and in monitoring the plant nutritional status. Hence, the objective of this study was to characterize the spatial variability of soil physical attributes and establish homogeneous zones to assist growers in decision making regarding irrigation management, and assess the spatial and temporal distribution of leaf N content at different sampling intensities throughout the growing season. The study was carried out in Petrolina, State of Pernambuco, Brazil, in an orchard of grapevine cv. Thompson Seedless irrigated by microsprinklers, where soil particle size, soil water retention curve, soil bulk density, soil particle density and total soil porosity were determined. Data were submitted to analysis of descriptive statistics, geostatistics (kriging interpolation) and generation of contour maps to verify spatial variability and delimit homogeneous zones of soil attributes. Based on soil water availability 6 homogeneous zones were defined to install tensiometers and neutron probe access tube to monitor soil moisture and assist grower's decision making regarding irrigation management. Thus, it was possible to apply a lower volume of irrigation

water in zones that remained with higher soil moisture during two growing seasons of table grape (2011 and 2012). The monitoring of the spatial distribution of foliar N was performed on 4 dates over one growing season (2011), with data collected in full grid (820 plants). The spatial distribution of foliar N was also made with different sampling intensities (410, 180, 90 and 45 plants), and they influenced the spatial distribution of the collected data. The homogenous zones of leaf N content oriented sites to sample grape berries for their qualitative analysis before cluster harvesting. The techniques and tools of precision agriculture used in this work can assist grower's decision making for performing agricultural practices.

Keywords: geostatistics, spatial variability, soil moisture, chlorophyll, nitrogen, precision agriculture

INTRODUÇÃO

A viticultura tem sido a atividade que mais gerou receita em exportações para o Brasil, passando de U\$107.276.014 em 2005, para U\$ 136.648.806 em 2010 (IBRAF, 2012). No ano de 2010, aproximadamente 57% da produção total foi comercializada como uvas de mesa e 43% destinada ao processamento de vinhos e suco de uva (MELLO, 2010).

O Vale do Submédio São Francisco é amplamente reconhecido como um grande polo de desenvolvimento do agronegócio brasileiro, com grande destaque para a produção de uva, sobressaindo-se inclusive, às outras regiões produtoras de uva do Brasil. O bom desempenho dessa atividade nessa região é atribuído à alta disponibilidade de radiação solar que possibilita a realização de colheita durante todo o ano e técnicas aprimoradas para melhoria da qualidade do produto desde a produção até a pós-colheita.

A inserção dos conceitos inerentes a agricultura de precisão (AP) na região vitícola do Vale do Submédio São Francisco surge como possibilidade de otimização na aplicação dos insumos necessários ao bom rendimento dos cultivos e auxílio nas tomadas de decisões pelos produtores.

Não é recente a preocupação dos pesquisadores quanto a variabilidade existente nos solos agricultáveis e o entendimento quanto a distribuição dessa variabilidade nas áreas de cultivo constitui-se num pré-requisito para o correto manejo dos insumos nas propriedades agrícolas. Em função dos avanços tecnológicos aplicados à agricultura, tem se tornado mais fácil a identificação da variabilidade nas áreas de cultivo, bem como o consequente gerenciamento das informações obtidas.

A aplicação do manejo agrícola de forma localizada, baseado em zonas homogêneas de manejo é uma das premissas da agricultura de precisão na qual se preconiza aplicar no local correto, no momento adequado, as quantidades de insumos requeridas para áreas cada vez menores e mais homogêneas, tanto quanto a tecnologia disponível e os custos envolvidos o permitam (DOBERMANN; PING, 2004). A identificação dos parâmetros a serem utilizados para a definição de tais zonas, normalmente deverá ser estabelecido em função da aplicabilidade que se almeja com a inserção de tais conceitos. Neste contexto, é importante estabelecer metodologias onde informações de produtividade, características do solo ou indicadores compostos possam ser utilizados para a determinação de unidades de manejo (MILANI et al., 2006).

Áreas de cultivo que são extensamente exploradas, como são as áreas irrigadas do Vale do Submédio São Francisco, podem expressar com o passar dos anos aumento da variabilidade nos seus rendimentos, com alterações nas características físicas, químicas e biológicas do solo em decorrência, das constantes irrigações realizadas ao longo dos ciclos de cultivo e pela elevada aplicação de nutrientes, aumentando assim a heterogeneidade dentro da área de produção. Assim, as atividades antrópicas, embora objetivem a uniformização dos sistemas, também conduz à variabilidade (COUTO et al., 1997).

A possibilidade de gerar mapas de distribuição de atributos relacionados com a produtividade agrícola ou a própria produtividade agrícola, a partir de ferramentas inerentes à Agricultura de Precisão, constitui um marco dentro do gerenciamento localizado das lavouras agrícolas, possibilitando a delimitação de áreas com características mais homogêneas e consequentemente uma maior precisão durante o processo de tomada de decisão na área agrícola.

Assim esta pesquisa teve como objetivo a avaliação da distribuição espacial de atributos físico-hídricos do solo para delimitação de zonas homogêneas, a partir de ferramentas geoestatísticas, as quais passaram a ser manejadas de forma diferenciada quanto ao manejo da irrigação. Também foi objetivo dessa pesquisa a avaliação de zonas homogêneas quanto ao teor relativo de clorofila em diferentes intensidades amostrais ao longo do ciclo de produção da videira Thompson Seedless no Vale do Submédio São Francisco. Para atingir estes objetivos esta pesquisa está dividida em 3 capítulos, sendo o primeiro capítulo intitulado “ZONAS HOMOGÊNEAS DE ATRIBUTOS DO SOLO PARA O MANEJO DE IRRIGAÇÃO EM POMAR DE VIDEIRA”; o segundo capítulo intitulado “APLICAÇÃO DAS ZONAS HOMOGÊNEAS PARA O MANEJO DIFERENCIADO DA IRRIGAÇÃO EM POMAR DE VIDEIRA” e o terceiro capítulo intitulado “DEFINIÇÃO DE ZONAS HOMOGÊNEAS DE NITROGÊNIO FOLIAR EM VIDEIRA COM DIFERENTES INTENSIDADES AMOSTRAIS”.

CAPÍTULO 1 – ZONAS HOMOGÊNEAS DE ATRIBUTOS DO SOLO PARA O MANEJO DE IRRIGAÇÃO EM POMAR DE VIDEIRA

Patricia dos Santos Nascimento¹ & Luís Henrique Bassoi²

¹ Doutoranda em Irrigação e Drenagem/FCA-UNESP. Fone (14) 3354-0905. Email: patyysn@yahoo.com.br

² Embrapa Semiárido, Caixa Postal 23, CEP 56302-970, Petrolina, PE. Fone (87) 38663653. Email: luis.bassoi@embrapa.br

RESUMO

A geoestatística na análise da variabilidade espacial e temporal dos fatores inerentes à produção agrícola constitui a base para a aplicação dos conceitos de agricultura de precisão. Este estudo foi desenvolvido com o objetivo de avaliar a variabilidade espacial de atributos físico-hídricos do solo e delimitar zonas homogêneas para o manejo da irrigação em um cultivo irrigado de videira, utilizando ferramentas geoestatísticas. O estudo foi realizado no município de Petrolina-PE, no Vale do Submédio São Francisco, em um pomar de videira cv. Thompson Seedless, irrigada por microaspersão. Em uma área de 3,2 ha, foram coletadas 160 amostras de solo nas profundidades de 0,0-0,20 e 0,20-0,40 m, em 4 transeções, as quais foram utilizadas para a determinação das frações granulométricas (areia

total, silte e argila), curva de retenção de água no solo, densidade do solo, porosidade total do solo e a densidade de partículas. Os dados foram submetidos às análises pela estatística descritiva e geoestatística, e posteriormente à interpolação por krigagem e geração de mapas de contorno. Com base em tais resultados verificou-se a variabilidade espacial de atributos físico-hídricos do solo e delimitaram-se as zonas homogêneas de manejo de atributos do solo cultivado com videiras. Os atributos de solo analisados apresentaram baixa heterogeneidade (densidade do solo, densidade de partículas, porosidade total e areia total) e média heterogeneidade (silte e argila). O índice de dependência espacial observado foi classificado entre moderado e forte para todos os atributos. A água disponível a 0,2-0,4 m de profundidade do solo apresentou o maior alcance, e foi considerado o atributo para delimitação das 3 zonas homogêneas para o manejo diferenciado da irrigação.

Palavras-chave: água disponível no solo, geoestatística, dependência espacial.

HOMOGENEOUS ZONES OF SOIL ATTRIBUTES TO IRRIGATION MANAGEMENT IN A VINE ORCHARD

SUMMARY

A geostatistical analysis of the spatial and temporal variability of the factors inherent to agricultural production is the basis for the application of precision agriculture concepts. This study was carried out to evaluate the spatial variability of soil physical attributes and delineate homogeneous zones in an irrigated orchard, using geostatistical tools. The study was carried out at Petrolina, Pernambuco State, Brazil (Lower Middle São Francisco Valley) in a grapevine cv. Thompson Seedless orchard, irrigated by microsprinklers. In an area of 3.2 ha, 160 soil samples were collected at depths of 0.0-0.20 and 0.20-0.40 m, in 4 transects, which were used for the determination of soil texture (total sand, silt and clay), soil water retention curve, soil bulk density, total porosity and particle density. Based on these results the spatial variability of soil physical attributes was analyzed and homogeneous zones were defined. Data were submitted to descriptive analysis and geostatistics, kriging interpolation and contour map generation. So, homogeneous soil zones

were delimited. Soil bulk density, soil particle density, porosity and total sand presented low heterogeneity, while silt and clay presented a higher one. The index of spatial dependence observed was rated between moderate and strong for all attributes. The available soil water at 0.2 - 0.4 m depth showed the greatest range, and was considered the defining attribute for the 3 homogeneous zones for the differentiated management of irrigation.

Key words: available soil water, geostatistics, spatial dependence

1.1- Introdução

Um das particularidades da agricultura está no tratamento adotado para o manejo das áreas agrícolas, o qual considera a área de produção de forma homogênea, desconsiderando assim a variabilidade natural que ocorre nas áreas de produção. Tais técnicas conduzem a aplicação das práticas agrícolas com base nas médias observadas dentro da área de cultivo, homogeneizando assim o manejo realizado em toda a área, o qual eventualmente irá atender apenas as necessidades médias das culturas, submetendo as mesmas a situações de super ou subestimação de suas reais necessidades.

A necessidade de uma agricultura cada vez mais otimizada quanto à aplicação de insumos, aumento da produtividade agrícola e sustentabilidade ambiental tem alavancado a prática da agricultura de precisão (AP). Segundo Umezu (2003), esse termo é utilizado para descrever o uso de tecnologias avançadas, buscando a redução dos custos de produção. O princípio filosófico da agricultura de precisão é a de que as aplicações de insumos só devem ocorrer quando da real necessidade da cultura, ou seja, os mesmos devem ser aplicados na quantidade, tempo e local exatos para que atendam as necessidades dos cultivos quanto aos aspectos nutricionais, econômicos e ambientais. Segundo Dellamea et al. (2007), a agricultura de precisão permite identificar a variabilidade existente na área e a partir disto investigar fatores limitantes (físicos, químicos e biológicos), além de propor alternativas de manejo diferenciadas de acordo com a necessidade de cada área. Caracterizada pela elevada quantidade de informações disponibilizadas, a AP pode contribuir para o estabelecimento de relações espaciais de atributos de solo com a produtividade das culturas (AMADO; GIOTTO, 2009).

Segundo Balastreire (2000), a agricultura de precisão considera a variabilidade espacial dos fatores de produção, como os tipos de solos, a fertilidade, a produtividade, entre outros, o que permite a utilização de insumos agrícolas, a fim de reduzir a quantidade necessária para determinado nível de produtividade. Esta variabilidade é determinada por fatores intrínsecos ou próprios do ambiente de produção, como clima, topografia e tipo de solo, bem como por fatores extrínsecos, como a irrigação, a fertilização e outros manejos. O conhecimento da variabilidade espacial de atributos do solo e as causas de tais variações são fatores importantes em um sistema de produção que vise sustentabilidade

por meio do manejo regionalizado de insumos e práticas agrícolas, como é o sistema de agricultura de precisão (CORÁ et al., 2004).

O conhecimento da variabilidade espacial e temporal dos fatores inerentes à produtividade agrícola do solo constitui uma informação de extrema relevância para a tomada de decisão quanto às práticas de manejo a serem adotadas em sistemas de produção agrícola. Mesmo em uma área de solo homogêneo, a medida de uma propriedade em alguns pontos pode revelar grandes variações de valores, pois o solo é produto da ação de diversos fatores de formação e varia continuamente na superfície (BAHIA et al., 2011). Muitos autores afirmam que os mapas de produtividade são a melhor forma de visualizar a variabilidade dentro dos talhões e assim definir unidades de gerenciamento, as quais passam a ser tratadas de forma individualizada. A análise de mapas sequenciais de produtividade possibilitou a Molin (2002a), definir unidades de gerenciamento. Entretanto as variabilidades observadas a partir dos mapas de produção constituem apenas uma etapa de todo o processo que envolve a AP e representa o efeito combinado de diversas fontes de variabilidade espacial e temporal (ALCÂNTARA, 2010). Além dos mapas de produtividade, alguns atributos que influem de forma direta ou indireta na variabilidade da produção vêm sendo estudados como possíveis indicativos para a determinação de unidades de gerenciamento agrícola. Nesse contexto a análise da variabilidade regionalizada do solo e da sua gênese tem sido explorada como um dos recursos para a definição de zonas de manejo.

A variabilidade espacial do solo pode ser vista como o ponto inicial para o entendimento das variações ocorridas ao longo do ciclo da cultura, onde alterações realizadas neste, refletem diretamente na expressão das características agronômicas inerentes a cada espécie vegetal. Corá et al. (2004) e Reichardt e Timm (2004) descreveram que o manejo do solo propicia alterações na variabilidade natural do solo, principalmente nas camadas superficiais. Para Soares (2010), o conhecimento da variabilidade das propriedades do solo e das culturas, no espaço e no tempo, é considerado, atualmente, o princípio básico para o manejo preciso das áreas agrícolas, qualquer que seja sua escala. Vários trabalhos têm destacado a importância de considerar a estrutura de variabilidade espacial dos atributos do solo em futuras práticas agrícolas, na busca de um manejo mais adequado e racional do solo e da água.

A detecção da variabilidade existente dentro das áreas de produção, afim de que seja possível um gerenciamento mais preciso das culturas, tem se tornado mais fácil com o avanço da informática, possibilitando assim a identificação da variabilidade existente, a qual pode ser visualizada por meio de mapas gerados em programas específicos para o gerenciamento de dados espacializados, denominados SIG (Sistema de Informação Geográfica). Para Molin (2002b), a correta geração e interpretação de dados referentes à variabilidade espacial das lavouras é a etapa mais dispendiosa e mais importante do processo de implantação da agricultura de precisão. Com base na variabilidade, pode-se prescrever interferências de manejo visando corrigir aqueles atributos que estão comprometendo o rendimento, permitindo assim a elevação do potencial produtivo (DELLAMEA et. al., 2007).

O desenvolvimento de ferramentas inerentes à agricultura de precisão tem facilitado a identificação de zonas homogêneas quanto aos parâmetros de maior interesse em um sistema de produção, possibilitando assim a tomada de decisão por parte do produtor considerando a variabilidade da área de cultivo. Nesse sentido, ferramentas geoestatísticas têm sido aplicadas no intuito de delimitar zonas homogêneas dos atributos, possibilitando que as práticas agrícolas sejam desenvolvidas de forma mais precisa e sustentável. As zonas homogêneas ou zonas de manejo constituem divisões realizadas na área de acordo com a variabilidade avaliada; tais subunidades passam a ser tratadas de forma individualizadas, recebendo, portanto os insumos necessários na quantidade e no momento necessário para sua melhor expressão agronômica.

Alguns estudos concluíram que ao subdividirem a área em pequenas unidades é possível obter um melhor levantamento dos dados amostrados, quando comparado ao levantamento realizado a partir de uma amostragem composta dentro da área de cultivo (WIBAWA et al., 1993; BULLOCK et al., 1994; BIRRELL et al., 1996; GOTWAY et al., 1996; REHM et al., 1996). Grego e Vieira (2005), ao estudarem atributos físicos de um Latossolo Vermelho distroférico, observaram a partir da dependência espacial e da semelhança de comportamento entre elas, que a amostragem ao acaso resultaria em interpretações incorretas e falhas, pois esconderia a variabilidade encontrada na área amostrada, evidenciando assim a importância do estudo da variabilidade espacial no manejo dos solos. Segundo Kitamura et al., (2007), o conhecimento dos atributos físicos dos solos, envolvendo principalmente aqueles relacionados com sua distribuição granulométrica e que

influenciam diretamente o fluxo superficial e o movimento de água no solo são fundamentais para o planejamento ambiental.

De acordo com Machado et al., (2006a), com o aperfeiçoamento dos computadores, o surgimento dos sistemas de posicionamento global (GPS) e programas geoestatísticos, o mapeamento de determinadas características ou propriedades dos solos passou a ser factível, o que tornou possível a obtenção de mapas de colheita e o estabelecimento de zonas de manejo do solo ou da planta. O estudo da dependência espacial de atributos do solo, por meio da teoria das variáveis regionalizadas ou geoestatística, permite a interpretação e a projeção dos resultados com base na estrutura da sua variabilidade natural, podendo indicar alternativas de uso, além de possibilitar melhor compreensão da variabilidade dos atributos e sua influência sobre a produção das culturas (OLIVEIRA, 2007). A geoestatística é capaz de extrair da aparente desordem dos dados disponíveis, uma imagem da variabilidade dos mesmos e uma medida da correlação existente entre os valores tomados em dois pontos do espaço (ORTIZ, 2002).

A geoestatística tem sido usada com bastante sucesso em estudos de Física do Solo, pois se baseia em uma função aleatória contínua estacionária, a qual pode ser submetida a uma grande gama de hipóteses (SIQUEIRA et al., 2008). Nos últimos anos, a geoestatística efetivou-se no auxílio do melhor entendimento da variabilidade espacial de diversos parâmetros de interesse nas ciências agrárias, permitindo a interpretação de dados baseados na estrutura de sua variabilidade natural, considerando a dependência espacial na área a ser estudada (BATISTA; ZIMBACK, 2010). De forma prática, a existência da função aleatória e contínua estacionária possibilita a repetição da amostragem mesmo quando as amostras foram coletadas em pontos diferentes, já que todas são consideradas pertencentes à mesma população e com os mesmos momentos estatísticos (VIEIRA, 2000). Dessa forma torna-se possível o entendimento da variabilidade dos atributos físicos do solo de forma temporal e com isso delimitar zonas que respondem de forma semelhante aos insumos e/ou práticas aplicados. Alguns estudos indicam a importância da análise geoestatística para a detecção e distribuição espacial dos atributos estudados (VIEIRA, 2000; CARVALHO et al., 2002; VIEIRA et al., 2002). Propriedades como densidade do solo, macroporosidade, microporosidade, porosidade total e o conteúdo de água do solo têm apresentado dependência espacial descrita por semivariogramas simples (VIEIRA et al., 1981; VAUCLIN et al., 1983;

GONÇALVES et al., 2001; SOUZA et al., 2001; CARVALHO et al., 2003; SOUZA et al., 2004b; GREGO;VIEIRA, 2005; FIDALSKI et al., 2006). Oliveira Junior et al. (2011) avaliaram a variabilidade dos atributos do solo em diferentes unidades amostrais, por meio da estatística clássica, e observaram que mesmo em pequenas glebas a variabilidade de alguns atributos pode ser considerada grande.

Gonçalves et al. (1999) estudaram a variabilidade temporal da umidade do solo e verificaram que essa não se distribui de forma aleatória na área, possuindo dependência espacial bem definida. Já as frações granulométricas do solo (areia total, silte e argila) têm sido mencionadas como propriedades físicas do solo com baixa variação (REICHARDT;TIMM, 2004; AMARO FILHO et al., 2007; CAMPOS et al., 2007). Tominaga et al., (2002) citaram que, dentre os atributos físicos de solos tropicais, a densidade influencia importantes processos no solo e na planta, como o movimento de água, a compactação do solo, a aeração do solo e o desenvolvimento do sistema radicular da cultura. O objetivo deste trabalho foi avaliar a variabilidade espacial de atributos físico-hídricos do solo e delimitar zonas homogêneas de manejo em um pomar de videira irrigada em Petrolina-PE, utilizando ferramentas geoestatísticas.

1.2 - Material e Métodos

O estudo foi realizado no município de Petrolina-PE, no Vale do Submédio São Francisco. Nessa região, a estação chuvosa compreende, em geral, os meses de janeiro a abril, com precipitação média anual em torno de 530 mm, irregularmente distribuída. Nos meses de verão ocasionalmente ocorrem grandes taxas de deficiências hídricas, instituindo assim o regime hídrico como o fator de maior limitação do clima para esta região semiárida. A temperatura do ar média anual é de 26,5°C, com pouca oscilação entre os meses e anos, apresentando os maiores picos entre outubro e novembro, enquanto junho e julho são os meses mais frios (TEIXEIRA, 2010).

A área de estudo, localizada no lote 180 do Perímetro Irrigado Senador Nilo Coelho, Núcleo 5 (latitude S 9° 23' 12,8'', longitude W 40° 38' 13,8'', altitude 394 m), apresenta um solo classificado como Neossolo Quartzarênico (EMBRAPA, 2006), que se caracteriza por apresentar solos profundos, não-hidromórficos, de textura arenosa (classes texturais areia e areia franca), com permeabilidade rápida ao longo de todo o perfil, o qual é

destituído de minerais primários facilmente intemperizáveis (CURI et al., 1993). Em geral, os solos pertencentes a essa classe tem textura arenosa, com alta capacidade de infiltração, baixa capacidade de retenção de água, baixa fertilidade natural e acidez moderada, necessitando da aplicação de fertilizantes para o uso agrícola (QUAGLIA et al., 1989).

Para a realização do estudo foi selecionada uma área com 40 fileiras de plantas e 82 plantas por fileira, em um pomar de videira cv. Thompson Seedless sobre o porta-enxerto SO4, plantada em maio de 2004 no espaçamento de 4 x 2,5 m, irrigada por microaspersão, com 1 difusor por planta com vazão aferida de 30 L.h⁻¹, e com plantas conduzidas no sistema de latada. Por iniciativa do próprio produtor, foram instalados registros de linha nas mangueiras de polietileno de cada fileira, entre as videiras 22 e 23 e 62 e 63, para que a aplicação de água pudesse ser dividida em três partes ou terços de cada área correspondente a 10 fileiras (Figura 1). Tal iniciativa foi tomada com base na constatação visual, por parte do produtor, da existência de áreas que apresentavam drenagem mais ou menos lenta. Quatro válvulas derivavam a água de irrigação para a área, sendo uma para cada 10 fileiras. Para avaliar a variabilidade espacial de atributos físico-hídricos do solo, bem como a delimitação de zonas homogêneas de manejo, foram coletadas amostras deformadas de solo nas profundidades de 0,0-0,20 e 0,20-0,40 m de profundidade, em 4 transeções (fileiras 5, 15, 25 e 35). Em cada fileira, as amostras foram coletadas na linha de plantas, a cada 5 m, totalizando 40 amostras por fileira de plantas e profundidade avaliada, e 160 amostras para toda a área (Figura 1).

Posteriormente, e seguindo a divisão dos sistemas de irrigação em três partes, com base na observação visual do produtor quanto à dificuldade de drenagem, foram realizadas tradagens entre fileiras, em intervalos de 0,2 m até 1 m de profundidade, na posição correspondente às plantas 11, 33, 52 e 71, para verificar a textura do solo ao longo de seu perfil. Tais coletas foram denominadas por subunidades e totalizaram 240 amostras, 48 para cada profundidade, as quais seguiram a distribuição apresentada na Figura 1. Também foi realizado a determinação da declividade e o sentido da mesma na área por meio de nível topográfico.

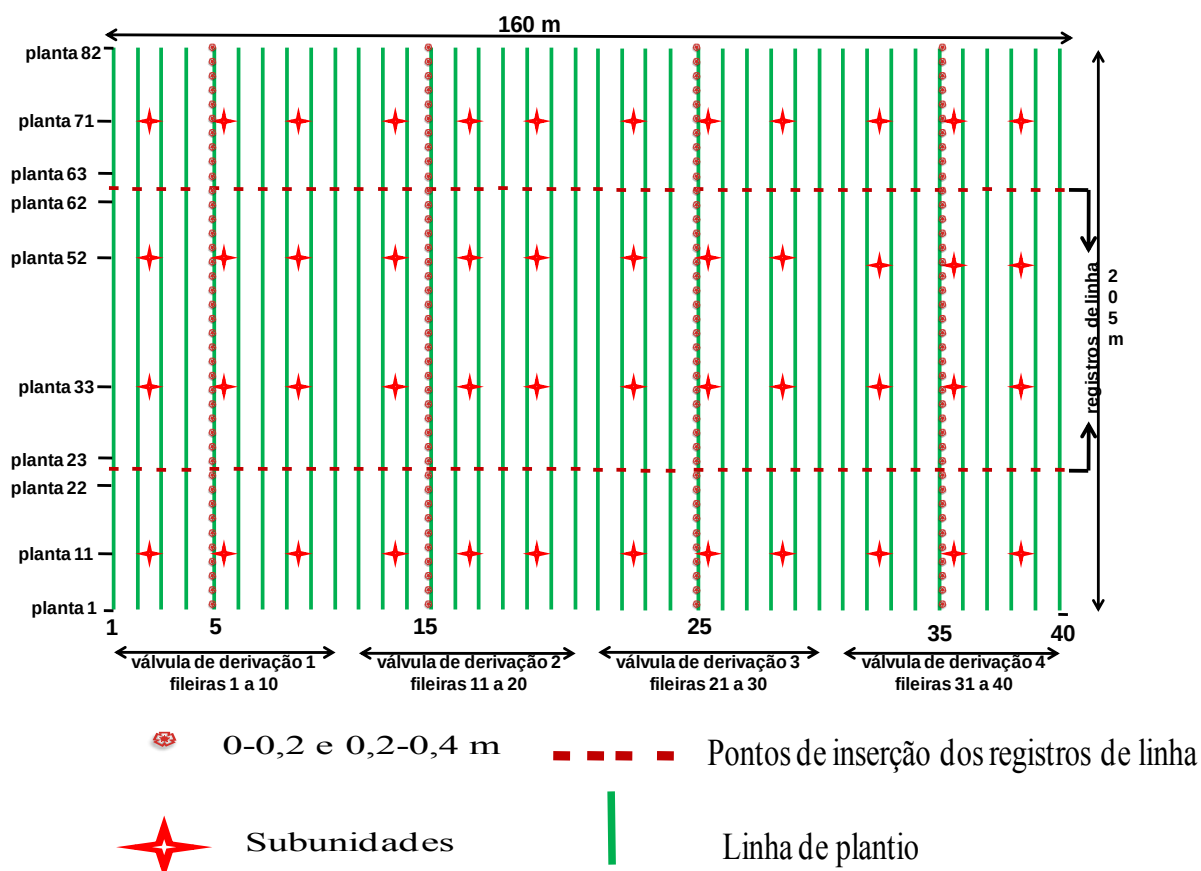


Figura 1. Croqui com as transeções (fileiras 5, 15, 25 e 35) para coleta de solo nas profundidades de 0-0,2 e 0,2-0,4 m e subunidades nas profundidades de 0,0-0,20; 0,20-0,40; 0,40-0,60; 0,60-0,80 e 0,80-1,00 m.

Tais amostras foram utilizadas para a determinação das frações granulométricas areia total, silte e argila (kg.kg^{-1}), e obtenção da curva de retenção de água no solo, sendo considerada a capacidade de campo (θ_{cc}) a umidade do solo ($\text{m}^3.\text{m}^{-3}$) retida à 0,006 MPa e o ponto de murcha permanente (θ_{pmp}) umidade do solo ($\text{m}^3.\text{m}^{-3}$) retida à 1,5 MPa. Também foram coletadas amostras indeformadas para a determinação da densidade do solo (D_s , kg.dm^{-3}), porosidade total do solo (PT, %) e a densidade de partículas (D_p , kg.dm^{-3}). O método da centrífuga (Silva; Azevedo, 2002) foi utilizado para a determinação de θ_{cc} e θ_{pmp} , enquanto que as frações granulométricas e densidade das partículas foram determinadas de acordo com EMBRAPA (1997). A densidade do solo foi determinada pelo método do anel cilíndrico (5 cm de altura, 5 cm de diâmetro). A porosidade total (PT, %) foi determinada pela relação entre a densidade do solo e a densidade de partículas:

$$PT = \left(1 - \frac{D_z}{D_p}\right) * 100 \quad \text{Eq. 1}$$

A água disponível (AD, mm) foi obtida por diferença entre θ_{cc} e θ_{pmp} :

$$AD = (\theta_{cc} - \theta_{pmp}) * Z \quad \text{Eq. 2}$$

onde z é a espessura da camada de solo em questão (200 mm).

Para a condução desse experimento não foi necessário o georreferenciamento das plantas, pois as fileiras e a plantas em cada fileira eram numeradas pelo próprio produtor, o que viabilizou o referenciamento das mesmas (Figura 2), uma vez que a utilização de um sistema de posicionamento global poderia sofrer interferência dos arames de sustentação utilizados no sistema de condução da videira.



Figura 2. Área com videiras irrigadas por microaspersão e numeradas, conduzidas no sistema de latada.

Os dados foram analisados pela estatística descritiva clássica e geoestatística. Na análise descritiva foram determinadas média, mediana (med), desvio padrão (S), valor mínimo (Min), valor máximo (Max), coeficiente de variação (CV, %), coeficiente de

assimetria (Cs) e coeficiente de curtose (Ck), usando o programa Statistica 5.0 (STATSOFT, 1999). A hipótese da normalidade dos dados foi testada pelos testes de Kolmogorov-Smirnov (K-S) a 5 %, proposto por C a m p o s (1 9 7 9), quando o número de amostras avaliadas foi superior a 50 e Shapiro e Wilk (1965) a 5%, quando o número de amostras avaliadas foi inferior a 50.

Cada atributo do solo estudado foi analisado pelo programa GS+, versão 7.0 (Robertson, 1998), através do qual foram obtidos os variogramas experimentais, utilizados na determinação da variabilidade e dependência espacial entre as amostras, representando quantitativamente a variação de um fenômeno. Assim, o gráfico do variograma é composto por uma série de valores (efeito pepita, variância estrutural e alcance), aos quais é preciso adequar um modelo matemático. O efeito pepita (C0) indica a descontinuidade entre as amostras, ou seja, a variabilidade espacial não detectada durante o processo de amostragem do solo. A variância estrutural (C1) indica o ponto onde a correlação entre as amostras se estabiliza. O alcance (a) representa o tamanho das manchas de variabilidade espacial para um determinado atributo; a partir deste ponto não existe mais correlação entre os valores.

Para o ajuste dos variogramas experimentais foram testando três modelos teóricos (esférico, exponencial e gaussiano), considerados adequados aos dados em análise (FARACO et al., 2008). A escolha do modelo foi realizada observando-se o melhor coeficiente de correlação obtido pela técnica chamada de validação cruzada. Essa técnica consiste em retirar, individualmente, cada ponto medido da área estudada e o seu valor é estimado como se ele não existisse (SILVA et al., 2003).

Uma vez ajustado um modelo matemático aos variograma unidirecionais, utilizou-se a técnica de krigagem para realizar a interpolação dos dados para os locais não amostrados sem tendência e com variância mínima (VIEIRA, 2000; CARVALHO; ASSAD, 2005; GREGO; VIEIRA, 2005). A utilização da técnica de krigagem utiliza a dependência espacial entre amostras vizinhas, expressa no variograma para estimar valores em qualquer posição dentro do campo (VIEIRA, 2000).

Para a construção dos mapas de isolinhas dos atributos avaliados neste estudo foi utilizado o programa SURFER 7.0 (Golden Software, 1999), o qual usou para tanto os valores estimados por meio da técnica de krigagem para os locais não amostrados (VIEIRA; PAZ GONZÁLEZ, 2003). Desta maneira, as isolinhas são determinadas com base

em algoritmo linear e não tendencioso expresso por meio da técnica de krigagem, conforme descrito por Landim (2000) e Carvalho e Assad (2005).

O índice de dependência espacial (IDE) dos atributos, que é dado por $[C/(C0+C)]*100$, foi determinado e classificado, segundo os seguintes intervalos: dependência espacial baixa para $IDE < 25\%$, moderada para $25\% < IDE < 75\%$ e forte para $IDE > 75\%$ (ZIMBACK, 2001).

1.3- Resultados e Discussão

Na Tabela 1 está expressa a estatística descritiva dos atributos avaliados durante esse estudo para as profundidades de 0,0-0,20 m e 0,20-0,40 m. Os parâmetros, em sua maioria, apresentam simetria e curtose compatíveis com a distribuição normal (valores próximos de 0,0), assim como a proximidade entre os valores de média e mediana sugerem a distribuição simétrica dos dados analisados. A distribuição normal para características de solo também é relatada por outros pesquisadores (CARVALHO et al., 2003; SOUZA et al., 2004a; LIMA et al., 2006; CAMPOS et al., 2007). A hipótese da normalidade pode ser confirmada com o teste de aderência a normalidade de Kolmogorov-Smirnov, o qual mede a distância máxima entre os resultados de uma distribuição a ser testada e os resultados associados à distribuição hipoteticamente verdadeira (ORTIZ, 2003). Com exceção da PT e silte na profundidade de 0,0-0,20 m e Dp na profundidade de 0,20-0,40 m, observa-se que os atributos em ambas as profundidades apresentam distribuição normal a 5% de significância.

O coeficiente de variação (CV) é um parâmetro adimensional que permite a comparação de valores entre diferentes unidades sendo considerado um dos primeiros indicadores da existência de heterogeneidade dos dados (GOOVAERTS, 1999). De acordo com Pimentel-Gomez e Garcia (2002), a variabilidade de um atributo pode ser classificada de acordo com a magnitude do seu coeficiente de variação.

A variabilidade espacial dos dados foi classificada de acordo com critérios propostos por Warrick e Nielsen (1980). Segundo estes autores, há uma alta variabilidade espacial relacionada entre os atributos físicos que estão relacionados com a dinâmica da água no solo. Tais autores consideram os valores do coeficiente de variação entre 12% e 60% como média variabilidade e os valores abaixo e acima deste intervalo como baixa e alta variabilidade, respectivamente.

Ao analisar o CV, segundo a classificação proposta por Warrick e Nielsen (1980), observa-se que os atributos Ds, Dp, PT e areia total apresentaram baixa variabilidade ($CV < 12\%$) para a área de estudo em ambas as profundidades avaliadas, revelando assim a baixa heterogeneidade desses atributos na área. Características similares foram observadas por Santos et al. (2012). O silte e a argila apresentaram uma média variação ($12 < CV < 60\%$) para as profundidade avaliadas corroborando assim com as observações feitas por Eguchi et al. (2002) e Sousa et al. (1999).

A Dp foi o atributo que apresentou menor variabilidade dentre os demais atributos e profundidades avaliadas, indicando assim menor heterogeneidade desse atributo para a área de estudo. Comportamento similar foi observado por Santos et al., (2012), ao estudar a variabilidade espacial de atributos físicos em Neossolo Flúvico. Pode-se observar que o atributo densidade do solo apresenta médias e medianas iguais em ambas às profundidades avaliadas, no entanto a amplitude dos valores observados para esse atributo é maior na profundidade de 0,20-0,40 m indicando que ocorre o aumento da densidade em profundidade.

A observação da variabilidade de características do solo com base nos parâmetros disponíveis pela estatística clássica é muito importante para o conhecimento sobre a normalidade dos dados. Entretanto, apresenta limitações quanto à distribuição espacial dos dados, não permitindo, desse modo, que se chegue a conclusões sobre a relação entre a variação dos dados e os locais de amostragem (MENDES et al., 2008). Para Souza (1999), o desvio padrão e o CV dão uma ideia da magnitude de variabilidade de propriedades químicas e físicas dos solos, porém, nada informam quanto à dependência espacial dessas propriedades, o que só é possível através de técnicas geoestatísticas.

Tabela 1. Estatística descritiva dos atributos densidade do solo (Ds , $kg.m^{-3}$), densidade de partículas (Dp , $kg.m^{-3}$), porosidade total (PT , %), areia total ($kg.kg^{-1}$), silte ($kg.kg^{-1}$) e argila ($kg.kg^{-1}$), nas profundidades de 0,0-0,20 m e 0,20-0,40 m.

Parâmetros	0,0-0,20 m						C_s	C_k	$d^{(1)}$
	média	Med	S	min	Max	CV(%)			
Ds	1,37	1,37	0,076	1,17	1,50	5,50	-0,32	-0,47	0,06 ^{ns}
Dp	2,55	2,55	0,035	2,41	2,65	1,40	-0,17	0,77	0,05 ^{ns}
PT	46,24	46,34	2,96	40,49	53,61	6,40	0,14	-0,73	0,08 [*]
areia total	834,10	837,10	29,77	741,26	900,10	3,60	-0,50	0,74	0,06 ^{ns}
silte	118,21	113,78	34,19	49,61	229,29	28,0	0,65	0,44	0,08 [*]
argila	47,34	47,50	14,97	2,56	93,47	31,5	-0,11	-0,09	0,04 ^{ns}

	0,20-0,40 m								
Ds	1,42	1,42	0,06	1,23	1,53	4,40	-0,22	-0,56	0,06 ^{ns}
Dp	2,58	2,58	0,08	1,94	3,31	3,30	1,30	55,09	0,23 [*]
PT	44,94	45,16	3,16	25,09	55,11	7,00	-1,26	9,03	0,06 ^{ns}
areia total	860,57	858,79	28,81	752,59	946,84	3,40	-0,04	1,07	0,04 ^{ns}
silte	80,71	81,25	32,51	11,67	187,88	40,0	0,33	0,11	0,05 ^{ns}
argila	58,70	57,91	18,42	11,04	98,32	31,8	-0,07	-0,52	0,04 ^{ns}

d⁽¹⁾ Teste de normalidade (Kolmogorov-Smirnov), ns ($p > 0,05$) e * ($p < 0,05$). med = mediana; s = desvio padrão; min = valor mínimo; max = valor máximo; CV = coeficiente de variação; Cs = coeficiente de assimetria; Ck = coeficiente de curtose.

Em ambas as profundidades avaliadas os valores de IDE observados variaram de moderado a forte, indicando assim a dependência dos atributos estudados ao ambiente onde estão inseridos. Ao avaliar a variabilidade de atributos físicos do solo em um Latossolo Amarelo distrófico, com textura franco-arenosa, Zucoloto et al. (2011) observaram moderada dependência espacial para os atributos analisados. De maneira geral os atributos físicos do solo apresentaram dependência espacial ajustada ao modelo esférico, reafirmando assim o comportamento já relatado por Vieira (1997); Carvalho et al. (2002); Cajazeira e Assis Junior (2011); Carvalho et al. (2003). Exceções foram observadas para os atributos Ds e PT em ambas as profundidades avaliadas, os quais obtiveram o melhor ajuste ao modelo gaussiano (Tabela 2). Na camada de 0,0-0,20 m os atributos Ds, PT e argila apresentaram os maiores IDE, respectivamente, 80%, 84% e 86%, indicando assim forte dependência espacial, com alcances de 98, 102 e 50 m, respectivamente, enquanto que os menores alcances foram observados para o atributo argila em ambas as profundidades.

O atributo Dp em ambas as profundidades avaliadas apresentou comportamento divergente aos demais atributos avaliados, com ausência de dependência espacial, configurando-se no Efeito Pepita Puro (EPP), implicando dizer que para distâncias superiores a menor distância utilizada na amostragem, as amostras são independentes. Tal comportamento pode ser explicado pela forma de adubação adotada para o cultivo de uva de mesa no Vale do Submédio São Francisco, onde ocorre a incorporação de adubo orgânico em pequenas trincheiras abertas na fileira de plantas, no período que antecede a poda de produção. Zucoloto et al. (2011) ao analisar a variabilidade da Dp também observaram a independência das amostras quanto a este atributo físico do solo. Tal comportamento indica, portanto que as diferenças entre os valores das amostras ocorrem ao acaso, possibilitando serem representadas

pelo seu valor médio, dispensando assim a geoestatística. A variabilidade dos atributos do solo pode ser atribuída a fatores intrínsecos ou extrínsecos; no primeiro caso predominam os fatores relacionados à formação do solo (mineralogia, textura), enquanto que os fatores extrínsecos estão mais relacionados com as práticas de manejo adotadas. Normalmente, uma forte dependência espacial dos atributos do solo é atribuída aos fatores intrínsecos, e aos extrínsecos, uma fraca dependência (CAMBARDELLA et al., 1994; CARVALHO et al., 2003).

O conhecimento do alcance da dependência espacial permite o delineamento de futuras amostragens assegurando as mesmas condições do estudo em questão. Assim, ao serem realizadas determinações a distâncias maiores que o alcance, os dados têm distribuição espacial aleatória e, por isso, são independentes entre si, podendo ser aplicada a estatística clássica, enquanto que as determinações realizadas em distâncias menores que o alcance são correlacionadas umas as outras, o que permite que se façam interpolações para espaçamentos menores que os amostrados (CARVALHO et al., 2003). Baixos valores de alcance podem influir negativamente na qualidade das estimativas, uma vez que poucos pontos são usados para realização da interpolação na estimativa de valores em locais não medidos (CORÁ et al., 2004).

Tabela 2. Parâmetros do variograma dos atributos densidade do solo (D_s , kg.m^{-3}), densidade de partículas (D_p , kg.m^{-3}), porosidade total (PT, %), Areia Total (AT, kg.kg^{-1}), silte (kg.kg^{-1}) e argila (kg.kg^{-1}) nas profundidades de 0,0-0,20 m e 0,20-0,40 m.

Parâmetros	Modelo	A (m)	C_0	C_0+C	IDE (%)
0,0-0,20 m					
D_s	Gaussiano	98	0,0014	0,0071	80
D_p	EPP				IDW
PT	Gaussiano	102	1,7106	10,9900	84
AT	Esférico	61	458,0000	947,0000	52
silte	Esférico	56	495,0000	1227,0000	60
argila	Esférico	50	32,6000	228,0000	86
0,20-0,40 m					
D_s	Gaussiano	109	0,0018	0,0045	60
D_p	EPP				IDW
PT	Gaussiano	140	2,9900	8,8580	66
AT	Esférico	87	395,0000	816,5000	52
silte	Esférico	66	509,0000	1019,0000	50
argila	Esférico	39	64,6000	326,5000	80

A: alcance em m; C_0 : efeito pepita; C_0+C : patamar; IDE: índice de dependência espacial; EPP: efeito pepita puro.

A Tabela 3 exibe o resumo estatístico da umidade em cada uma das tensões aplicadas e da água disponível, para cada profundidade. Para a realização do teste de normalidade nas diferentes umidades que compuseram a curva de retenção de água no solo nas profundidades de 0,0-0,20 m e 0,20-0,40 m foi aplicado o teste de Kolmogorov-Smirnov, o qual segundo Cirillo; Ferreira (2003) Na profundidade de 0,0-0,20 m observou-se distribuição normal para os dados avaliados a 5% de significância, com exceção da umidade determinada na tensão de 0,1 MPa. Já na profundidade de 0,20-0,40 m a distribuição normal dos dados só foi observada nas tensões de 0,006 MPa, que corresponde a umidade considerada como capacidade de campo, e 1,5 MPa, considerado como o ponto de murcha permanente. Assim a distribuição normal foi observada apenas nos valores extremos de tensão utilizados para a determinação da curva de retenção de água no solo para a profundidade de 0,20-0,40 m nas condições experimentais.

Com base na observação dos dados coletados verificou-se que as umidades médias seguiram uma tendência esperada em todas as profundidades, ou seja, na medida que a tensão a qual o solo estava submetido foi aumentada a umidade que o mesmo era capaz de reter foi reduzida. A camada de 0,0-0,20 m apresentou umidades superiores para as tensões avaliadas quando comparada a camada de 0,20-0,40 m, tal comportamento pode estar associado a maior quantidade de silte verificada na profundidade de 0,0-0,20 m. Centurion e Andrioli (2000), ao avaliarem o regime hídrico de alguns solos de Jaboticabal, constataram que a retenção de água, nas tensões correspondentes à capacidade de campo e ponto de murcha permanente, mostraram-se dependentes das frações mais finas do solo (silte + argila). Os coeficientes de variações para a umidade do solo em diferentes potenciais e profundidades avaliadas foi classificada como média variação ($12 < CV < 60\%$), segundo a classificação proposta por WARRICK e NIELSEN (1980).

Para os parâmetros físico-hídricos analisados (θ_{cc} , θ_{pmp} e AD), os valores de CV encontrados foram considerados médios em ambas as profundidades de estudo. O CV para a variável AD foi superior ao CV obtido pelas variáveis θ_{cc} e θ_{pmp} , mesmo estas tendo servido de base para a obtenção da AD, fato este já referendados por Sousa et al., (1999) e Moraes e Libardi (1993) os quais observaram que o comportamento de uma variável obtida de forma algébrica, nem sempre segue o mesmo comportamento das variáveis que lhe deram origem.

Tabela 3. Estatística descritiva da umidade do solo (Θ , $\text{m}^3.\text{m}^{-3}$) em cada tensão aplicada (MPa) e da água disponível (AD, mm) nas profundidades de 0,0-0,20 m e 0,20-0,40 m.

0,0-0,20 m									
Parâmetros	Média	med	s	Min	max	CV	Cs	Ck	d ⁽¹⁾
Θ 0,006	0,17	0,18	0,02	0,13	0,25	12	0,32	0,35	0,06 ^{ns}
Θ 0,010	0,14	0,14	0,01	0,10	0,23	13	0,87	2,58	0,05 ^{ns}
Θ 0,033	0,12	0,12	0,01	0,09	0,17	13	0,37	-0,12	0,06 ^{ns}
Θ 0,06	0,11	0,11	0,01	0,08	0,16	13	0,47	0,20	0,05 ^{ns}
Θ 0,1	0,10	0,10	0,01	0,08	0,19	14	1,23	4,69	0,08 [*]
Θ 1,5	0,08	0,08	0,01	0,05	0,13	16	0,32	0,65	0,04 ^{ns}
AD	0,09	0,09	0,01	0,05	0,15	17	0,56	0,39	0,06 ^{ns}
0,20-0,40 m									
Θ 0,006	0,14	0,14	0,02	0,08	0,25	18	0,69	1,21	0,05 ^{ns}
Θ 0,010	0,11	0,11	0,02	0,07	0,22	18	1,18	3,89	0,09 [*]
Θ 0,033	0,09	0,09	0,02	0,06	0,20	20	1,78	7,17	0,09 [*]
Θ 0,06	0,08	0,08	0,02	0,05	0,20	22	2,15	9,56	0,11 [*]
Θ 0,1	0,08	0,07	0,02	0,04	0,20	23	2,48	12,62	0,13 [*]
Θ 1,5	0,06	0,06	0,01	0,03	0,12	22	1,10	3,55	0,06 ^{ns}
AD	0,08	0,08	0,02	0,03	0,18	21	1,20	4,82	0,07 [*]

d⁽¹⁾ Significância estatística do teste de Kolmogorov-Smirnov, ns ($p > 0,05$) e * ($p < 0,05$).

med = mediana; s = desvio padrão; min = valor mínimo; max = valor máximo; CV = coeficiente de variação; Cs = coeficiente de assimetria; Ck = coeficiente de curtose.

A análise dos variogramas referentes aos pontos que caracterizaram a curva de retenção de água no solo para a área em estudo nas profundidades de 0,0-0,20 e 0,20-0,40 m possibilitou um melhor detalhamento quanto ao comportamento da umidade do solo quando submetida a diferentes tensões (Tabela 4). Para a profundidade de 0,0-0,20 m em todas as tensões avaliadas o modelo que melhor ajustou-se aos dados coletados foi o exponencial, com alcances variando entre 20 e 53 metros. Na profundidade de 0,20-0,40 m o ajuste dos dados observados não se limitou a um único modelo como ocorreu na profundidade de 0,0-0,20 m, os valores de alcances variaram de 55 a 113 m. Em ambas as profundidades avaliadas e o IDE foi classificado como moderado.

A AD apresentou comportamento distinto nas profundidades avaliadas, com ajuste ao modelo exponencial na profundidade 0,0-0,20 m, alcance de 101 metros e um IDE médio, enquanto que na profundidade de 0,20-0,40 m, o melhor ajuste foi observado para o modelo gaussiano com alcance de 188 m e índice de dependência espacial forte.

Tabela 4. Parâmetros do variograma da umidade do solo (θ , $\text{m}^3.\text{m}^{-3}$) em cada tensão aplicada (MPa) e da água disponível (AD, mm), nas profundidades de 0,0-0,20 m e 0,20-0,40 m.

Parâmetros	Modelo	A (m)	C_0	C_0+C	IDE (%)
0,0-0,20 m					
θ 0,006	Exponencial	49	0,00019	0,00043	55
θ 0,010	Exponencial	53	0,00017	0,00035	50
θ 0,033	Exponencial	48	0,00012	0,00026	57
θ 0,06	Exponencial	32	0,00008	0,00022	60
θ 0,1	Exponencial	47	0,00012	0,00024	50
θ 1,5	Exponencial	20	0,00082	0,00018	55
AD	Exponencial	101	0,00008	0,00026	69
0,20-0,40 m					
θ 0,006	Gaussiano	113	0,00024	0,00064	63
θ 0,010	Esférico	110	0,00019	0,00040	51
θ 0,033	Gaussiano	75	0,00014	0,00028	50
θ 0,06	Gaussiano	70	0,00012	0,00025	50
θ 0,1	Gaussiano	75	0,00011	0,00022	50
θ 1,5	Gaussiano	55	0,00011	0,00022	47
AD	Gaussiano	188	0,00010	0,00041	76

A; alcance em m; C_0 : efeito pepita; C_0+C : patamar; IDE: índice de dependência espacial; EPP: Efeito Pepita puro.

A análise dos mapas de variabilidade espacial dos atributos analisados em ambas as profundidades (Figura 3) possibilitou a visualização da distribuição dos atributos avaliados na área experimental. Visualmente é possível observar uma forte similaridade na variabilidade espacial da densidade do solo nas profundidades avaliadas; mesmo com valores absolutos de densidade do solo na camada de 0,0-0,20 m inferiores aos observados na camada 0,20-0,40 m, o padrão de distribuição desse atributo mantém certa similaridade. Comportamento semelhante quanto ao padrão da distribuição espacial foi observado para o atributo porosidade total, sendo possível constatar que áreas com os maiores valores de densidade possuem os menores valores de porosidade total; tal característica também foi observada por Siqueira et al., (2009), ao estudarem a variabilidade espacial da densidade e da porosidade em um Latossolo. O atributo densidade de partículas não possibilitou a observação de dependência espacial para o espaçamento utilizado durante a realização desse estudo, tendo sido detectado o efeito pepita pura durante a aquisição do seu variograma. Nesse caso foi empregado para espacialização das amostras o método de interpolação inverso do quadrado da distância (IDW - inverse distance weighting), para expressar os resultados encontrados. Ao analisar a distribuição espacial dos atributos densidade do solo e porosidade total em

diferentes profundidades é possível verificar correspondência no padrão de distribuição dos mesmos.

A distribuição espacial da textura do solo (areia total, argila e silte) nas profundidades avaliadas não nos remete a um padrão visual de distribuição desses atributos ao longo da área de estudo. A observação conjunta dos mapas referentes a textura do solo e a densidade do solo não possibilitou a correlação entre áreas com características análogas. Segundo Siqueira et al., (2009), zonas com maiores valores de densidade do solo não são necessariamente as zonas com maior conteúdo de argila.

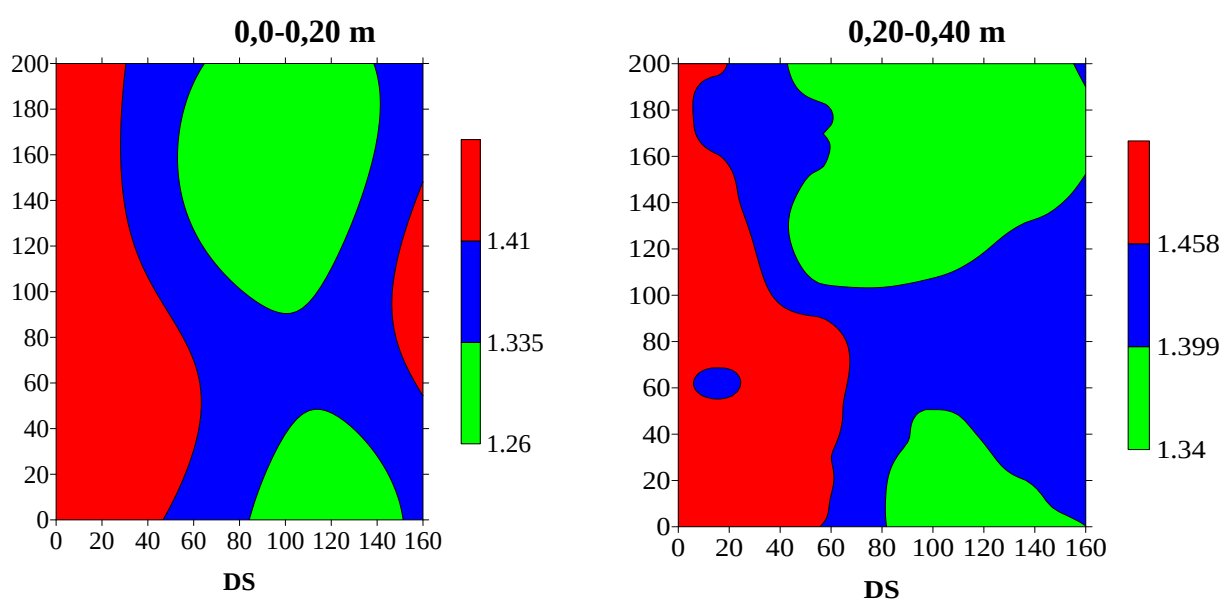


Figura 3. Mapas de zonas homogêneas da densidade do solo (D_s , kg.m^{-3}), densidade das partículas (D_p , kg.m^{-3}), porosidade total (PT, %), areia total (kg.kg^{-1}), silte (kg.kg^{-1}) e argila (kg.kg^{-1}).

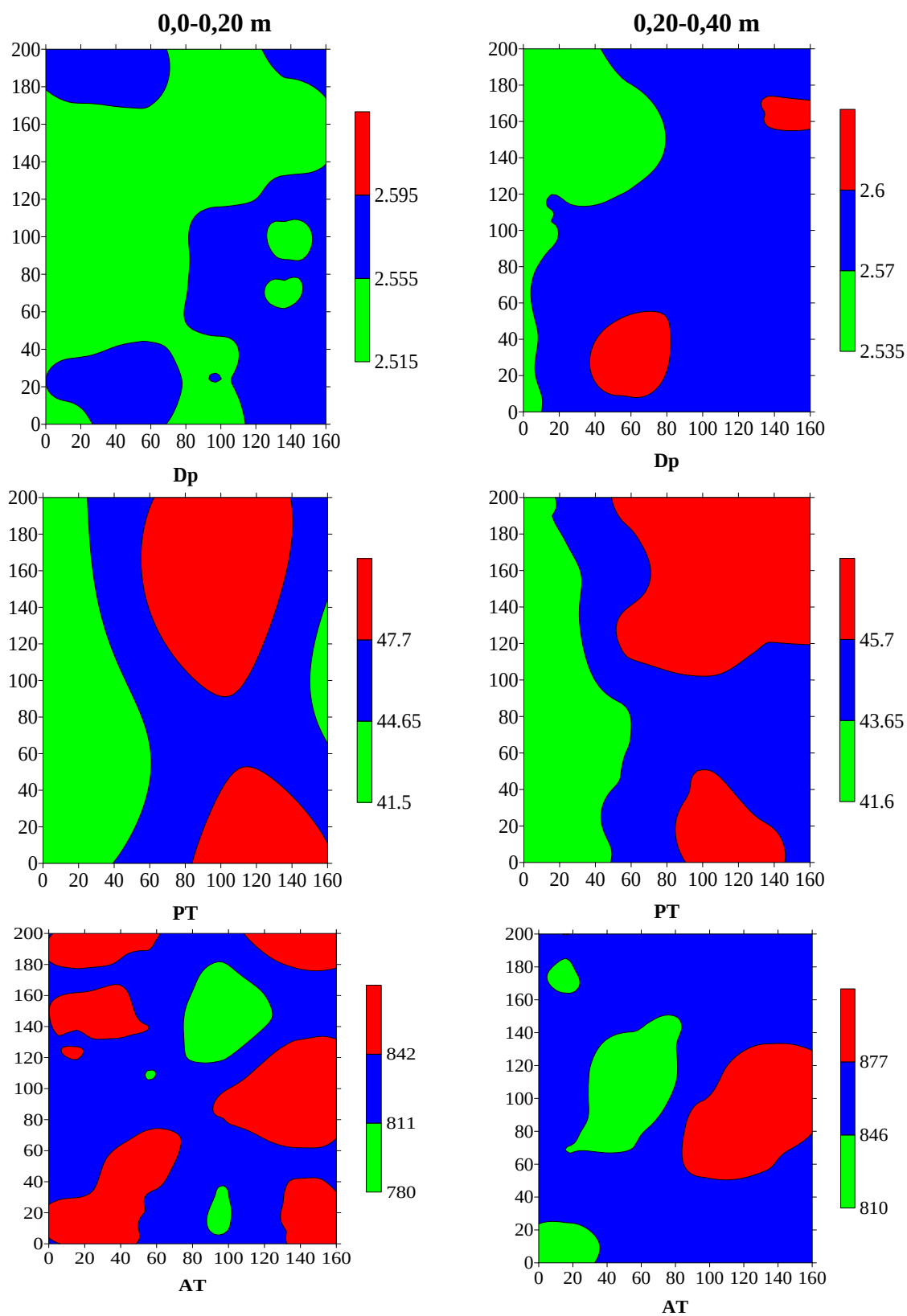


Figura 3. Continuação...

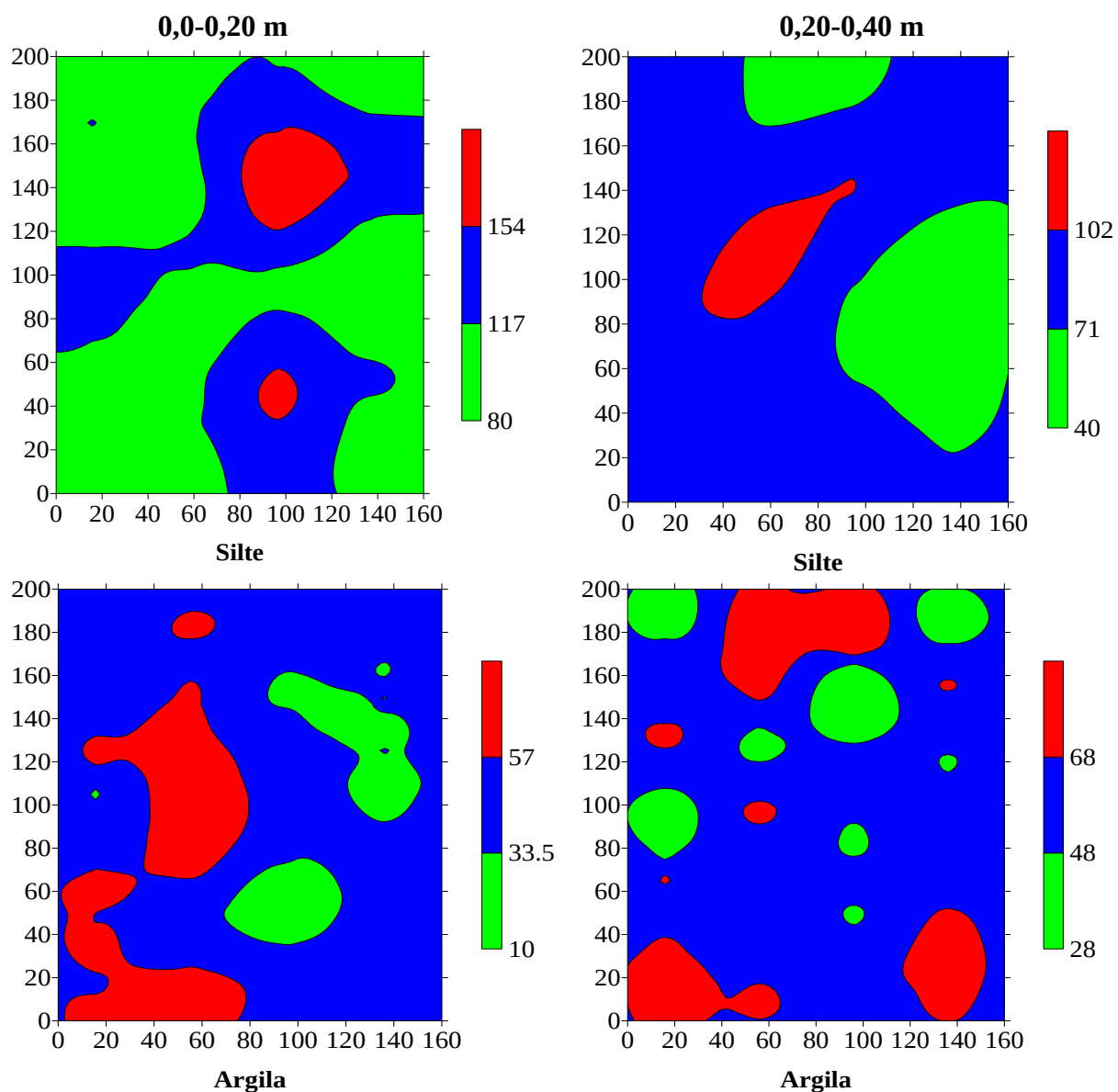


Figura 3. Continuação...

A Figura 4 apresenta a distribuição espacial da umidade do solo nas diferentes tensões e profundidades avaliadas, a observação visual de tais distribuições revelaram uma não continuidade das tendências observadas na camada 0,0-0,20 m para a camada 0,20-0,40 m, ou seja, os pontos que apresentavam maiores ou menores valores de umidade não se repetem em profundidade. De maneira geral, a camada 0,20-0,40 m apresentou em todas as tensões avaliadas uma maior homogeneidade quanto à distribuição da umidade do solo.

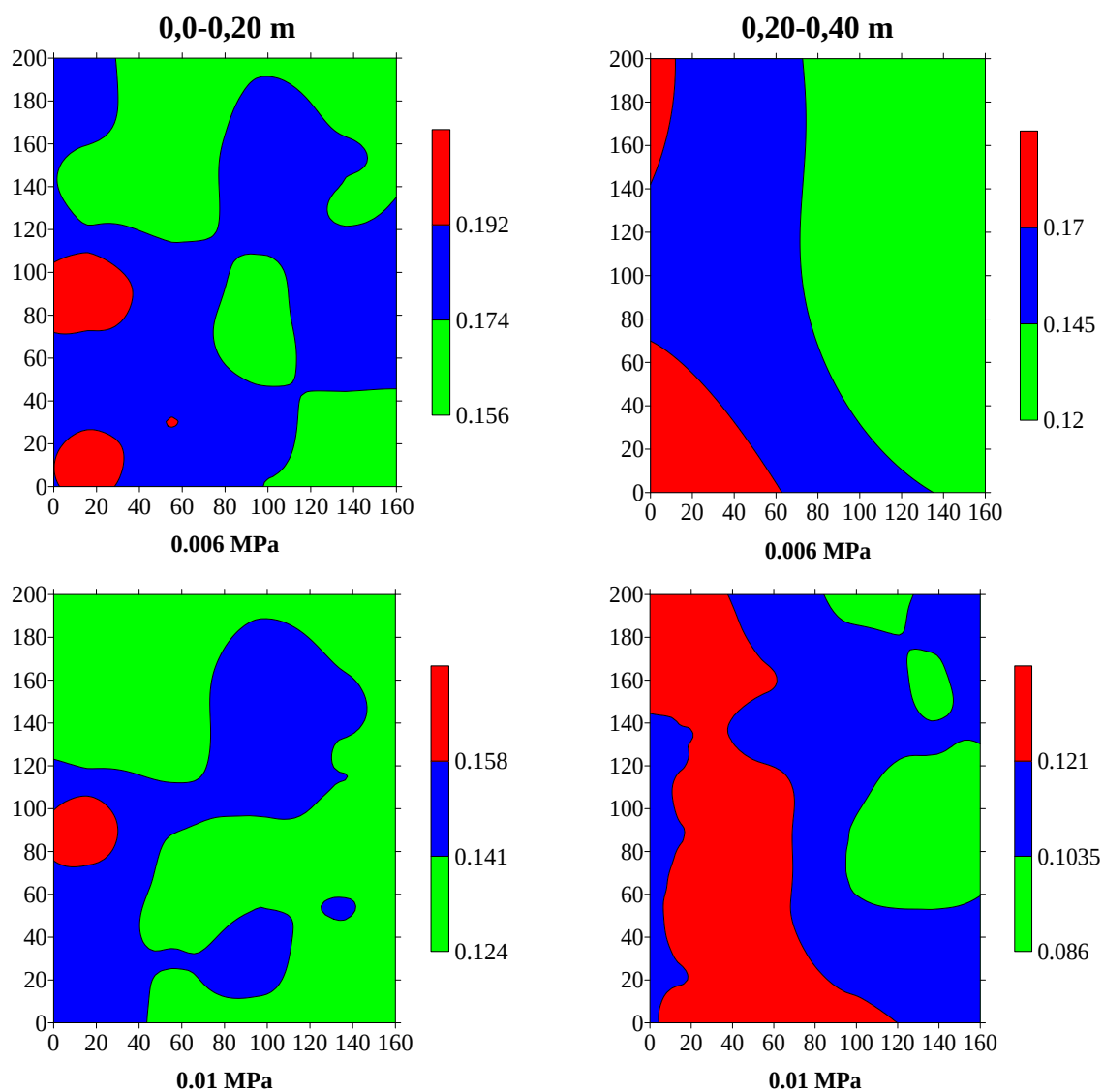


Figura 4. Distribuição espacial da umidade do solo ($\text{m}^3.\text{m}^{-3}$) nas diferentes tensões da curva de retenção de água e da água disponível (AD, mm), nas profundidades de 0,0-0,20 e 0,20-0,40 m.

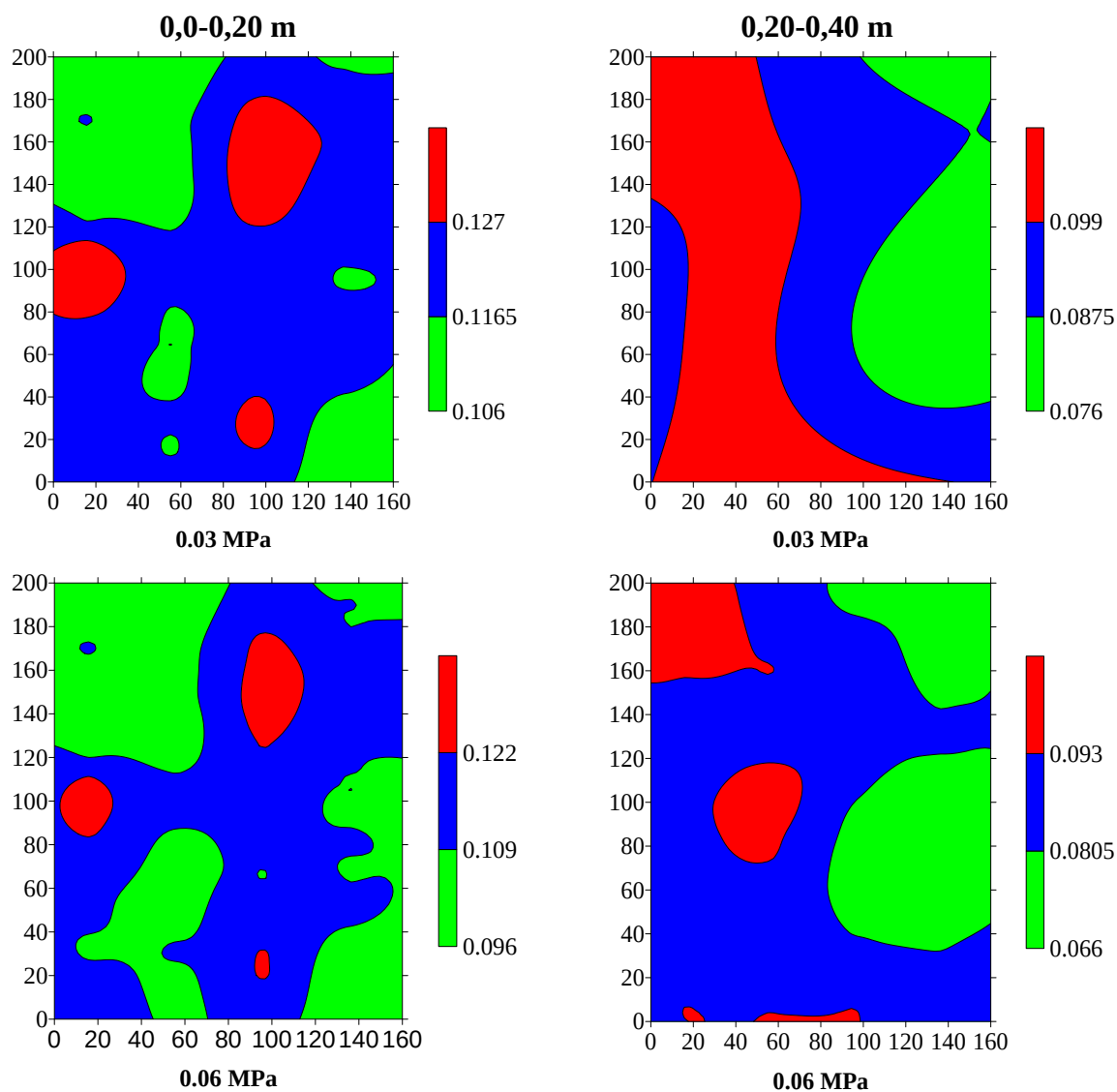


Figura 4. Continuação...

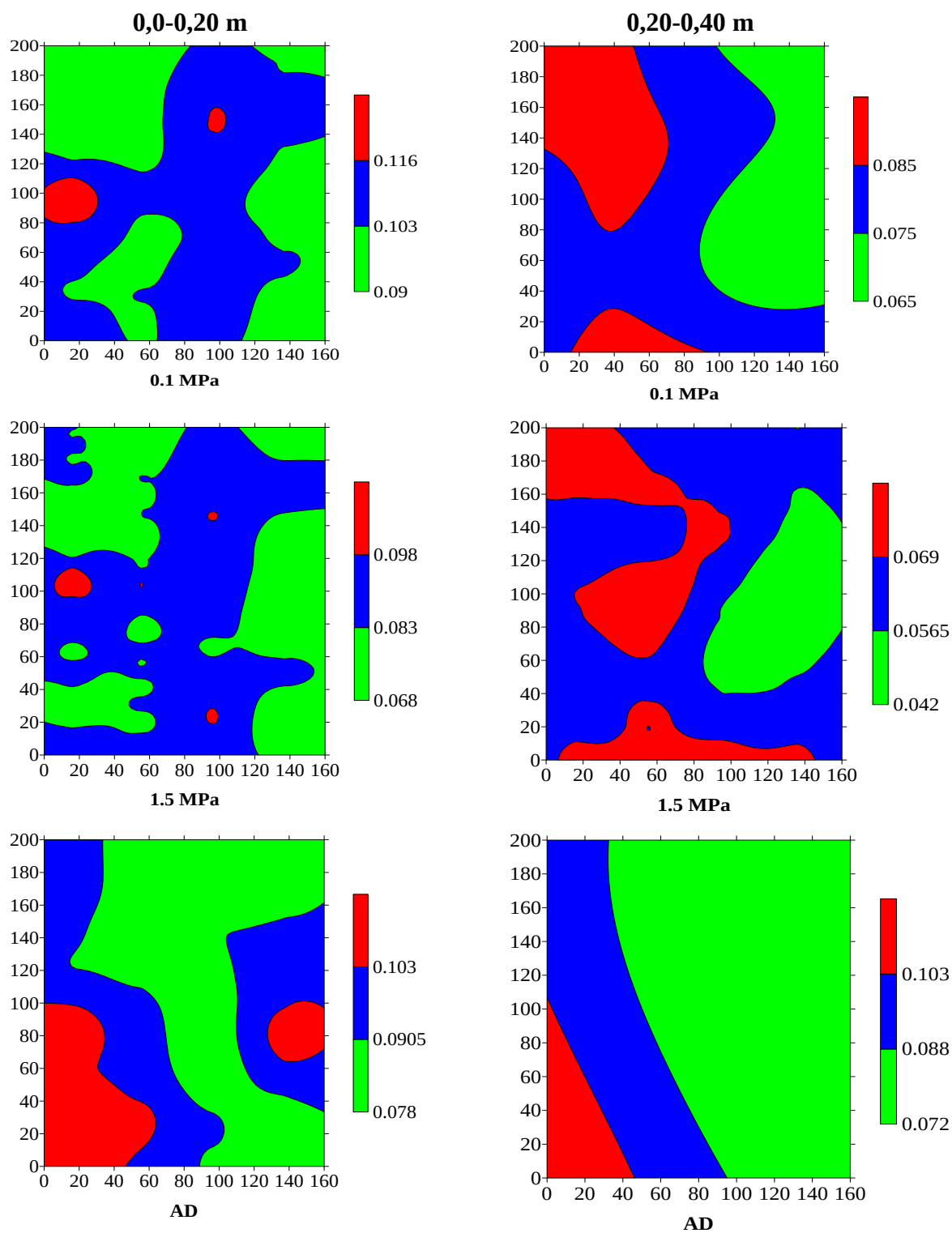


Figura 4. Continuação...

A observação conjunta da distribuição espacial dos atributos físicos e, especialmente da AD a 0,2-0,4 m, possibilitou a identificação de três ambientes distintos os quais podem ser manejados quanto à irrigação de forma diferenciada, constituindo assim zonas homogêneas para a realização de tal prática agrícola de maneira operacional. Uma subdivisão da área de cultivo superior a 3 zonas de manejo poderia inviabilizar a aplicação de tais práticas. Procedimento semelhante também foi realizado por Campos et. al. (2007), ao identificarem zonas de manejo a partir da observação conjunta de mapas da composição granulométrica. Para Sousa et al. (1999), o conhecimento de características físico-hídricas do solo como a capacidade de retenção de água, densidade do solo e granulometria, dentre outras, é muito importante na escolha do sistema de irrigação a ser utilizado, no cálculo da quantidade de água a ser aplicada na irrigação, bem como sua frequência de aplicação, tornando-se óbvio que o conhecimento da variabilidade destas propriedades dentro da área a ser irrigada é de extrema importância.

A identificação de tais zonas priorizou os mapas referentes à profundidade de 0,20-0,40 m, por corresponder a camada do solo onde se encontra a profundidade efetiva do sistema radicular de videira (Basso et al., 2002), além de ser menos influenciado pelo elevado processo evapotranspirativo da região semiárida. Uma prática comumente adotada na área de cultivo é a incorporação de adubo orgânico em tricheiras abertas na lateral das plantas no período entre safras. Objetivando a menor interferência possível nas práticas já adotadas na área de cultivo, adequando-se ao sistema já pré-estabelecido pelo proprietário e a avaliação visual da distribuição espacial dos atributos analisados, foram selecionados pontos na fileira 8, planta 26; fileira 19, planta 13; e fileira 19, planta 73, para monitoramento da umidade de água no solo, constituindo assim, zonas que deveriam receber manejo diferenciado entre si (Figura 5), cada zona de monitoramento foi instalada dentro de uma faixa pré-estabelecida pelo agricultor a partir da inserção de registros de linha para o manejo diferenciado da irrigação, quanto à parte da área que deveria ser irrigada.

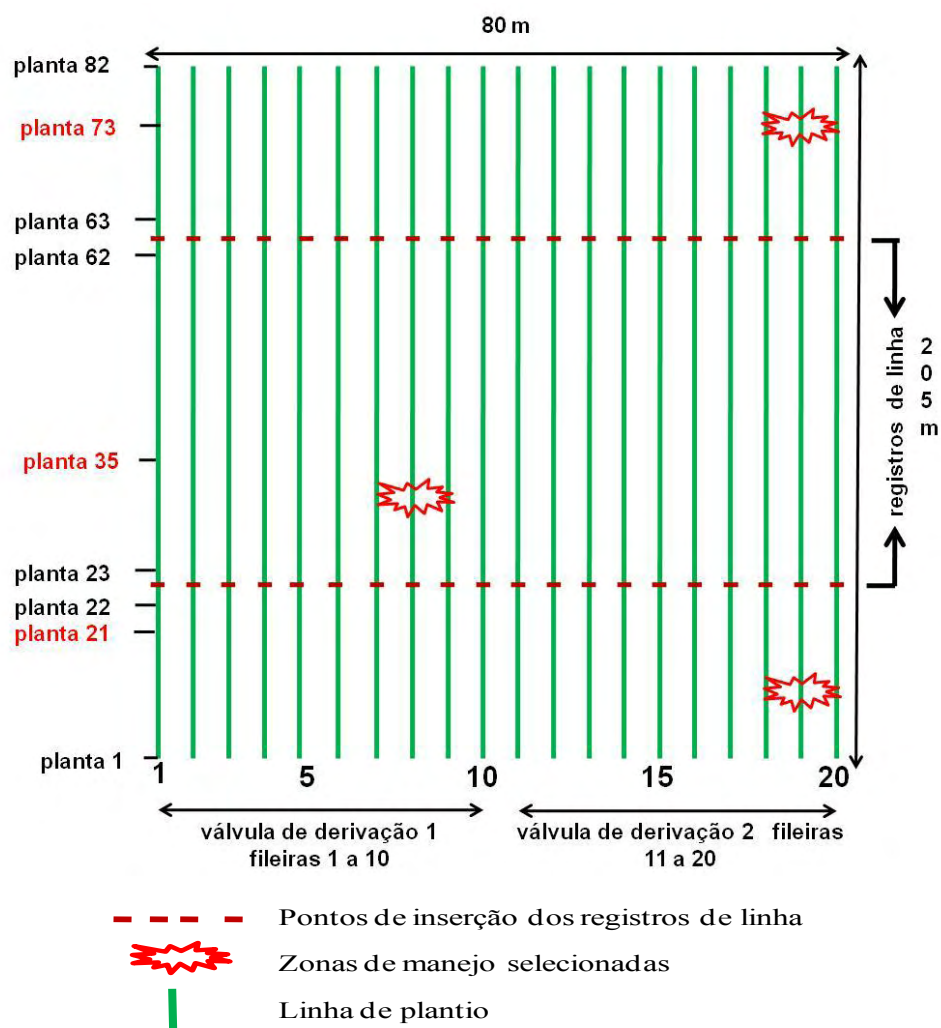


Figura 5. Zonas de manejo selecionadas com os pontos para o monitoramento da umidade do solo.

A análise descritiva dos atributos físicos do solo nas profundidades de 0,0-0,20; 0,20-0,40; 0,40-0,60; 0,60-0,80; 0,80-1,00 m podem ser observados na Tabela 5. Para cada profundidade foram coletadas 48 amostras dos atributos: D_s , D_p , PT, areia total, silte e argila, em função do número de amostras analisadas optou-se pela utilização do teste de Shapiro e Wilk (1965) para verificar a normalidade da distribuição dos dados. De maneira geral para todas as profundidades avaliadas os atributos apresentaram distribuição normal, com exceção para a D_p na profundidade de 0,60-0,80 m. O coeficiente de variação foi considerado baixo para os atributos: D_s , D_p , PT, areia total ($CV < 12\%$) configurando-se assim numa baixa variabilidade desses atributos nas profundidades avaliadas, já os atributos silte e argila apresentaram valores médios de CV ($12 < CV < 60\%$) em todas as profundidades

estudadas. A análise de tais atributos no perfil do solo até a profundidade de 1,00 m, mesmo com reduzido número de amostras, quando comparada aos dados apresentados na Tabela 1, onde avaliou-se apenas as profundidades 0,0-0,20 m e 0,20-0,40 m, revelam comportamento similares quanto a variabilidade dos atributos analisados.

Tabela 5. Estatística descritiva dos atributos: densidade do solo (D_s , kg.m^{-3}), densidade de partículas (D_p , kg.m^{-3}), porosidade total (PT, %), Areia Total (AT, kg.kg^{-1}), silte (kg.kg^{-1}) e argila (kg.kg^{-1}) nas profundidades de 0,0-0,20; 0,20-0,40; 0,40-0,60; 0,60-0,80; 0,80-1,00 m.

0,0-0,20 m									
Atributos	Média	med	s	min	max	CV	Cs	Ck	p ⁽¹⁾
Ds	1,50	1,54	0,08	1,32	1,63	5,7	-0,65	-0,91	0,00 ^{ns}
Dp	2,60	2,60	0,03	2,47	2,66	1,3	-1,14	3,00	0,00 ^{ns}
PT	42,24	41,28	3,31	37,19	49,12	7,8	0,56	-0,91	0,00 ^{ns}
AT	852,88	863,31	42,9	672,54	915,35	5,0	-1,80	5,55	0,00 ^{ns}
silte	81,52	73,85	45,5	31,43	312,84	55,8	2,94	13,4	0,00 ^{ns}
argila	65,59	62,27	32,7	14,61	150,13	49,9	0,75	0,13	0,03 ^{ns}
0,20-0,40 m									
Ds	1,42	1,41	0,05	1,34	1,62	3,6	1,69	4,25	0,00 ^{ns}
Dp	2,60	2,60	0,04	2,43	2,69	1,6	-1,12	5,07	0,00 ^{ns}
PT	45,45	45,93	2,21	37,53	48,83	4,8	-1,24	2,37	0,00 ^{ns}
AT	842,17	846,35	32,02	715,33	899,65	3,8	-1,25	3,83	0,00 ^{ns}
silte	74,68	72,44	26,37	22,34	154,28	35,3	0,69	1,28	0,16 ^{ns}
argila	83,13	79,24	28,64	25,81	136,77	34,4	0,13	-0,80	0,26 ^{ns}
0,40-0,60 m									
Ds	1,40	1,37	0,06	1,30	1,58	4,8	1,32	1,14	0,00 ^{ns}
Dp	2,61	2,60	0,06	2,42	2,98	2,6	2,94	18,54	0,00 ^{ns}
PT	46,43	47,15	3,12	39,50	54,91	6,7	-0,48	0,80	0,00 ^{ns}
AT	814,41	823,14	43,56	715,11	900,88	5,3	-0,63	0,21	0,06 ^{ns}
silte	70,06	65,41	24,99	19,70	118,32	35,6	0,28	-0,84	0,11 ^{ns}
argila	115,51	114,67	35,19	36,96	184,63	30,4	0,01	-0,51	0,83 ^{ns}
0,60-0,80 m									
Ds	1,41	1,39	0,08	1,26	1,57	5,9	0,45	-1,00	0,00 ^{ns}
Dp	2,61	2,60	0,06	2,54	2,97	2,3	4,56	26,78	0,00 [*]
PT	45,76	46,97	3,37	39,38	50,97	7,3	-0,63	-0,99	0,00 ^{ns}
AT	798,41	815,49	61,83	485,07	862,17	7,7	-3,21	13,80	0,00 ^{ns}
silte	72,39	67,97	47,99	17,77	329,25	66,2	3,43	17,16	0,00 ^{ns}
argila	129,18	127,47	32,78	53,12	191,81	25,3	0,05	-0,49	0,59 ^{ns}
0,80-1,00 m									
Ds	1,44	1,40	0,09	1,30	1,60	6,6	0,27	-1,61	0,00 ^{ns}
Dp	2,60	2,60	0,03	2,50	2,70	1,5	0,01	0,44	0,87 ^{ns}
PT	44,36	45,47	3,97	37,82	51,46	8,9	-0,17	-1,48	0,00 ^{ns}
AT	795,40	805,97	40,35	661,15	863,14	5,0	-1,26	2,19	0,00 ^{ns}

silte	81,60	74,41	34,73	18,81	178,52	42,5	0,86	0,52	0,01 ^{ns}
argila	122,98	122,05	30,45	54,29	197,05	24,7	0,11	-0,11	0,99 ^{ns}

p⁽¹⁾ Teste de Shapiro-Wilk para distribuição normal, * significativo, a 5%; ns: não significativo. med = mediana; s = desvio padrão; min = valor mínimo; max = valor máximo; CV = coeficiente de variação; Cs = coeficiente de assimetria; Ck = coeficiente de curtose.

O resultado da análise dos atributos físicos do solo coletados nas profundidades de 0,0-0,20; 0,20-0,40; 0,40-0,60; 0,60-0,80 e 0,80-1,00 m estão apresentados na Tabela 6. A profundidade de 0,0-0,20 m caracterizou-se por apresentar moderado IDE, comportamento este que se estendeu até a profundidade de 0,40 m, com exceção do silte e da argila, os quais apresentaram forte IDE. A partir da camada de 0,40 m os valores de IDE apresentaram-se mais elevados de forma geral, com ajuste ao modelo gaussiano, exceção para o silte e a argila, os quais apresentaram melhor ajuste ao modelo exponencial e esférico respectivamente e uma redução nos valores de IDE em relação à profundidade anterior.

Os maiores valores de IDE ocorreram para o atributo Ds e PT na profundidade de 0,60-0,80 m, tais atributos se ajustaram-se ao modelo esférico e apresentaram alcances de 124 e 115 m respectivamente. Na profundidade posterior 0,80-1,00 m, os atributos variaram de moderada a forte dependência espacial com ajuste aos modelos gaussiano para os parâmetros Ds; Dp e PT, e ao modelo esférico para areia total e argila. A profundidade de 0,80-1,00 m também apresentou como peculiaridade o fato de ser possível observar dependência espacial para o atributo Dp, o qual apresentou EPP em todas as demais profundidades avaliadas, tal fato pode ser atribuído a reduzida influência sofrida por esta profundidade pelo manejo rotineiramente praticado na área experimental, sendo assim a variabilidade detectada nesta profundidade se deve-se muito mais aos fatores pedogenéticos, reforçando assim a importância da profundidade de coleta na ciência da variabilidade dos atributos avaliados. Machado et al. (2006b), ao avaliar a variabilidade da Dp, atribuíram a independência e/ou o baixo alcance verificado entre as amostras estudadas ao fato da Dp depender principalmente da constituição mineralógica, sendo pouco influenciada por fatores induzidos pelo manejo.

O atributo silte apresentou efeito pepita puro na profundidade de 0,0-0,20m, revelando assim a descontinuidade espacial desse atributo nas referida profundidade. De maneira geral observa-se que os valores de alcance aumentaram a partir da profundidade de 0,40 m, o que pode estar relacionado ao menor revolvimento sofrido pelo solo em camadas

mais profundas, comportamento semelhante foi observado por Cajazeira e Assis Junior (2011).

Tabela 6. Parâmetros do variograma dos atributos densidade do solo (D_s , kg.m^{-3}), densidade de partículas (D_p , kg.m^{-3}), porosidade total (PT, %), Areia Total (AT, kg.kg^{-1}), silte (kg.kg^{-1}) e argila (kg.kg^{-1}) nas profundidades de 0,0-0,20; 0,20-0,40; 0,40-0,60; 0,60-0,80; 0,80-1,00 m.

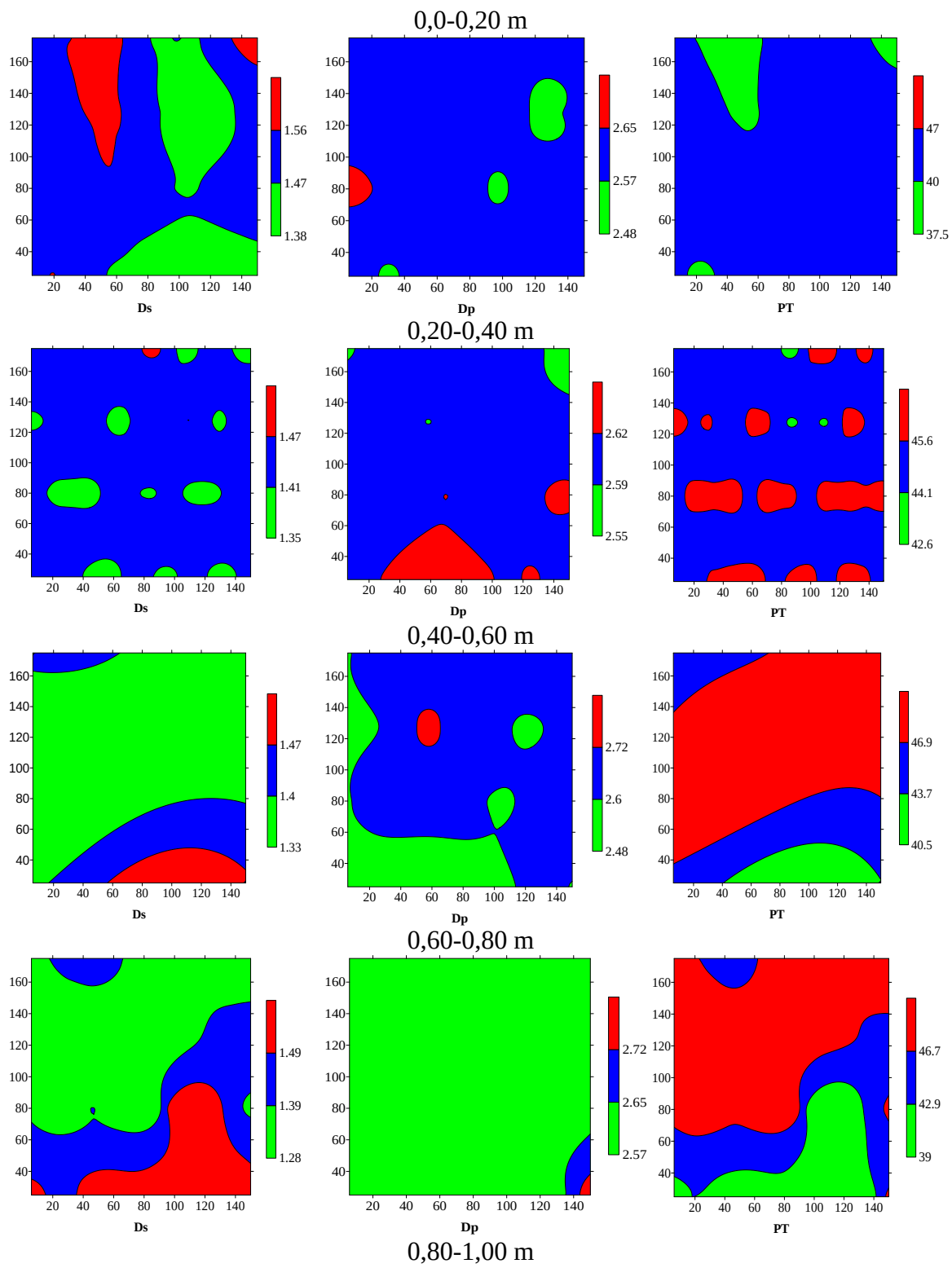
Parâmetros	Modelo	A (m)	C_0	C_0+C	IDE (%)
0,0-0,20 m					
D_s	Esférico	64	0,0029	0,0076	62
D_p	EPP				IDW
PT	Esférico	63	4,0600	10,6600	62
AT	Gaussiano	87	638,0000	1300,0000	51
silte	EPP				IDW
argila	Esférico	22	535,8598	1153,0000	53
0,20-0,40 m					
D_s	Esférico	22	0,0016	0,0028	42
D_p	EPP				IDW
PT	Exponencial	24	1,5166	3,8900	61
AT	Esférico	90	343,0000	720,6000	52
silte	Exponencial	30	48,4640	580,4000	92
argila	Exponencial	55	194,7779	892,4000	78
0,40-0,60 m					
D_s	Gaussiano	106	0,0009	0,0052	83
D_p	EPP				IDW
PT	Gaussiano	115	1,1600	10,0200	77
AT	Gaussiano	91	728,0000	1763,0000	59
silte	Exponencial	17	210,9856	573,8000	63
argila	Esférico	84	385,0000	1393,0000	72
0,60-0,80 m					
D_s	Esférico	124	0,00001	0,0007	99
D_p	EPP				IDW
PT	Esférico	115	0,1900	13,0700	98
AT	Gaussiano	47	736,0000	1867,0000	61
silte	Esférico	21	202,6940	713,3000	72
argila	Esférico	72	373,0000	1119,0000	67
0,80-1,00 m					
D_s	Gaussiano	139	0,0015	0,0097	90
D_p	Gaussiano	28	0,0004	0,0016	74
PT	Gaussiano	106	2,5700	17,1200	85
AT	Esférico	73	628,0000	1555,0000	60
silte	Exponencial	23	202,5419	1001,0000	80
argila	Esférico	59	372,0000	1001,0000	63

A: alcance em m; C_0 : efeito pepita; C_0+C : patamar; IDE: índice de dependência espacial; EPP: efeito pepita puro.

Durante a coleta de dados na área experimental foi possível identificar que nas fileiras 2, 29, 33, 36 e 39 - planta 11, e fileiras 5 e 8 - planta 33, a presença de concreções entre 0,6 m e 1,0 m de profundidade. Não foi possível coletar amostra de solo entre 0,8 e 1,0 m de profundidade na fileira 8, planta 33. Nas fileiras 13, 16, 19, 23, 26 e 29 - planta 11, e fileiras 29, 33, 36 e 39 - planta 33, foi observado a presença de água no solo (solo encharcado) a 0,6-0,8 m e a 0,8-1,0 m de profundidade. Essas observações coincidem com as observações visuais do produtor, que apontou as subáreas próximas ao início da área (plantas 1 a 22) com sendo as que apresentavam drenagem lenta. O estudo da dependência espacial de atributos do solo, por meio da teoria das variáveis regionalizadas ou geoestatística, permite a interpretação e a projeção dos resultados com base na estrutura da sua variabilidade natural, podendo indicar alternativas de uso, além de possibilitar melhor compreensão da variabilidade dos atributos e sua influência sobre a produção das culturas (OLIVEIRA, 2007). A caracterização da variabilidade espacial dos atributos do solo, associada a outras técnicas de tomada de decisão, e a experiência do agricultor são importantes para o refinamento das práticas de manejo e a avaliação dos efeitos da agricultura sobre a qualidade ambiental (LIMA et al., 2009). As Figuras 6a e b possibilitam a observação visual das características físicas avaliadas na área experimental para as diferentes profundidades por meio da krigagem ou pelo IDW para os atributos que apresentaram EPP.

A análise dos atributos em profundidade de maneira geral não possibilitou uma boa identificação de zonas coincidentes. Ao analisar a distribuição espacial dos atributos nas profundidades de 0,0-0,20 m e 0,20-0,40 m as quais foram avaliadas também, com um volume maior de amostras (160), como exemplificado na Figura 4, não foi possível verificar correspondência em tais distribuições, ressaltando-se assim a importância da intensidade amostral na avaliação da distribuição espacial de atributos do solo e consequente identificação de zonas homogêneas quanto a tais atributos.

De maneira complementar, o levantamento topográfico mostrou a diferença de cotas na área experimental, no sentido da planta 82 para a planta 1 e da fileira 40 para a fileira 1 (Figura 7). A declividade no sentido da parte mais alta (área azul) para a área mais baixa (área amarela) foi de 1,2 %.



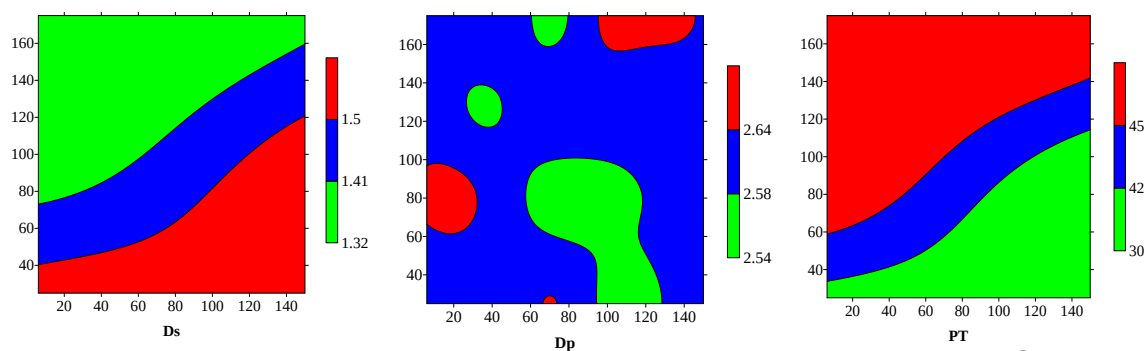
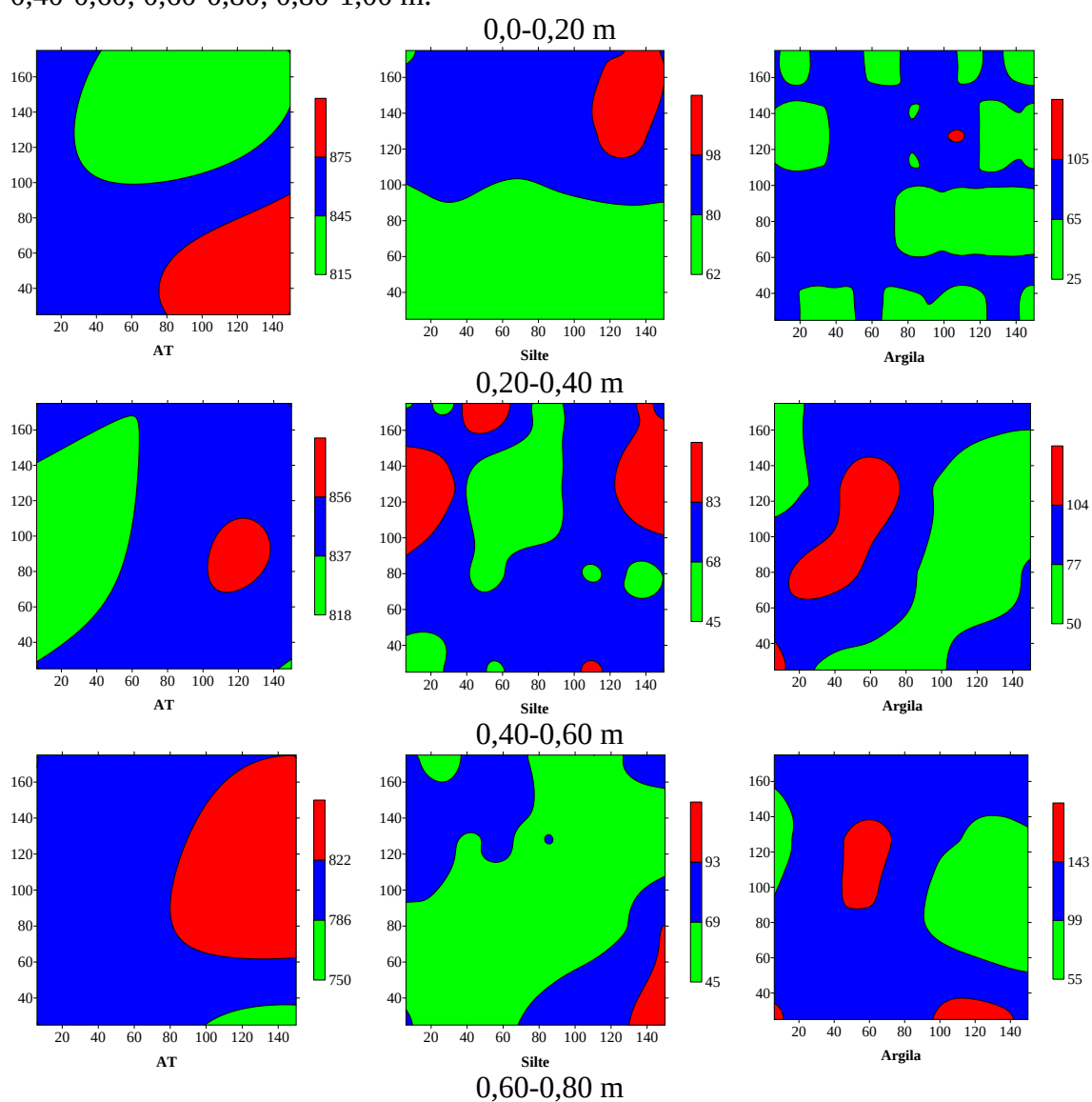


Figura 6a. Distribuição espacial dos atributos densidade do solo (D_s , kg.m⁻³), densidade de partículas (D_p , kg.m⁻³), porosidade total (PT , %), nas profundidades de 0,0-0,20; 0,20-0,40; 0,40-0,60; 0,60-0,80; 0,80-1,00 m.



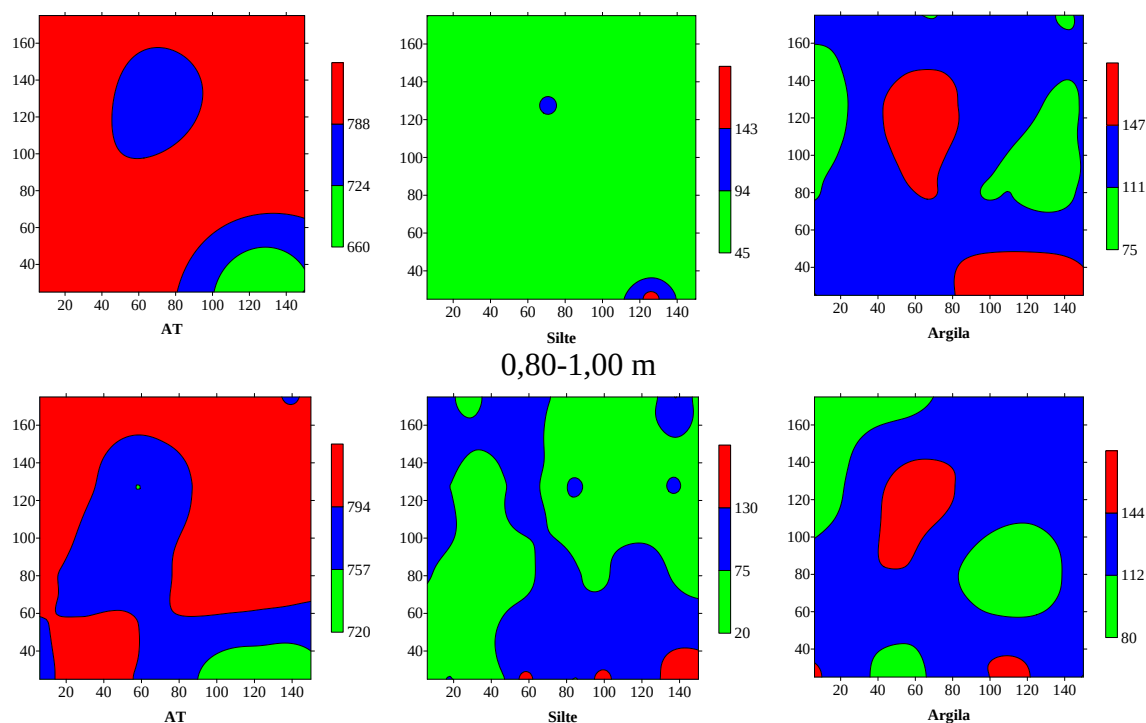


Figura 6b. Distribuição espacial dos atributos areia total (kg.kg^{-1}), silte (kg.kg^{-1}) e argila (kg.kg^{-1}) nas profundidades de 0,0-0,20; 0,20-0,40; 0,40-0,60; 0,60-0,80; 0,80-1,00 m.

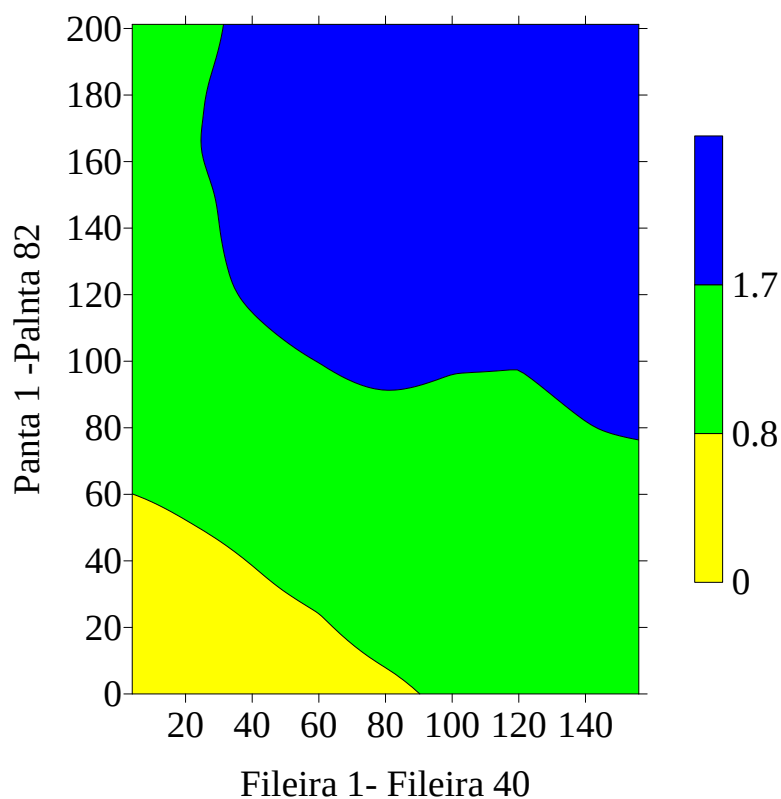


Figura 7. Mapa da distribuição espacial das cotas topográficas na área cultivada com videira.

1.4- Conclusões

1. Os atributos físico do solo medidos em quatro transeções na área cultivada com videiras apresentaram dependência espacial de moderada a forte nas camadas de 0-0,2 m e 0,2-0,4 m. A umidade do solo e a capacidade de água disponível apresentaram dependência espacial moderada em ambas as camadas de solo. Consequentemente, foram obtidas as zonas homogêneas dos atributos físico-hídricos;

2. Nas tradagens realizadas em diversos pontos da área, a dependência espacial dos atributos físicos do solo também foi de moderada a forte, entre a superfície e a profundidade de 1,0m.

3. A água disponível na camada de 0,2-0,4 m apresentou o maior valor de alcance de todos os atributos do solo analisados, com dependência espacial forte, e foi o atributo considerado para a delimitação de zonas homogêneas para fins de manejo diferenciado da irrigação.

1.5- Referências Bibliográficas

ALCÂNTARA, G. R. **Variabilidade espacial de características físicoquímicas e condutividade elétrica aparente do Solo sob plantio direto**. 2010. 91 f. Dissertação (mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Estadual de Goiás, Anápolis, 2010.

AMARO FILHO, J. et al. Amostragem e variabilidade espacial de atributos físicos de um Latossolo Vermelho em Mossoró, RN. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, n. 3, p. 415-422, 2007.

AMADO, T.J.C.; GIOTTO, E. A sua lavoura na tela. **Revista A Granja**, São Paulo, SP, v. 732, p.38-42, 2009.

BAHIA, A. S. R. de S. et al. Variabilidade espacial dos atributos físicos de um latossolo sob cultivo de cana-de-açúcar. In: Simpósio de Geoestatística aplicada em ciências Agrárias, 2, 2011, Botucatu-SP. **II Simpósio de Geoestatística aplicada em ciências agrárias**. Botucatu-SP, 2011.

BALASTREIRE, L. A. **O Estado-da-Arte da Agricultura de Precisão no Brasil**. 1. ed. Piracicaba: L.A. Balastreire, 2000. v. 1. 224 p.

BATISTA, I. F.; ZIMBACK, C. R. L. Análise espacial de nutrientes e produção de alface cultivada em ambiente protegido. **Irriga**, Botucatu, v. 15, n. 4, p. 401-413, 2010.

BASSOI, L. H.; GRANGEIRO, L. C.; SILVA, J. A. M. ; SILVA, E. E. G. da . 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, 2002.

BIRRELL, S.J.; SUDDUTH, K.A.; KITCHEN, N.R. Nutrient mapping implications of short-range variability. In: PROCEEDINGS OF THE 3RD INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, edited by P.C. Robert, R.H. Rust and W.E. Larson (ASA-CSSA-SSSA, Madison, Wisconsin, USA), p.207- 216, 1996.

BULLOCK, D.G. et al. Nutrient management with intensive soil sampling and differential fertilizer spreading. **Better Crops with Plant Food**, v. 78, p. 10-12, 1994.

CAJAZEIRA, J. P.; ASSIS JÚNIOR, R. N. Variabilidade espacial das frações primárias e agregados de um Argissolo no Estado do Ceará. **Revista Ciência Agronômica**, v. 42, n. 2, p. 258-267, abr-jun, 2011.

CAMBARDELLA, C.A. et al. Field-scale variability of soil properties in central Iowa soils. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.58, n.5, p.1501-1511, 1994.

CAMPOS, M. C. et al. Variabilidade espacial da textura de solos de diferentes materiais de origem em Pereira Barreto, SP. **Revista Ciência Agronômica**, v. 38, n. 02, p.149-157, 2007.

CAMPOS, H. **Estatística experimental não-paramétrica**. 3. ed. Piracicaba: ESALQ,1979. cap.2, p.21-62: Testes aplicáveis a uma amostra.

CARVALHO, J.R.P.; ASSAD, E.D. Análise da precipitação pluviométrica no Estado de São Paulo: comparação de métodos de interpolação. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.25, n.2, p.377-384, 2005.

CARVALHO, M.P.; TAKEDA, E.Y.; FREDDI, O.S. Variabilidade espacial de atributos de um solo sob videira em Vitória Brasil (SP). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.27, n.4, p.695-703, 2003.

CARVALHO, J.R.P.; SILVEIRA, P.M.; VIEIRA, S.R. Geoestatística na determinação da variabilidade espacial de características químicas do solo sob diferentes preparos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.37, n.8, p.1151-1159, 2002.

CENTURION, J.F.; ANDRIOLI, I.A.P. Regime hídrico de alguns solos de Jaboticabal. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 24, n. 4, p.701-709, 2000.

CIRILLO, M.A.; FERREIRA, D.F. Extensão do teste para normalidade univariado baseado no coeficiente de correlação quantil-quantil para o caso multivariado. **Revista de matemática e estatística**. Marília, v. 21, n. 3, p. 67-84, 2003.

CORÁ, J. E. et al. Variabilidade espacial de atributos do solo para adoção do sistema de agricultura de precisão na cultura de cana-de açúcar. **Revista Brasileira Ciência do**

Solo, Viçosa, v.28, n.6, p.1013-1021, 2004.

CURI, N. et al. **Vocabulário de ciência do solo**. Campinas, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1993. 89p.

DELLAMEA, R.B.C. et al. Agricultura de precisão voltada à melhoria da fertilidade do solo no sistema plantio direto. In: Congresso brasileiro de ciência do solo, 31. 2007. Gramado. **Anais....** Gramado: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007.

EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 1997. 212 p.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional e Pesquisa em Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília: Embrapa SPI; Embrapa Solos, 2006. 306p.

EGUCHI, E. S.; SILVA, E. L. da; OLIVEIRA, M. S. de. Variabilidade espacial da textura e da densidade de partículas em um solo aluvial no Município de Lavras, MG. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.6, n.2, p.242-246, 2002.

FARACO, M.A.; URIBE-OPAZO, M.A.; DA SILVA, E.A.A.; JOHANN, J.A. & BORSSOI, J.A. Seleção de modelos de variabilidade espacial para elaboração de mapas temáticos de atributos físicos do solo e produtividade da soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, V.32, n.2, p.463-476, 2008.

FIDALSKI, J. et al. Variabilidade espacial da resistência do solo à penetração e da taxa de estratificação de carbono orgânico do solo em um Latossolo Vermelho eutrófico. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 36, n. 6, 2006.

GONÇALVES, A.C.A.; FOLEGATTI, M.V.; DA MATA, J.D.V. Análises exploratória e geostatística da variabilidade de propriedades físicas de um Argissolo Vermelho. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v.23, p.1149-1157, 2001.

GONÇALVES, A.C.A.; FOLEGATTI, M.V.; SILVA, A.P. Estabilidade temporal da distribuição espacial da umidade do solo em área irrigada por pivô central. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.23, n.1, p.155-164, 1999.

GOTWAY, C.A.; FERGUSON, R.B.; HERGERT, G.W. The effects of mapping and scale on variable-rate fertilizer recommendations for corn. In: PROCEEDINGS OF THE 3RD INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, edited by P.C. Robert, R.H. Rust W.E. Larson (ASA-CSSASSSA, Madison, Wisconsin, USA), p.321-330, 1996. 1 CD-ROM.

GOLDEN SOFTWARE - SURFER for windows. Release 7.0. Contouring and 3D surface mapping for scientist's engineers. User's guide. New York, Golden Software, 1999. 619p.

GREGO, C.R.; VIEIRA, S.R. Variabilidade espacial de propriedades físicas do solo em uma parcela experimental. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, v. 29, n. 2, p. 169-177, 2005.

GOOVAERTS, P. Geostatistics in soil science: state-of-the-art and perspectives. **Geoderma**.v.89, p.1-45, 1999.

KITAMURA, A. E.; CARVALHO, M. de P.; LIMA, C. G. da R. Relação entre a variabilidade espacial das frações granulométricas do solo e a produtividade do feijoeiro sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.31, n. 2, Apr. 2007.

LIMA, J. S. et al. Variabilidade espacial de atributos físicos de um argissolo Vermelho-amarelo sob pastagem e vegetação secundária em Regeneração natural. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.29, n.2, p.185-195, abr./jun. 2009.

LIMA, J. A. G. et al. Variabilidade espacial de características físico-hídricas de um cambissolo cultivado com mamão no semiárido do RN. **Revista Caatinga**, v. 19, n. 02, p. 192-199, 2006.

LANDIM, P.M.B. Introdução aos métodos de estimação espacial para confecção de mapas. Rio Claro: UNESP, 2000. 20 p. Disponível no formato PDF (Adobe Acrobat®) em <<http://www.rc.unesp.br/igce/aplicada/textodi.html>> (Texto Didático 02).

MACHADO, P. L. O. de A. et al . Mapeamento da condutividade elétrica e relação com a argila de Latossolo sob plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, n. 6, June 2006a .

MACHADO, R. V. et al. Variabilidade espacial de algumas propriedades físicas em três solos para duas profundidades. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, Lages, v.5, n.1, p. 44-52, 2006b.

MOLIN, J.P. Definição de unidades de manejo a partir de mapas de produtividade. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.22, n.1, p.83- 92, 2002a.

MORAES, S.O.; LIBARDI, P.L. Problemas metodológicos na obtenção da curva de retenção da água pelo solo. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v.50, n.3, p.383-392, 1993.

MOLIN, J. P. Geração e interpretação de mapas de produtividade para a agricultura de precisão. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE AGRICULTURA DE PRECISÃO, 2, 2002, viçosa. Viçosa: UFV, 2002b. cap. 10, p. 1-22. 1CD-ROM Disponível em: <<http://www.esalq.usp.br/departamentos/ler/download/CLP%202000.01.PDF>>.

MENDES, A. M. S.; FONTES, R. L. F.; OLIVEIRA, M. de. Variabilidade espacial da textura de dois solos do Deserto Salino, no Estado do Rio Grande do Norte. **Revista Ciência Agronômica**, v. 39, n.1, p. 01-06, 2008.

OLIVEIRA JUNIOR, J. C. de et al . Variabilidade espacial de atributos mineralógicos de solos da formação Guabirotuba, Curitiba (PR). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 35, n. 5, Oct. 2011.

OLIVEIRA, R.B. **Mapeamento e correlação de atributos do solo e de plantas de café conilon para fins de agricultura de precisão**. 2007. 129 f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) - Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre, 2007.

ORTIZ, G.C. **Aplicação de métodos Geoestatísticos para identificar a magnitude e a estrutura da variabilidade espacial de variáveis físicas do solo**. 2002. 75p Dissertação (Mestrado) – ESALQ/USP, Piracicaba, 2002.

ORTIZ, J.L. **Emprego do geoprocessamento no estudo da relação entre potencial produtivo de um povoamento de eucalipto e atributos do solo e do relevo**. 2003. 205p. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) - “Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2003.

PIMENTEL-GOMEZ, F.; GARCIA, C.H. **Estatística aplicada a experimentos agronômicos e florestais: exposição com exemplos e orientações para uso de aplicativos**. Piracicaba, FEALQ, 2002. 309p.

QUAGLIA, A.M.L. et al. Projeto de irrigação Vale do Massangano (Senador Nilo Coelho). Brasília, 1989. 154 p. (Relatório de Avaliação Ex-post).

REHM, G.W. et al. P and K grid sampling: What does it yield us? In: PROCEEDINGS OF THE 3RD INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, edited by P.C. Robert, R.H. Rust and W.E. Larson (ASA-CSSA-SSSA, Madison, Wisconsin, USA), p.949- 956, 1996. 1 CD-ROM.

REICHARDT, K.; TIMM, L.C. **Solo, planta e atmosfera: conceitos, processos e aplicações**. Barueri: Manole, 2004. 478p.

ROBERTSON, G.P. **GS+: Geostatistics for the environmental sciences - GS+ User's Guide**. Plainwell: Gamma Design Software, 1998. 152p.

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, Aug. 2012 .

SHAPIRO, S.S.; WILK, M.B. An analysis of variance test for normality: complete samples. **Biometrika**, v.52, p.591-611, 1965.

SILVA, V.R.; REICHERT, J.M.; STORCK, L. & FEIJÓ, S. Variabilidade espacial das características químicas do solo e produtividade de milho em um Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico arênico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, 27, n.6. p.1013-1020, 2003.

SOUZA, Z. M.; MARQUES JUNIOR, J.; PEREIRA, G. T. Variabilidade espacial de atributos físicos do solo em diferentes formas de relevo sob cultivo de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, n.6.p.937-944, 2004a.

SOUZA, Z.M. et al. Variabilidade espacial da textura de um latossolo vermelho eutroférico sob cultivo de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.24, n.2, p.309-319, maio/ago. 2004b.

SOUZA, L.M. et al. Variabilidade espacial de atributos físicos em um Latossolo Vermelho distrófico sob semeadura direta em Selvíria (MS). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.25, p.699-707, 2001.

SOUZA, L. C. de. **Variabilidade espacial da salinidade de um solo aluvial no semi-árido paraibano**. 1999. 77 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande, 1999.

SOUZA, J. R. de.; QUEIROZ, J. E.; GHEYI, H. R. Variabilidade espacial de características físico-hídricas e de água disponível em um solo aluvial no semi-árido paraibano. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, PB,v.3, n.2, p.140- 144, 1999.

SOARES, F. C. **Análise de viabilidade da irrigação de precisão na cultura do milho (*Zea mays* L.)**.2010. 114 f. (mestrado em Engenharia Agrícola) -Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2010.

SILVA, E.M. da; AZEVEDO, J.A. de. Influência do período de centrifugação na curva de retenção de água em solos de Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.37, n.10, p.1487-1494, 2002.

SIQUEIRA, G. M.; VIEIRA, S. R.; DECEN, S. C. F. Variabilidade espacial da densidade e da porosidade de um Latossolo Vermelho Eutroférico sob semeadura direta por vinte anos. **Bragantia**, Campinas, v. 68, n. 3, 2009.

SIQUEIRA, G. M.; VIEIRA, S. R.; CEDDIA, M. B. Variabilidade de atributos físicos do solo determinados por métodos diversos. **Bragantia**, Campinas, v. 67, n. 1, p. 203-211, 2008.

STATSOFT. Statistica for Windows versão 5.0. Tulsa, 1999.

TEIXEIRA, A. H. de C. **Informações Agrometeorológicas do Polo Petrolina, PE/Juazeiro, BA - 1963 a 2009**. Série Documentos - Embrapa Semiárido, 2010 21p.

TOMINAGA, T.T.; et al. . Variability of soil water content and bulk density in a sugarcane field. **Australian Journal of Soil Research**, Collingwood, v.40, p.605-614, 2002.

UMEZU, C.K. **Sistema de controle de um equipamento de formulação, dosagem e aplicação de fertilizantes sólidos a taxas variáveis**. 2003. 171 f. Tese (Doutorado em Máquinas Agrícolas) - Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2003.

VIEIRA, S.R. **Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo**. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ, V., V.H. & SCHAEFER, G.R., eds. Tópicos em ciência do solo. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. v. 1. p.1-54.

VIEIRA, S.R. et al. Handbook for geostatistical analysis of variability in soil and climate data. In: ALVAREZ V.et al., eds. Tópicos em ciência do solo. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2002. v.2. p.1-45.

VAUCLIN, S.; VIEIRA, S.R.; VACHAUD, G.; NIELSEN, D.R. The use of cokriging with limited field soil observations. **Soil Science Society of America Journal**. 47:175-184, 1983.

VIEIRA, S.R.; NIELSEN, D.R.; BIGGAR, J.W. Spatial variability of field-measured infiltration rate. **Soil Science Society of America Journal**. 45:1040-1048, 1981.

VIEIRA, S.R.; PAZ GONZÁLEZ, A. Analysis of the spatial variability of crop yield and soil properties in small agricultural plots. **Bragantia**, Campinas, v.62, n.1, p.127-138, 2003.

VIEIRA, S.R. Variabilidade espacial de argila, silte e atributos químicos em uma parcela experimental de um Latossolo Roxo de Campinas (SP). **Bragantia**, Campinas, v.56, n.1, p. 181-190, 1997.

WARRICK, A. W.; NIELSEN, D. R. Spatial variability of soil physical properties the soil. In: HILL, D. (ed.). **Applications of soil physics**. New York: Academic Press, 1980. p. 319-344.

WIBAWA, W.D.; DLUDLU, D.L.; SWENSON, L.J.; HOPKINS, D.G.; DAHNKE, W.C. Variable fertilizer application based on yield goal, soil fertility and soil map unit. **Journal of Production Agriculture**, v. 6, p. 225-261, 1993.

ZIMBACK, C.R.L. **Análise espacial de atributos químicos de solos para fins de mapeamento da fertilidade**. 2001. 114 f. Tese (Livre-Docência em Levantamento do Solo e Fotopedologia) -Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2001.

ZUCOLOTO, M.; LIMA, J. S. de S.; COELHO, R. I. Correlação e variabilidade espacial de atributos químicos do solo e produção de bananeira 'Prata-Anã'. **Revista Brasileira de Fruticultura**. Jaboticabal, v. 33, n. s, 2011.

CAPITULO 2 – APLICAÇÃO DAS ZONAS HOMOGÊNEAS PARA O MANEJO DIFERENCIADO DA IRRIGAÇÃO EM POMAR DE VIDEIRA

Patricia dos Santos Nascimento¹ & Luís Henrique Bassoi²

¹ Doutoranda em Irrigação e Drenagem/FCA-UNESP. Fone (14) 3354-0905. Email: patyysn@yahoo.com.br

² Embrapa Semiárido, Caixa Postal 23, CEP 56302-970, Petrolina, PE. Fone (87) 38663653. Email: luis.bassoi@embrapa.br

RESUMO

A otimização na aplicação dos recursos hídricos constitui uma das preocupações da agricultura irrigada, em um cenário onde tais recursos são cada vez mais limitados. Nesse sentido, esta pesquisa foi desenvolvida com o objetivo de aplicar as zonas homogêneas do solo para a realização do manejo diferenciado da irrigação em um pomar de videira. O experimento foi conduzido em área de produção comercial, localizada no Perímetro Irrigado Senador Nilo Coelho, Núcleo 5, em Petrolina-PE. Para a realização do estudo foi selecionada uma área com 40 fileiras de plantas e 82 plantas por fileira, em um pomar de videira cultivar Thompson Seedless sobre o porta-enxerto SO4, com 1 difusor por planta e conduzida no sistema de latada. Amostras de solo foram coletadas nas profundidades de 0,0-0,2 e 0,2-0,4 m para a determinação da densidade do solo e da curva de retenção de água no

solo, sendo considerada a capacidade de campo a umidade do solo retida à 0,006 MPa e o ponto de murcha permanente umidade do solo retida à 1,5 MPa. A partir da visualização da distribuição espacial da água disponível na profundidade de 0,2-0,4 m, foi possível selecionar zonas homogêneas para a característica avaliada, as quais nortearam a instalação de equipamentos para a medida da umidade do solo. Entre as 6 zonas homogêneas delimitadas, foi possível observar as diferenças quanto a quantidade de água presente no solo, auxiliando no ajuste das lâminas de irrigação efetivamente aplicada em cada uma das zonas, durante os ciclos de produção de uva de 2011 e 2012. Assim, o volume de água aplicado foi reduzido em algumas dessas zonas sem prejuízo à produtividade da cultura.

Palavra-chave: tensiômetro, sonda de nêutrons, conteúdo de água no solo.

APPLICATION OF SOIL HOMOGENEOUS ZONES TOWARDS DIFFERENTIATED MANAGEMENT OF IRRIGATION IN A VINE ORCHARD

SUMMARY

The optimization in the application of water resources is one of the concerns of irrigated agriculture, in a scenario where such resources are increasingly limited. Hence, this study was developed to apply soil homogeneous zones to perform a differential management of irrigation in an orchard vine. An experiment was carried out in a commercial vineyard, located in the Senador Nilo Coelho Irrigation Scheme, Petrolina, State of Pernambuco, Brazil. It was selected an area of 40 plant rows, with 82 plants per row, in an orchard grapevine cultivar Thompson Seedless on the rootstock SO4, irrigated by microsprinklers, and conducted by the trellis system. Soil samples were collected in 0.0-0.2 and 0.2-0.4 m depths for the determination of soil bulk density and soil water retention curve. Values of soil water content at field capacity and wilting point moisture were considered at 0.006 MPa at 1.5 MPa, respectively. From the visualization of the spatial distribution of the available water in the 0.2-0.4 m, it was possible to select homogeneous zones, which guided the installation of equipment for the soil moisture measurement. Among the six homogeneous zones defined, it was possible to observe differences in the amount of water present in the soil, and this helped in adjusting the irrigation depth effectively applied in each zone during the

2011 and 2012 growing seasons. Thus, the volume of water applied was reduced in some of these areas without injury to crop yield.

Key-words: tensiometer, neutron probe, soil water content

2.1- Introdução

Um dos princípios para o correto manejo do solo e da água consiste no prévio conhecimento acerca da variabilidade espacial dos atributos físico-hídricos do solo. Conhecer a variabilidade espacial de atributos do solo que controlam a produtividade das culturas, os riscos de contaminação do ambiente e investigar as causas dessa variabilidade são fatores importantes em um sistema de produção que vise sustentabilidade por meio do manejo regionalizado de insumos e práticas agrícolas, como é o sistema de agricultura de precisão - AP (CORÁ et al. 2004).

A água é fator limitante para o desenvolvimento agrícola e sua falta, tanto quanto o excesso, afeta o crescimento, a sanidade e a produção das plantas (MONTEIRO et al., 2006). A aplicação da irrigação na agricultura constitui uma técnica imprescindível para a eliminação das incertezas na área de produção ao longo dos ciclos de cultivo, além de propiciar uma melhor expressão das características agronômicas com conseqüente aumento da produtividade e rentabilidade agrícola. Segundo Reichardt e Timm (2008) a umidade do solo varia espacialmente tanto no sentido horizontal como vertical, e tal fato se dá em função das variações do arranjo poroso e da textura do solo. Assim o conhecimento da estrutura desta variabilidade é importante para o dimensionamento e a avaliação dos sistemas de irrigação e de drenagem, buscando um manejo mais adequado dos recursos naturais (BERNARDO et al., 2006). De acordo com Kitamura et al., (2007), o conhecimento da variabilidade das propriedades do solo é um importante passo para que seja efetuado o seu manejo adequado.

O conhecimento de características físico-hídricas do solo como a capacidade de retenção de água, densidade do solo e granulometria, dentre outras, é muito importante na escolha do sistema de irrigação a ser utilizado, no cálculo da quantidade de água a ser aplicada na irrigação, bem como sua frequência de aplicação, tornando-se óbvio que o conhecimento da variabilidade destas propriedades dentro da área a ser irrigada é de extrema importância (SOUSA et al., 1999). O conhecimento da localização de áreas onde estão

concentrados os maiores e/ou menores valores de determinada característica físico-hídrica, são importantes para o planejamento do manejo da irrigação, tanto na agricultura convencional como na AP (LIMA et al., 2006).

Essa nova forma de visualização da área de produção tem sido facilitada graças aos avanços das tecnologias, que possibilitaram o estudo da variabilidade espacial das propriedades do solo e a geração de mapas de rendimento georreferenciados. O conjunto dessas técnicas de georreferenciamento da produtividade vem sendo chamado de agricultura de precisão na qual se preconiza aplicar no local correto, no momento adequado, as quantidades de insumos requeridas para áreas cada vez menores e mais homogêneas, tanto quanto a tecnologia disponível e os custos envolvidos o permitam (DOBERMANN; PING, 2004). O manejo regionalizado do solo e da cultura é parte integrante de um sistema de AP, o qual envolve conceitos de uso de informações sobre a variabilidade de propriedades locais e climáticas de uma área, visando o aumento da produtividade, otimização no uso dos recursos e redução do impacto da agricultura ao meio ambiente (CORÁ et al. 2004).

A AP não é uma técnica nova, tal prática já vinha sendo praticada, nos primórdios da agricultura, quando predominava uma agricultura familiar, explorada em pequenas áreas (DELLAMEA, 2008). No início das atividades agrícolas a atividade manual para o cultivo das lavouras era fundamental e nesse processo havia uma maior interação do agricultor com a área de cultivo, possibilitando a este uma melhor visualização das variações existentes nas áreas de produção. Assim era facilitada a identificação e consequente tratamento das áreas problemáticas de forma individualizada. Com a mecanização da agricultura tais práticas passaram a ser substituídas por técnicas que visavam à aplicação uniforme de insumos em toda a área. Tais técnicas se embasavam na aplicação de insumos de acordo com a média determinada para a área em questão.

As aplicações dos conceitos associados à AP imprimiram um novo paradigma na cadeia produtiva de alimentos, num momento em que a necessidade por técnicas mais precisas e sustentáveis são imprescindíveis para a conservação do meio ambiente. A implementação da AP impõe novos métodos e técnicas que devem ser incorporados ao processo produtivo, onde um conjunto de práticas agrícolas altamente adaptadas às condições do local de cultivo e à variabilidade das propriedades do solo devem ser aplicadas, visando a racionalização do uso de insumos, diminuição dos custos de produção, aumento da

produtividade, do retorno econômico e a redução dos impactos ambientais (BATISTA; ZIMBACK, 2010). As técnicas de AP devem ser compreendidas como um manejo que varia de local para local de forma sustentada, onde os desperdícios no uso de insumos são minimizados, contribuindo assim, para a redução dos danos ao ambiente, a partir da utilização da AP (LEMAINSKI, 2007).

Segundo Milani et al., (2004), é importante estabelecer metodologias onde informações de produtividade, solo ou indicadores compostos possam ser utilizados para a determinação de unidades de manejo. A aplicação localizada de insumos é possível pela demarcação de unidades de gerenciamento que representem uma combinação homogênea de fatores limitantes da produtividade, as quais podem ser delineadas por amostragens de solo (MOLIN et al. 2006). Com base nestas zonas podem-se prescrever interferências de manejo visando corrigir aqueles atributos que estão comprometendo o rendimento, permitindo a elevação do potencial produtivo (AMADO et al., 2006).

Segundo Dellamea (2008), as grandes propriedades agrícolas brasileiras são as que estão mais aptas a receber as avançadas tecnologias de AP, devido ao elevado dispêndio de recursos necessários para tal. No entanto, a filosofia da AP pode ser adotada em qualquer tamanho de área, pois se sabe que a variabilidade em lavouras de pequeno porte também existe, podendo manifestar-se de maneira mais acentuada, devido ao tipo de manejo adotado.

O cultivo em pequenas glebas é uma característica peculiar ao sistema de produção de videira de mesa no Vale do Submédio São Francisco em função da alta sensibilidade apresentada por esse cultivo aos diferentes fatores inerentes a produtividade agrícola, fazendo-se necessário um monitoramento minucioso do sistema de produção, desde a poda de produção até o momento da colheita, já que pequenas alterações no manejo do cultivo podem responder pelo sucesso ou insucesso na produtividade do mesmo, justificando assim a aplicação da AP nos cultivos vitícolas.

Na busca pela otimização nos cultivos irrigados supõe-se ser mais prudente realizar inicialmente a subdivisão da área em zonas homogêneas quanto ao armazenamento de água para, posteriormente, se definir um manejo de irrigação diferenciado em cada sub-região. Segundo Coelho Filho et al., (2001), a utilização da descrição espacial das variáveis mais importantes no manejo de irrigação auxilia um manejo mais racional de água na

área e o controle local pode ser realizado após a subdivisão da área, em zonas mais homogêneas.

Muitas das atividades agrícolas no Vale do Submédio São Francisco, no Semiárido, são altamente dependentes da irrigação, devido à baixa precipitação pluvial ao longo do ano. No entanto essa tecnologia, ao longo dos anos, tem sido utilizada de forma não criteriosa por técnicos e produtores agrícolas, acarretando assim, problemas como salinização do solo e drenagem excessiva devido a aplicação de lâminas acima da demanda das culturas. Acredita-se que a facilidade na obtenção da água, em função da proximidade do rio São Francisco, a não cobrança da água como insumo, associada à falta e/ou o incorreto manejo da irrigação como alguns dos principais fatores que contribuem para tanto. Para Moura (2007), enquanto a água for explorada gratuitamente no meio rural o seu uso jamais será feito de forma racional, mesmo considerando o custo energético para o bombeamento. De acordo com Mantovani et al., (2006), mesmo o avanço tecnológico dos sistemas modernos de irrigação, com maior eficiência de distribuição da água nas mais diversas situações ficam vulneráveis quando não existe um programa de manejo, seja pela aplicação de água em excesso (mais comum) ou pela sua falta, antes ou depois do momento adequado em cada fase da cultura, nas situações vigentes. Brandão et al., (2006) citam que a utilização desordenada e o mau gerenciamento dos recursos hídricos geram prejuízos de tal magnitude que, atualmente, problemas sociais e ambientais de grande relevância advêm de aspectos relativos tanto à disponibilidade quanto à qualidade da água. De acordo com Peiter et al., (1999), existem três aspectos que devem ser considerados na programação das estratégias de irrigação: o momento apropriado da aplicação, a quantidade necessária em cada aplicação e o consumo total de água da cultura durante o seu ciclo.

A racionalização do uso da água tem sido o alvo de muitas investigações na agricultura, por meio de sistemas que possibilitem uma maior eficiência, procurando explorar os recursos naturais de uma forma mais direcionada e consciente (BATISTA, 2006). Cada vez mais a irrigação vem sendo vislumbrada como uma atividade estratégica para o sucesso das atividades agrícolas nas diferentes regiões e cadeias produtivas, possibilitando, quando bem manejada, elevada rentabilidade. Nesse contexto a abrangência das lavouras irrigadas nos últimos anos, demandam maiores investimentos no desenvolvimento de técnicas de manejo e condução das lavouras irrigadas, de modo que seja

possível obter uma otimização na aplicação dos recursos hídricos aliada a melhores respostas em termos de produtividade e sustentabilidade ambiental. Assim, deve-se considerar o uso racional dos recursos disponíveis no processo de produção, de forma que a administração de tal recurso se dê de forma otimizada, garantindo a produtividade, reduzindo os custos e proporcionando um ambiente mais sustentável. Este trabalho objetivou a aplicação de zonas homogêneas do solo para a realização do manejo diferenciado da irrigação em um pomar de videira irrigada em Petrolina-PE.

2.2- Material e Métodos

O estudo foi realizado no município de Petrolina-PE, no Vale do Submédio do São Francisco. Nessa região, a estação chuvosa compreende, em geral, os meses de janeiro a abril, com precipitação média anual em torno de 530 mm, irregularmente distribuída. Nos meses de verão ocasionalmente ocorrem grandes taxas de deficiências hídricas, instituindo assim o regime hídrico como o fator de maior limitação do clima para esta região semiárida. A temperatura do ar média anual é de 26,5°C, com pouca oscilação entre os meses e anos, apresentando os maiores picos entre outubro e novembro, enquanto junho e julho são os meses mais frios (TEIXEIRA, 2010).

A área de estudo, localizada no lote 180 do Perímetro Irrigado Senador Nilo Coelho, Núcleo 5 (latitude S 9° 23' 12,8'', longitude W 40° 38' 13,8'', altitude 394 m), apresenta um solo classificado como Neossolo Quartzarênico de acordo com as normas da Embrapa (2006), que se caracteriza por apresentar solos profundos, não-hidromórficos, de textura arenosa (classes texturais areia e areia franca), com permeabilidade rápida ao longo de todo o perfil, o qual é destituído de minerais primários facilmente intemperizáveis (CURI et al., 1993). Em geral, os solos pertencentes a essa classe tem textura arenosa, com alta capacidade de infiltração, baixa capacidade de retenção de água, baixa fertilidade natural e acidez moderada, necessitando da aplicação de fertilizantes para o uso agrícola (QUAGLIA et al., 1989).

Para a realização do estudo foi selecionada uma área com 40 fileiras de plantas e 82 plantas por fileira, em um pomar de videira cultivar Thompson Seedless sobre o porta-enxerto SO4, plantada em maio de 2004 no espaçamento de 2,5 x 4 m, e conduzida no sistema de condução do tipo latada. O sistema de irrigação utilizado foi o de microaspersão,

com 1 difusor por planta, com vazão aferida de 30 L.h^{-1} e área molhada de $2,4 \times 2,5 \text{ m}$. Por iniciativa do próprio produtor, foram instalados registros de linha nas mangueiras de polietileno de cada fileira, entre as videiras 22 e 23 e 62 e 63, para que a aplicação de água pudesse ser dividida em três partes ou terços de cada área correspondente a 10 fileiras. Isso foi feito com base na constatação visual de partes da área com drenagem mais ou menos lenta. Quatro válvulas derivavam a água de irrigação para a área, sendo uma para cada 10 fileiras. Para a caracterização da área experimental foi coletado um total de 160 amostras deformadas de solo para as camadas de 0-0,2 e 0,2-0,4 m de profundidade, em 4 transeções (fileiras 5, 15, 25 e 35). Em cada fileira, as amostras foram coletadas na linha de plantas, a cada 5 m, totalizando 40 amostras por fileira de plantas. Como as videiras eram dotadas de marcações realizadas pelo próprio produtor (numeração de fileiras e de plantas em cada fileira), as amostras foram referenciadas de acordo com o número da fileira e da planta.

As amostras foram analisadas no Laboratório de Análise de Solo, Água e Planta da Embrapa Semiárido, em Petrolina – PE, onde foi obtida a relação entre o potencial mátrico e a quantidade de água presente no solo por meio do método da centrífuga (SILVA; AZEVEDO, 2002). As amostras em ambas as profundidades avaliadas foram submetidas às rotações de 600, 800, 1.400, 2.000, 2.400 e 9.200 rpm, correspondentes às tensões médias de 0,006; 0,01; 0,03; 0,06; 0,1 e 1,5 MPa, sendo consideradas como umidade a capacidade de campo (θ_{cc}) a umidade retida à 0,006 MPa e o ponto de murcha permanente a umidade retida à 1,5 MPa (θ_{pmp}). O modelo desenvolvido por Van Genuchten (1980) foi utilizado para ajustar os dados obtidos a partir dos resultados observados pelos métodos da centrífuga. Para tanto, se fez uso do software “Soil Water Retention Curve, versão Beta 3.0” – SWRC (DOURADO NETO et al., 2000). A água disponível (AD, mm) foi obtida a partir da diferença entre θ_{cc} e θ_{pmp} em cada camada de solo analisada.

O programa GS+, versão 7.0 (ROBERTSON, 1998) foi utilizado para avaliar a variabilidade e a dependência espacial entre as amostras coletadas no campo, para posterior delimitação de zonas homogêneas quanto à AD. O variograma experimental foi utilizado para determinar a variabilidade e a dependência espacial entre as amostras, representando quantitativamente a variação de um fenômeno. Uma vez ajustado um modelo matemático ao variograma, através da observação do melhor coeficiente de correlação oriundo

da validação cruzada, utilizou-se a técnica de krigagem para realizar a interpolação dos dados para os locais não amostrados sem tendência e com variância mínima (VIEIRA, 2000; CARVALHO; ASSAD, 2005; GREGO; VIEIRA, 2005). Para a construção do mapa de isolinha da água disponível foi utilizado o programa SURFER 7.0 (GOLDEN SOFTWARE, 1999). Assim, as isolinhas determinadas baseiam-se em um algoritmo linear e não tendencioso expresso por meio da técnica de krigagem, conforme descrito por Landim (2000) e Carvalho; Assad (2005).

A água disponível da camada 0,2-0,4 m foi considerada para a delimitação das zonas homogêneas (Figura 1), pois essa apresentou um alcance de 188 m, maior que o alcance de 101 m obtido para a camada de 0-0,2 m.

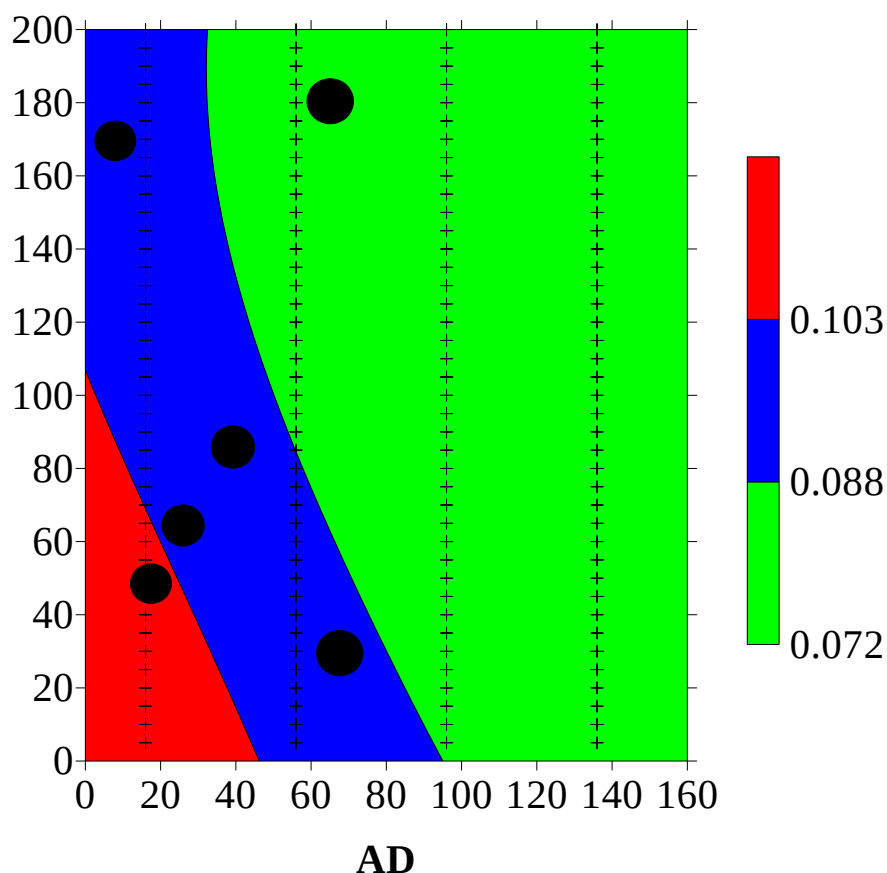


Figura 1. Mapa de distribuição da água disponível na profundidade de 0,2-0,4 m em pomar de videira cv. Thompson Seedless.

De posse do mapa da distribuição espacial da AD, foi possível selecionar 3 zonas homogêneas para a característica avaliada, entre as fileiras 1 e 20, correspondentes as 2 primeiras válvulas de derivação de água do sistema de irrigação, de modo que cada uma das zonas representa-se um ponto dentro da área experimental com alta, média e baixa AD. Também foi intenção desse estudo que cada zona estivesse inserida em uma das subáreas, previamente delimitadas pelo produtor no momento em que foram instaladas as válvulas de derivação (Figura 2). Assim, de maneira complementar, foram instaladas mais 3 baterias de observação em cada uma das subdivisões instituídas pelo produtor por meio da inserção dos registros de linha, os quais subdividiram a área em três terços. Assim, a área contou com 6 zonas de monitoramento da umidade no solo, 3 delas distribuídas de acordo com o critério água disponível, intituladas zonas 3, 5 e 6 e mais três zonas baseadas no critério tradicionalmente adotado pelo produtor com a subdivisão da área em três terços, intituladas como zonas 1, 2 e 4. A identificação numérica das zonas se deu em função da disposição das mesmas na área experimental.

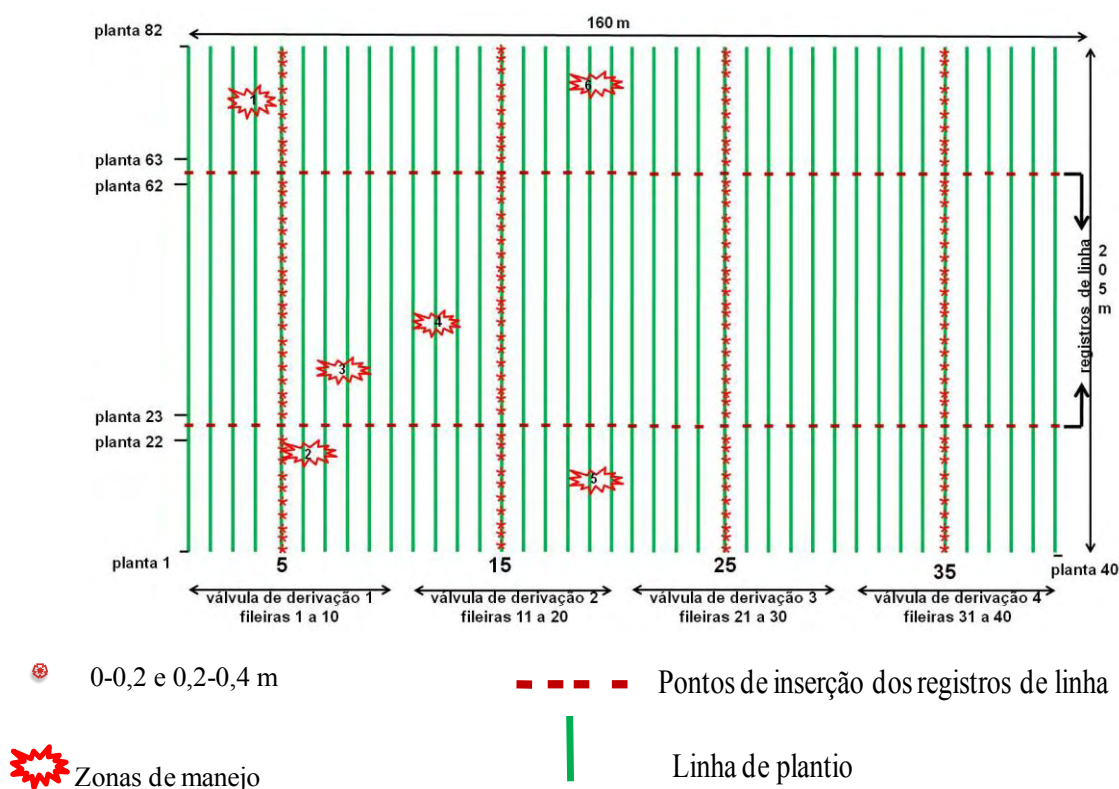


Figura 2. Croqui da área experimental, com as transeções para as coletas de amostras de solo (fileiras 5, 15, 25 e 35), e os 6 pontos de monitoramento da umidade do solo; 1, 2 e 4 (critério do produtor) e 3, 5 e 6 (AD).

Em cada uma das zonas de manejo foi instalada 1 bateria composta por um tubo de acesso para a sonda de neutrons nas profundidades de 0,15; 0,30; 0,45; 0,60; 0,75; 0,90; 1,05 e 1,20 m e tensiômetros nas profundidades de 0,20, 0,40 e 0,60 m (Figura 3), os quais foram utilizados para o monitoramento da umidade do solo durante os dois ciclos de produção (de 18 de abril à 5 de agosto de 2011 e 19 de março à 7 de julho de 2012). As leituras com a sonda de neutrons (SN) foram realizadas nos mesmos instantes que as leituras tensiométricas e objetivavam fornecer informações quanto à dinâmica da água no perfil do solo, por meio das medidas realizadas.

A calibração da SN foi realizada previamente em outra área com mesmo solo, ou seja, Neossolo Quartzarenico. Os dados para a calibração foram coletados em duas parcelas de 3,0 x 3,0 m, próximas uma da outra, contendo cada uma três tubos de acesso para a leitura. Em cada uma das parcelas, as leituras de SN foram realizadas a 0,15; 0,30; 0,45; 0,60; 0,75; 0,90; 1,05 e 1,20 m de profundidade nos 3 tubos de acesso, e imediatamente após, foi realizada a abertura de trincheira para a coleta de amostras indeformadas de solo, com o uso de anéis volumétricos de 5 cm de diâmetro e 5 cm de altura, nas mesmas profundidades em que foram realizadas as leituras de SN. As amostras de solo foram armazenadas em latas de alumínio, lacradas e levadas ao Laboratório de Análise de Solo, Água e Planta da Embrapa Semiárido para determinação da umidade do solo pelo método gravimétrico e da densidade do solo. Uma das parcelas encontrava-se com baixa umidade do solo (parcela seca), enquanto que a outra se encontrava com maior umidade do solo (parcela úmida), obtido com o molhamento prévio do perfil do solo e monitoramento da profundidade de molhamento com a própria SN.

Trabalhou-se com a leitura relativa (LR) para a SN e não diretamente com as leituras obtidas no solo, utilizando a blindagem de proteção da sonda de neutrons para a obtenção da leitura padrão (shield). Assim, a umidade volumétrica foi determinada pela seguinte equação de regressão linear (Eq. 3):

$$\theta = 0,1089 \cdot LR - 0,0224 \quad \text{Eq. 3}$$

onde:

θ - umidade do solo a base de volume ($\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$);

LR - contagem relativa.



Figura 3. Tensiômetros nas profundidades de 0,2 m, 0,4 m e 0,6 m (a); Sonda de nêutrons utilizada para o monitoramento da umidade do solo nas profundidades de 0,15; 0,30; 0,45; 0,60; 0,75; 0,90; 1,05 e 1,20 m (b).

Uma prática de manejo adotada pelo produtor é a alternância do lado da planta a ser irrigada, após o pegamento do fruto. De acordo com o mesmo, isso tem proporcionado uma menor incidência de bagas murchas em relação a redução da lâmina de irrigação praticada anteriormente á adoção de tal prática. Assim, o sistema de irrigação por microaspersão dispõe de um difusor instalado entre duas videiras e na linha de plantas (82 plantas por fileira, espaçados em 2,5 m), sendo utilizadas duas mangueiras de polietileno para a inserção alternada desses emissores, cada uma com registros de linha conforme apresentado na Figura 4, o que permite a irrigação dos dois lados da planta caso os dois registros em cada zona de manejo estejam abertos, ou a irrigação em apenas um lado da planta caso um dos registros de linha esteja fechado. A fim de acompanhar a dinâmica da água no solo a partir da alternância do lado da planta a ser irrigado, foram instaladas baterias no lado direito e no lado esquerdo da videira (Figura 5).

Ao final dos ciclos de produção nos anos de 2011 e 2012 foi realizada a contagem do número de cachos em todas as plantas que compunham a área experimental com o objeto de verificar a variabilidade espacial da produção. Para tanto, foi utilizado o programa gs+, versão 7.0 (Robertson, 1998), através do qual foram obtidos os variogramas experimentais, utilizados na determinação da variabilidade e dependência espacial entre as amostras. Para a construção dos mapas de isolinhas do número total de cachos observado nos ciclos de produção foi utilizado o programa surfer 7.0 (Golden Software, 1999), o qual usou para tanto os valores estimados por meio da técnica de krigagem para os locais não amostrados (VIEIRA; PAZ GONZÁLEZ, 2003). O índice de dependência espacial (IDE) dos

atributos, que é dado por $[c/(c_0+c)]*100$, foi determinado e classificado, segundo os seguintes intervalos: dependência espacial baixa para $ide < 25\%$, moderada para $25\% < ide < 75\%$ e forte para $ide > 75\%$ (ZIMBACK, 2001).



Figura 4. Sistema de irrigação utilizando duas mangueiras de polietileno com registros de linhas para a alternância do lado da planta a ser irrigado.



Figura 5. Disposição das baterias nas zonas de manejo, para avaliação da umidade a partir dos 70 dapp.

O manejo de irrigação baseou-se na evapotranspiração diária da cultura (ET_c , mm.dia⁻¹), que foi estimada por:

$$ET_c = ET_0 * K_c \quad \text{Eq. 4}$$

Onde:

ET_0 = evapotranspiração de referência medida por meio da estação automática instalada na fazenda (mm.dia⁻¹);

K_c = coeficiente de cultura adotado pelo produtor para cada fase fenológica da videira de mesa;

A lâmina bruta de irrigação (LB , mm) foi estimada por:

$$LB = ET_c / E_a \quad \text{Eq.5}$$

Onde:

E_a = eficiência de aplicação, considerada como sendo de 90%.

O volume de água (V , m³) correspondente à LB aplicada por planta, foi calculado por:

$$V = (TI \cdot n \cdot q) / 1000 \quad \text{Eq. 6}$$

Onde:

TI = tempo de irrigação (h);

n = número de emissores por planta (1)

q = vazão do difusor (30 L.h⁻¹)

O monitoramento da umidade do solo em cada uma das 6 zonas de manejo estabelecidas foi utilizado para diferenciar a lâmina de irrigação aplicada e, consequentemente, o volume de água aplicado em cada uma delas, por meio da abertura ou fechamento dos registros de linha instalados pelo produtor. Assim, zonas com umidade do solo mais elevadas sofreram redução na lâmina de irrigação aplicada em determinados períodos dos ciclos de produção de uva analisados (2011 e 2012).

2.3- Resultados e Discussão

No ciclo de produção de uva de 18 de abril a 5 de agosto de 2011, a aplicação da lâmina de irrigação ocorreu sem diferenciação entre as zonas homogêneas até os 70 dias após a poda de produção - dapp (27 de junho de 2011). Os volumes de água aplicado por planta (Figura 6) corresponderam a 3,5 m³ na válvula 1 (fileiras 1 a 10) e 3,3 m³ na válvula 2 (fileiras 11 a 20). Os altos valores de volume de água no início do ciclo são decorrentes da elevação da umidade do solo antes da poda de produção, por meio de irrigação excessiva. Isso se faz necessário uma vez que as folhas são removidas na poda (transpiração é cessada temporariamente), e a profundidade do solo onde se encontram as raízes necessitam da absorção de água pela interceptação radicular. Essa é uma prática comum no sistema de produção de uva no Vale do Submédio São Francisco.

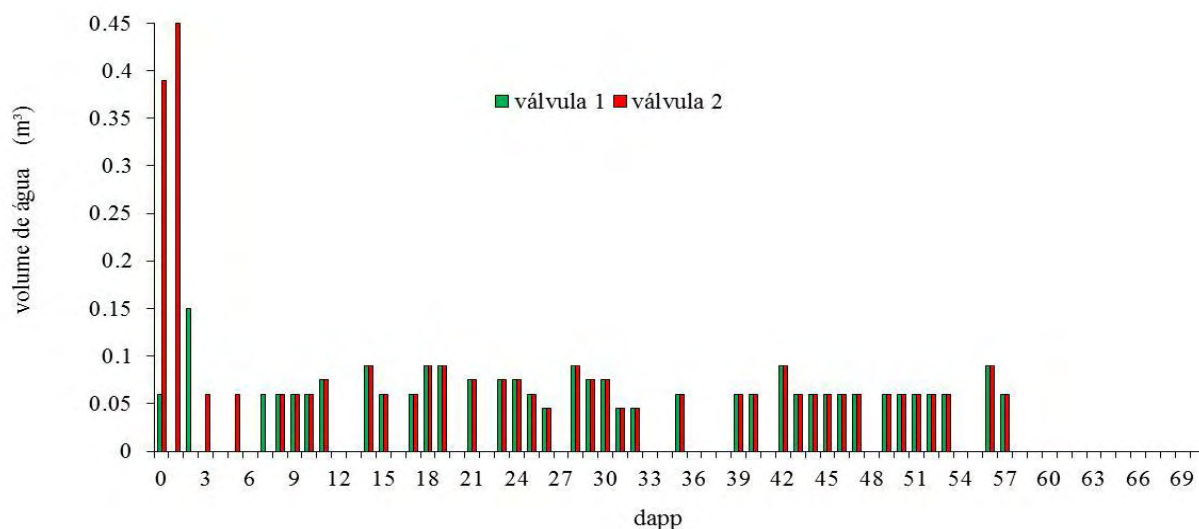


Figura 6. Volume de água aplicado por videira (m³) até os 70 dias após a poda (dapp) no ciclo de produção de 2011, nas válvulas de derivação de água 1 (fileiras 1 a 10) e 2 (fileiras 11 a 20).

A partir de 71 dapp, durante o ciclo de 2011, as lâminas de irrigação foram aplicadas às videiras alternando-se o lado da planta a ser irrigada, segundo observações realizadas pelos técnicos da fazenda. O monitoramento contínuo da umidade do solo por meio da tensiometria e sonda de neutrons (Figuras 3) nas 6 zonas de manejo estabelecidas e nos dois lados da planta auxiliou os técnicos no processo de tomada de decisão quanto à alternância de lado como no ajuste de lâmina de irrigação.

A umidade do solo da zona 1 (AD intermediária), de maneira geral, apresentou-se mais baixa ao longo do período avaliado, quando comparada as zonas 2 (AD alta) e 4 (AD intermediária), as quais apresentaram valores de umidade mais próximos entre si ao longo do período avaliado. Tais resultados persistiram independentes do lado da planta que era irrigado (Figura 7). A elevação ou redução abrupta de θ em ambos os lados da planta é devido às inversões do lado da planta que foi irrigado.

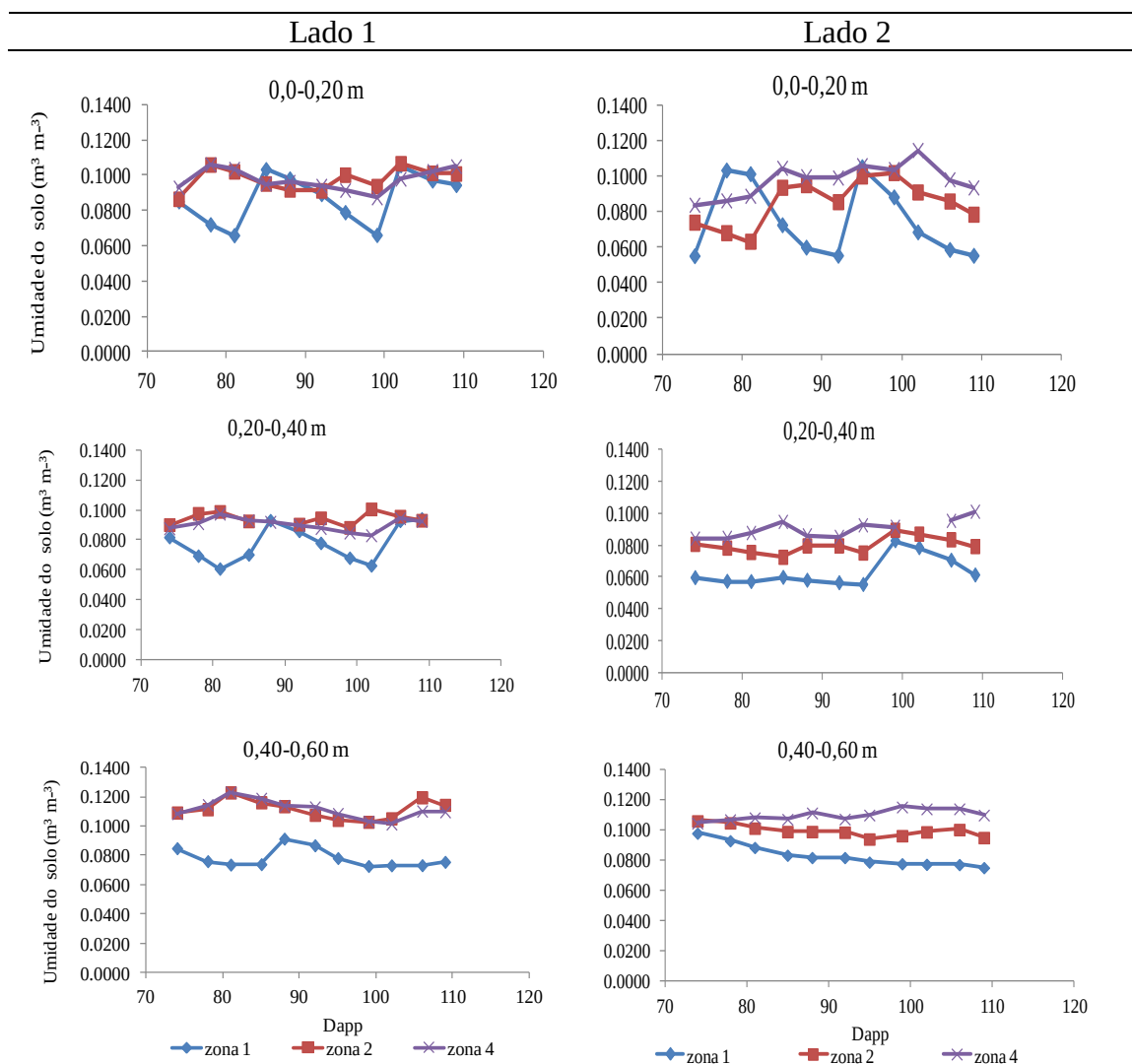


Figura 7. Umidade do solo (θ , $\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$) medida com tensiômetros a partir dos 71 dias após a poda de produção (dapp) nas profundidades 0,0-0,20; 0,20-0,40 e 0,40-0,60 m durante o ciclo de 2011, nas zonas 1, 2, e 4, e em ambos os lados da videira.

Nas zonas homogêneas 3 e 5, caracterizadas por valores intermediários de AD, o comportamento da umidade do solo foi semelhante em ambos os lados analisados

(Figura 8). Na zona homogênea 6 (AD considerada como baixa), foram observados menores valores de umidade em alguns momentos do ciclo e em ambos os lados. A elevação ou redução abrupta de θ em ambos os lados da planta é devido às inversões do lado da planta que foi irrigado.

De acordo com Sousa et al. (1999), o correto manejo da irrigação constitui-se numa atividade difícil dentro da agricultura, mas pode ser realizado levando em conta a variabilidade espacial de modo a permitir uma maior eficiência na aplicação de água nas subáreas. Pode-se, por exemplo, agrupar áreas com padrões semelhantes de variabilidade e irrigar com base na leitura do tensiômetro da área que possuir valores médios de AD.

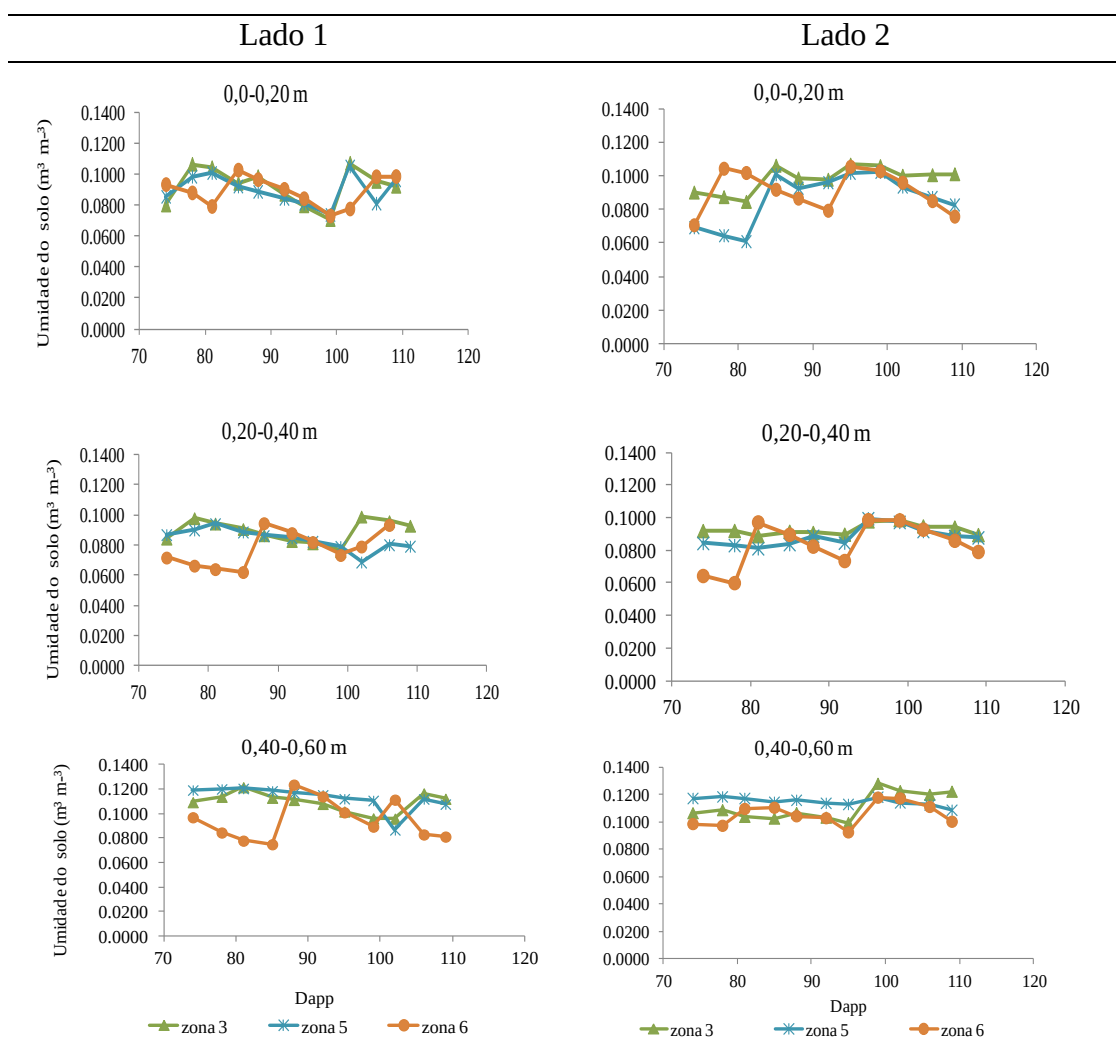


Figura 8. Umidade do solo (θ , $\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$) medida com tensiômetros a partir dos 71 dias após a poda de produção (dapp) nas profundidades 0,0-0,20; 0,20-0,40 e 0,40-0,60 m durante o ciclo de 2011, nas zonas 3, 5, e 6, e em ambos os lados da videira.

A observação da umidade do solo pela sonda de neutrons nas zonas 1, 2 e 4 (Figura 9) possibilitou o entendimento quanto à dinâmica da água no solo até a profundidade de 1,20 m. As zonas 2 e 4, caracterizadas por apresentar valores altos e intermediários de AD, apresentaram comportamento similar quanto a umidade nos dois lados avaliados. A zona 1, caracterizada por apresentar valores intermediários de AD, apresentou valores de umidade sempre inferiores aos observados nas zonas 2 e 4, e tal tendência mostrou-se ainda mais pronunciada a partir de 0,75 m. A impossibilidade de acesso com sonda de neutrons nas profundidades de 1,05 e 1,20 m inviabilizou a coleta de tais informações no lado 2 da planta na zona 4. O monitoramento de θ no lado 2 da planta foi realizado a partir de 70 dapp.

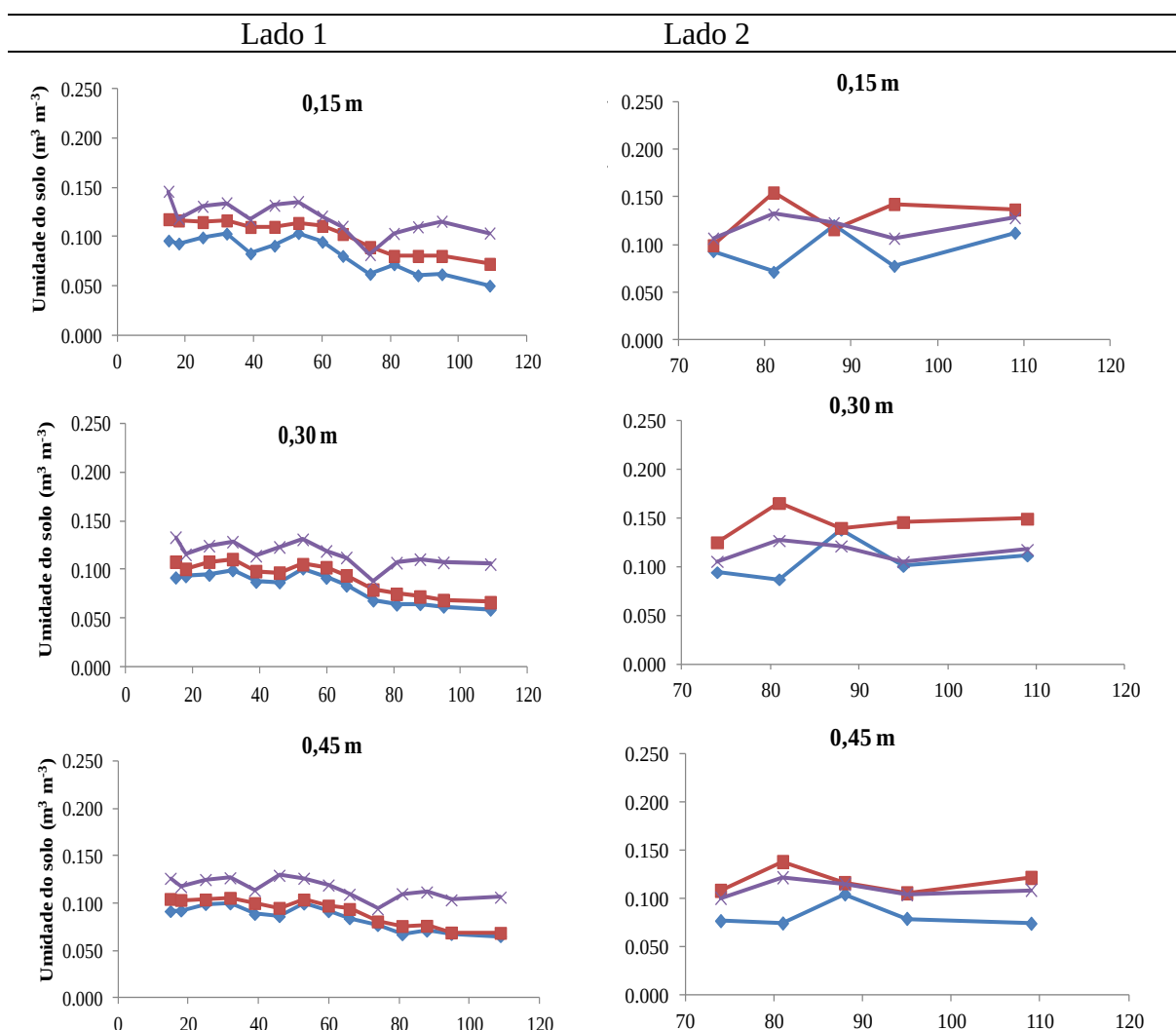


Figura 9. Umidade do solo (θ , $\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$) medida pela sonda de neutrons, desde o início do ciclo (lado 1 da videira) e desde os 71 dias após a poda de produção – dapp (lado 2 da videira), nas

profundidades de 0,15; 0,30; 0,45; 0,60; 0,75; 0,90; 1,05 e 1,20 m, durante o ciclo de produção de 2011, nas zonas 1,2 e 4.

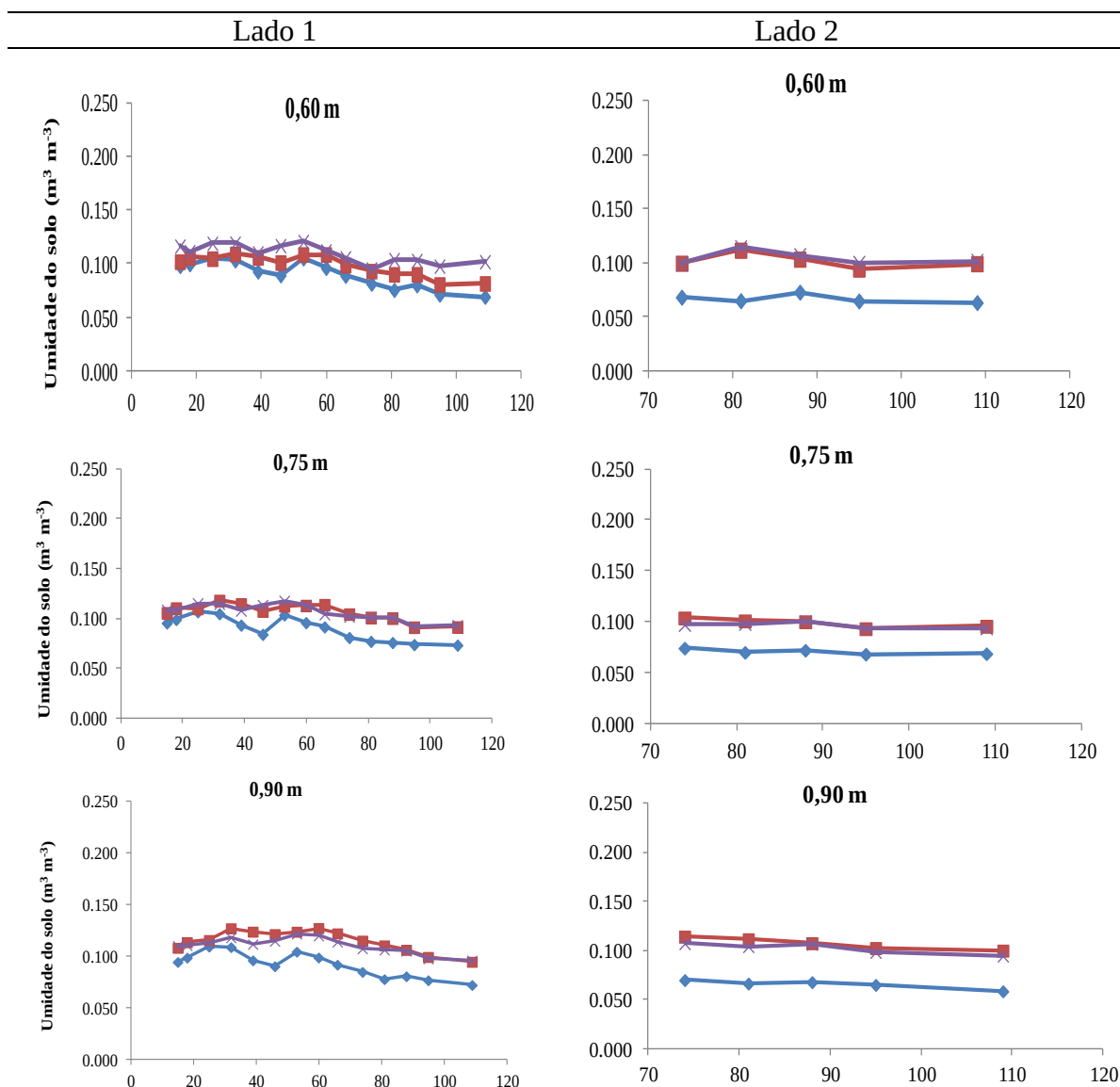


Figura 9. Continuação...

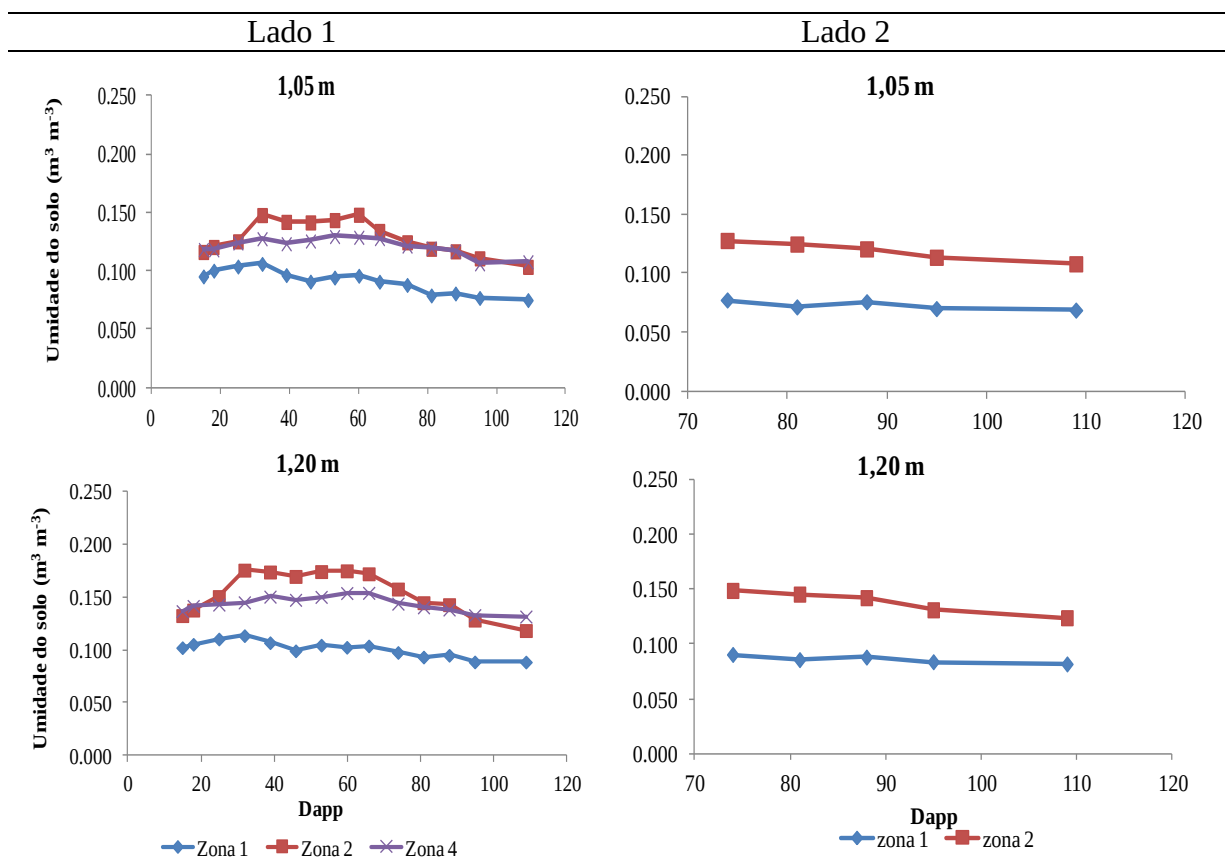


Figura 9. Continuação...

A umidade de solo na zona 3, caracterizada por apresentar valores intermediários de AD, foi maior que as zonas 5 (AD intermediária) e 6 (AD baixa) até a profundidade de 0,30 m (Figura 10). Abaixo dessa profundidade, os valores de θ foram mais elevados na zona 5. As zonas 3 e 5 apresentaram valores próximos de umidade do solo nas profundidades avaliadas. Não foi possível o acesso da sonda de neutrons nas profundidades de 1,05 e 1,20 m no lado 2 das zonas 5 e 6. O monitoramento de θ no lado 2 da planta foi realizado a partir de 70 dapp.

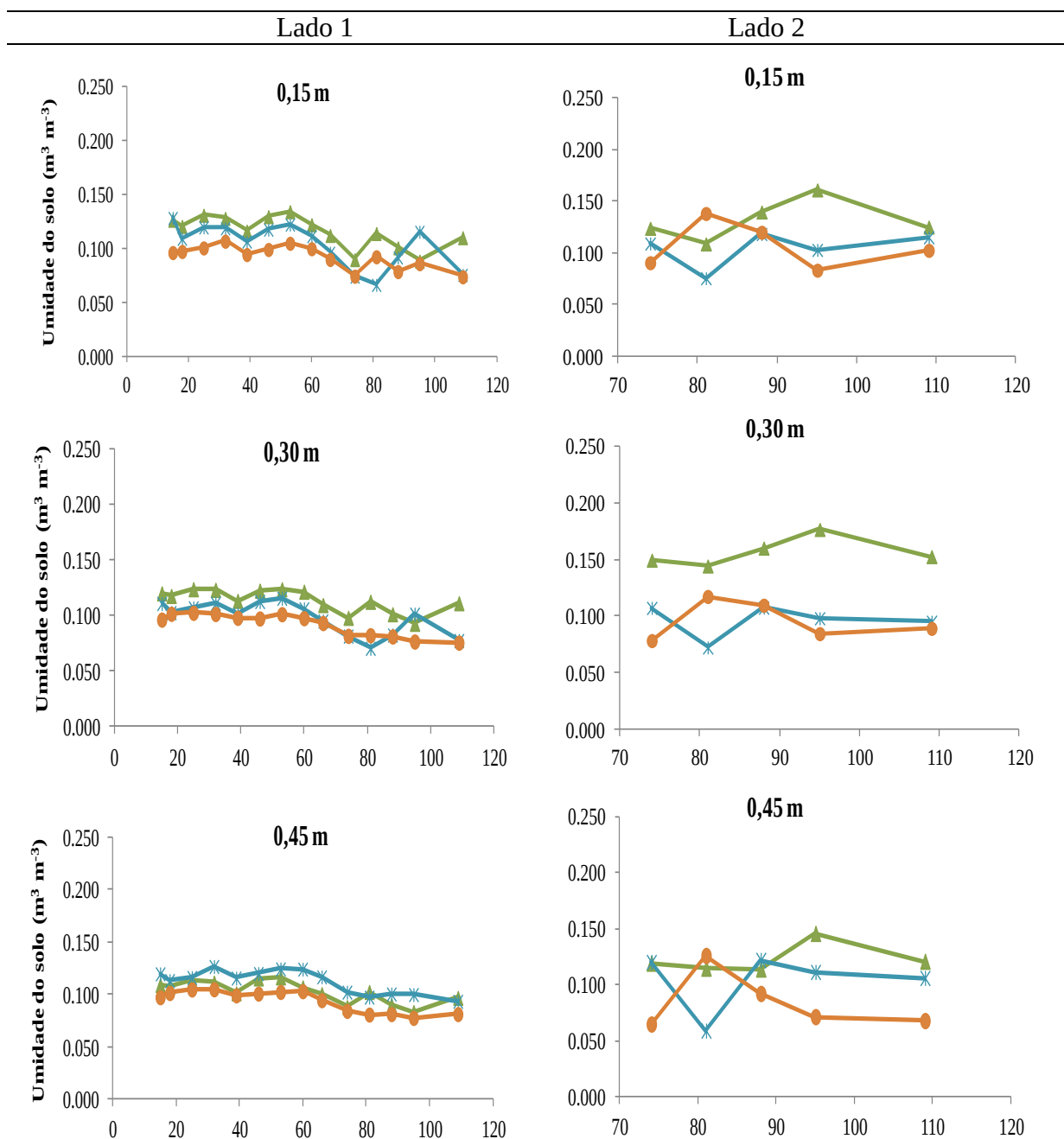


Figura 10. Umidade do solo (θ , $\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$) medida pela sonda de neutrons, desde o início do ciclo (lado 1 da videira) e desde os 71 dias após a poda de produção – dapp (lado 2 da videira), nas profundidades de 0,15; 0,30; 0,45; 0,60; 0,75; 0,90; 1,05 e 1,20 m, durante o ciclo de produção de 2011, nas zonas 3, 5 e 6.

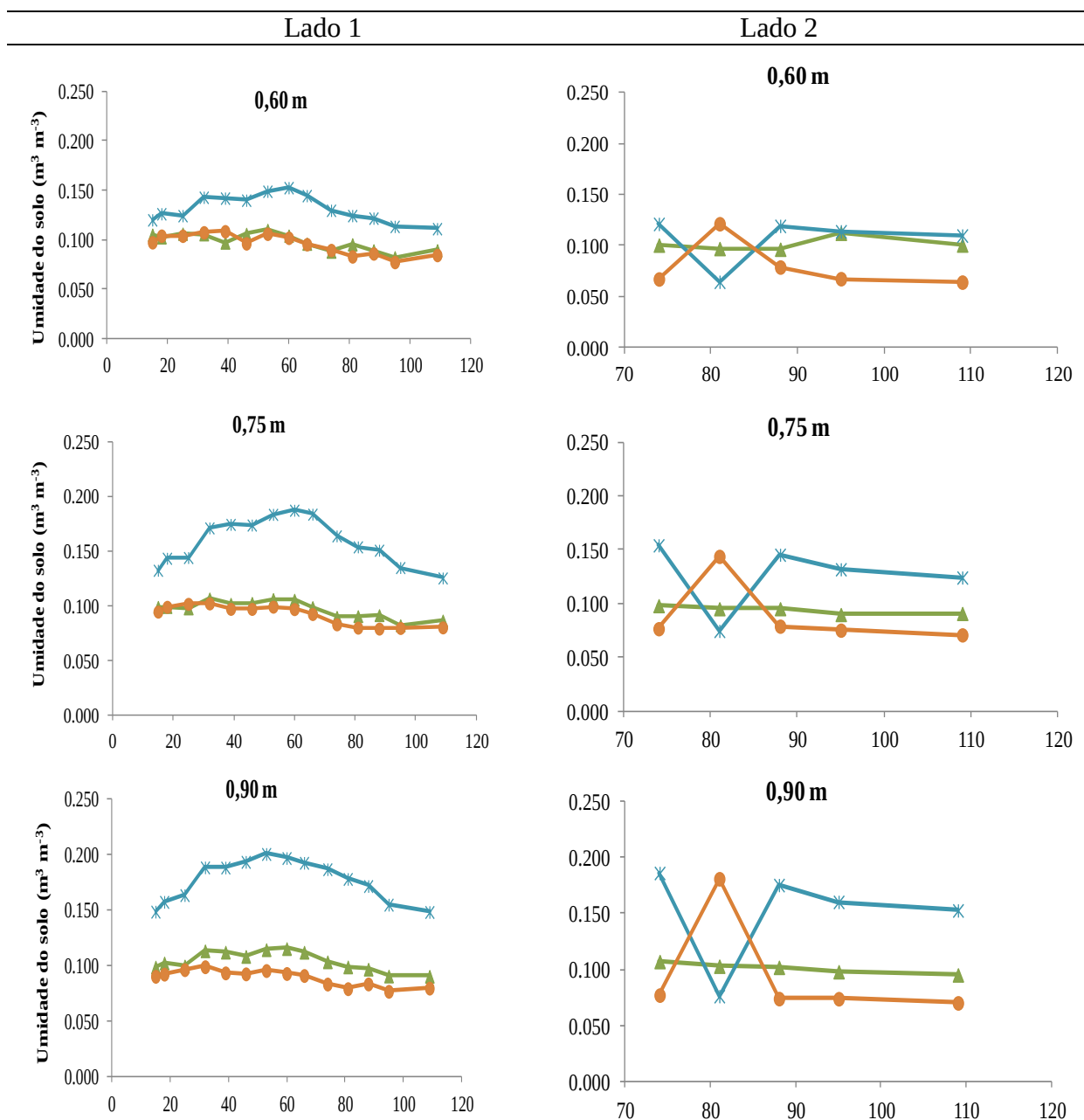


Figura 10. Continuação...

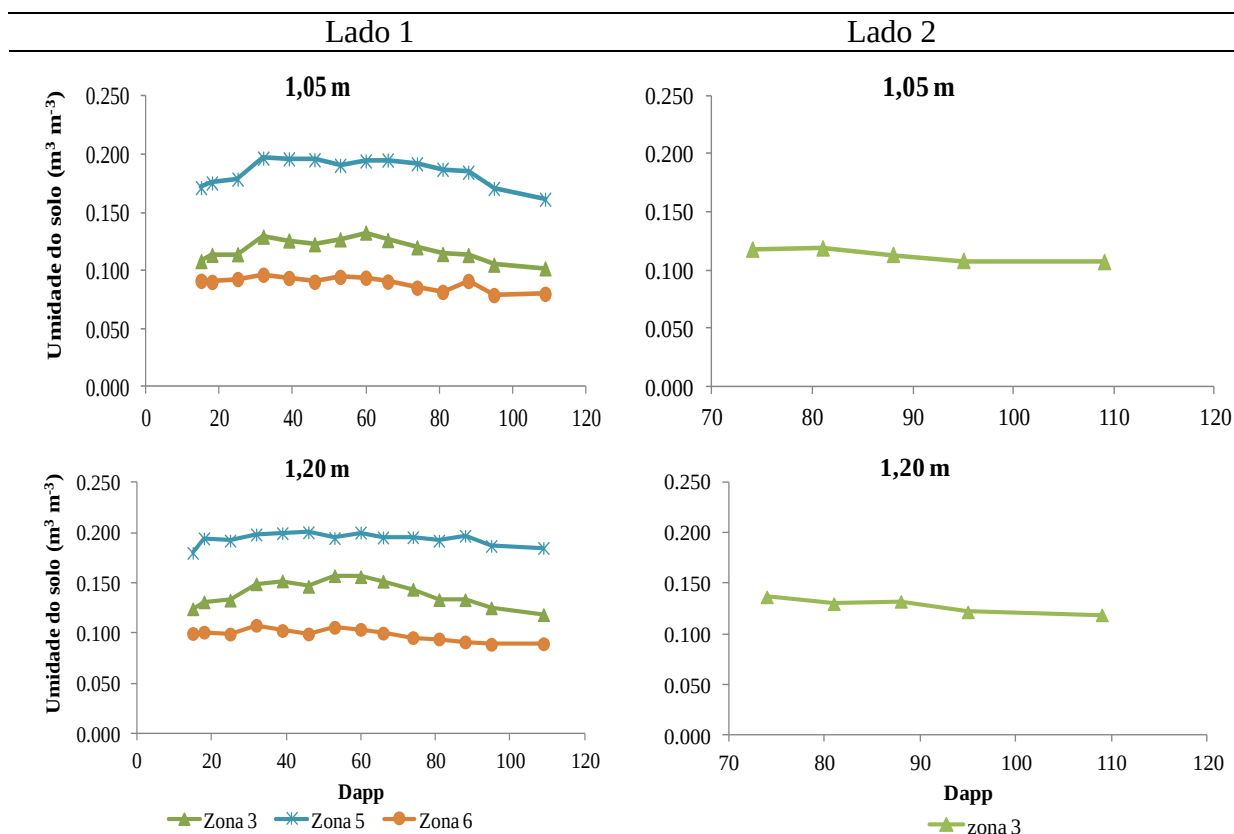


Figura 10. Continuação...

Em consequência do monitoramento da umidade do solo e ajuste da lâmina de irrigação pela sua redução nas zonas, o volume total de água aplicado por planta entre 71 e 110 dapp nas zonas 1 e 6, foi de $1,44 \text{ m}^3$, ao passo que nas zonas 2, 3, 4 e 5, esse valor foi de $1,28 \text{ m}^3$ (Figura 11). A diferença ocorreu devido aos menores valores de θ nas zonas 1 e 6, e aos maiores valores de θ nas demais zonas, ao longo do ciclo de produção de uva de 2011.

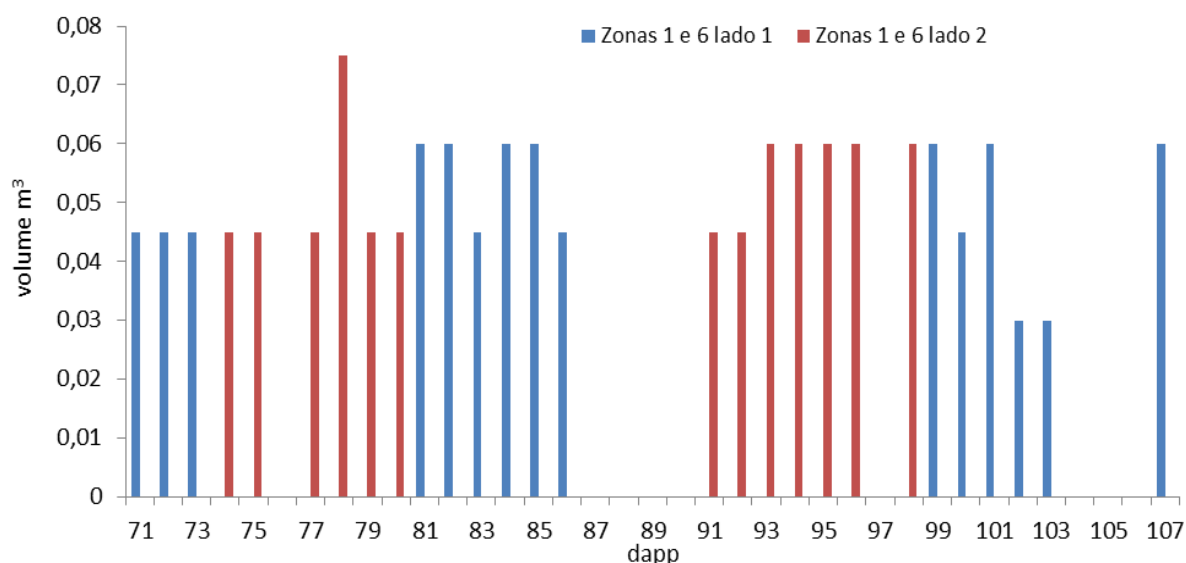


Figura 11. Volume de água aplicado por videira (m^3) a partir dos 71 dias após a poda de produção (dapp) nas zonas de manejo 1 e 6 durante o ciclo de produção de 2011, e em ambos os lados da planta.

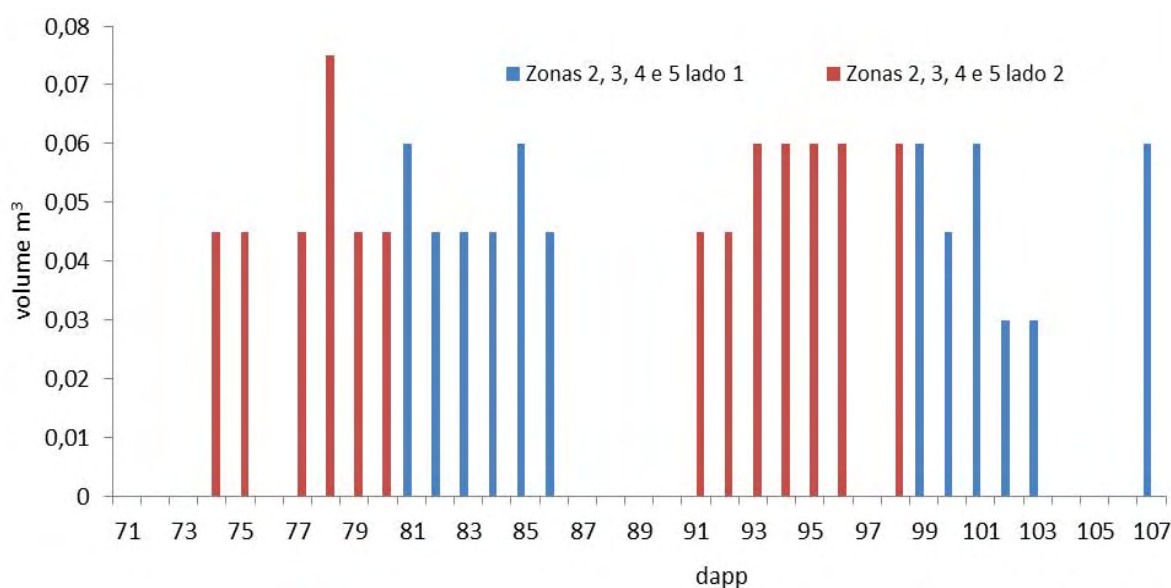


Figura 12. Volume de água aplicado por videira (m^3) a partir dos 71 dias após a poda de produção (dapp) nas zonas de manejo 2, 3, 4 e 5 durante o ciclo de produção de 2011, e em ambos os lados da planta.

O segundo ciclo de cultivo (19 de março a 7 de julho de 2012) caracterizou-se pela maior aplicabilidade da proposta de manejo diferenciado da irrigação pelos técnicos da fazenda. O manejo de irrigação baseou-se na aplicação da lâmina de água sem diferenciação em todas as zonas até 69 dapp, cujos volumes de água aplicados por planta

estão apresentados nas Figuras 13 e 14. As zonas 1, 2 e 3, presentes na válvula de derivação 1 (fileiras 1 a 10) receberam, respectivamente, um total de 4,4 m³, enquanto as zonas 4, 5 e 6, presentes na válvula 2 (fileiras 11 a 20), receberam 5,0 m³. A partir de 70 dapp, no ciclo de produção de 2012, a lâminas de irrigação foram alternadas e diferenciadas entre as 6 zonas de manejo.

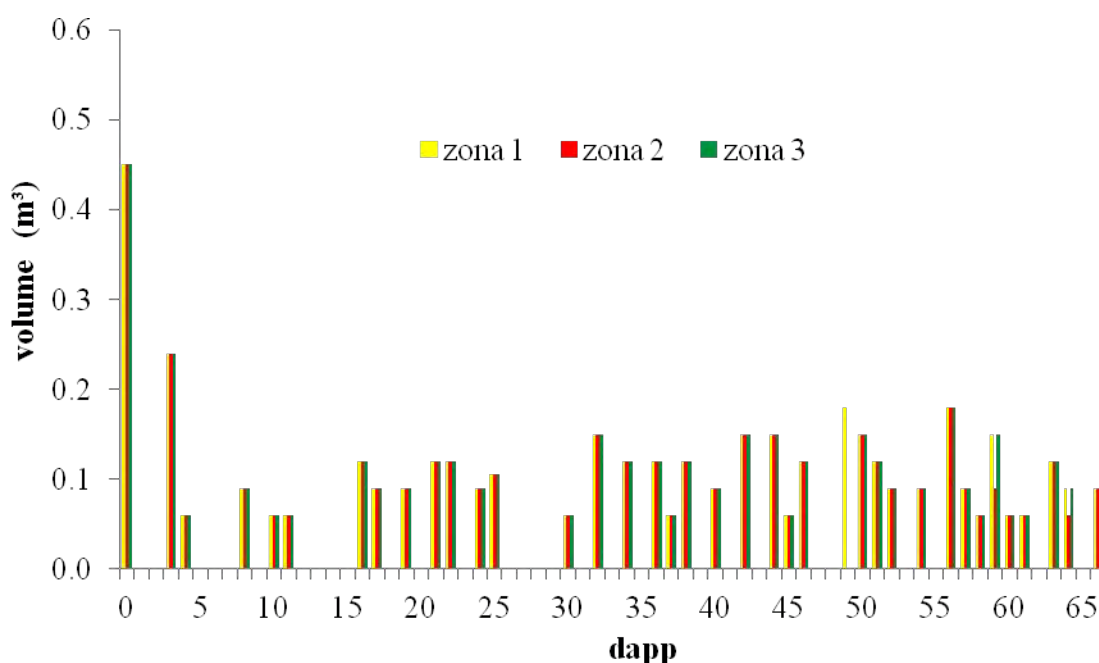


Figura 13. Volume de água aplicado por videira (m³) até 69 dias após a poda de produção (dapp), no ciclo de produção de 2012, nas zonas 1, 2 e 3.

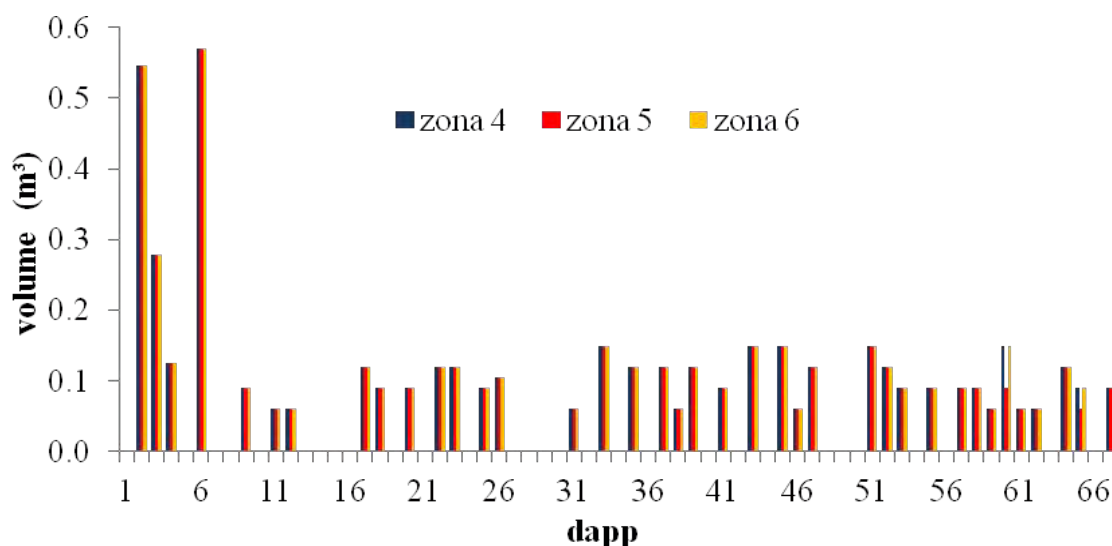


Figura 14. Volume de água aplicado por videira (m³) até 69 dias após a poda de produção (dapp) no ciclo de produção de 2012, nas zonas 4, 5 e 6.

O comportamento de θ nas zonas 1, 2 e 4 no segundo ciclo de produção (Figura 15) assemelhou-se ao observado durante o ciclo anterior (2011), onde a zona 1 manteve menores valores de umidade. No entanto, no ciclo de 2012 houve uma maior proximidade nos valores de umidade coletados entre as zonas de manejo avaliadas.

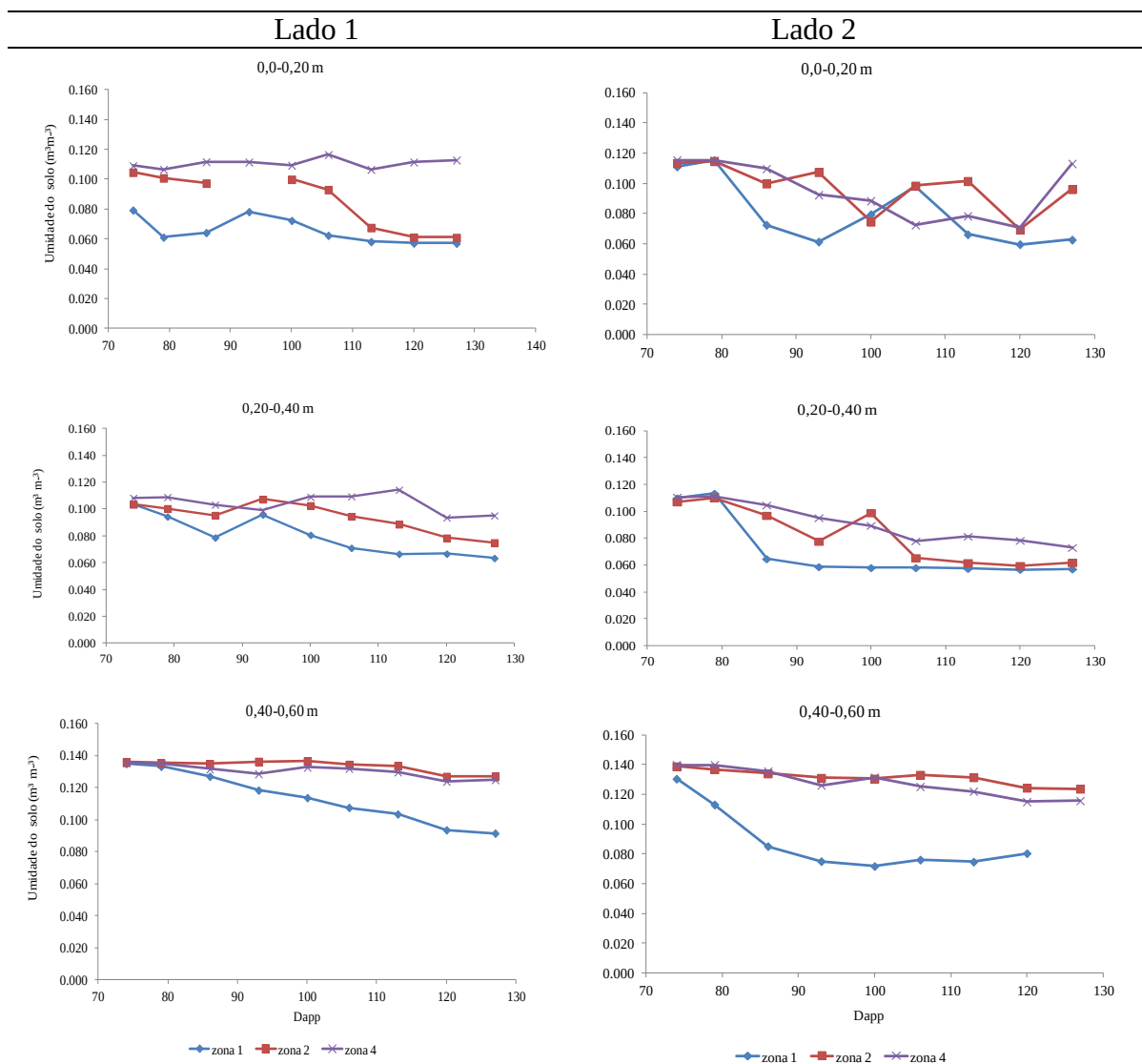


Figura 15. Umidade do solo (θ , $\text{m}^3.\text{m}^{-3}$) medida com tensiômetros a partir dos 71 dias após a poda de produção (dapp) nas profundidades 0,0-0,20; 0,20-0,40 e 0,40-0,60 m durante o ciclo de produção de uva de 2012, nas zonas 1, 2, e 4, e em ambos os lados da planta.

Também no ciclo de 2012 observaram-se grandes similaridades entre as zonas 1, 3 e 5 (Figura 16) quanto aos valores de umidade do solo na profundidade 0-0,20 m. Porém, os menores valores de umidade foram observados na zona 3, diferindo assim do comportamento observado no ciclo de 2011, onde a zona 6 apresentou menores valores de umidade. Algumas leituras nas profundidades de 0-0,20 e 0,20-0,40 m na zona 6 e no lado 2 da planta, não foram obtidas durante parte do período avaliado, devido a problemas técnicos nos tensiômetros.

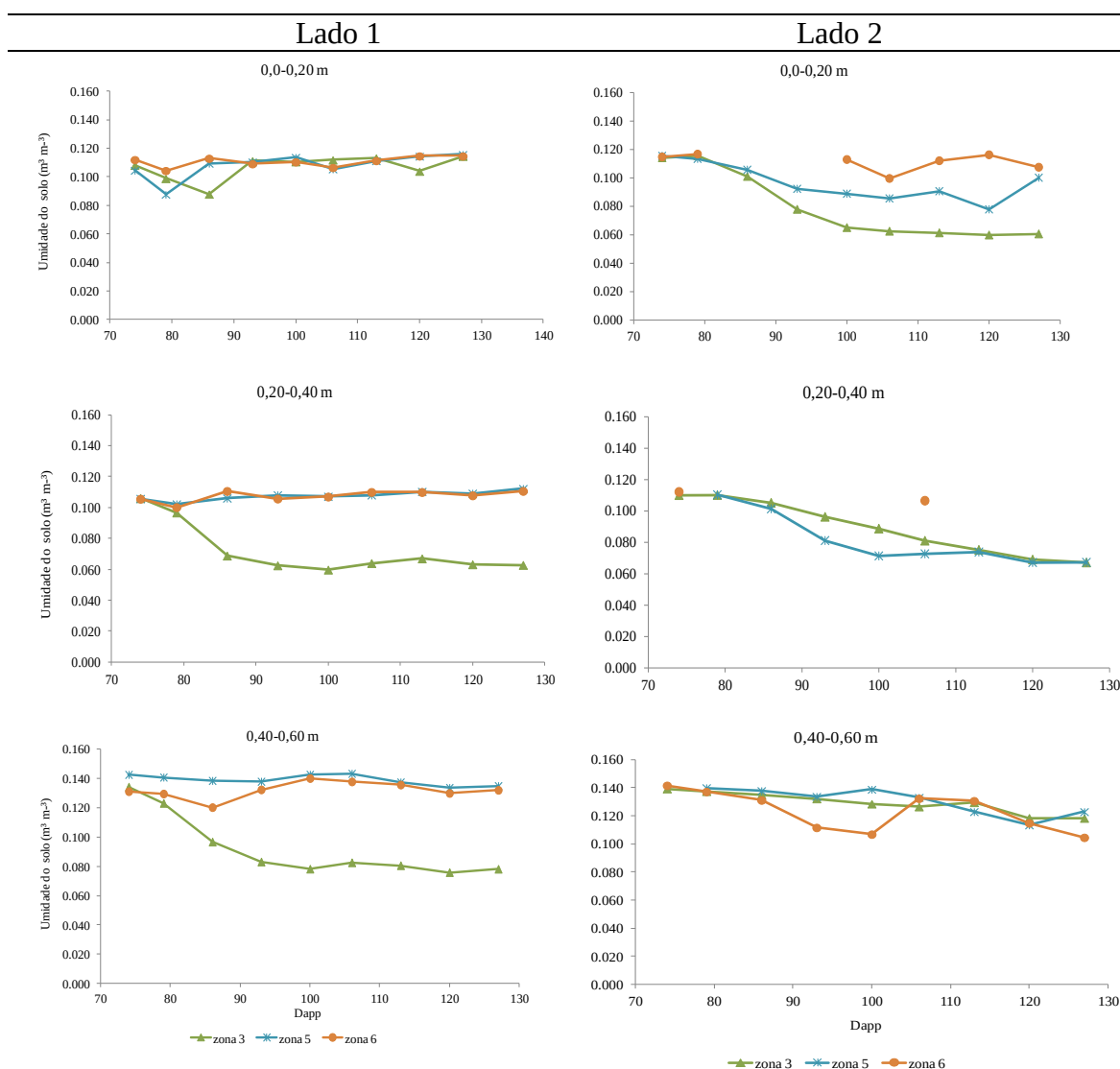


Figura 16. Umidade do solo (θ , $\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$) medida por tensiômetros a partir dos 71 dias após a poda de produção (dapp) nas profundidades 0,0-0,20; 0,20-0,40 e 0,40-0,60 m durante o ciclo de 2012, nas zonas 3, 5, e 6 em ambas os lados da videira.

Em relação à dinâmica da água até a profundidade de 1,20 m no ciclo de 2012, medida com sonda de nêutrons, o comportamento das zonas 1, 2 e 4 se assemelhou bastante ao verificado durante o ciclo de 2011, com maiores valores de θ na zona 4 até a profundidade de 0,60 m. A partir dessa profundidade ocorreram maiores valores de θ na zona 2, enquanto que a zona 1, a partir dos 70 dapp, passou a apresentar valores inferiores de umidade quando comparado às zonas 2 e 4. Tal disparidade entre a zona 1 e as demais zonas aumenta sensivelmente a partir da profundidade de 0,60 m (Figura 17).

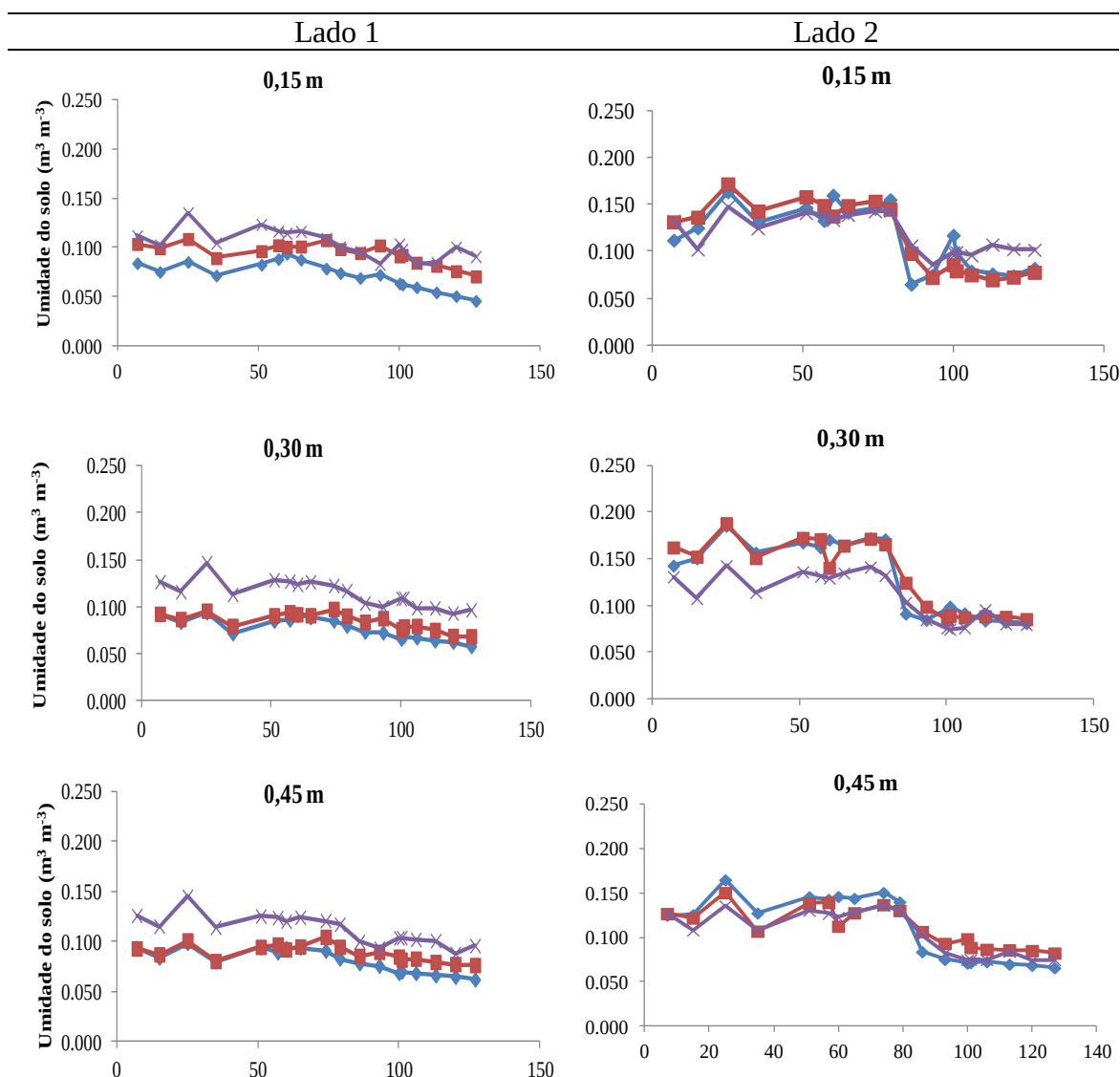


Figura 17. Umidade do solo (θ , $\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$) medida com sonda de nêutrons em função dos dias após a poda de produção (dapp), em ambos os lados da videira, e nas profundidades de 0,15; 0,30; 0,45; 0,60; 0,75; 0,90; 1,05 e 1,20 m de profundidade, durante o ciclo 2012, nas zonas 1, 2 e 4.

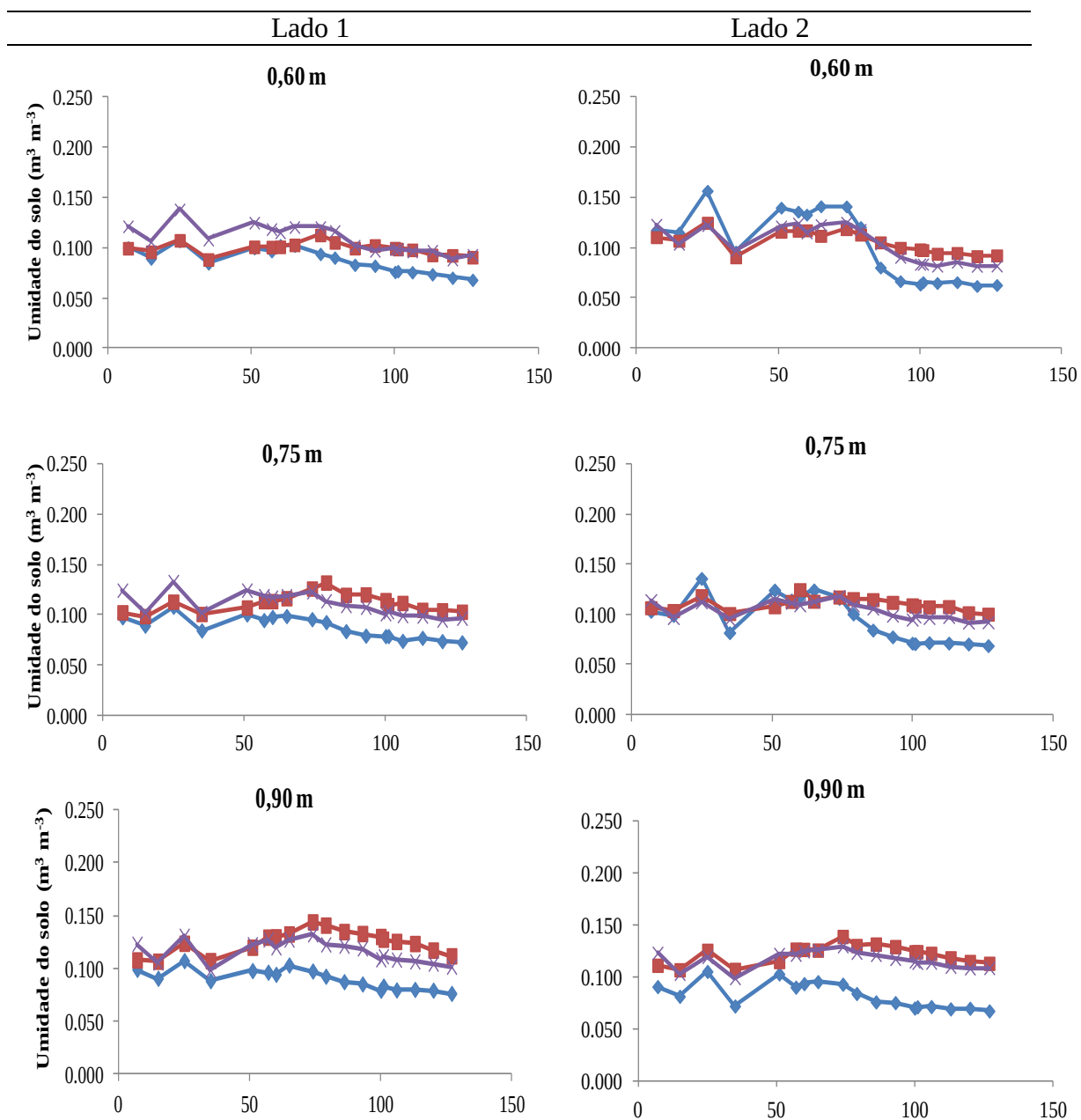


Figura 17. Continuação...

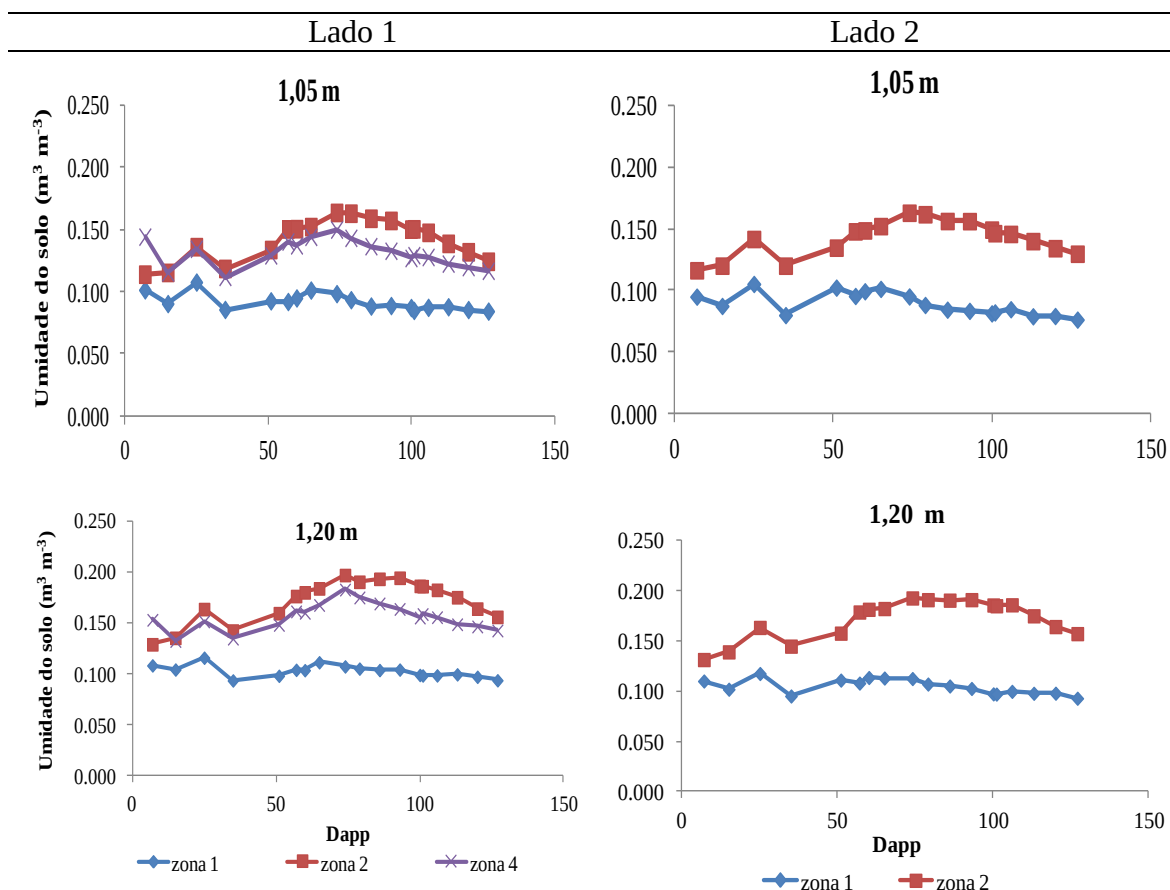


Figura 17. Continuação...

Nas zonas 3, 5 e 6 (Figura 18), e até a profundidade de 0,30 m, os valores de θ foram muito próximos entre as 3 zonas, e a partir de 0,45 m, a zona 5 (AD intermediária) apresentou os maiores valores. As zonas 3 (AD intermediária) e 6 (AD baixa) apresentaram valores de umidade do solo mais próximos entre si, com uma certa predominância de valores mais baixos na zona 6.

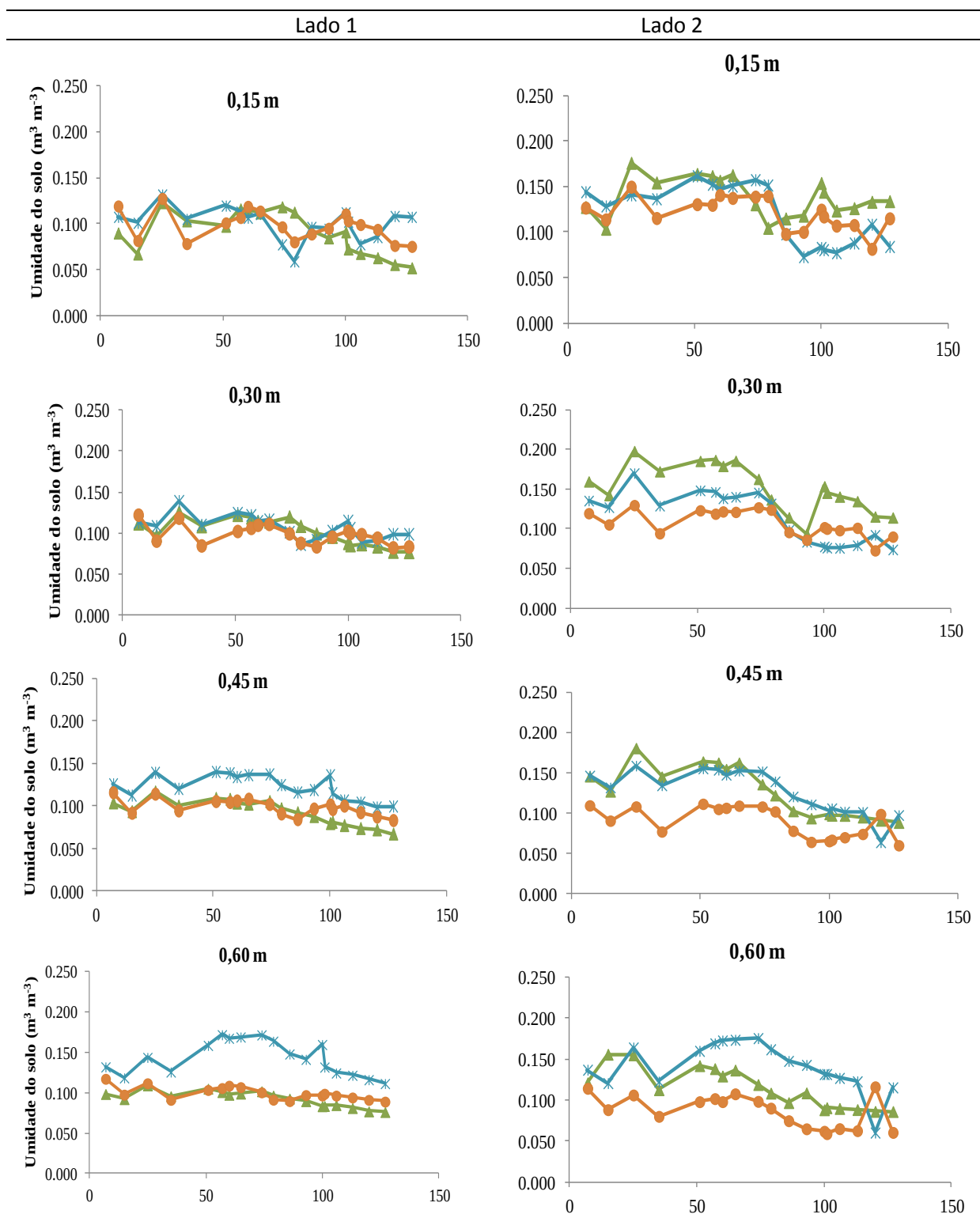


Figura 18. Umidade do solo (θ , $\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$) medida com sonda de neutrons, em função dos dias após a poda de produção (dapp), em ambos os lados da videira, e nas profundidades de 0,15; 0,30; 0,45; 0,60; 0,75; 0,90; 1,05 e 1,20 m, durante o ciclo 2012, nas zonas 3, 5 e 6.

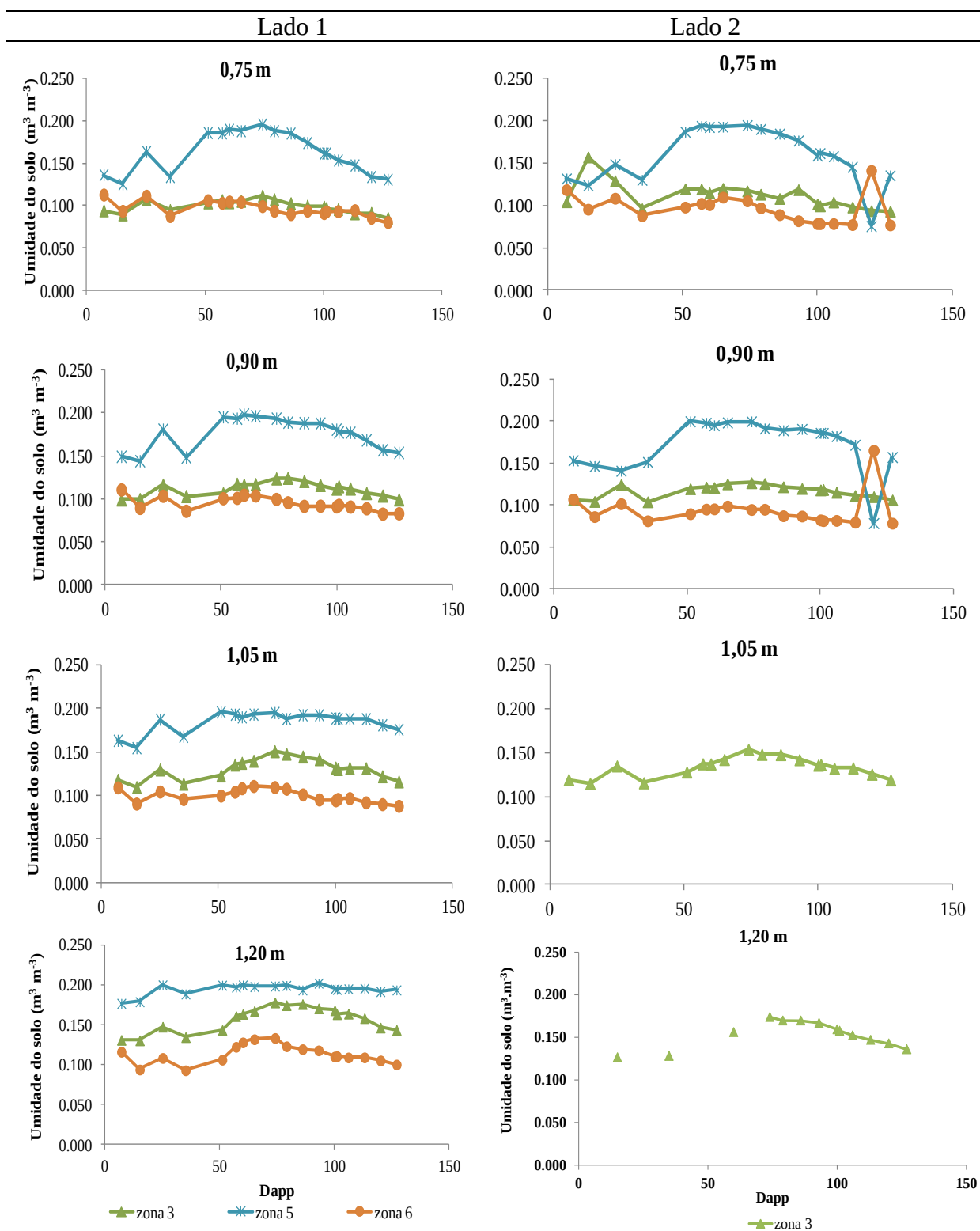


Figura 18. Continuação...

Os volumes de água aplicados por videira a partir de 70 dapp no ciclo de produção de 2012 foram maiores nas zonas 1 e 6, $1,8 \text{ m}^3$ em cada uma delas (Figuras 19 e 20). As zonas 3 e 4 receberam $1,5 \text{ m}^3$ e as zonas 2 e 5, $1,6 \text{ m}^3$.

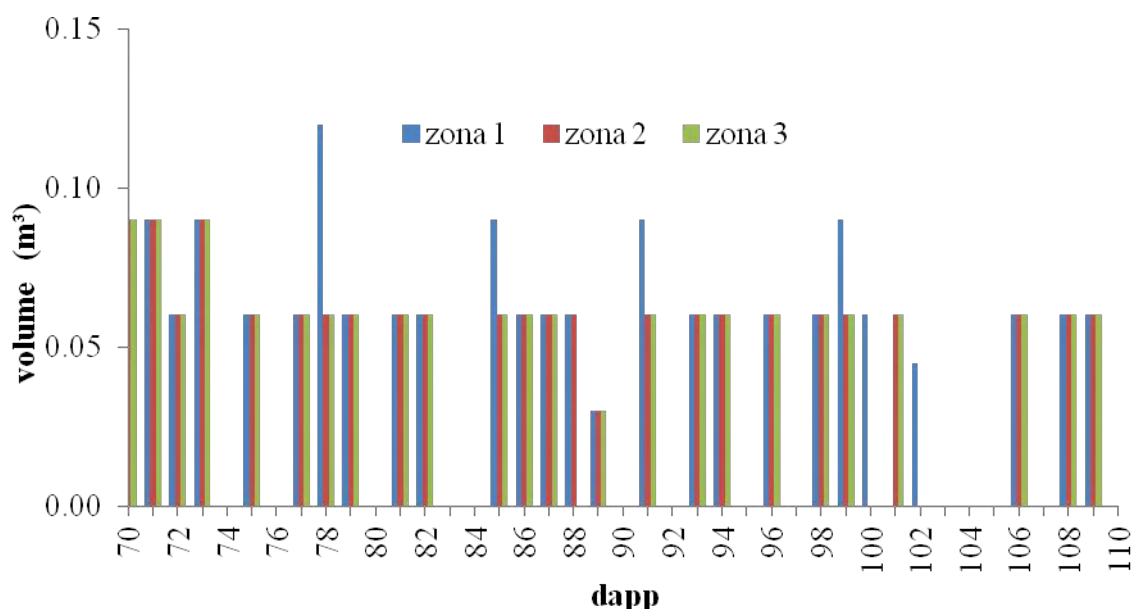


Figura 19. Volume de água aplicado por videira (m^3) a partir de 70 dias após a poda de produção (dapp) no ciclo de produção de 2012, nas zonas 1, 2 e 3.

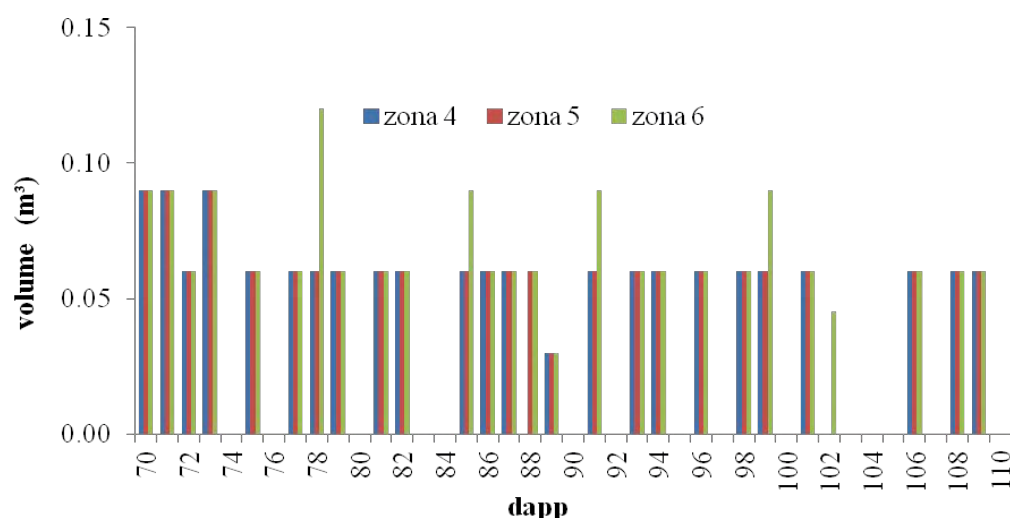


Figura 20. Volume de água aplicado por videira (m^3) a partir de 70 dias após a poda de produção (dapp) no ciclo de produção de 2012, nas zonas 4, 5 e 6.

A análise do número de cachos observados em ambos os ciclos de produção revelou que o modelo exponencial foi o mais adequado para o ajuste desse parâmetro (Tabela 1). No ano de 2011 índice de dependência espacial foi de 78% enquanto que, no ano de 2012 foi de 70%

Tabela 1. Parâmetros do variograma do número de cachos de uva produzido na área de produção nos ciclos de 2011 e 2012.

Ano	Modelo	A (m)	C_0	C_0+C	IDE (%)
2011	Exponencial	11,7	15,06	70,16	78
2012	Exponencial	81	70,43	119,50	70

A: alcance em m; C_0 : efeito pepita; C_0+C : patamar; IDE: índice de dependência espacial; EPP: efeito pepita puro.

A observação da variabilidade espacial do número de cachos de uva produzidos na área experimental em ambos os ciclos de produção avaliados nesse estudo (Figura 21), revelam uma maior homogeneidade para este parâmetro no ciclo de 2012, ciclo este em que a aplicação do conceito de zonas homogêneas foi empregada de forma mais efetiva pelos técnicos da fazenda a partir da realização do manejo diferenciado da irrigação durante todo o ciclo de cultivo da videira de mesa.

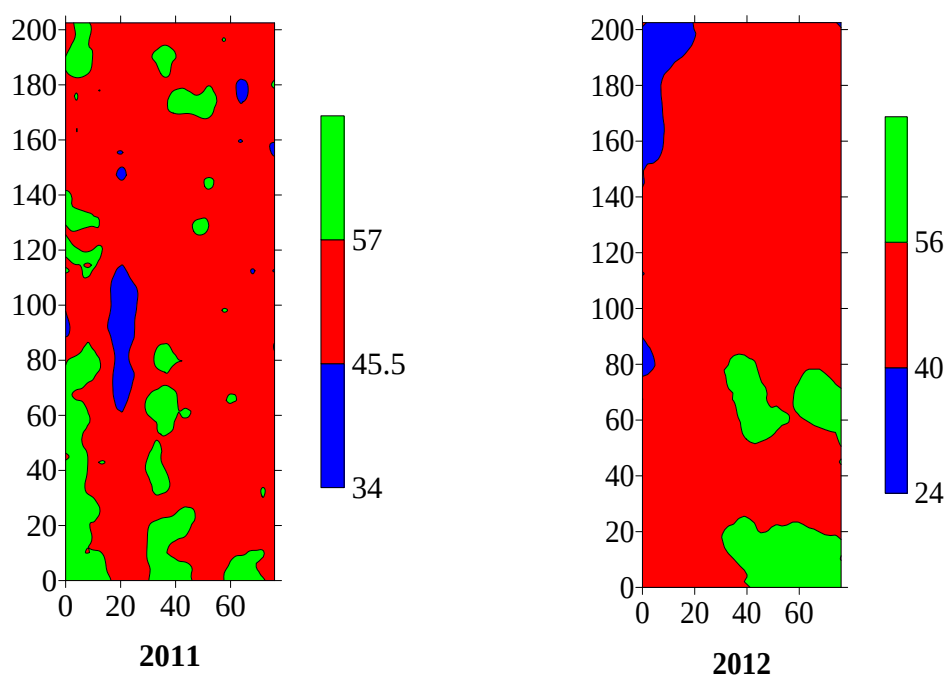


Figura 21. Variabilidade espacial do número de cachos de uva produzido na área nos ciclos de 2011 e 2012.

2.4- Conclusões

1.A umidade do solo apresentou variações distintas nas 6 zonas homogêneas estabelecidas para o manejo da irrigação, em dois ciclos de produção de uva.

2.O monitoramento da umidade do solo permitiu ajustes na quantidade de água aplicada em cada uma dessas zonas, e aquelas que apresentaram menores valores de umidade receberam uma maior quantidade de água durante os ciclos de produção de uva.

2.5- Referências Bibliográficas

- BATISTA, I. F. **Uso racional da água em alface desenvolvida em ambiente protegido considerando a variabilidade espacial**. 2006.114f. Tese (Doutorado em agronomia) - Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2006.
- BRANDÃO, V. S. et al. **Infiltração da água no solo**. Viçosa, MG: UFV, 2006. 120 p.
- AMADO, T.J.C. et al. Projeto Aquarius-Cotrijal: polo de agricultura de precisão. **Revista Plantio Direto**, Passo Fundo, v. 91, n.1, p. 39- 47, 2006.
- BERNARDO, S., SOARES, A. A., MANTOVANI, E.C. **Manual de irrigação**. 8ed. atualizada e ampliada. Viçosa: Editora UFV, 2006. 625p.
- BATISTA, I. F.; ZIMBACK, C. R. L. Análise espacial de nutrientes e produção de alface cultivada em ambiente protegido. **Revista Irriga**, Botucatu, v. 15, n. 4, p. 401-413, outubro-dezembro, 2010.
- CARVALHO, J.R.P.; ASSAD, E.D. Análise da precipitação pluviométrica no Estado de São Paulo: comparação de métodos de interpolação. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.25, n.2, p.377-384, 2005.
- CORÁ, J. E. et al. Variabilidade espacial de atributos do solo para adoção do sistema de agricultura de precisão na cultura de cana-de açúcar. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, Viçosa, v.28, n.6, p.1013-1021, 2004.
- COELHO FILHO, M. A.; COELHO, R. D.; GONCALVES, A. C.A. Variabilidade espacial de variáveis físico-hídricas do solo em um pomar de lima ácida tahiti, irrigado por microaspersão. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 5, n. 2, May 2001.
- CURI, N. et al. **Vocabulário de ciência do solo**. Campinas, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1993. 89p.

DELLAMEA, R. B. C. **Eficiência da adubação a taxa variável em áreas manejadas com agricultura de precisão no rio grande do sul**. 2008.162f. Dissertação (mestrado). Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

DODERMANN, A.; PING, J.L. Geostatistical integration of yield monitor data and remote sensing improves yield maps. **Agronomy Journal**, Madison, v.96, n.1, p.285-297, 2004.

DOURADO-NETO, D. et al. Programa computacional para modelagem de curvas de retenção de água no solo (SWRC, versão 2.00). **Sciencia agrícola**, Piracicaba, v.57, n.1, p.191-192, 2000.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional e Pesquisa em Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília: Embrapa SPI; Embrapa Solos, 2006. 306p.

GREGO, C.R.; VIEIRA, S.R. Variabilidade espacial de propriedades físicas do solo em uma parcela experimental. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, v. 29, n. 2, p. 169-177, 2005.

GOLDEN SOFTWARE - SURFER for windows. Release 7.0. Contouring and 3D surface mapping for scientist's engineers. User's guide. New York, Golden Software, 1999. 619p.

KITAMURA, A. E.; CARVALHO, M. de P. e; LIMA, C. G. da R. Relação entre a variabilidade espacial das frações granulométricas do solo e a produtividade do feijoeiro sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.31, n. 2, Apr. 2007.

LANDIM, P.M.B. Introdução aos métodos de estimação espacial para confecção de mapas. Rio Claro: UNESP, 2000. 20 p. Disponível no formato PDF (Adobe Acrobat®) em <<http://www.rc.unesp.br/igce/aplicada/textodi.html>> (Texto Didático 02).

LEMAINSKI, C. L. **Agricultura de precisão em áreas irrigadas com pivô central no rio grande do sul**. 2007. 133f. Dissertação (mestrado em Engenharia Agrícola). Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2007.

LIMA, J. A. G. et al. Variabilidade espacial de características físico-hídricas de um Cambissolo cultivado com mamão no semiárido do RN. **Caatinga**, Mossoró, v.19, n.2, p.192-199, 2006.

MANTOVANI, E. C.; BERNARDO, S.; PALARETTI, L. F. **Irrigação: princípios e métodos**. Viçosa, MG: UFV. 2006. 318 p.

PEITER, M. X.; CHAUDHRY, F. H.; CARLESSO, R. Programação do manejo da irrigação de milho via modelo de simulação. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 19, n. 1, p. 53-63, 1999.

QUAGLIA, A.M.L. et al. **Projeto de irrigação Vale do Massangano (Senador Nilo Coelho)**. Brasília, 1989. 154 p. (Relatorio de Avaliacao Ex-post).

MILANI, L. et al. Determinação de unidades de manejo em área de soja cultivada com técnicas de agricultura de precisão. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGRICULTURA DE PRECISÃO, Piracicaba, 2004. **Anais...** Piracicaba: ESALQ/USP, 2004. 1.CD-ROM.

MOLIN, J. P. et al. Avaliação de intervenções em unidades de aplicação localizada de fertilizantes e de população de milho. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.26, n.2, p.528-536, 2006.

MOURA, B. R. de. **Avaliação do uso da água em fruteiras irrigadas no Projeto Jaíba**. 2007.115f. Dissertação (Mestrado em Agronomia (Meteorologia Agrícola)) - Universidade Federal de Viçosa, viçosa, 2007.

MONTEIRO, R. O. C. et al. Função de resposta do meloeiro a diferentes lâminas de irrigação e doses de nitrogênio. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v.24, n.4, p.455-459, 2006.

REICHARDT, K., TIMM, L.C. **Solo, planta e atmosfera: conceitos, processos e aplicações**. 1ª ed. 1ª reimpressão. São Paulo, Manole, 2008. 478p.

ROBERTSON, G.P. **GS+: Geostatistics for the environmental sciences - GS+ User's Guide**. Plainwell: Gamma Design Software, 1998. 152 p.

SILVA, E.M. da; AZEVEDO, J.A. de. Influencia do período de centrifugação na curva de retenção de água em solos de Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.37, n.10, p.1487-1494, 2002.

SOUSA, J. R. de.; QUEIROZ, J. E. do.; GHEYI, H. R. Variabilidade espacial de características físico-hídricas e de água disponível em um solo aluvial no semi-árido paraibano. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.3, n.2, p.140- 144, 1999.

TEIXEIRA, A. H. de C. **Informações Agrometeorológicas do Polo Petrolina, PE/Juazeiro, BA - 1963 a 2009**. Série Documentos - Embrapa Semiárido, 2010 21p.

VIEIRA, S.R. **Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo**. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ, V., V.H. & SCHAEFER, G.R., eds. Tópicos em ciência do solo. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. v.1. p.1-54.

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

VIEIRA, S.R.; PAZ GONZÁLEZ, A. Analysis of the spatial variability of crop yield and soil properties in small agricultural plots. **Bragantia**, Campinas, v.62, n.1, p.127-138, 2003.

ZIMBACK, C.R.L. **Análise espacial de atributos químicos de solos para fins de mapeamento da fertilidade.** 2001. 114 f. Tese (Livre-Docência em Levantamento do Solo e Fotopedologia) -Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2001.

CAPITULO 3 – DEFINIÇÃO DE ZONAS HOMOGÊNEAS DE NITROGÊNIO FOLIAR EM VIDEIRA COM DIFERENTES INTENSIDADES AMOSTRAIS

Patricia dos Santos Nascimento¹ & Luís Henrique Bassoi²

¹ Doutoranda em Irrigação e Drenagem/FCA-UNESP. Fone (14) 3354-0905. Email: patyysn@yahoo.com.br

² Embrapa Semiárido, Caixa Postal 23, CEP 56302-970, Petrolina, PE. Fone (87) 38663653. Email: luis.bassoi@embrapa.br

RESUMO

Um dos fatores limitantes ao emprego da agricultura de precisão consiste na necessidade de uma alta densidade amostral para detecção da variabilidade existente na área de cultivo, para uma posterior delimitação de zonas homogêneas. Esta pesquisa foi desenvolvida com o objetivo de identificar zonas homogêneas quanto ao teor relativo de clorofila em diferentes intensidades amostrais ao longo do ciclo de cultivo e suas relações com características qualitativas da baga de uva. O estudo foi realizado no município de Petrolina-PE, no Vale do Submédio São Francisco, em um pomar de videira cv. Thompson Seedless irrigado por microaspersão. Para a avaliação do teor foliar de N total foi utilizado um medidor portátil de clorofila. As leituras foram realizadas em folhas completamente

expandidas e com bom aspecto fitossanitário em 4 momentos durante o ciclo da cultura (29/30; 36/37; 43/44 e 91/92 dias após a poda de produção). Os dados das diferentes épocas e intensidades amostrais foram submetidos às análises estatística descritiva, geoestatística, interpolação por krigagem e geração de mapas de contorno, os quais auxiliaram na identificação das zonas de manejo. A aplicação da ferramenta geoestatística possibilitou a visualização da evolução do teor de nitrogênio total ao longo do ciclo da videira e orientou o local de amostragem de bagas para análise qualitativa antes da colheita dos cachos. De maneira geral a intensidade amostral influenciou no padrão de distribuição espacial dos dados coletados.

Palavra-chave: geoestatística, nitrogênio, baga de uva

DEFINITION OF HOMOGENEOUS ZONES OF LEAF NITROGEN IN GRAPEVINE WITH DIFFERENT SAMPLING INTENSITIES

SUMMARY

One of the limiting factors to the use of precision agriculture is the need of high sampling density to detect spatial variability in a cultivated area, for later delineation of homogeneous zones. This research was developed to identify homogeneous zones on the relative leaf chlorophyll content in different sample intensities along the growing season and its relationship to qualitative characteristics of grape berries. The study was carried out in Lower Middle São Francisco Valley, Petrolina, State of Pernambuco, Brazil, in a grapevine cv. Thompson Seedless orchard irrigated by microsprinklers. For the assessment of foliar total N a portable chlorophyll meter was used to take readings in fully expanded leaves at 4 times during the crop cycle (29/30, 36 / 37, 43/44 and 91/92 days after pruning). Data from different sampling times and intensities were subjected to descriptive statistical analysis, geostatistics, kriging interpolation and generation of contour maps, which assisted in the identification of management zones. The application of geostatistics tool enabled the visualization of the evolution of total nitrogen leaf concentration throughout the growing season, and guided the sampling place of grape berries to qualitative analysis before cluster harvesting. In a general way the sampling intensity influenced the spatial distribution of the collected data.

Key words: geostatistics, nitrogen, grape berry

3.1- Introdução

O Nordeste brasileiro é o maior exportador de uva in natura do País; no ano de 2010 as exportações dessa região representaram 99% do total de uvas exportadas pelo Brasil. Segundo informações da Food and Agriculture Organization (FAO, 2010), das Nações Unidas, o Brasil ocupa a 15ª posição na produção mundial de uva, sendo a Itália e a China os maiores produtores desse fruto mundialmente. As Regiões Sul, Sudeste e Nordeste são as que possuem as maiores plantações. A Região Sul é a maior produtora do País, no entanto sua colheita destina-se em sua grande maioria à produção de vinhos, enquanto nas demais regiões produtoras predomina a produção de uvas de mesa (OLIVEIRA FILHO, 2011).

Entre os pólos de desenvolvimento da região Nordeste, destaca-se o Vale do Submédio São Francisco, localizado na região semiárida, onde a viticultura vem se destacando não apenas pela expansão da área cultivada, volume de produção e de exportação, mas, principalmente, pelos altos rendimentos alcançados e pela qualidade da uva produzida (PINHEIRO; ADISSI, 2007). Mesmo com um bom crescimento nos últimos anos, o Brasil ainda exporta pouco da sua produção; em 2008, apenas 5,8% da produção foram exportadas (AGROSTAT 2010; FAO, 2010). Assim, acredita-se que existe uma boa perspectiva de crescimento desse setor e, para tanto, é necessária uma melhor estruturação dos diversos setores inerentes à cadeia produtiva, de forma a se obter um produto de melhor qualidade, com e maior segurança de produção e a um custo menor. Nesse contexto, a agricultura de precisão (AP) surge como uma aliada dos produtores como um auxílio à tomada de decisão em relação às práticas agrícolas realizadas em uma unidade de produção.

A compreensão da variabilidade de parâmetros que se correlacionam com a produtividade e a qualidade dos produtos agrícolas têm trazido bons resultados para o setor agrícola, num momento em que a agricultura de precisão vem se destacando como um sistema de cultivo que permite a otimização no emprego de insumos agrícolas. O emprego das técnicas de agricultura de precisão pode auxiliar na identificação de áreas com potencial para

produção de frutos com melhor qualidade e, até mesmo, na compreensão dos fatores que a determinam. A partir do entendimento da variabilidade espacial de um dado parâmetro é possível através da estatística descritiva e da geoestatística analisar a sua dependência espacial, possibilitando assim a predição em pontos não amostrados (RODRIGUES JUNIOR, 2011). De acordo com Kerry e Oliver (2007 e 2008), a aplicação de sistemas de manejo específico na agricultura exige informações precisas sobre a variação espacial das propriedades do solo e das culturas.

Um dos fatores limitantes ao emprego da agricultura de precisão consiste na necessidade de uma extensa grade amostral, a qual é necessária para a representação espacial da distribuição do parâmetro avaliado, o que muitas vezes inviabiliza a aplicação da AP em função da elevação dos custos com amostragem. Nesse contexto foi desenvolvido o conceito de zonas de manejo que consiste na identificação de áreas menores, mas que sejam dependentes espacialmente, permitindo assim um manejo mais localizado nos pontos em que seja necessário tal tratamento. Segundo Rodrigues Junior et al., (2011), uma zona de manejo é definida como uma sub-região do campo que apresenta uma combinação de fatores limitantes de produtividade e de qualidade para a qual se pode aplicar uma dose uniforme de insumos, facilitando a aplicação das técnicas de AP. O conhecimento, portanto, da zona que representará a área é de extrema importância no monitoramento do atributo de interesse. De acordo com Kerry e Oliver (2008) para se obter resultados satisfatórios na construção de zonas de manejo específico é necessário que uma determinada amostra seja a menor possível e espacialmente dependente.

As clorofilas são pigmentos responsáveis pela conversão da radiação luminosa em energia, sob a forma de ATP e NADPH, por essa razão, são estreitamente relacionadas com a eficiência fotossintética das plantas e, conseqüentemente, ao seu crescimento e adaptabilidade a diferentes ambientes (NEVES et al. 2005). O teor de clorofila na folha é utilizado para prever o nível nutricional de nitrogênio (N) em plantas, devido ao fato da quantidade desse pigmento correlacionar-se positivamente com o teor de N na planta (Booij et al., 2000; Zotarelli et al., 2002; Argenta et al., 2004; Botha; Zebarth; Leblon, 2006) que, por sua vez, está associada à atividade fotossintética (MA et al., 1995).

O nitrogênio (N) é um importante indicativo nutricional da videira, estando correlacionado inclusive ao teor de clorofila no tecido foliar. Estudos com varias

espécies indicam que os índices obtidos com os medidores portáteis do teor foliar de clorofila apresentaram correlação positiva com a suficiência de N, podendo este ser considerado um índice apropriado para avaliar o estado de N das culturas (BLACKMER; SCHEPERS, 1995; GIL et al., 2002; FONTES; ARAÚJO, 2007). De acordo com Brunetto (2008), há carência de informações sobre os períodos de maior demanda de N, as quantidades absorvidas e acumuladas nas partes da planta, derivadas de fontes de N, bem como a sua implicação na produtividade e na qualidade da uva e do seu mosto. Segundo YIN et al. (2003), o nitrogênio é considerado nutriente de maior impacto na produtividade das culturas, por estar relacionado diretamente com a fotossíntese e ao crescimento do compartimento vegetativo da planta.

A clorofila é um pigmento que reflete a cor verde nas plantas e está diretamente associado com o potencial da atividade fotossintética, assim como o estado nutricional das plantas geralmente está diretamente associado com a qualidade e quantidade de clorofila (ZOTARELLI et al., 2002). A avaliação dos teores de nitrogênio (clorofila) de forma convencional normalmente apresenta como inconvenientes o tempo para a aquisição das informações, já que o material deve ser encaminhado e processado em laboratórios especializados para tais análises e o fato de serem técnicas destrutivas. A fim de contornar as limitações impostas pelos métodos convencionais foi desenvolvido o medidor de clorofila KONICA SPAD 502 Plus, o qual vem sendo investigado como instrumento para rápido diagnóstico do estado nutricional de diversas culturas em relação ao conteúdo de N (ZOTARELLI et al., 2003). A determinação do teor relativo de clorofila na folha por meio do clorofilômetro tem sido tema de vários trabalhos científicos nos últimos anos (Busato et al., (2010); Espindula et al., (2009); Silveira et al., (2003), e se dá principalmente pela facilidade na aquisição dos dados, rapidez, precisão e baixo custo. No entanto, para a correta utilização do clorofilômetro, faz-se necessária a calibração do equipamento em cada cultura e condições de cultivo (JESUS; MARENCO, 2008).

Segundo Reis et al. (2006), a leitura do medidor SPAD de clorofila correlacionou-se positivamente com o teor de N nas folhas e com a produtividade do cafeeiro. Argenta et al. (2004); Sunderman et al. (1997) ao correlacionarem o teor relativo de nitrogênio lidos pelo clorofilômetro ao estádios de desenvolvimento da cultura do milho observaram que o teor relativo de nitrogênio aumentou de forma quadrática à medida que a planta avançou no seu desenvolvimento. Rambo et al., (2007), ao comparar o monitoramento do nitrogênio no

solo e na planta, concluíram que o monitoramento com base na integração entre o teor de nitrato no solo e o teor relativo crítico de clorofila na folha não é mais eficiente do que o monitoramento com base somente no teor relativo crítico de clorofila na folha. Segundo Blackmer; Schepers (1995) medidores de clorofila são considerados melhores indicadores do nível de nitrogênio nas plantas do que seu próprio teor foliar, justificando-se pelo fato do medidor não ser influenciado pelo consumo de luxo deste elemento, onde o excesso absorvido fica presente na forma de nitrato, não se associando à molécula de clorofila e que muitas vezes se torna tóxico às próprias plantas. Segundo Argenta et al., (2004), a utilização do clorofilômetro pode auxiliar na inferência quanto à necessidade ou não, de nitrogênio na área de produção.

De acordo com Rodrigues Junior et al., (2011), zonas de manejo obtidas por meio dos valores do medidor portátil de clorofila e concentrações de nutrientes foliares, podem levar a um entendimento melhor da variabilidade nutricional da cultura e tais zonas de manejo podem ser utilizadas como orientação para futuras amostragens, facilitando a otimização desta operação. Assim o objetivo deste trabalho foi a identificação de zonas homogêneas quanto ao índice relativo de clorofila em diferentes intensidades amostrais ao longo do ciclo de cultivo e suas relações com características qualitativas da videira de mesa em Petrolina – PE.

3.2- Material e Métodos

O estudo foi realizado no município de Petrolina-PE, no Vale do Submédio São Francisco. Nessa região, a estação chuvosa compreende, em geral, os meses de janeiro a abril, com precipitação média anual em torno de 530 mm, irregularmente distribuída. Nos meses de verão ocasionalmente ocorrem grandes taxas de deficiências hídricas, instituindo assim o regime hídrico como o fator de maior limitação do clima para esta região semiárida. A temperatura do ar média anual é de 26,5°C, com pouca oscilação entre os meses e anos, apresentando os maiores picos entre outubro e dezembro, enquanto julho é o mês mais frio (TEIXEIRA, 2010).

A área de estudo, localizada no lote 180 do Perímetro Irrigado Senador Nilo Coelho, Nucleo 5 (latitude S 9° 23' 12,8'', longitude W 40° 38' 13,8'', altitude 394 m), apresenta um solo classificado como Neossolo Quartzarênico (Embrapa, 2006), que se

caracteriza por apresentar solos profundos, não-hidromórficos, de textura arenosa (classes texturais areia e areia franca), com permeabilidade rápida ao longo de todo o perfil, o qual é destituído de minerais primários facilmente intemperizáveis (CURI et al., 1993). Em geral, os solos pertencentes a essa classe tem textura arenosa, com alta capacidade de infiltração, baixa capacidade de retenção de água, baixa fertilidade natural e acidez moderada, necessitando da aplicação de fertilizantes para o uso agrícola (QUAGLIA et al., 1989).

Para a realização do estudo foi selecionada uma área com 20 fileiras de plantas e 82 plantas por fileira, em um pomar de videira cv. Thompson Seedless sobre o porta-enxerto SO4, plantada em maio de 2004 no espaçamento de 4 x 2,5 m, irrigada por microaspersão, com 1 difusor por planta, e conduzida no sistema de latada. Não foi necessário o georreferenciamento das plantas, pois as fileiras e a plantas em cada fileira eram numeradas pelo próprio produtor, o que viabilizou o referenciamento das mesmas.

Para a avaliação do teor foliar de N total foi utilizado um clorofilômetro portátil KONICA SPAD 502 Plus. O medidor de clorofila fornece leituras que correspondem ao teor do pigmento clorofila presente na folha. Os valores são calculados com base na quantidade de luz transmitida pela folha em duas regiões de comprimento de onda (650nm e 940nm), nas quais a absorção pela clorofila é diferente (MINOLTA, 1989).

As leituras foram realizadas durante o ciclo de produção da videira com início da poda de produção em 18 de abril de 2011 e início da colheita em 9 de agosto de 2011, em folhas completamente expandidas e com bom aspecto fitossanitário em 4 momentos durante o ciclo da cultura: 29/30; 36/37; 43/44 e 91/92 dias após a poda de produção (dapp). As leituras foram realizadas sempre no período da manhã em todos os dias de observação. Para cada par de dias de avaliação eram coletadas informações nas 20 fileiras, 10 em cada manhã, a tomada de dados foi realizada em plantas alternadas (plantas ímpares) totalizando assim, 41 plantas por fileira e um total de 820 plantas dentro da área experimental (Figura 1a). A calibração do equipamento foi realizada a partir da medida índice relativo de clorofila com o equipamento e em seguida coleta de folhas com diferentes tonalidades de cor verde, nos dias 18, 25 e 31 de maio de 2011 (respectivamente 30, 37 e 43 dias após a poda). Depois de coletada as folhas utilizadas para a calibração, as determinações dos teores foliares de N total foram realizadas no Laboratório de Solo, Água e Planta da Embrapa Semiárido. Assim, a relação linear entre a leitura do clorofilômetro e o teor foliar total de N foi determinada.

Os dados de teor foliar de N foram analisados pela estatística descritiva clássica e geoestatística. Na análise descritiva foi determinada média, mediana (med), desvio padrão (S), valor mínimo (Min), valor máximo (Max), coeficiente de variação (CV, %), coeficiente de assimetria (Cs) e coeficiente de curtose (Ck), usando o programa Statistica 5.0 (STATSOFT, 1999). A hipótese da normalidade dos dados foi testada pelos testes de Kolmogorov-Smirnov (K-S) a 5 % proposto por Campos (1979), quando o número de amostras avaliadas foi superior a 50 amostras, e Shapiro e Wilk (1965) a 5%, quando o número de amostras avaliadas foi inferior a 50 amostras.

As observações realizadas nos diferentes dapp foram submetidas à análise por meio do programa GS+ 7,0 com o objetivo de observar a distribuição dos dados e ajuste do variograma experimental que melhor representasse os dados coletados. Uma vez ajustado um modelo matemático ao variograma, utilizou-se a técnica de krigagem para realizar a interpolação dos dados para os locais não amostrados sem tendência e com variância mínima (VIEIRA, 2000; CARVALHO; ASSAD, 2005; GREGO; VIEIRA, 2005). A utilização da técnica de krigagem utiliza a dependência espacial entre amostras vizinhas, expressa no semivariograma para estimar valores em qualquer posição dentro do campo (VIEIRA, 2000).

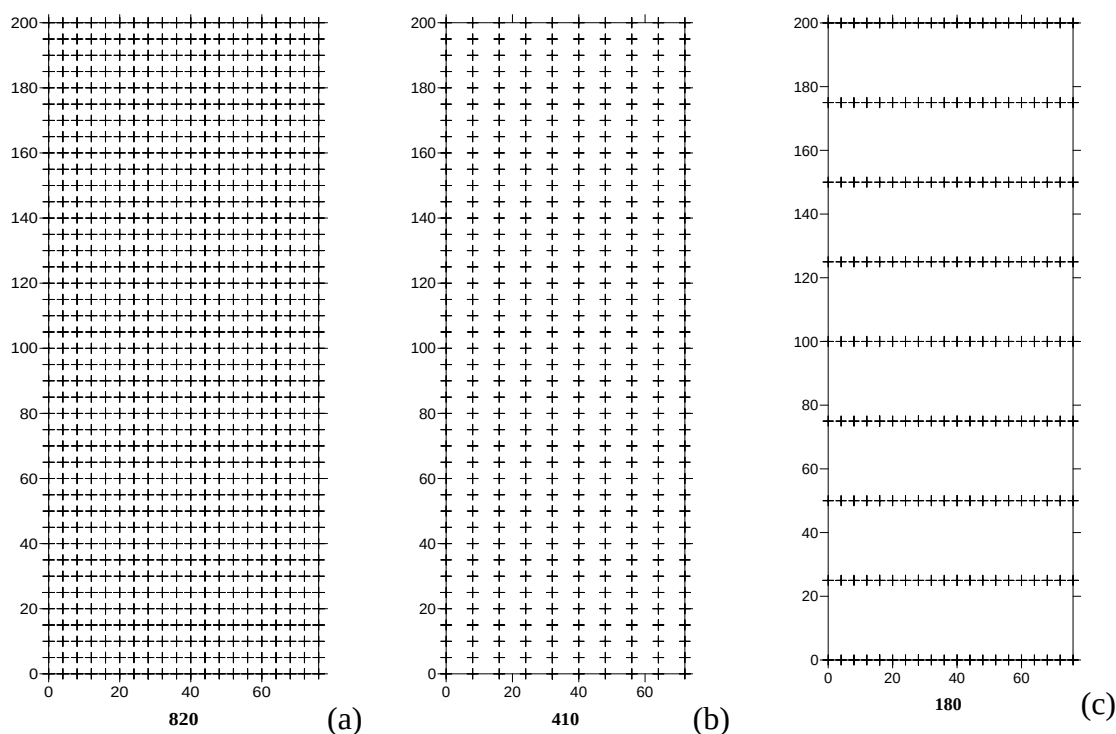
Para a construção dos mapas de isolinhas dos atributos avaliados neste estudo foi utilizado o programa SURFER 7.0 (Golden Software, 1999) o qual usou para tanto os valores estimados por meio da técnica de krigagem para os locais não amostrados (VIEIRA; PAZ GONZÁLEZ, 2003). Desta maneira, as isolinhas foram determinadas pelo programa SURFER 7.0 com base em um algoritmo linear e não tendencioso expresso por meio da técnica de krigagem, conforme descrito por Landim (2000) e Carvalho;Assad (2005).

O índice de dependência espacial (IDE) dos atributos que é dado por $[C/(C0+C)]*100$, foi determinado e classificado, segundo Zimback (2001), assumindo, assim, os seguintes intervalos: dependência espacial baixa para $IDE < 25\%$, moderada para $25\% < IDE < 75\%$ e forte para $IDE > 75\%$.

A grade amostral utilizada para a condução desse estudo constitui-se numa técnica bastante laboriosa para o dia a dia do produtor rural, inviabilizando, portanto seu uso de forma corriqueira na propriedade. Com o objetivo de dar maior praticidade ao usuário de tais técnicas, foram realizadas simulações utilizando um menor número de pontos amostrais, por meio de um maior espaçamento entre as plantas analisadas, para verificar a

permanência ou não das zonas de manejo selecionadas quando utilizada a grade efetivamente coletada no campo. Para tanto foram eliminados alguns pontos de amostragem da planilha tida como testemunha (820 pontos) e refeito todos os procedimentos estatísticos e geoestatísticos. Assim foram gerados mapas de distribuição espacial com os 820 pontos de amostragem e simulações com 410, 180, 90 e 45 pontos (respectivamente Figuras 1 a, b, c, d, e). Assim foram delimitadas as zonas homogêneas quanto ao teor foliar de N total.

Para correlacionar as zonas homogêneas quanto ao teor foliar de N total com a qualidade dos frutos, foram coletadas em cada uma das 3 zonas de manejo pré-estabelecidas, com base nas leituras realizadas aos 91/92 dapp, 20 bagas de uva, em 3 repetições. As bagas foram acondicionadas em sacos plásticos e em isopor com gelo e encaminhadas ao Laboratório de Enologia da Embrapa Semiárido, onde cada repetição foi submetida a uma prensagem manual para a extração do mosto, no qual foram determinados o teor de sólidos solúveis totais (SST, °Brix), com o auxílio de um refratômetro digital de bancada calibrado a 20 °C; pH, com medidor digital e acidez total titulável (ATT, g.L de ácido tartárico⁻¹), por titulação em uma alíquota de 5 mL do mosto com NaOH 0,1N e azul de bromotimol como indicador.



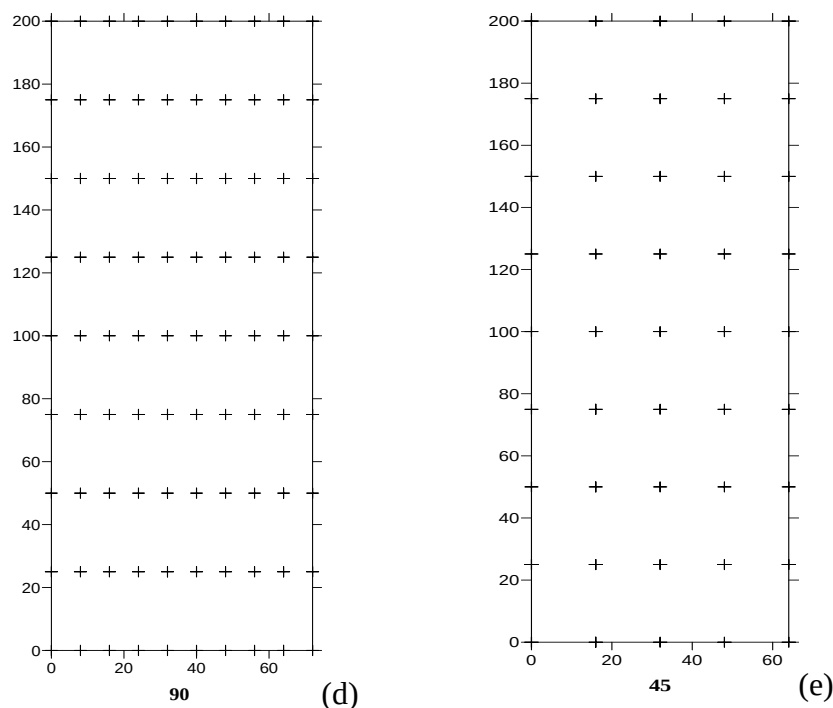


Figura 1. Croqui das diferentes intensidades de amostragem 820(a); 410(b); 180(c); 90(d) e 45(e).

3.3- Resultados e Discussão

A análise descritiva realizada nas diferentes intensidades amostrais e períodos de observação para o teor foliar de N total na área de produção de videira de mesa estão apresentados na Tabela 1. Valores próximos da média e da mediana demonstram tendência dos dados à distribuição normal, característica esta ratificada pelo teste de normalidade, com exceção apenas para a densidade amostral de 410 pontos aos 91/92 dapp.

Segundo a classificação proposta por Warrick e Nielsen (1980), o coeficiente de variação foi considerado baixo ($CV < 12\%$) em todos os dias e intensidade amostrais avaliadas, refletindo assim a baixa heterogeneidade do teor de clorofila na área de estudo, além da precisão nas determinações realizadas. Resultados semelhantes também foram observados por Souza et al. (2011a) ao analisar a distribuição da clorofila de forma indireta em dois ciclos de cultivo de plantas cítricas.

Ao testar diferentes números de amostras em análises geoestatísticas Souza et al. (2011b), observou que a proximidade das variáveis estatísticas indica que as diferentes intensidades de amostragem representam o mesmo fenômeno em estudo.

Tabela 1. Estatística descritiva do teor foliar de N total aos 29/30; 36/37; 43/44 e 91/92 dias após a poda de produção (dapp) da videira de mesa, nas respectivas densidades amostrais: 820, 410, 180, 90 e 45.

Pontos	média	med	s	min	max	CV(%)	Cs	Ck	d ⁽¹⁾
29/30									
820	71.14	71.18	1.89	63.71	79.00	2.6	-0.006	0.500	0.02 ^{ns}
410	71.33	71.44	1.88	65.07	79.00	2.6	0.068	0.720	0.03 ^{ns}
180	71.09	71.08	1.95	63.71	79.00	2.7	-0.081	1.974	0.04 ^{ns}
90	71.17	71.12	1.96	65.07	79.00	2.7	0.416	2.682	0.08 ^{ns}
45	71.31	71.67	1.89	65.07	74.77	2.6	-0.636	1.529	0.11 ^{ns}
36/37									
820	73.94	73.96	1.67	68.98	78.42	2.2	0.021	-0.295	0.02 ^{ns}
410	74.03	74.03	1.67	70.11	78.26	2.2	-0.017	-0.472	0.03 ^{ns}
180	74.00	74.17	1.72	70.05	78.42	2.3	0.035	-0.357	0.05 ^{ns}
90	73.96	74.17	1.65	70.57	78.23	2.2	0.009	-0.477	0.05 ^{ns}
45	74.08	74.28	1.57	71.02	77.13	2.1	-0.118	-0.694	0.06 ^{ns}
43/44									
820	75.33	75.35	1.66	71.08	80.26	2.2	-0.030	-0.248	0.02 ^{ns}
410	75.38	75.45	1.77	71.08	80.26	2.3	-0.039	-0.374	0.04 ^{ns}
180	75.42	75.43	1.73	71.25	80.04	2.3	-0.126	-0.256	0.04 ^{ns}
90	75.46	75.43	1.79	71.28	80.04	2.3	-0.122	-0.354	0.06 ^{ns}
45	75.87	75.83	1.70	71.92	78.87	2.2	-0.341	-0.565	0.09 ^{ns}
91/92									
820	77.83	77.87	1.68	72.64	83.07	2.1	-0.108	-0.219	0.02 ^{ns}
410	77.77	77.85	1.69	72.64	83.07	2.1	-0.175	-0.025	0.04 [*]
180	77.89	77.82	1.74	72.70	83.07	2.2	-0.052	0.072	0.04 ^{ns}
90	77.91	77.95	1.79	74.03	81.91	2.2	0.027	-0.662	0.05 ^{ns}
45	78.34	78.61	1.78	74.03	81.14	2.2	-0.398	-0.572	0.08 ^{ns}

d ⁽¹⁾Teste de normalidade (Kolmogorov-Smirnov), ns (p > 0,05) e *(p < 0,05).

med = mediana; s = desvio padrão; min = valor mínimo; max = valor máximo; CV = coeficiente de variação; Cs = coeficiente de assimetria; Ck = coeficiente de curtose.

A Tabela 2 apresenta os parâmetros geoestatísticos para os diferentes períodos de avaliação e intensidades amostrais. De maneira geral, o modelo matemático que melhor se ajustou aos dados coletados foi o exponencial nas diferentes datas de avaliação e intensidade amostral. Exceções foram observadas ao utilizar a densidade amostral de 45 pontos, a qual obteve melhor ajuste ao modelo esférico aos 36/37, 43/44 e 91/92 dapp. Assim a variação na intensidade amostral de maneira geral não influenciou no ajuste matemático adequado para tais números de pontos testados e período de avaliação nas condições experimentais. Aos 36/37 dapp foi observado efeito pepita puro para as intensidades amostrais

iguais a 180 e 90 pontos. A variação na intensidade amostral realizada aos 29/30 dapp apresentou ajuste ao modelo exponencial em todas as intensidades avaliadas com dependência espacial variando de média a forte. As avaliações realizadas aos 43/44 e 91/92 dapp apresentaram correspondência quanto ao ajuste matemático nas intensidades amostrais testadas. Os variogramas construídos quando se utilizou 820 e 410 pontos de amostragem ajustaram-se ao modelo exponencial em todos os períodos avaliados. O índice de dependência espacial (Zimback, 2001) nas diferentes intensidades amostrais e períodos de avaliação variaram entre moderado e forte.

Tabela 2. Parâmetros do variograma para o teor foliar de N total aos 29/30; 36/37; 43/44 e 91/92 dias após a poda de produção (dapp) da videira de mesa, nas respectivas densidades amostrais: 820, 410, 180, 90 e 45.

Pontos	Modelo	Alcance (m)	C ₀	C ₀ +C	IDE (%)
29/30 dapp					
820	Exponencial	10.5	0.8317	3.4030	75
410	Exponencial	19.2	1.1370	3.3480	66
180	Exponencial	11.10	0.4177	3.0390	87
90	Exponencial	55.20	1.4130	2.8270	50
45	Exponencial	41.1	0.7113	2.9590	76
36/37 dapp					
820	Exponencial	11.5	0.6772	2.8160	76
410	Exponencial	9.6	0.6686	2.7770	76
180	EPP				IDW
90	EPP				IDW
45	Esférico	85.3	1.0270	2.7600	63
43/44 dapp					
820	Exponencial	61.2	1.6619	2.9510	44
410	Exponencial	86.1	1.7290	3.4590	50
180	Exponencial	16.05	0.4060	2.9020	86
90	Exponencial	76.2	1.5920	3.1850	50
45	Esférico	91.2	1.0060	2.9720	66
91/92 dapp					
820	Exponencial	65.7	1.5180	3.0370	50
410	Exponencial	57.6	1.5080	3.0170	50
180	Exponencial	99.6	1.6370	3.2750	50
90	Exponencial	69.3	1.6700	3.3410	50
45	Esférico	84.9	1.2870	3.9840	67

Alcance em m; C₀: efeito pepita; C₀+C: patamar; IDE: índice de dependência espacial; EPP: efeito pepita puro.

A distribuição espacial do teor foliar de N total ao longo do ciclo de cultivo da videira e suas respectivas distribuições em diferentes grades amostrais estão apresentadas nas Figuras 2, 3, 4 e 5. Ao longo das observações realizadas na área experimental com o medidor portátil, foi possível observar que o índice relativo de clorofila é mais elevado nas primeiras fileiras avaliadas, fato este atribuído a sequência da poda de produção efetuada na área de cultivo, a qual ocorreu no sentido da fileira 1 à 20 e teve duração aproximada de 5 dias. Assim verificou-se que as fileiras inicialmente podadas apresentaram teores mais elevados de nitrogênio durante todo o ciclo de cultivo em relação às plantas podadas na sequência. Os dados coletados nos dias 29/30 dapp (Figura 2), considerando os 820 pontos avaliados possibilitam a observação de uma concentração de pontos com maiores valores de N total nas primeiras fileiras e alguns pontos isolados dentro desta classe de classificação do índice relativo de clorofila em alguns pontos da área de cultivo. A simulação com intensidades menores de amostragem possibilitam a homogeneização da distribuição espacial dos dados, tal comportamento se estendeu até a avaliação seguinte que ocorreu aos 36/37 dapp, onde é possível observar a clara delimitação das zonas com diferentes teores de N total. Para Zotarelli et al., (2002), o medidor de clorofila Minolta SPAD-502 possibilita uma rápida e eficaz estimativa do conteúdo de clorofila foliar, o que permite a avaliação do “status” de N nas plantas.

A avaliação realizada aos 43/44 dapp (Figura 3), revelou uma distribuição espacial mais homogênea para os 820 pontos analisados, comportamento divergente do observado nas leituras anteriores, os valores absolutos de nitrogênio são superiores aos observados nas primeiras leituras, assim foi possível observar uma distribuição homogênea desses valores mesmo ao considerar-se a maior intensidade amostral (820). Aos 91/92 dapp (Figura 5), a redução da grade amostral de 820 para 90 pontos causou uma diluição muito grande nos valores mais elevados do teor foliar de N total, reduzindo consideravelmente a zona com valores mais altos em relação a grade amostral composta por 410 e 180 pontos. Curiosamente ao reduzir-se tal grade a 45 pontos foi possível visualizar de forma clara as três zonas propostas, no entanto com essa intensidade amostral verificou-se uma área atribuída aos maiores valores de nitrogênio muito superior a verificada na grade composta por 820 pontos. Observações realizadas por Souza e Souza (2011) concluíram que o detalhe dos padrões de variação dos mapas torna-se cada vez mais degradada com a

diminuição da intensidade de amostragem. Resultados semelhantes também foram observados por Kerry; Oliver (2008). De acordo com Montanari et al., (2005) é preciso aliar um número mínimo de pontos amostrados com uma máxima representação do local amostrado (mínima variância), otimizando o esquema de amostragem e reduzindo os custos. De maneira geral verificou-se que a variação das intensidades amostrais nem sempre mantém o mesmo padrão de distribuição do atributo avaliado, confirmando assim a necessidade de uma adequada grade amostral para a correta tomada de decisão pelo produtor.

As coletas realizadas aos 43/44 e 91/92 dapp possibilitam uma melhor visualização do teor foliar de N total na área experimental, onde é possível verificar de forma mais homogênea as zonas com características semelhantes quanto ao do índice relativo de clorofila.

De maneira geral o padrão de distribuição espacial verificado ao utilizar a densidade amostral de 45 pontos apresentou uma superestimação das áreas com maiores valores do teor foliar de N total em relação às demais densidades amostrais avaliadas, dificultam assim a utilização desta densidade amostral como representativa do índice relativo de clorofila na área de produção.

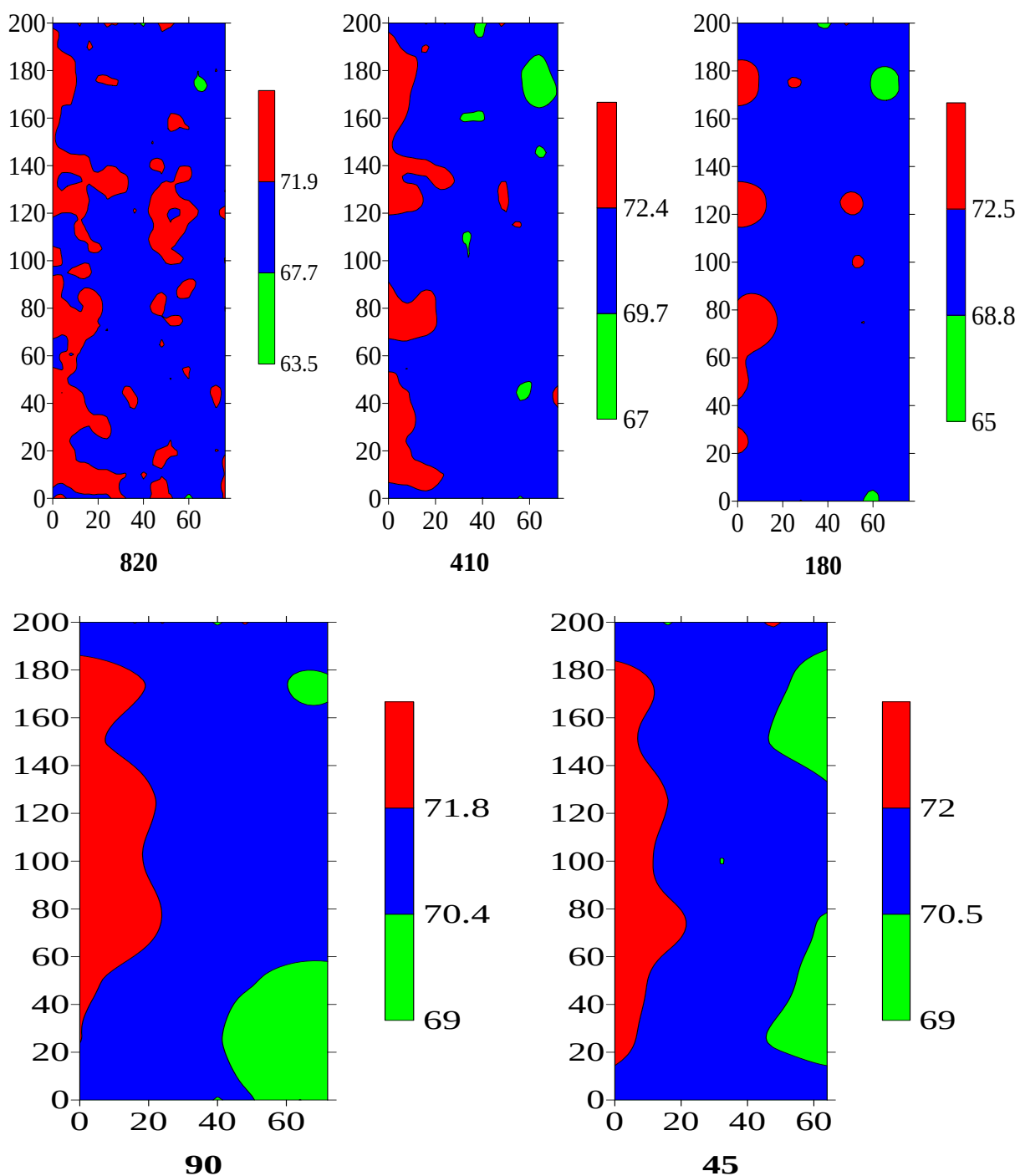


Figura 2. Distribuição espacial do índice relativo de clorofila aos 29/30 dapp da videira, nas respectivas densidades amostrais: 820, 410, 180, 90 e 45 pontos amostrais.

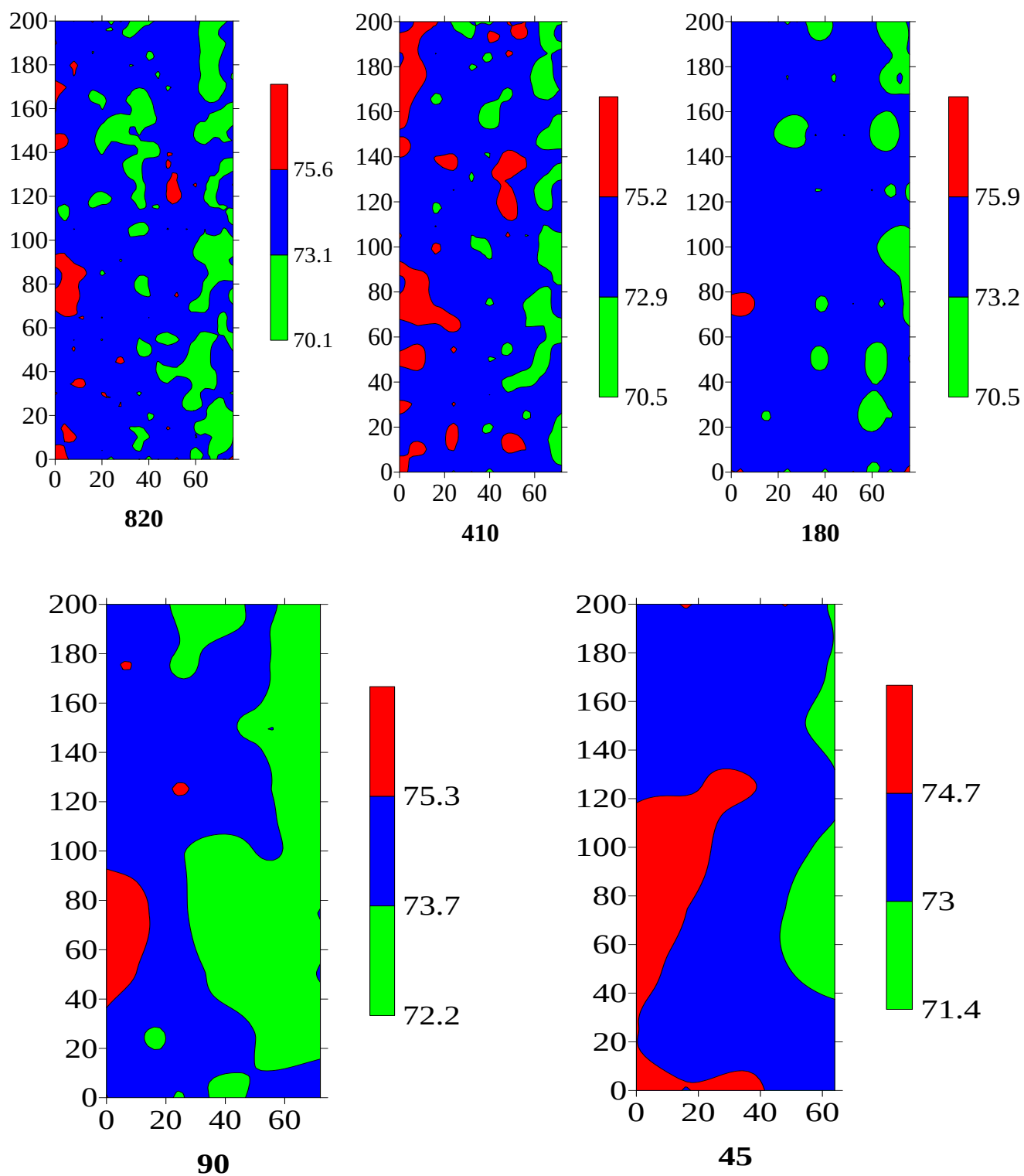


Figura 3. Distribuição espacial do índice relativo de clorofila aos 36/37 dapp da videira, nas respectivas densidades amostrais: 820, 410, 180, 90 e 45 pontos amostrais.

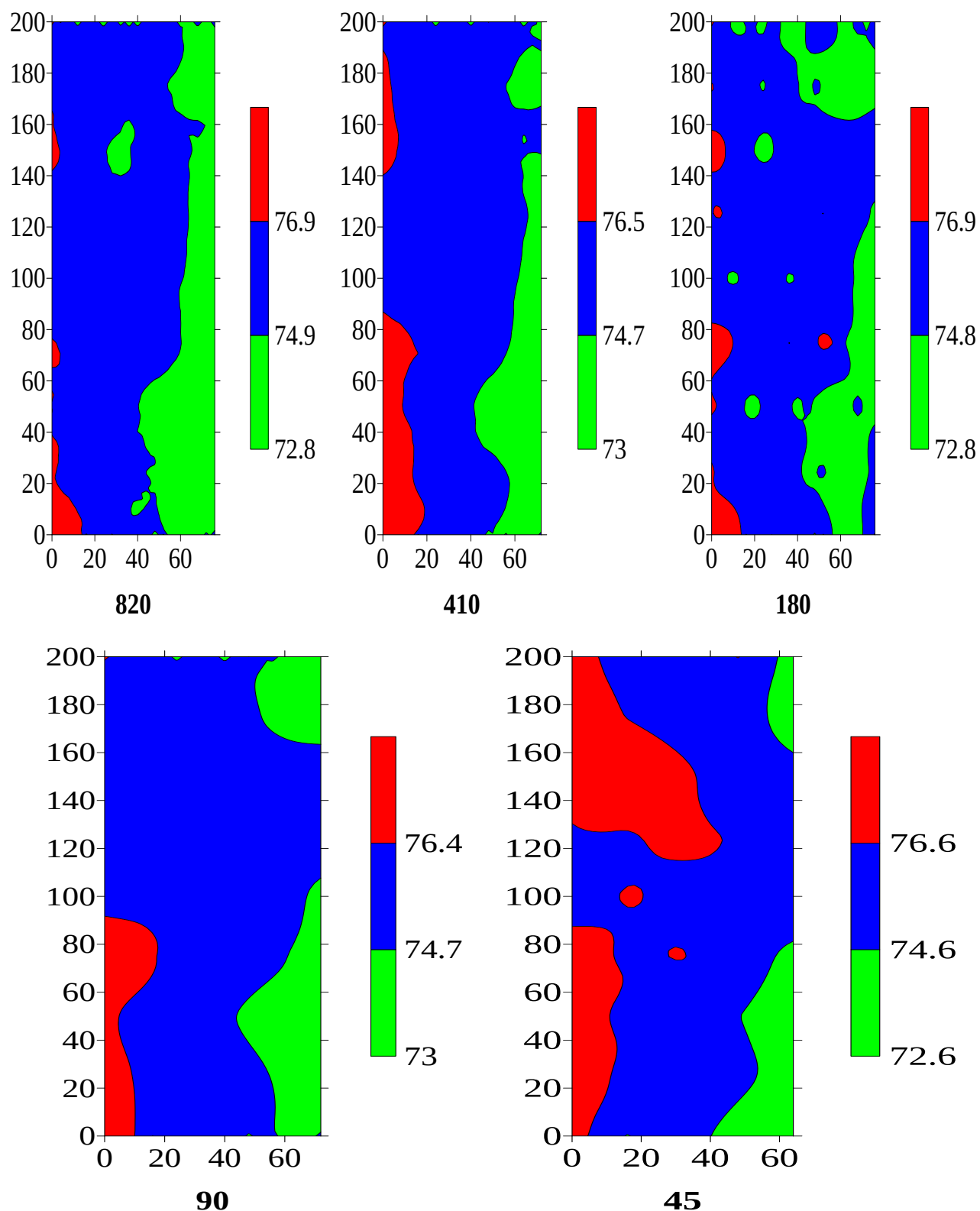


Figura 4. Distribuição espacial do índice relativo de clorofila aos 43/44 dapp da videira, nas respectivas densidades amostrais: 820, 410, 180, 90 e 45 pontos amostrais.

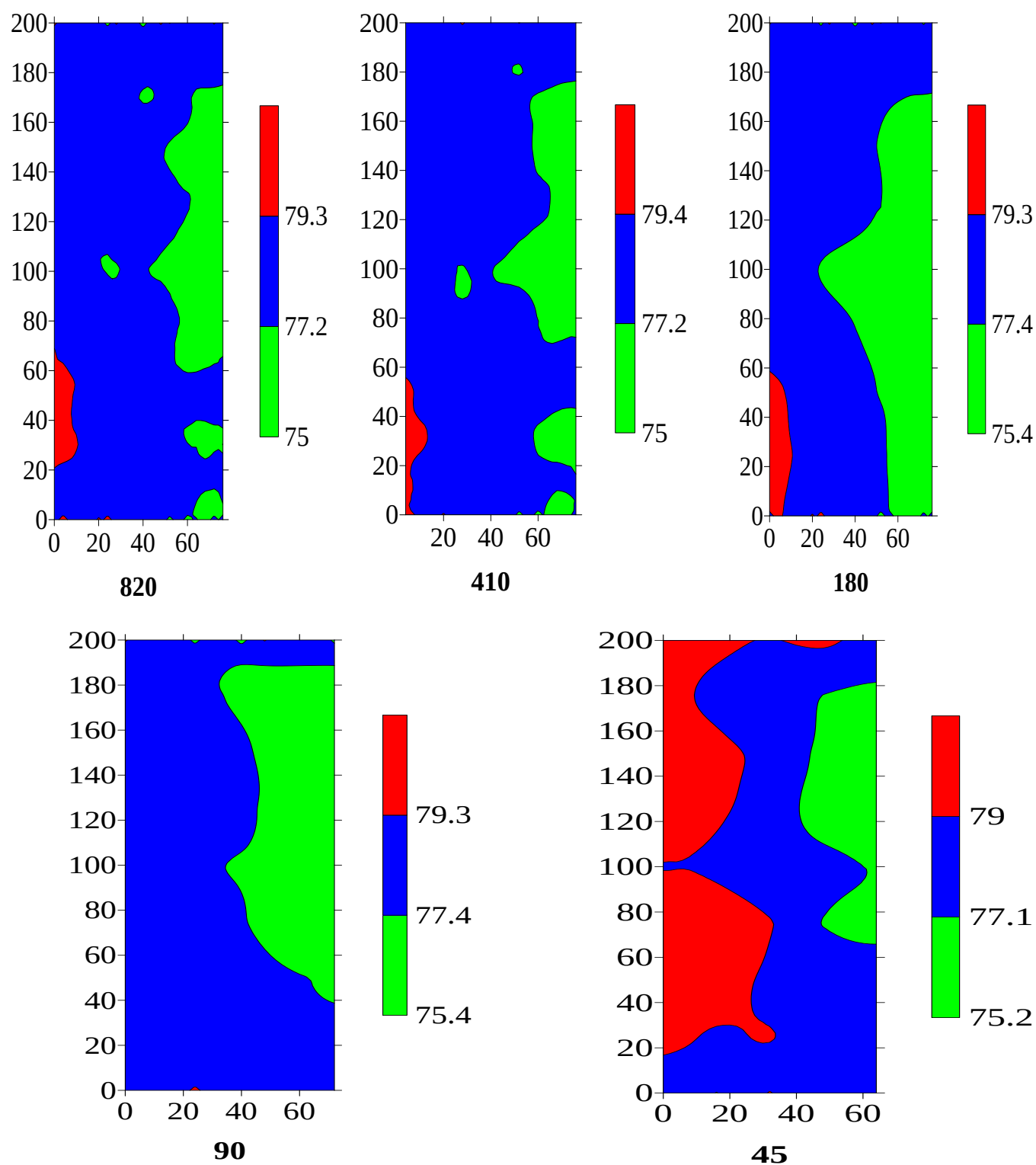


Figura 5. Distribuição espacial do índice relativo de clorofila aos 91/92 dapp da videira, nas respectivas densidades amostrais: 820, 410, 180, 90 e 45 pontos amostrais.

A redução do número de pontos amostrais contribuiu para que o variogramas se afastasse do seu formato original comportamento semelhante também foi observado por SOUZA; SOUZA (2011) e KERRY; OLIVER, (2008). Nas avaliações realizadas aos 29/30 e 36/37 dapp observa-se uma grande proximidade no comportamento gráfico para as intensidades amostrais de 820 e 410 pontos nas distâncias avaliadas (Figura 6 a e b). Com exceção dos 91/92 dapp o comportamento gráfico das diferentes intensidades amostradas são mais próximas até a distância de aproximadamente 40 metros, a partir dessa distância de maneira geral os comportamentos gráficos tendem a se afastar do comportamento obtido ao utilizar 820 pontos amostrais. Aos 91/92 dapp (Figura 6 d) os valores de variância em função da distância utilizada nos cálculos para a intensidade amostral de 820 pontos estiveram muito abaixo dos observados nas demais intensidades amostrais, assim o comportamento gráfico nas demais intensidades amostrais avaliadas exibiram desempenho próximos entre si, mas distante do padrão observado ao utilizar os 820 pontos tido como referência para a realização desse estudo por englobar um número maior de pontos.

Segundo Coelho et al. (2009), a diminuição do número de amostras corresponde a mapas mais dissimilares em relação a referência. Souza e Souza (2011) ao analisarem o número de amostras de solos e seus efeitos na análise geoestatística e krigagem observaram que o número de pontos interfere na análise geoestatística e na interpolação por krigagem. Kerry e Oliver, (2008) sugeriram a não utilização da krigagem quando os variogramas calculados forem oriundos de pontos muitos espaçados, caso contrário os mapas dos atributos do solo utilizados para determinar as taxas variáveis de fertilizantes e de defensivos não irão refletir os principais padrões de variação presente.

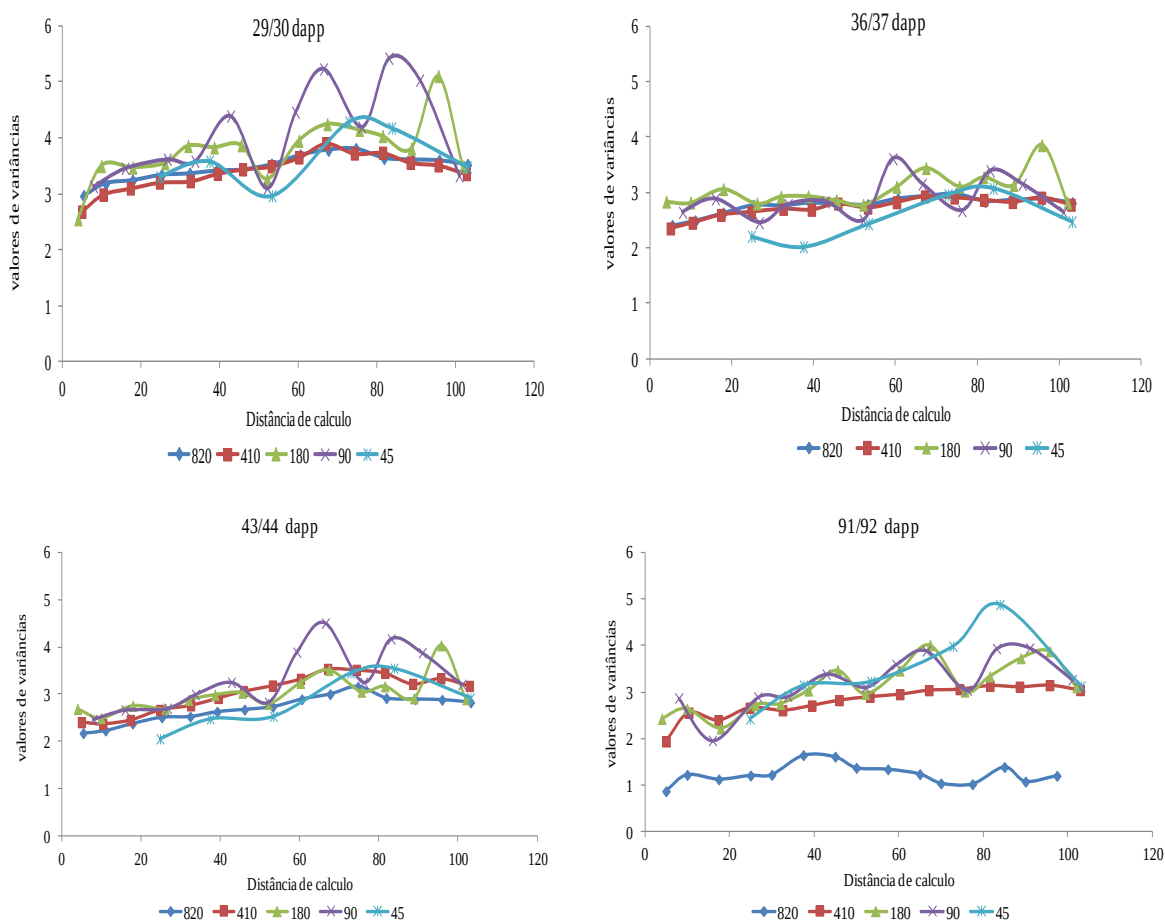


Figura 6. Variogramas escalonados do teor foliar de N total aos 29/30(a); 36/37(b); 43/44(c) e 91/92(d) dapp da videira nas diferentes intensidades amostrais.

A última coleta de dados realizada aos 91/92 dapp ratificaram o comportamento observado nas avaliações anteriores quanto ao padrão de distribuição visual do teor foliar de N total na área. Pela proximidade com a colheita, utilizou-se o padrão de distribuição observado aos 91/92 dapp para a delimitação das zonas homogêneas que auxiliariam na coleta de frutos para avaliação da qualidade dos mesmos em cada uma das zonas pré-selecionadas (Tabela 3). A acidez total titulável aumentou da zona vermelha (maior teor de N) para a zona verde (menor teor de N), comportamento inverso ao verificado pelo teor de sólido solúveis totais e pH, que teve um crescimento decrescente da zona vermelha (maior teor de N) para a zona verde (menor teor de N). Brunetto et al. (2009), trabalhando com a videira cv. Cabernet Sauvignon observaram que a aplicação de doses de N aumentou de forma linear com os valores de sólidos solúveis (°Brix) e pH do mosto. Busato et al., (2011),

ao testarem diferentes doses de nitrogênio em videira cv. Niagara Rosada, observaram um aumento linear do teor de sólidos solúveis e pH e uma redução linear da acidez total titulável nas bagas. A utilização do mapa com base no teor foliar de N total proporcionou a identificação de zonas homogêneas, e as mesmas foram utilizadas para orientar a coleta de bagas para a determinação de parâmetros de qualidade, que auxiliam o produtor na identificação do momento da colheita, especificamente quanto aos valores de SST e ATT.

O medidor portátil de clorofila é adequado para gerar zonas de manejo do estado nutricional da lavoura (RAMBO et al 2007; RODRIGUES JUNIOR et al., 2011). De acordo com Souza et al. (2011a) com o auxílio do clorofilômetro, a leitura do estado nutricional da planta pode ser realizada em poucos minutos, possibilitando rápido diagnóstico da situação da lavoura. Outra vantagem inerente à utilização do equipamento à nível de campo é o fato de não ser necessário o envio de amostras para laboratórios, reduzindo assim os custos e o tempo envolvidos nas operações, além da possibilidade de repetibilidade da avaliação sem a destruição das folhas (MALAVOLTA et al., 1997), facilitando assim a tomada de decisão por parte do produtor agrícola quanto ao momento ideal para a colheita dos seus frutos de forma a atender mais satisfatoriamente ao seu mercado.

Tabela 3. Acidez total titulável (ATT, g.L de ácido tartárico⁻¹), pH e teor de sólidos solúveis totais (SST, °Brix) em diferentes zonas homogêneas de teor foliar de N total na videira cv. Thompson Seedless.

Zonas Homogêneas	pH	ATT	SST
Vermelha (> 79.34 g.kg ⁻¹)	3,53 ± 0,058	8,20 ± 0,087	18,60 ± 0,819
Azul (77.17 a 79.34 g.kg ⁻¹)	3,53 ± 0,115	8,74 ± 0,433	16,23 ± 1,210
Verde (75 a 77.17 g.kg ⁻¹)	3,43 ± 0,058	9,34 ± 0,568	14,80 ± 0,173

3.4- Conclusões

1. A aplicação da ferramenta geoestatística possibilitou a visualização da evolução do teor foliar de N total ao longo do ciclo da videira;
2. A intensidade amostral influenciou no padrão de distribuição espacial dos dados coletados. No entanto, a utilização de 410 pontos amostrais apresentou um padrão de distribuição similar ao de 820 pontos, validando assim a utilização da menor intensidade amostral;
3. A identificação de zonas homogêneas quanto ao índice relativo de clorofila possibilitou a amostragem localizada de bagas para análise qualitativa antes da colheita dos frutos.

3.5- Referências Bibliográficas

ARGENTA, G.; SILVA, P.R.F. da; SANGOI, L. Leaf relative chlorophyll content as an indicator parameter to predict nitrogen fertilization in maize. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.34, n.5, p.1379-1387, 2004.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA. Agrostat. Disponível em: <<http://sistemasweb.agricultura.gov.br/pages/AGROSTAT.html>>. Acesso em: 9 set. 2012.

BLACKMER, T.M. & SCHEPERS, J.S. Use of chlorophyll meter to monitor nitrogen status and schedule fertigation for corn. **Journal of Production Agriculture**, v. 8, p. 56-60, 1995.

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

BOTHA, E. J.; ZEBARTH, B. J.; LEBLON, B. Non-destructive estimation of potato leaf chlorophyll and protein contents from hyperspectral measurements using the PROSPECT radiative transfer model. **Canadian Journal of Plant Science**, v. 86, n. 01, p. 279-291, 2006.

BRUNETTO, G. **Nitrogênio em videira: Recuperação, acumulação e alterações na produtividade e na composição da uva**. 2008. 139f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2008.

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, 2009.

BUSATO, C. C. M. et al. Manejo da irrigação e fertirrigação com nitrogênio sobre as características químicas da videira 'Niágara Rosada'. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 41, n. 7, p. 1183-1188, 2011.

BOTHA, E. J.; ZEBARTH, B. J.; LEBLON, B. Nondestructive estimation of potato leaf chlorophyll and protein contents from hyperspectral measurements using the PROSPECT radiative transfer model. **Canadian Journal of Plant Science**, v. 86, n. 01, p. 279-291, 2006.

BUSATO, C. et al. Seasonal variation and threshold values for chlorophyll meter readings on leaves of potato cultivars. **Journal of Plant Nutrition**, v. 33, n. 14, p. 2148-2156, 2010.

CAMPOS, H. **Estatística experimental não-paramétrica**. 3. ed. Piracicaba: ESALQ, 1979. cap.2, p.21-62.

CARVALHO, J.R.P.; ASSAD, E.D. Análise da precipitação pluviométrica no Estado de São Paulo: comparação de métodos de interpolação. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.25, n.2, p.377-384, 2005.

COELHO, E. C. et al. Influência da densidade amostral e do tipo de interpolador na elaboração de mapas temáticos. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 31, n. 1, p. 165-174, 2009.

CURI, N.; LARACH, J.O.I.; KAMPF, N.; MONIZ, A.C. & FONTES, L.E.F. **Vocabulário de ciência do solo**. Campinas, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1993. 89p.

ESPINDULA, M. C. et al. Effect of nitrogen and trinexapacethyl rates on the SPAD index of wheat leaves. **Journal of Plant Nutrition**, v. 32, n. 11, p. 1956-1964, 2009.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional e Pesquisa em Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília: Embrapa SPI; Embrapa Solos, 2006. 306p.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION (FAO). Disponível em: <<http://faostat.fao.org/default.aspx>>. Acesso em: 9 set. 2012.

FONTES, PCR; ARAÚJO C. 2007. **Adubação nitrogenada de hortaliças: princípios e práticas com o tomateiro**. Viçosa: UFV. 148p.

GOLDEN SOFTWARE - SURFER for windows. Release 7.0. Contouring and 3D surface mapping for scientist's engineers. User's guide. New York, Golden Software, 1999. 619p.

GREGO, C.R.; VIEIRA, S.R. Variabilidade espacial de propriedades físicas do solo em uma parcela experimental. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, v. 29, n. 2, p. 169-177, 2005.

GIL, P.T. de. et al. Índice SPAD para o diagnóstico do estado de nitrogênio e para o prognóstico da produtividade de batata. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 20, n. 4, p.611-615, dez. 2002.

JESUS, S. V. de; MARENCO, R. A. O SPAD-502 como alternativa para a determinação dos teores de clorofila em espécies frutíferas. **Acta Amazonica**. Manaus, v. 38, n. 4, 2008.

KERRY, R.; OLIVER, M. A. Comparing sampling needs for variograms of soil properties computed by the method of moments and residual maximum likelihood. **Geoderma**, Amsterdam, v.140, n.4, p.383-396, 2007.

KERRY, R.; OLIVER, M. A. Determining nugget:sill ratios of standardized variograms from aerial photographs to kriging sparse soil data. **Precision Agriculture**, Netherlands, v.9, n.1-2, p.33-56, 2008.

LANDIM, P.M.B. **Introdução aos métodos de estimação espacial para confecção de mapas**. Rio Claro: UNESP, 2000. 20 p. Disponível no formato PDF (Adobe Acrobat®) em <<http://www.rc.unesp.br/igce/aplicada/textodi.html>> (Texto Didático 02).

MA, B.L.; MORRISON, M.J.; VOLDENG, H.D. Leaf greenness and photosynthetic rates in soybean. **Crop Science**, v.35, p.1411-1414, 1995.

MONTANARI, R. et al. Forma da paisagem como critério para otimização amostral de latossolos sob cultivo de cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 40, n.1, p.69-77, jan. 2005.

MINOLTA, C. **Manual for chlorophyll meter SPAD-502**. Osaka: Minolta Radiometric Instruments Divisions, 1989. 22p.

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

NEVES, O. S. C. et al. Uso do SPAD-502 na avaliação dos teores foliares de clorofila, nitrogênio, enxofre, ferro e manganês do algodoeiro herbáceo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 40, n. 5, May 2005.

OLIVEIRA FILHO, F. A. de. Produção, área colhida e efetivo de uva no nordeste. **Informe Rural Etene**. n.5, 2011. Disponível em. http://www.bnb.gov.br/content/aplicacao/etene/etene/docs/ire_ano5_n13.pdf. acessado em: 13 de outubro de 2012.

PINHEIRO, F. A.; ADISSI, P. J. Impactos Socioambientais e de Segurança do Alimento na Gestão da Produção Integrada de Uvas Finas de Mesa. **Revista Sistemas e Gestão**, v. 2, n.2, p. 119-140, 2007.

QUAGLIA, A.M.L. et al. Projeto de irrigação Vale do Massangano (Senador Nilo Coelho). Brasília, 1989. 154 p. (Relatório de Avaliação Ex-post).

REIS, ANDRÉ RODRIGUES dos. et al. Diagnóstico da exigência do cafeeiro em nitrogênio pela utilização do medidor portátil de clorofila. **Bragantia**, Campinas, v. 65, n. 1, 2006.

RODRIGUES JUNIOR, F. A. et al. Geração de zonas de manejo para cafeicultura empregando-se sensor SPAD e análise foliar. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.15, n.8, p.778–787, 2011.

RODRIGUES JUNIOR, F. A. **Geração de zonas de manejo para cafeicultura usando sensor spad e análise foliar**. 2008. 76 f. Dissertação (mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2008.

RAMBO, L. et al. Monitoramento do nitrogênio na planta e no solo para predição da adubação nitrogenada em milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 42, n. 3, Mar. 2007.

SHAPIRO, S.S.; WILK, M.B. An analysis of variance test for normality: complete samples. **Biometrika**, v.52, p.591-611, 1965.

STATSOFT. Statistica for Windows versão 5.0. Tulsa, 1999.

SUNDERMAN, H.D.; PONTUS, J.S.; LAWLESS, J.R. Variability in leaf chlorophyll concentration among fully-fertilized corn hybrids. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v.28, p.1793-1803, 1997.

SOUZA, T. R. de 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, Sept. 2011a.

SOUZA, Z. M. de. et al. Número de amostras e seus efeitos na análise geoestatística dos teores de fertilizantes para fins de agricultura de precisão. In: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 32, 2011, Uberlândia-MG. **Solos nos biomas brasileiros: sustentabilidade e mudanças climáticas**. Uberlândia-MG 2011b.

SOUZA, Z. M.; SOUZA, G. S. de. Número de amostras e seus efeitos na análise geoestatística e krigagem de atributos do solo. In: Simpósio de Geoestatística aplicada em ciências agrárias, 2, 2011, Botucatu-SP. **II Simpósio de Geoestatística aplicada em ciências agrárias**. Botucatu-SP, 2011.

SILVEIRA, P. M. et al. Uso de clorofilômetro como indicador da necessidade de adubação nitrogenada em cobertura no feijoeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 38, n. 09, p. 1083-1087, 2003.

TEIXEIRA, A. H. de C. **Informações Agrometeorológicas do Polo Petrolina, PE/Juazeiro, BA - 1963 a 2009**. Série Documentos - Embrapa Semiárido, 2010, 21p.

VIEIRA, S.R. **Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo**. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ, V., V.H. & SCHAEFER, G.R., eds. Tópicos em ciência do solo. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. v. 1. p.1-54.

VIEIRA, S.R.; PAZ GONZÁLEZ, A. Analysis of the spatial variability of crop yield and soil properties in small agricultural plots. **Bragantia**, Campinas, v.62, n.1, p.127-138, 2003.

WARRICK, A. W.; NIELSEN, D. R. Spatial variability of soil physical properties the soil. In: HILL, D. (ed.). **Applications of soil physics**. New York: Academic Press, 1980. p. 319-344.

YIN, X. et al. Some quantitative relationships between leaf area index and canopy nitrogen content and distribution. **Annals of Botany**, v. 91, n. 07, p. 893- 903, 2003.

ZOTARELLI, L. et al. Calibração do medidor de clorofila Minolta SPAD-502 para avaliação do conteúdo de nitrogênio do milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 38, n. 9, Sept. 2003. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2003000900014>.

ZOTARELLI, L. et al. **Calibração do medidor de clorofila Minolta SPAD-502 para uso na cultura do milho**. Rio de Janeiro: Embrapa Agrobiologia, 2002. 4p. (Comunicado técnico, 55).

ZIMBACK, C.R.L. **Análise espacial de atributos químicos de solos para fins de mapeamento da fertilidade**. 2001. 114 f. Tese (Livre-Docência em Levantamento do Solo e Fotopedologia)-Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2001.

CONCLUSÕES

O conhecimento da distribuição espacial dos atributos físico-hídricos do solo, em uma área de produção de uva de mesa no Vale do Submédio São Francisco, por meio da análise geoestatística, possibilitou a identificação de zonas de manejo. O manejo diferenciado da irrigação com base no monitoramento da umidade do solo em cada uma dessas zonas permitiu que aquelas que apresentaram maiores valores recebessem um menor volume de água.

O conhecimento da distribuição espacial do teor foliar de nitrogênio em videira de mesa permitiu a definição de zonas homogêneas, e as medidas realizadas ao longo do tempo permitiram o acompanhamento da evolução da concentração desse nutriente. Ainda, as zonas homogêneas orientaram o local de coleta de bagas de uva para a análise qualitativa das mesmas antes da colheita. É possível realizar as amostragens com diferentes densidades de amostras.

As técnicas e ferramentas de agricultura de precisão, aqui empregadas em uma pequena área de cultivo (1,6 ha), podem auxiliar o produtor quanto à tomada de decisão para a realização de práticas agrícolas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

COUTO, E. G.; STEIN, A.; KLAMT, E. Large area spatial variability of soil chemical properties in central Brazil. **Agriculture Ecosystems and Environment**, v.66, p.139-152, 1997.

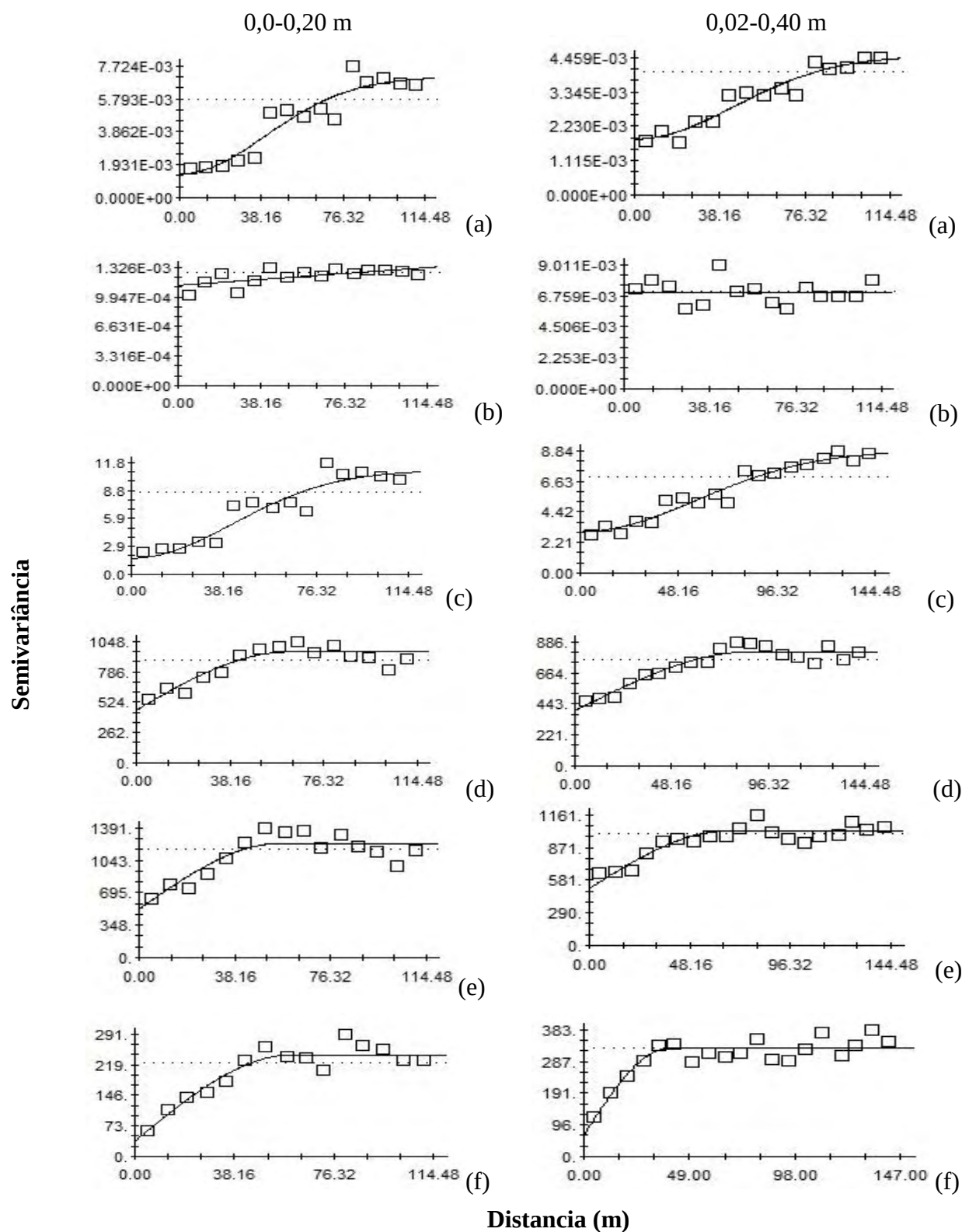
DODERMANN, A.; PING, J.L. Geostatistical integration of yield monitor data and remote sensing improves yield maps. **Agronomy Journal**, Madison, v.96, n.1, p.285-297, 2004.

IBRAF. Comparativo das exportações brasileiras de uvas frescas. Disponível em: http://www.ibraf.org.br/estatisticas/Exporta%C3%A7%C3%A3o/Comparativo_das_Exporta%C3%A7%C3%B5es_Brasileiras_de_Frutas_frescas_2010-2009.pdf Acesso em: 28 Ago. 2012.

MELLO, L. M. R. **Vitivinicultura brasileira**: panorama 2010. Disponível em: <http://www.cnpuv.embrapa.br/publica/artigos/prodvit2010.pdf>. Acesso em: 27 Ago. 2012.

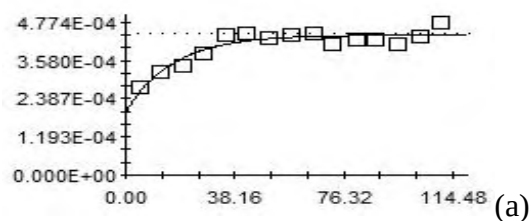
MILANI, L.; et al. Unidades de manejo a partir de dados de produtividade. **Acta Scientiarum Agronomy**. Maringá, v. 28, n. 4, p. 591-598, 2006.

APENDICE 1

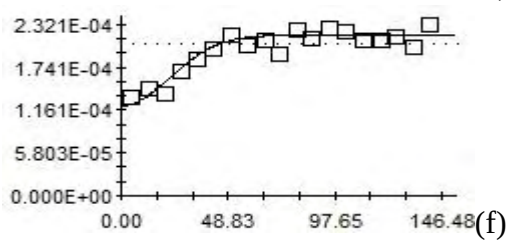
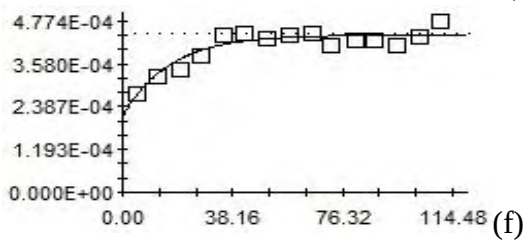
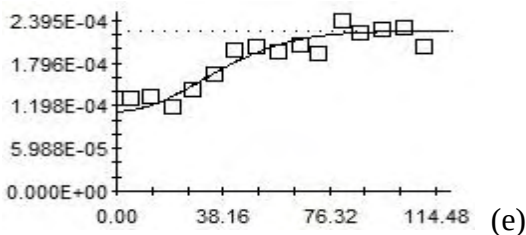
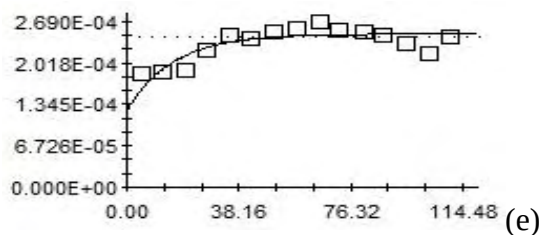
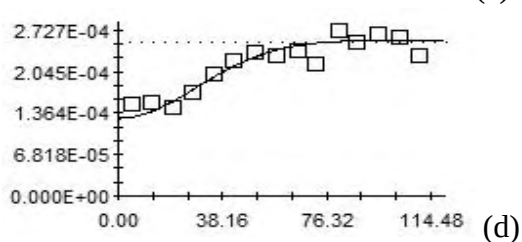
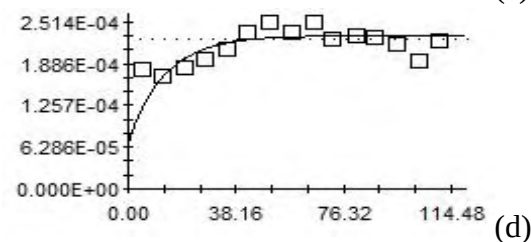
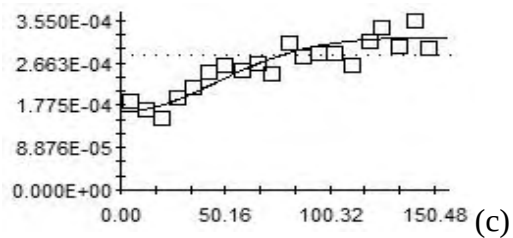
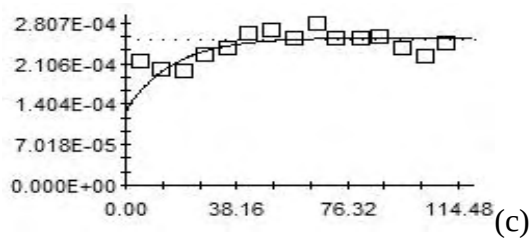
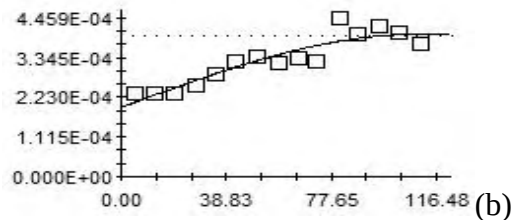
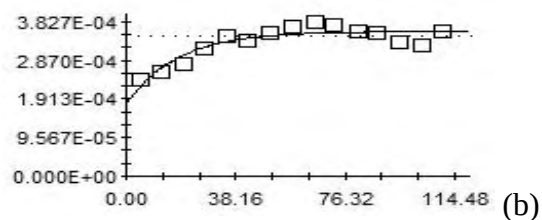
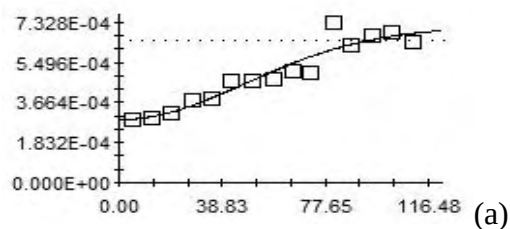


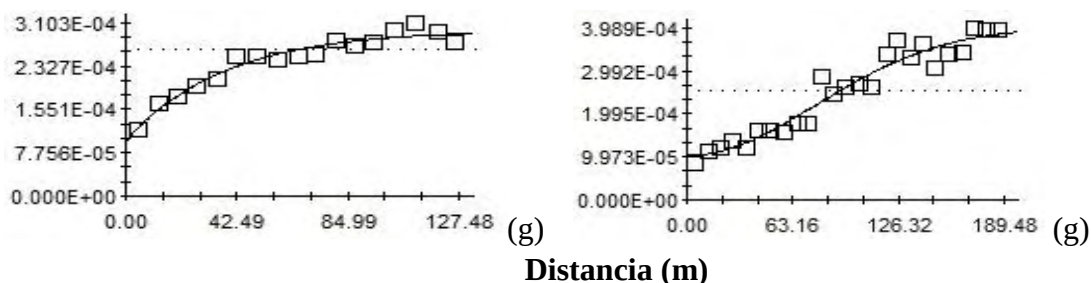
Variograma dos atributos densidade do solo(a) , densidade de partículas (b), porosidade total (c), areia total (d), silte (e) e argila(f) nas profundidades de 0,0-0,20 m e 0,20-0,40 m.

0,0-0,20 m

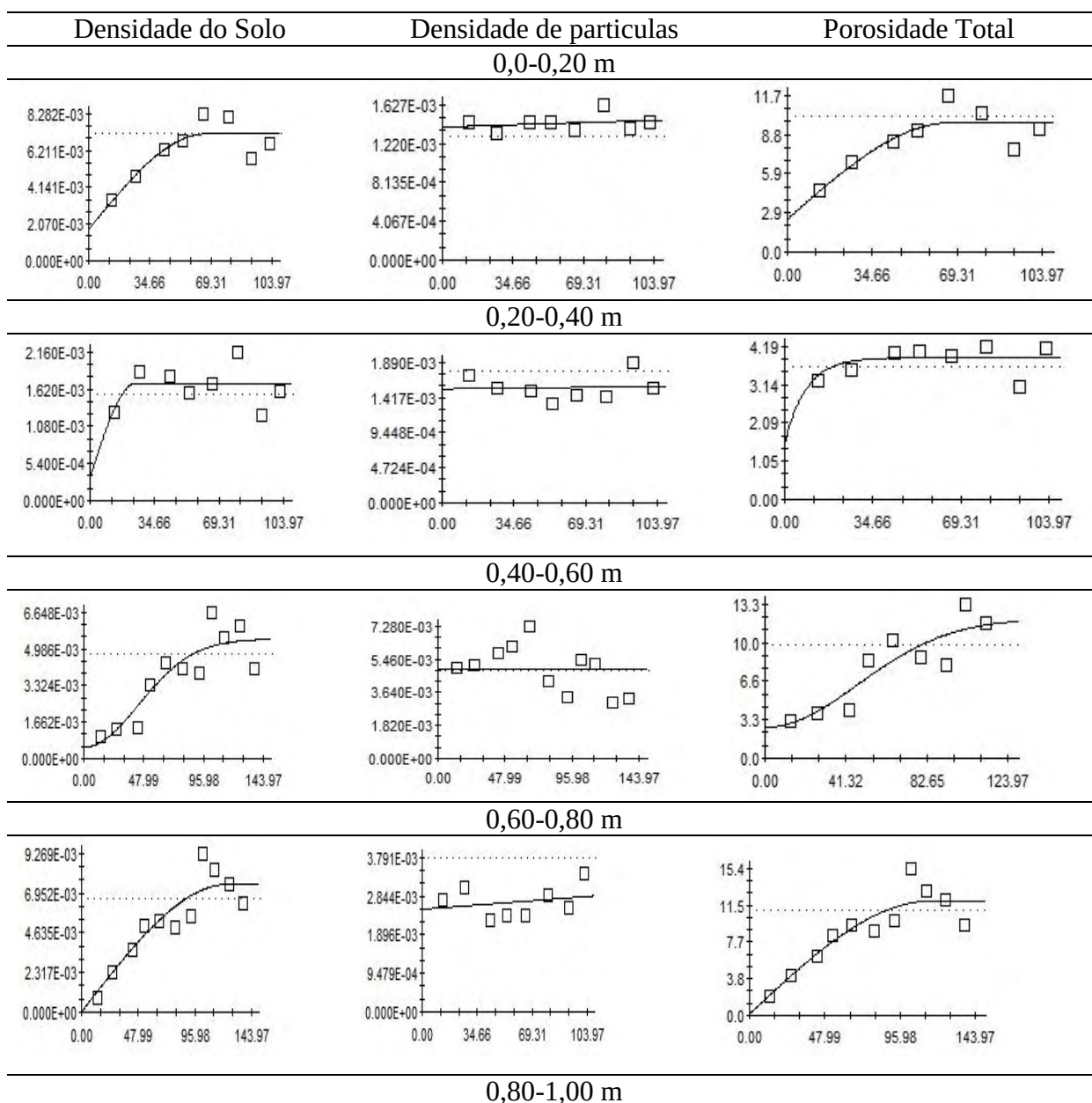


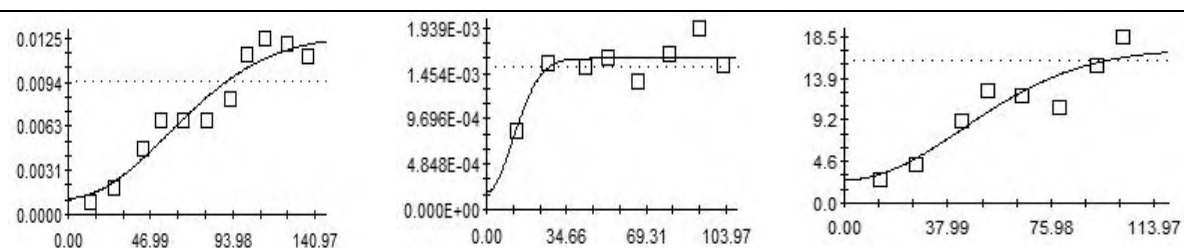
0,02-0,40 m



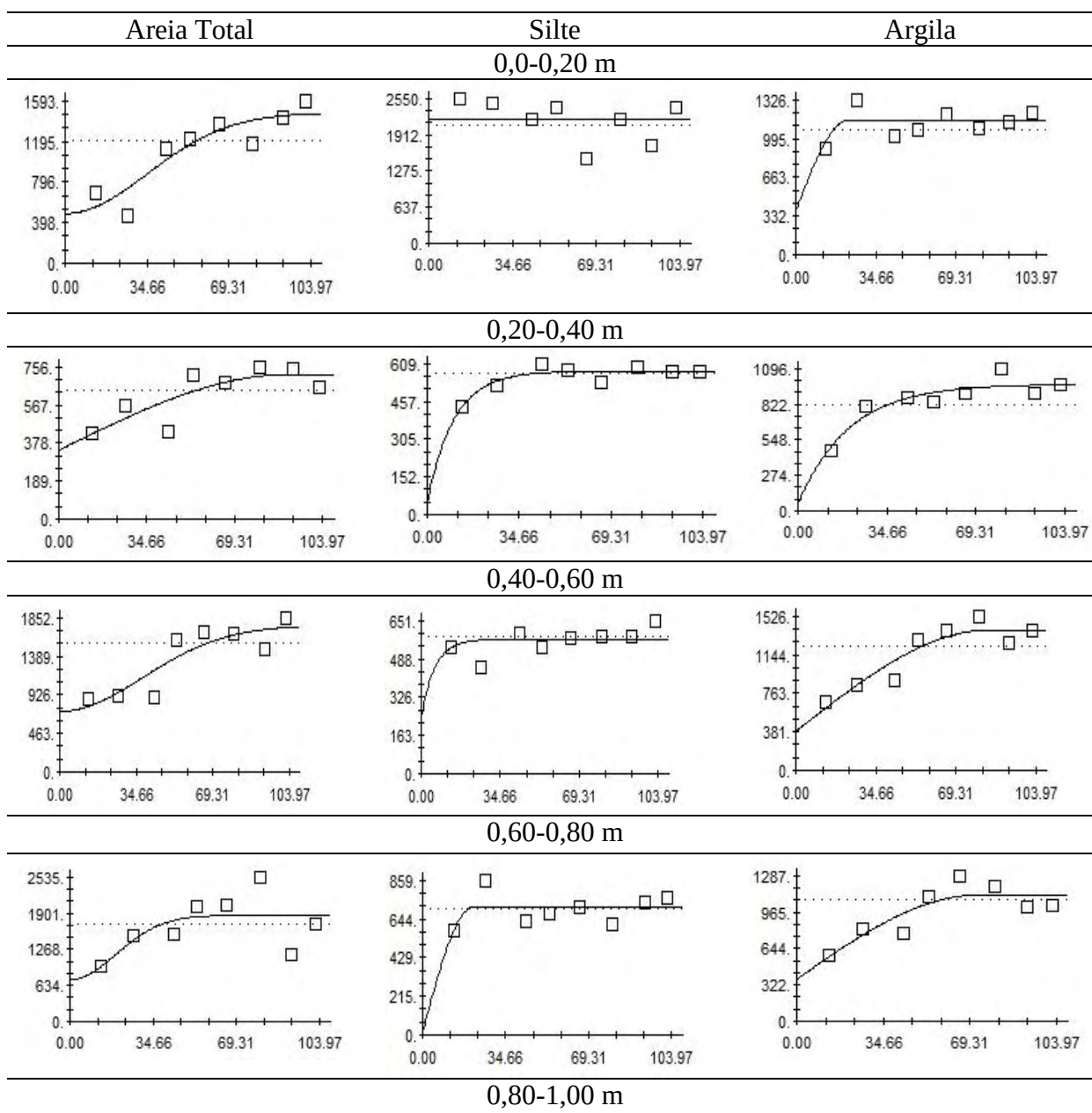


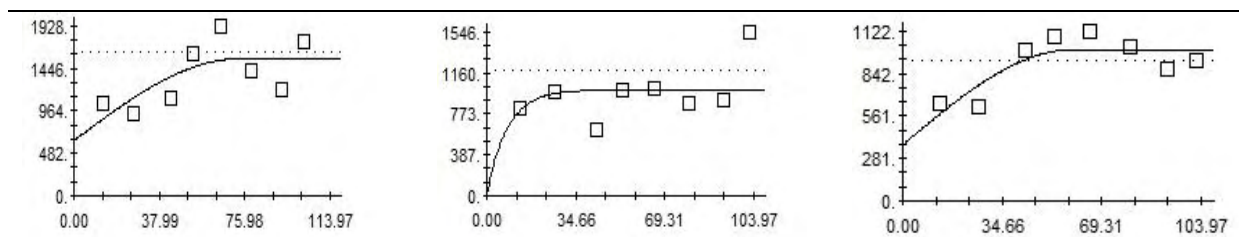
Variograma da umidade do solo á tensão de: 0.006 MPa (a); 0.010 MPa (b); 0.033 MPa (c); 0.06 MPa (d); 0.1 MPa (e); 1.5 MPa (f); da água disponível (g), nas profundidades de 0,0-0,20 m e 0,20-0,40 m.



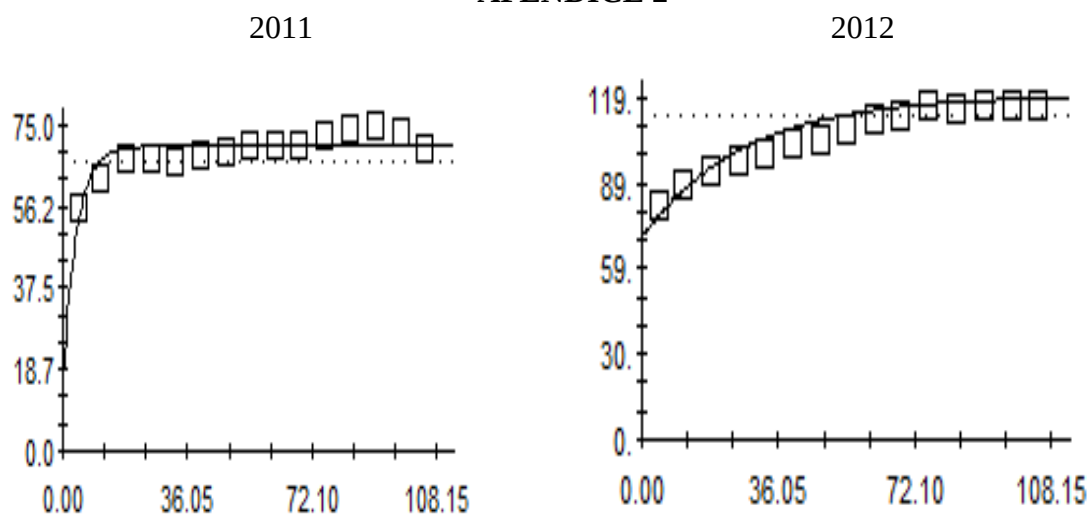


Variograma dos atributos densidade do solo (D_s , kg.m^{-3}), densidade de partículas (D_p , kg.m^{-3}), porosidade total (PT, %), nas profundidades de 0,0-0,20; 0,20-0,40; 0,40-0,60; 0,60-0,80; 0,80-1,00 m.





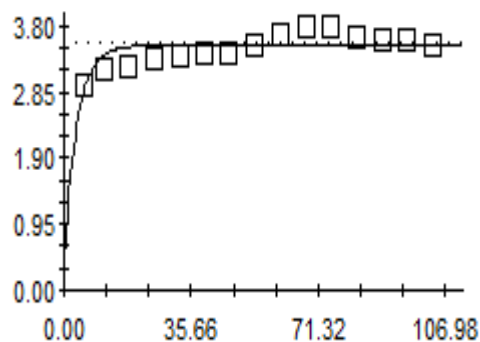
Variograma dos atributos Areia Total (kg.kg^{-1}), silte (kg.kg^{-1}) e argila (kg.kg^{-1}) nas profundidades de 0,0-0,20; 0,20-0,40; 0,40-0,60; 0,60-0,80; 0,80-1,00 m.

APENDICE 2

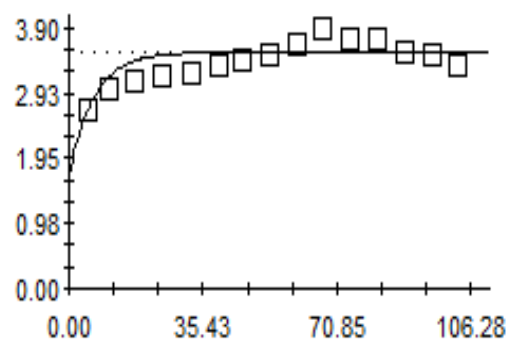
Variograma do número de cachos de uva produzido na área de produção nos ciclos de 2011 e 2012.

APENDICE 3

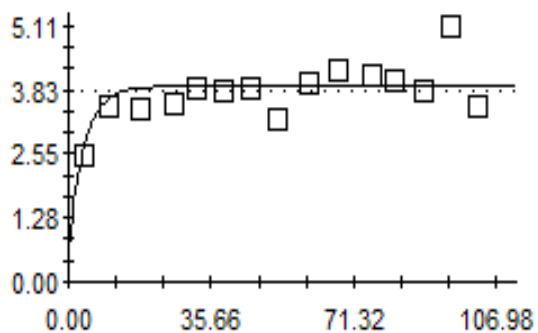
29-30 dapp



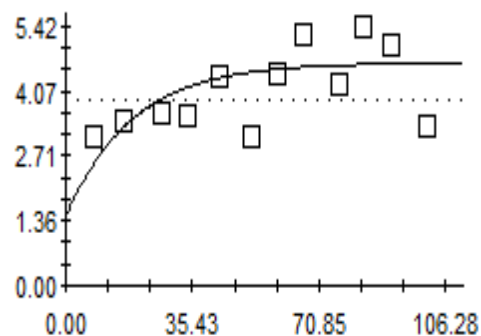
a



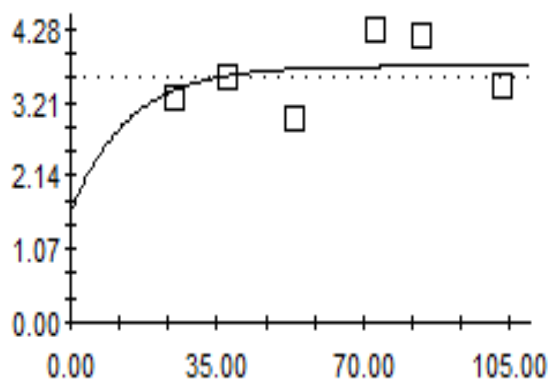
b



c



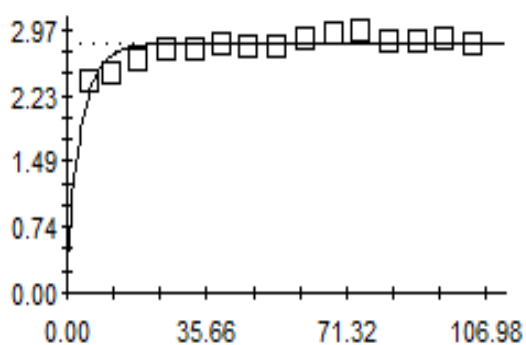
d



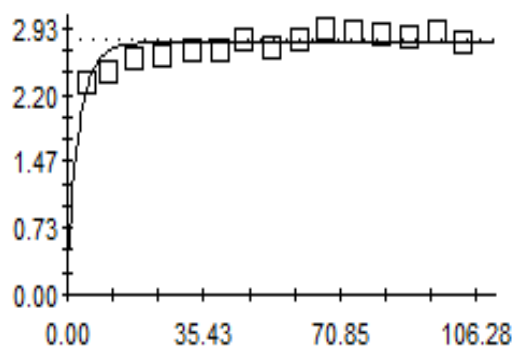
e

Variograma do índice relativo de clorofila aos 29/30 dapp da videira, nas respectivas densidades amostrais: 820 (a), 410(b), 180(c), 90(d) e 45(e).

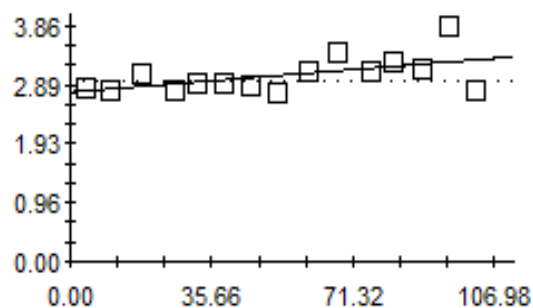
36-37 dapp



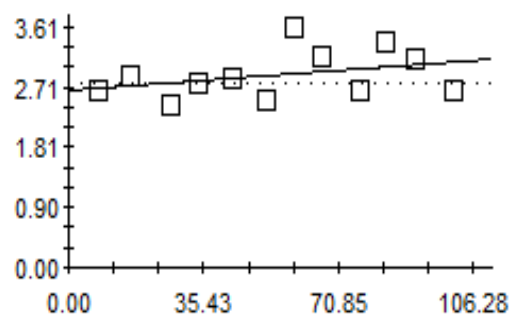
a



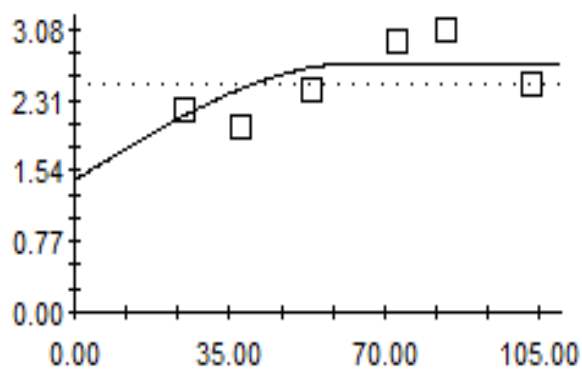
b



c



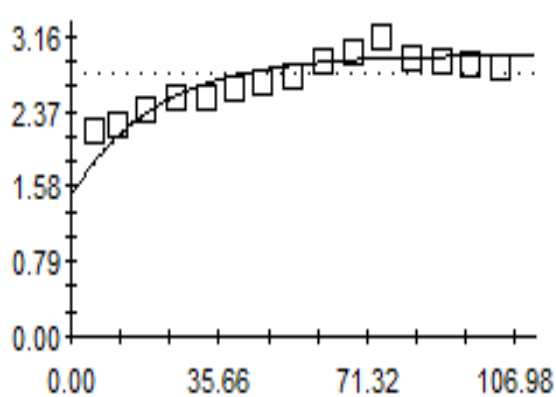
d



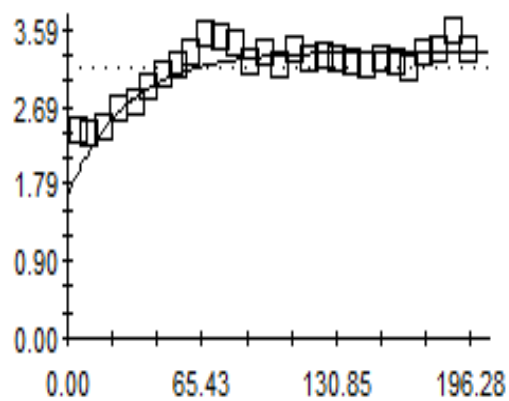
e

Variograma do índice relativo de clorofila aos 36/37 dapp da videira, nas respectivas densidades amostrais: 820 (a), 410(b), 180(c), 90(d) e 45(e).

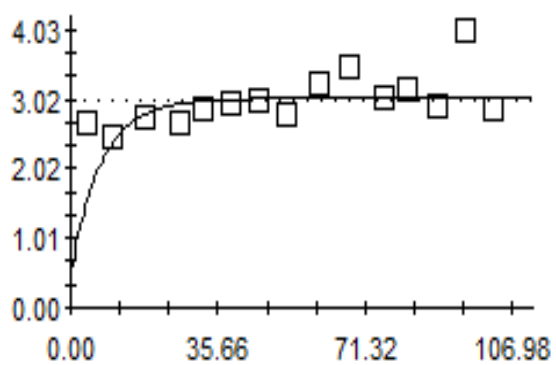
43-44 dapp



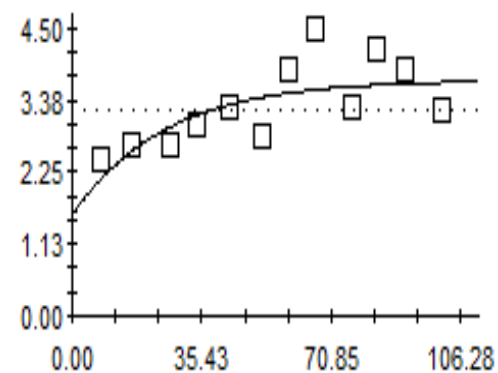
a



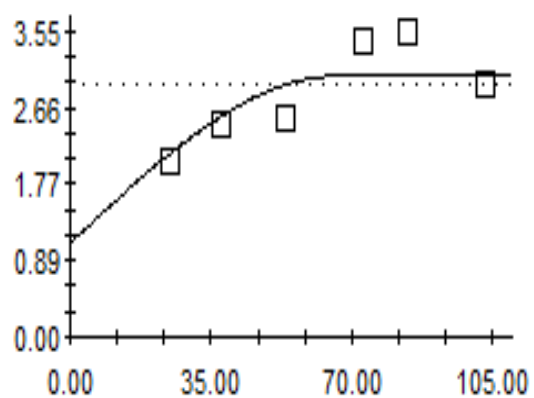
b



c



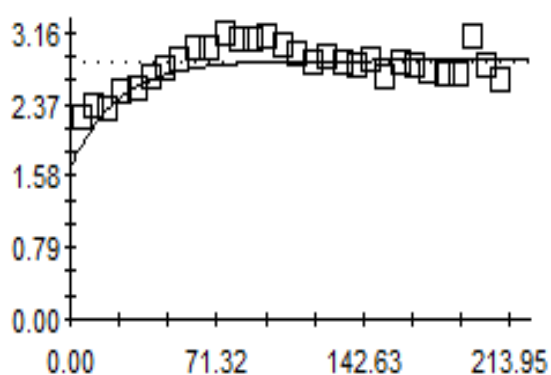
d



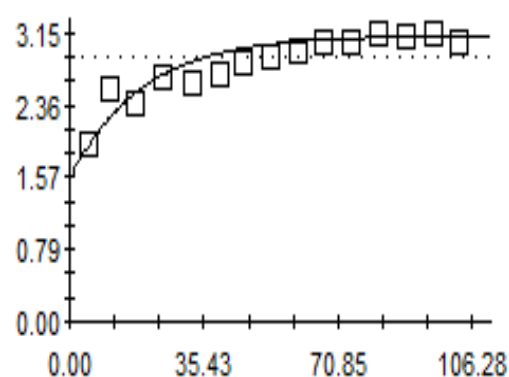
e

Variograma do índice relativo de clorofila aos 43/44 dapp da videira, nas respectivas densidades amostrais: 820 (a), 410(b), 180(c), 90(d) e 45(e).

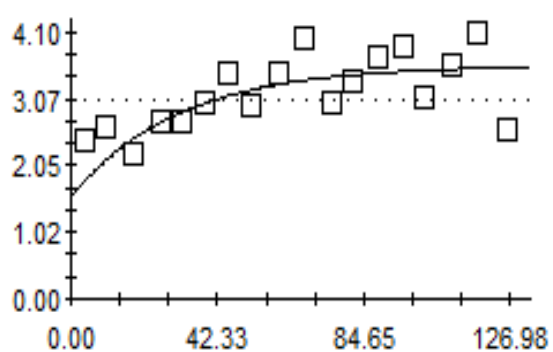
91-92 dapp



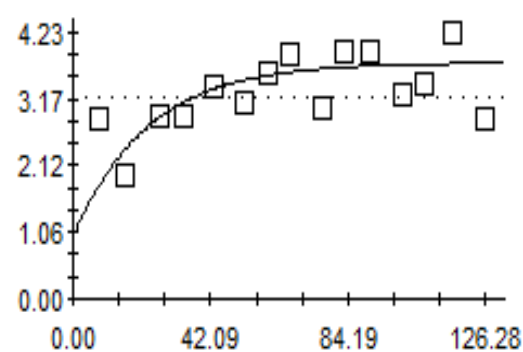
a



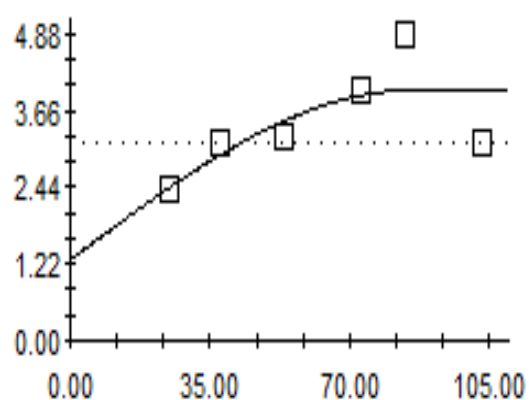
b



c



d



e

Variograma do índice relativo de clorofila aos 91/92 dapp da videira, nas respectivas densidades amostrais: 820 (a), 410(b), 180(c), 90(d) e 45(e).