

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO OESTE DO PARANÁ
CAMPUS DE CASCAVEL
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS – CCET
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

**VARIABILIDADE ESPACIAL E TEMPORAL DA PRODUTIVIDADE,
ATRIBUTOS DO SOLO, PLANTA E CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DE
FRUTOS EM UM POMAR DE PERAS**

MARCIA REGINA SIQUEIRA KONOPATZKI

CASCAVEL – PR
DEZEMBRO – 2011

MARCIA REGINA SIQUEIRA KONOPATZKI

**VARIABILIDADE ESPACIAL E TEMPORAL DA PRODUTIVIDADE,
ATRIBUTOS DO SOLO, PLANTA E CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DE
FRUTOS EM UM POMAR DE PERAS**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola em cumprimento parcial aos requisitos para obtenção do título de Doutor em Engenharia Agrícola, área de concentração em Engenharia de Sistemas Agroindustriais.

Orientador: Prof. Dr. Eduardo Godoy de Souza

Co-orientadora: Prof^ª. Dr^ª. Lúcia Helena Pereira Nóbrega

Co-orientadora: Prof^ª. Dr^ª. Sílvia Renata Machado Coelho

**CASCADEL – PR
Dezembro-2011**

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
Biblioteca Central do Campus de Cascavel – Unioeste
Ficha catalográfica elaborada por Jeanine da Silva Barros CRB-9/1362

K85v Konopatzki, Marcia Regina Siqueira
Variabilidade espacial e temporal da produtividade, atributos do solo,
planta e características físico-químicas de frutos em pomar de peras. /
Marcia Regina Siqueira Konopatzki — Cascavel, PR: UNIOESTE, 2011.
153 f. ; 30 cm.

Orientador: Prof. Dr. Eduardo Godoy de Souza
Coorientadora: Prof.^a Dr.^a Lúcia Helena Pereira Nóbrega
Coorientadora: Prof.^a Dr.^a Silvia renata Machado Coelho
Tese (Doutorado) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná.
Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Engenharia Agrícola,
Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas.
Bibliografia.

1. Fruticultura de precisão. 2. Geoestatística. 3. Mapas temáticos. I.
Universidade Estadual do Oeste do Paraná. II. Título.

CDD 21ed. 634.13

MARCIA REGINA SIQUEIRA KONOPATZKI

VARIABILIDADE ESPACIAL E TEMPORAL DA PRODUTIVIDADE, ATRIBUTOS DO SOLO, PLANTA E CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DE FRUTOS EM UM POMAR DE PERAS

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola em cumprimento parcial aos requisitos para obtenção do título de Doutor em Engenharia Agrícola, área de concentração Engenharia de Sistemas Agroindustriais, aprovada pela seguinte banca examinadora:

Orientador: Prof. Dr. Eduardo Godoy de Souza
Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, UNIOESTE

Prof. Dr. Walter Boller
Universidade de Passo Fundo, UPF

Prof. Dr. Tiago Silva
Universidade Estadual de Maringá, UEM

Prof^a. Dr^a. Maritane Prior
Universidade Estadual do Oeste do Paraná- UNIOESTE

Prof. Dr. Divair Christ
Universidade Estadual do Oeste do Paraná- UNIOESTE

Prof. Dr. Márcio Maggi
Universidade Estadual do Oeste do Paraná- UNIOESTE

Cascavel, 16 de dezembro de 2011

“... Todo mundo ama um dia, todo mundo chora,
um dia a gente chega, no outro vai embora....
cada um de nós compõe a sua história,
cada ser em si carrega o dom de ser capaz
de ser feliz....
... é preciso amor pra poder pulsar,
é preciso paz
pra poder sorrir,
é preciso a chuva para florir.”
Almir Sater

BIOGRAFIA

Marcia Regina Siqueira Konopatzki

Nascida aos 14 dias do mês de dezembro de 1961, em Curitiba-PR. Concluiu o ensino fundamental no Colégio Estadual do Paraná, em Curitiba, e o ensino médio no Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná, também em Curitiba, onde cursou Edificações.

É graduada em Engenharia Agrícola pela Universidade Estadual do Oeste do Paraná – *campus* de Cascavel, no ano de 2005.

Em 2008, obteve o título de Mestre em Engenharia Agrícola, área de concentração, Sistemas Agroindustriais, pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola – PGEAGRI da Universidade Estadual do Oeste do Paraná.

DEDICATÓRIA

Ao meu esposo, Luiz Augusto, com quem tenho dividido minhas alegrias e apreensões. Sem você não conseguiria alcançar metas importantes e comprovar que a vida sem amor não faz sentido.

Aos meus queridos filhos – Luiz Filho e Simone – que, incondicionalmente, sem mesmo perceberem, sempre apoiaram todas as minhas escolhas e, com tanto amor e dedicação, me permitiram chegar até aqui.

Amo muito vocês!

AGRADECIMENTOS

A DEUS, por me amparar nos momentos difíceis, me dar força interior para superar as dificuldades, mostrar os caminho nas horas incertas e me suprir em todas as minhas necessidades;

Ao meu orientador, EDUARDO GODOY DE SOUZA, e às minhas co-orientadoras, LÚCIA HELENA PEREIRA NÓBREGA e SÍLVIA RENATA MACHADO COELHO, pela amizade e pelo conhecimento transmitido no decorrer deste curso e principalmente pelo auxílio fundamental na elaboração deste trabalho;

À UNIOESTE, *campus* de Cascavel, em especial ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, pela oportunidade concedida para o crescimento profissional;

À CAPES, (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior), pelo apoio concedido para a concretização desse trabalho;

A todos os amigos e colegas, pelo apoio e amizade durante o curso e pelo auxílio no desenvolvimento desta pesquisa, em especial, FLÁVIO ANDERSON RODRIGUES, CLÁUDIO LEONES BAZZI, FERNANDO NAKAIAMA, CARLA MADRIL, DIEGO ALVES DOS SANTOS, ELOI GASPARIN, DAVI MARCONDES ROCHA e GRAZIELI SUSZEK, pela amizade, incentivo, apoio e colaboração;

Aos meus pais, AHIRTON e EDITH, meus irmãos, VERA, MARIA CRISTINA e MARCOS, pelo apoio constante, minha eterna gratidão;

Ao esposo, LUIZ AUGUSTO, pela constante colaboração nos trabalhos de campo bem como pelo companheirismo nos dias sem fim de trabalho;

Aos meus filhos, LUIZ FILHO E SIMONE, pelo apoio e compreensão;

Enfim, a todas as pessoas as quais, embora não citadas, contribuíram para a realização deste trabalho.

VARIABILIDADE ESPACIAL E TEMPORAL DA PRODUTIVIDADE, ATRIBUTOS DO SOLO, PLANTA E CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DE FRUTOS EM UM POMAR DE PERAS

RESUMO

O interesse por informações técnicas e econômicas dos países com potencial para a produção cresce com o aumento da demanda por frutas no mercado mundial. A fruticultura é, no Estado do Paraná, alternativa agrícola de potencial sucesso. Dentre as frutas de clima temperado, a pera (*pyrus communis*) é a terceira mais consumida e a mais importada pelo Brasil. O consumo atual é da ordem de 150 mil toneladas ao ano e a produção não atinge 10% do total consumido. A dimensão do mercado interno favorece iniciativas de aumento da produção nacional da fruta, ressaltando-se, contudo, limitações tecnológicas e econômicas para que se atinja tal objetivo. Dentre as tecnologias que visam agregar valor ao produto, destacam-se a PIF (Produção Integrada de Frutas) e a AP (Agricultura de Precisão). Essas técnicas em conjunto podem possibilitar um salto de qualidade na produção brasileira de frutas. Nos últimos anos, as pesquisas em agricultura de precisão têm focado em outras culturas, além dos cereais comumente pesquisados, dentre elas está a fruticultura de precisão. Assim, o objetivo deste trabalho foi estudar a variabilidade espacial e temporal da produtividade, dos atributos físicos e químicos do solo, da planta e as características físico-químicas de frutos em pomares de peras. A área experimental corresponde a 1,24 ha, localizada nas coordenadas geográficas 25°23'22" S, 52°34'15" O, com altitude média de 750 m, localizada no município de Nova Laranjeiras – PR. No talhão, foram cultivadas 146 pereiras da variedade Pera D'água. A variabilidade da produtividade dentro do pomar foi considerada muito alta, logo, caracteriza-se como uma grande heterogeneidade, mas há uma correlação linear muito fraca e fraca com todos os atributos físicos e químicos do solo e químicos da planta, e correlação linear e não linear moderada com o comprimento do fruto. Todas as variáveis estudadas apresentaram estrutura de dependência espacial, com exceção da macroporosidade, porosidade total (0-20 cm) e densidade do fruto, o que permite a aplicação localizada de fertilizantes. A metodologia de geração de unidade de manejo (UM) com produtividade normalizada foi a mais adequada por proporcionar distribuição mais apropriada das UMs quanto ao manejo da área.

Palavras-chave: fruticultura de precisão, geoestatística, mapas temáticos.

SPATIAL AND TEMPORAL VARIABILITY OF PRODUCTIVITY, SOIL AND PLANT PROPERTIES AND PHYSICOCHEMICAL CHARACTERISTICS OF FRUIT IN A PEAR ORCHARD

ABSTRACT

The concernment in technical and economic information from some countries grows with the increasing demand for fruits in the world trading. The horticulture, in Paraná state, is an agricultural alternative with a great potential for success. Among the fruits from mild weather, pear (*pyrus communis*) is the third most consumed and most imported by Brazil. The current consumption is nearly 150 thousand tons per year and production does not reach 10% of total consumption. The extent of the internal market encourages some efforts to increase the national production of fruit, emphasizing, however, technological and economic restrictions to the achievement of such goal. Among the technologies that aim at adding value to the product, IFP (Integrated Fruit Production) and PA (Precision Agriculture) can be highlighted. The association of these techniques can allow a qualitative increase in Brazilian fruits production. In recent years, researches in precision agriculture have been focused on other cultures, besides the cereals that have already been studied, there can be found Precision Horticulture. Thus, this trial aimed at studying spatial and temporal variability of yield as well as physical and chemical properties of soil, plant and physicochemical characteristics of fruits in a pear orchard. The experimental area has 1.24 ha, at coordinates 25° 23' 22" S; 52° 34' 15" W, with an average altitude of 750 m, in Nova Laranjeiras - PR. In the plot, 146 pear trees of *Pera D'água* variety were cropped. The yield variability in the orchard was considered as very high, being characterized as a great heterogeneity. On the other hand, there is a very weak and weak linear correlation with all physical and chemical properties of soil and the chemical characteristics of plants as well as a moderate linear and non-linear correlation with the fruit size. All the studied variables presented structure of spatial dependence, except macroporosity, total porosity (0-20 cm) and fruit density, which allows a site-specific fertilization. The methodology for generation of management zones (MZ) using standard yield was the best one since it has provided the most suitable distribution of MZ in relation to the area management.

Keywords: Precision horticulture, geostatistics, thematic maps

1 INTRODUÇÃO

O crescimento da demanda por frutas no mercado mundial está associado ao maior interesse por informações técnicas e econômicas dos países com potencial para a produção, que sirvam como base para tomada de decisão nos aspectos produtivo e comercial. Pela caracterização fundiária e ocupação populacional, formada em sua maioria de agricultores familiares, aliada ao clima e solo favoráveis, além de mercado consumidor promissor, no Paraná, a fruticultura é a alternativa agrícola de potencial sucesso. Portanto, todos os municípios paranaenses, onde a fruticultura se destaca entre as cinco maiores atividades da agropecuária, apresentaram a maior renda bruta gerada no campo e se tornaram prósperos nos últimos dez anos. Tal fato pode ser constatado pelo aumento na arrecadação e mesmo em municípios com vocação para o plantio de grãos, está ocorrendo o avanço do cultivo de frutas (AGÊNCIA ESTADUAL DE NOTÍCIAS, 2008).

Entre as frutas de clima temperado, a pera é a terceira mais consumida e a mais importada pelo Brasil. O consumo atual é da ordem de 150 mil toneladas ao ano, no entanto, o cultivo comercial de pereiras ainda é insignificante, já que a produção não atinge 10% do total consumido. A dimensão do mercado interno favorece iniciativas de aumento da produção nacional da fruta, contudo, existem limitações tecnológicas e econômicas para que se atinja tal objetivo. Assim, dentre as tecnologias que visam agregar valor ao produto destacam-se a PIF (produção integrada de frutas) e a AP (agricultura de precisão). Essas técnicas, em conjunto, podem possibilitar um salto de qualidade na produção brasileira de frutas.

A análise tradicional de experimentos de campo parte do princípio de que todas as observações tomadas em posições adjacentes (plantas ou parcelas vizinhas) não são correlacionadas. As variáveis são consideradas aleatórias e independentes entre si, ou seja, não exercem influência umas sobre as outras. Contudo, fenômenos naturais apresentam-se frequentemente com certa estruturação entre vizinhos. Desta forma, pode-se dizer que as variações não ocorrem inteiramente independentes e apresentam certo grau de dependência espacial.

As variabilidades espaciais e temporais dos atributos do solo e da planta, em geral, não são levadas em conta durante o cultivo agrícola, o qual opta, por razões de simplificação, pela aplicação de práticas homogêneas de manejo do solo na totalidade da área cultivada. Essa prática pode ocasionar o uso de insumos abaixo ou acima da real necessidade do campo de cultivo e, no caso da última, os custos de produção podem ser elevados ao longo dos anos, bem como serem contaminadas as águas superficiais e subterrâneas.

O mapeamento das várias propriedades do solo e árvores, obviamente importantes para a produção, não tem serventia, a menos que haja algum tipo de controle e aplicação dessas informações em atividades práticas. As respostas potenciais ao resultado dos mapas podem ser classificadas em duas categorias: estratégicas e táticas. Estratégicas são aquelas que se mostram relativamente permanentes e as respostas táticas são aquelas não permanentes. A produtividade e a eficiência de um pomar podem ser aumentadas a partir da operação de tais respostas de uma forma espacialmente variável (SCHUELLER; WHITNEY, 2000).

O estudo de novas estratégias de produção é justificado pela necessidade de validar sistemas de produção que viabilizem a permanência do produtor no mercado, com lucratividade do pomar e a preservação do meio ambiente. Torna-se então necessária a evolução tecnológica que incorpore técnicas e práticas culturais mais produtivas, aliadas ao respeito ao ambiente e à obtenção de frutas de melhor qualidade (MARTINS, 2001).

A agricultura de precisão tende a se tornar cada vez mais comum nas propriedades rurais. As tecnologias existentes já permitem que se tenha um grande conhecimento das variabilidades encontradas entre as diferentes áreas da propriedade, as quais proporcionam a tomada de decisões com base em dados mais precisos. Desta forma, o objetivo deste trabalho foi estudar a variabilidade espacial e temporal da produtividade, dos atributos físicos e químicos do solo, da planta e as características físico-químicas de frutos em pomar de peras.

SUMÁRIO

Resumo.....	vii
VARIABILIDADE ESPACIAL E TEMPORAL DA PRODUTIVIDADE, ATRIBUTOS DO SOLO, PLANTA E CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DE FRUTOS EM UM POMAR DE PERAS.....	vii
Abstract.....	viii
INTRODUÇÃO.....	ix
LISTA DE TABELAS.....	xiv
LISTA DE FIGURAS.....	xvi
Capítulo I	01
VARIABILIDADE ESPACIAL DE ATRIBUTOS DO SOLO, PLANTA E DA PRODUTIVIDADE EM UM POMAR DE PERAS.....	01
Resumo.....	01
Abstract.....	02
I.1 INTRODUÇÃO.....	03
I.2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	05
I.2.1 A fruticultura.....	05
I.2.2 A pera (<i>Pyrus communis</i>).....	06
I.2.3 Atributos físicos e químicos do solo.....	06
I.2.3.1 Atributos químicos das folhas.....	12
I.2.4 Nutrição e adubação de plantas frutíferas.....	13
I.2.5 Épocas de fertilização.....	14
I.2.6 Agricultura de precisão.....	15
I.2.6.1 Sistemas de informação geográfica (SIG) e o gerenciamento de informações em culturas perenes.....	16
I.2.7 Análise espacial da variabilidade.....	17
I.2.7.1 Variabilidade espacial das propriedades físicas do solo.....	18
I.2.7.2 Variabilidade espacial das propriedades químicas do solo.....	19
I.2.8 Geoestatística.....	20
I.3 MATERIAL E MÉTODOS.....	23
I.3.1 Avaliação das características químicas e físicas do solo.....	25
I.3.2 Avaliação das características químicas das plantas.....	26
I.3.3 Avaliação da Produtividade.....	26
I.3.4 Análise estatística.....	27
I.3.5 Análise geoestatística e mapas temáticos.....	27
I.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	29
I.4.1 Análise de macro e micronutrientes da planta.....	29
I.4.2 Análise de macro e micronutrientes do solo.....	35
I.4.3 Análise das propriedades físicas do solo.....	40

I.4.4	Análise da produtividade.....	43
I.4.5	Análise de correlação.....	44
I.4.6	Análise Geoestatística.....	47
I.4.7	Mapas temáticos.....	52
I.5	CONCLUSÕES.....	63
I.6	REFERÊNCIAS.....	64
Capítulo II		76
CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DOS FRUTOS DE PERA SOB ADUBAÇÕES DIFERENCIADAS.....		76
Resumo		76
Abstract.....		77
II.1	INTRODUÇÃO.....	78
II.2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	80
II.2.1	A fruticultura.....	80
II.2.1.1	A pera	81
II.2.2	Manejo do solo em pomares.....	81
II.2.3	Clima e fruticultura.....	82
II.2.4	Desenvolvimento floral.....	83
II.2.4.1	Indução Floral.....	83
II.2.5	Maturação dos frutos.....	84
II.2.6	Agricultura de precisão.....	86
II.2.7	Geoestatística.....	87
II.3	MATERIAL E MÉTODOS.....	90
II.3.1	Localização da área experimental.....	90
II.3.2	Cultura e adubação.....	91
II.3.3	Avaliação das características químicas e físicas dos frutos.....	93
II.3.4	Avaliação da Produtividade.....	93
II.3.5	Cronograma.....	93
II.3.6	Análise estatística.....	94
II.3.7	Análise geoestatística.....	95
II.3.8	Mapas temáticos.....	96
II.4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	97
II.4.1	Análise da produtividade.....	97
II.4.2	Análise Geoestatística.....	101
II.4.3	Análise de correlação.....	102
II.4.3.1	Coeficiente de correlação linear de Pearson (R).....	102
II.4.3.2	Coeficiente de correlação não-paramétrica de Spearman (Rs).....	103
II.4.4	Mapas temáticos.....	104

II.5	CONCLUSÕES.....	110
II.6	REFERÊNCIAS.....	111
	Capítulo III.....	117
	VARIABILIDADE ESPACIAL E TEMPORAL DA PRODUTIVIDADE EM UM POMAR DE PERAS.....	117
	Resumo.....	117
	Abstract.....	118
III.1	INTRODUÇÃO.....	119
III.2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	121
III.2.1	A cultura da pera.....	121
III.2.2	Agricultura de Precisão.....	121
III.2.3	Variabilidade espaço temporal.....	122
III.2.3.1	Análise espacial da variabilidade.....	123
III.2.4	Geoestatística.....	124
III.2.4.1	Interpolação.....	126
III.2.5	Unidades de manejo.....	127
III.2.5.1	Técnicas de definição de unidades de manejo.....	128
III.2.5.2	Métodos empíricos.....	129
III.2.6	Avaliação de unidades de manejo.....	131
III.3	MATERIAL E MÉTODOS.....	132
III.3.1	Caracterização da área experimental.....	132
III.3.2	Avaliação da produtividade.....	133
III.3.3	Análise exploratória e estatística descritiva.....	133
III.3.4	Análise geoestatística e mapas temáticos.....	133
III.3.5	Definição de unidades de manejo.....	134
III.3.6	Geração de Unidades de Manejo.....	134
III.3.7	Avaliação de unidades de manejo.....	135
III.4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	136
III.4.1	Análise Estatística Descritiva.....	136
III.4.1	Análise geoestatística.....	137
III.4.2	Mapas temáticos.....	137
III.4.3	Avaliação das Unidades de Manejo.....	141
III.5	CONCLUSÕES.....	145
III.6	REFERÊNCIAS.....	146
	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	152
	CONCLUSÕES GERAIS.....	153

LISTA DE TABELAS

		Página
Tabela I.1	Precipitação pluvial, umidade relativa, temperatura máxima e mínima, referentes a três safras ¹	24
Tabela I.2	Níveis para correlação linear de Pearson.....	27
Tabela I.3	Estatística descritiva das propriedades químicas da folha em pomar de peras, Nova Laranjeiras - PR (2009, 2010, 2011).....	29
Tabela I.4	Coeficiente de variação, assimetria e curtose e teste de normalidade reclassificados em função do ano de ensaio e sistema de adubação em pomar de peras, Nova Laranjeiras - PR (2009, 2010, 2011).....	30
Tabela I.5	Níveis de interpretação dos atributos químicos das folhas com a porcentagem encontrada em cada faixa, em pomar de peras, Nova Laranjeiras - PR (2009, 2010, 2011).....	31
Tabela I.6	Estatística descritiva das propriedades químicas do solo em pomar de peras, Nova Laranjeiras - PR (2009, 2010, 2011).....	35
Tabela I.7	Níveis de interpretação dos teores dos atributos químicos do solo com a porcentagem encontrada em cada faixa, em pomar de peras, Nova Laranjeiras - PR (2009 e 2010).....	36
Tabela I.8	Coeficiente de variação, assimetria, curtose e teste de normalidade reclassificados em função do ano de ensaio, em pomar de peras, Nova Laranjeiras - PR (2009 e 2010).....	39
Tabela I.9	Resultados da análise estatística descritiva para alguns atributos físicos do solo, em pomar de peras, Nova Laranjeiras - PR (2010).....	40
Tabela I.10	Coeficiente de variação, assimetria e curtose e teste de normalidade reclassificados em função da profundidade em pomar de peras, Nova Laranjeiras - PR (2010).....	43
Tabela I.11	Estatística descritiva das produtividades em kg ha ⁻¹ , em pomar de peras, Nova Laranjeiras - PR (2009, 2010 e 2011).....	44
Tabela I.12	Correlação linear de Pearson para os atributos químicos do solo e produtividade para o ano de 2010, em pomar de peras, Nova Laranjeiras - PR.....	45
Tabela I.13	Correlação linear de Pearson para os atributos físicos do solo e produtividade, em pomar de peras, Nova Laranjeiras - PR (2010).....	46
Tabela I.14	Correlação linear de Pearson para os atributos químicos da folhas e produtividade em pomar de peras, Nova Laranjeiras - PR (2011).....	47
Tabela I.15	Modelos e parâmetros estimados dos semivariogramas para os atributos químicos da folha em pomar de peras, Nova Laranjeiras - PR (2009, 2010 e 2011).....	48
Tabela I.16	Modelos e parâmetros estimados dos semivariogramas para os atributos químicos do solo em pomar de peras, Nova Laranjeiras - PR (2009 e 2010).....	49
Tabela I.17	Modelos e parâmetros estimados dos semivariogramas experimentais para as variáveis microporosidade, densidade do solo, macroporosidade, porosidade total, teor de água, resistência do solo a penetração, argila, silte e areia, de amostras coletadas nas profundidades de 0 - 20 e 20 - 40 cm, em pomar de peras, Nova Laranjeiras - PR(2010).....	50
Tabela I.18	Modelos e parâmetros estimados dos semivariogramas experimentais para a produtividade em pomar de peras, Nova Laranjeiras - PR (2009, 2010, 2011).....	52
Tabela II.1	Precipitação pluvial, umidade relativa, temperatura máxima e mínima,	91

	referentes a duas safras ¹ para a região de Nova Laranjeiras - PR.....	
Tabela II.2	Níveis para correlação linear de Pearson e Spearman.....	95
Tabela II.3	Estatística descritiva das produtividades (Kg ha ⁻¹) em pomar de peras Nova Laranjeiras - PR.....	97
Tabela II.4	Estatística descritiva dos parâmetros físico-químicos dos frutos em pomar de peras Nova Laranjeiras - PR.....	99
Tabela II.5	Coeficiente de variação, assimetria, curtose e teste de normalidade reclassificados em função do ano de ensaio e sistema de adubação em pomar de peras Nova Laranjeiras - PR.....	100
Tabela II.6	Modelos e parâmetros estimados dos semivariogramas experimentais para a produtividade (kg ha ⁻¹) em pomar de peras, Nova Laranjeiras - PR.....	101
Tabela II.7	Modelos e parâmetros estimados dos semivariogramas experimentais para os parâmetros físico-químicos dos frutos em pomar de peras Nova Laranjeiras - PR.....	102
Tabela II.8	Correlação linear de Pearson para a produtividade e os parâmetros de qualidade dos frutos para o ano de 2010 em pomar de peras Nova Laranjeiras - PR.....	103
Tabela II.9	Correlação linear de Pearson para a produtividade e os parâmetros de qualidade dos frutos para o ano de 2011 em pomar de peras Nova Laranjeiras - PR.....	103
Tabela II.10	Correlação não paramétrica de Spearman para a produtividade e os parâmetros de qualidade dos frutos para o ano de 2010 AC em pomar de peras Nova Laranjeiras - PR.....	104
Tabela II.11	Correlação não paramétrica de Spearman para a produtividade e os parâmetros de qualidade dos frutos para o ano de 2011 em pomar de peras Nova Laranjeiras - PR.....	104
Tabela III.1	Classificação (quatro classes) de unidades de manejo de acordo com a produtividade normalizada e o coeficiente de variação.....	129
Tabela III.2	Classificação de unidades de manejo de acordo com a produtividade padronizada e o coeficiente de variação.....	130
Tabela III.3	Intervalos para avaliar o Índice de dependência espacial (IDE).....	134
Tabela III.4	Resultados da análise estatística descritiva para os dados de produtividade (kg ha ⁻¹) do pomar de peras, para os anos de 2007 a 2011, Nova Laranjeiras – PR.....	136
Tabela III.5	Modelos e parâmetros estimados dos semivariogramas experimentais para a produtividade (kg ha ⁻¹) em pomar de peras Nova Laranjeiras - PR.....	137
Tabela III.6	Percentual de área ocupada em cada classe de classificação do mapa de contorno das unidades de manejo para a produtividade normalizada.....	140
Tabela III.7	Percentual de área ocupada em cada classe do mapa de contorno das unidades de manejo para a produtividade padronizada.....	141
Tabela III.8	Estatística descritiva e eficiência relativa dos dados de produtividade normalizada separados por unidade de manejo em pomar de peras Nova Laranjeiras - PR.....	141
Tabela III.9	Estatística descritiva e eficiência relativa dos dados de produtividade padronizada separados por unidade de manejo em pomar de peras Nova Laranjeiras - PR.....	142

LISTA DE FIGURAS

		Página
Figura I.1	Semivariograma e seus componentes.....	21
Figura I.2	Imagem da área experimental obtida pelo programa computacional Google Earth 4.3 (2009).	23
Figura I.3	Localização dos pontos de amostragem	24
Figura I.4	Localização dos pontos de amostragem para os sistemas AP e AC	25
Figura I.5	Cronograma do experimento.....	26
Figura I.6	Distribuição espacial da textura do solo (argila, areia, e silte) e da altitude em pomar de peras, Nova Laranjeiras - PR.....	53
Figura I.7	Distribuição espacial dos atributos físicos do solo de amostras coletadas na malha nas profundidades de 0-20 e 20-40 cm em pomar de peras, Nova Laranjeiras - PR.....	54
Figura I.8	Distribuição espacial do atributo químico carbono no solo em pomar de peras, Nova Laranjeiras - PR.....	55
Figura I.9	Distribuição espacial do atributo químico fósforo no solo em pomar de peras, Nova Laranjeiras - PR.....	56
Figura I.10	Distribuição espacial do atributo químico potássio no solo em pomar de peras, Nova Laranjeiras - PR.....	56
Figura I.11	Distribuição espacial do atributo químico cobre no solo em pomar de peras, Nova Laranjeiras - PR.....	57
Figura I.12	Distribuição espacial do atributo químico nitrogênio nas folhas em pomar de peras, Nova Laranjeiras - PR.....	58
Figura I.13	Distribuição espacial do atributo químico fósforo nas folhas em pomar de peras, Nova Laranjeiras - PR.....	59
Figura I.14	Distribuição espacial do atributo químico potássio nas folhas em pomar de peras, Nova Laranjeiras - PR.....	60
Figura I.15	Distribuição espacial do atributo químico cobre nas folhas em pomar de peras, Nova Laranjeiras - PR.....	61
Figura I.16	Distribuição espacial da produtividade (kg ha ⁻¹) para os anos de 2009, 2010, 2011 AP e 2011 AC em pomar de peras, Nova Laranjeiras - PR.....	62
Figura II.1	Figura 01 Imagem da área experimental obtida pelo programa computacional Google Earth 4.3 (2009).....	90
Figura II.2	Gráfico da variação mensal da precipitação, umidade relativa e temperatura máxima e mínima para as safras 2009/10 e 2010/11 para a região de Nova Laranjeiras - PR.....	91
Figura II.3	Cronograma do experimento em pomar de peras, Nova Laranjeiras - PR.....	94
Figura II.4	Distribuição espacial do atributo comprimento do fruto em pomar de peras Nova Laranjeiras - PR.....	105
Figura II.5	Distribuição espacial do atributo diâmetro do fruto em pomar de peras Nova Laranjeiras - PR.....	106
Figura II.6	Distribuição espacial do atributo SST em pomar de peras Nova Laranjeiras - PR.....	107
Figura II.7	Distribuição espacial do atributo pH em pomar de peras Nova Laranjeiras - PR.....	107
Figura II.8	Distribuição espacial da densidade do fruto em pomar de peras Nova Laranjeiras - PR.....	108
Figura II.9	Distribuição espacial da produtividade em pomar de peras Nova Laranjeiras - PR.....	109

Figura III.1	Parâmetros do semivariograma experimental.....	125
Figura III.2	Localização dos pontos de amostragem (AC).....	132
Figura III.3	Localização dos pontos de amostragem (AP e AC).....	133
Figura III.4	Box-Plot para os dados de produtividade em pomar de peras (2007 a 2011), Nova Laranjeiras – PR.....	137
Figura III.5	Mapas de contorno da produtividade normalizada e padronizada para as safras de 2007 a 2011 em pomar de peras Nova Laranjeiras - PR...	138
Figura III.6	Mapa de contorno da produtividade média normalizada e padronizada em pomar de peras Nova Laranjeiras - PR.....	139
Figura III.7	Mapa de contorno do coeficiente de variação da produtividade normalizada e padronizada equivalente em pomar de peras Nova Laranjeiras-PR.....	139
Figura III.8	Mapa da unidade de manejo normalizada da área estudada com 4 classes de unidade em pomar de peras Nova Laranjeiras-PR.....	140
Figura III.9	Mapa da unidade de manejo padronizada da área estudada com 4 classes de unidade em pomar de peras Nova Laranjeiras-PR.....	140
Figura III.10	Gráfico Box-Plot separado por unidade de manejo para os dados de produtividade normalizada em pomar de peras Nova Laranjeiras - PR.	143
Figura III.11	Gráfico Box-Plot separado por unidade de manejo para os dados de produtividade padronizada em pomar de peras Nova Laranjeiras - PR.....	144

CAPÍTULO I

VARIABILIDADE ESPACIAL DE ATRIBUTOS DO SOLO, PLANTA E DA PRODUTIVIDADE EM UM POMAR DE PERAS

RESUMO

A fisiologia das plantas, a qualidade dos frutos, a produtividade e as propriedades químicas e físicas do solo são diretamente afetadas pelo sistema de manejo. Para as plantas frutíferas, a adubação é normalmente recomendada em função da análise de solo e de folhas, portanto, adota-se um valor padrão para todo o pomar. Este procedimento pode levar a desequilíbrios não desejáveis às plantas e ao agroecossistema local. Neste contexto, o objetivo deste trabalho foi mapear a variabilidade espacial de atributos do solo, planta e da produtividade em uma área comercial de produção de peras e investigar a resposta da produtividade frente à adubação diferenciada com macronutrientes. Assim, o experimento foi conduzido no município de Nova Laranjeiras-PR, onde foram selecionadas 36 árvores que receberam adubação convencional (AC) e outras 36 que receberam adubação localizada (AP). Foram realizadas avaliações dos atributos químicos e físicos do solo, tecido foliar e produtividade. Com exceção da macroporosidade (0-20 cm; 20-40 cm) e da porosidade total (0-20 cm) as demais variáveis estudadas apresentaram estrutura de dependência espacial, contudo, isso permite a aplicação localizada de fertilizantes. Para todas as determinações (2009, 2010 e 2011), a variabilidade da produtividade foi considerada muito alta, caracterizando uma grande heterogeneidade dentro do pomar. A produtividade do sistema AP foi pouco maior (2.625 kg ha^{-1}) que o sistema AC (2.548 kg ha^{-1}). A produtividade apresentou correlação linear muito fraca e fraca com todos os atributos físicos e químicos do solo e químicos da planta. Como exceção, houve correlação moderada da produtividade com o cobre.

Palavras-chave: fruticultura de precisão, adubação diferenciada, mapas temáticos

SPATIAL VARIABILITY OF SOIL, PLANT AND YIELD ATTRIBUTES IN A PEAR ORCHARD

ABSTRACT

The physiology of plants, fruits quality, yield, chemical and physical soil properties are directly affected by the management system. For fruiting trees, fertilization is usually recommended based on the analyses of soil and leaves, adopting a standard value for the whole orchard. This management can lead to undesirable imbalances to the plants and local agroecosystem. Thus, this trial aimed at mapping the spatial variability of properties of soil, plant and yield in a commercial area of pears production and investigating the yield response to a distinguished fertilization with macronutrients. So, the trial was carried out in Nova Laranjeiras-PR, where 36 trees were selected to receive conventional fertilization (CF) and other 36 trees received a site-specific fertilization (SF). Evaluations were made to record chemical and physical attributes of soil, leaf tissue and yield. Except for macroporosity (0-20 cm, 20-40 cm) and total porosity (0-20 cm), all variables showed some spatial dependence structure, but this allows site-specific fertilization. For all studied determinations (2009, 2010 and 2011), yield variability was considered very high. This suggests a great heterogeneity in the orchard. The yield of PA system was slightly higher ($2,625 \text{ kg ha}^{-1}$) and took up a larger area (59%) when compared to SF system ($2,548 \text{ kg ha}^{-1}$ at 41% area). The studied yield registered a very weak linear correlation and a weak one with all the physical and chemical properties of soil and chemical ones for the plants. As an exception, there was a moderate correlation of yield with copper.

Keywords: distinguished fertilization, precision horticulture, thematic maps

I.1 INTRODUÇÃO

A fruticultura de clima temperado destaca-se entre as atividades agrícolas pelo desenvolvimento de práticas culturais intensivas. As alternativas para manejo dos pomares são também condicionadas pela forma de cultivo adotado, sendo no caso da fruticultura destacados os sistemas convencional e orgânico de produção, os quais diferem em termos de insumos e práticas culturais (RIBEIRO, 2003).

A crescente preocupação quanto aos aspectos toxicológicos dos agrotóxicos e a possibilidade de contaminação dos produtos agrícolas têm levado muitos países a estabelecer programas de vigilância ou de monitoramento, com execução de análises freqüentes e programadas em alimentos. Preocupação que se estende também à qualidade nutricional, microbiológica e sensorial dos alimentos, alterada em função do sistema de cultivo de determinadas culturas, sendo estas características fortemente influenciadas pelos atributos físicos, químicos e biológicos do solo.

Saber como tais características são influenciadas pelo manejo é de fundamental importância, pois permite inferir sobre o potencial produtivo e a capacidade de uso destes solos. O melhor entendimento dos mecanismos que alteram os atributos do solo em diferentes sistemas de produção auxiliará na escolha de práticas de manejo que melhorem o rendimento e reduzam a degradação do solo na cultura (ROSA, 2010).

O sistema convencional de produção apresenta função importante na produção de alimentos, mas é dependente do aporte de insumos químicos como fertilizantes e pesticidas. Essas práticas agrícolas trazem preocupações em relação ao ambiente e à saúde pública, levando ao interesse por práticas agrícolas alternativas.

À medida que os solos vão sendo trabalhados com máquinas e implementos pesados fazendo uso de insumos industrializáveis, consideráveis alterações químicas e físicas vão ocorrendo. Além disso, o manejo convencional apresenta alto custo de produção, devido, principalmente, à dependência por recursos não renováveis, tanto para a manutenção de altos níveis de fertilidade do solo, quanto pelo excessivo número de aplicações de agrotóxicos utilizados no controle fitossanitário (MALUCHE, 2004).

A aplicação localizada de insumos agrícolas é uma abordagem que tem sido crescentemente adotada a partir da década de 90, sendo uma das principais metas da agricultura de precisão (AP). A AP pode ser definida como um conjunto de métodos, técnicas e tecnologias aplicadas ao gerenciamento de pequenas unidades espaciais de produção. Tem por princípio básico o manejo da variabilidade dos solos e das culturas no espaço e no tempo (COELHO, 2003). Seus principais objetivos são otimizar a utilização de insumos e minimizar os prováveis impactos negativos sobre o meio ambiente e saúde

humana. Seus principais instrumentos de decisão são os mapas de variabilidade espacial, os quais indicam o comportamento geográfico do fenômeno (BIFFI; RAFAELI NETO, 2008).

A AP pressupõe a aplicação no local correto e no momento adequado, das quantidades de insumos necessários à produção agrícola, para áreas cada vez menores e mais homogêneas, tanto quanto a tecnologia e os custos envolvidos permitirem. Para sua viabilização, necessita-se investigar a variabilidade espacial e temporal das variáveis envolvidas, os fatores limitantes (físicos, químicos e biológicos), bem como propor diferenciadas alternativas de manejo de acordo com a necessidade de cada sub-região da lavoura (DOBERMANN; PING, 2004).

O conhecimento detalhado da variabilidade espacial dos atributos da fertilidade pode otimizar as aplicações localizadas de corretivos e fertilizantes, portanto, pode melhorar dessa maneira o controle do sistema de produção das culturas, bem como reduzir os custos gerados pela alta aplicação de insumos e a degradação ambiental provocada pelo excesso destes nutrientes (ROCHA; LAMPARELLI, 1998). O manejo pode alterar os atributos químicos, físicos, mineralógicos e biológicos, com impacto principalmente nas camadas superficiais do solo (MARQUES JÚNIOR et al., 2000).

Neste contexto, o objetivo deste trabalho foi mapear a variabilidade espacial de atributos do solo, planta e da produtividade em uma área comercial de produção de peras.

I.2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

I.2.1 A Fruticultura

A fruticultura contribui de várias maneiras para o crescimento da economia brasileira. É fonte de alimentação, geradora de emprego para a população. Considerando-se que cada hectare plantado com fruticultura gera, em média, dois empregos diretos e que o Brasil tem uma área plantada com fruticultura em torno de 2,5 milhões de hectares, chega-se à estimativa de cinco milhões de empregos diretos gerados dentro da propriedade agrícola. Além disso, é geradora de divisas uma vez que as exportações de suco de laranja geram cerca de dois bilhões de dólares e outros 900 milhões com as exportações de frutas frescas e secas. Já o valor da produção da fruticultura é superior a 10 bilhões de reais anuais (EMBRAPA, 2008).

A fruticultura de clima temperado tem grande importância econômica na região Sul do Brasil. Nos últimos anos, houve uma expansão da área plantada e a macieira é a cultura que mais cresceu, logo, o Brasil passou de importador para exportador de maçã. O pêssego teve sua expansão limitada, ao passo que a ameixeira e a pereira são duas culturas que devem apresentar aumento significativo de área de cultivo nos próximos anos. Porém, a carência de informações sobre aspectos ligados ao manejo da fertilidade do solo, de insumos e da exigência nutricional das plantas frutíferas, impede que o Brasil se destaque nessa área do agronegócio (TODA FRUTA, 2006).

O potencial de crescimento do Brasil no mercado externo de frutas é muito grande. O País dá os primeiros passos para se tornar um forte exportador de frutas e derivados. Assim, o fato de o Brasil ser um dos poucos países que tem condições potenciais de área disponível e de diversidade de frutas para atender ao crescimento da demanda externa por frutas e derivados traz grande alento ao setor frutícola brasileiro. A principal meta do setor de frutas brasileiro é consolidar-se no mercado internacional, não apenas como produtor de frutas tropicais, mas também de frutas subtropicais e de clima temperado, bem como de seus derivados. Para isso, é preciso capacitar o setor e expandir suas fronteiras agrícolas, sem deixar de lado a imagem de confiabilidade, continuidade e diversidade das frutas brasileiras para todo o Planeta (ABANORTE, 2008).

Embora a pereira tenha sido introduzida no Brasil há décadas, sua importância comercial é muito restrita. O consumo interno é, na maioria, abastecido por produtos importados do Chile, Argentina, Espanha, Portugal e Estados Unidos. Apesar de ser um mercado potencial, a área cultivada é pequena e estima-se haver cerca de 500 ha nas regiões tradicionais de Santa Catarina e Rio Grande do Sul. A falta de adaptação do

material genético, o abortamento das gemas, a compatibilidade de polinizadoras/cultivares e de porta-enxertos adaptados ao solo e o clima são os principais problemas para o desenvolvimento da cultura, além de pragas e doenças (EMBRAPA, 2003).

I.2.2 A pera (*Pyrus communis*)

Frutífera da família *Rosaceae*, é exigente em tratos culturais, típica de clima temperado, de origem euro-asiática, com referências à Europa Central, China e Indonésia. Depende de bastante frio no inverno para produzir a contento (mais de 700 horas $\leq 7,2$ °C). No Brasil, o cultivo é feito com sucesso na região Sul e em escala modesta, em áreas com altitude acima de 600 m, a produção da pera ocorre no Espírito Santo, Rio de Janeiro e Minas Gerais. O plantio deve ser feito com base em mudas enxertadas dos melhores cultivares disponíveis. Os frutos podem ser consumidos tanto *in natura* como industrializados, em compotas, sucos e adicionados em iogurtes. A colheita é realizada no período de dezembro a abril. As safras consideradas comerciais são obtidas a partir do quinto ano de instalação do pomar. Colhem-se os frutos 'de vez', indicados pela coloração e a colheita é manual, em cestas ou caixas (RURALNET, 2006).

A produção brasileira de pera, na média do período de 2001 a 2005, foi de aproximadamente 20 mil toneladas, com destaque para o Rio Grande do Sul como o principal produtor, com 45,7% do total. O restante dividiu-se entre os Estados de São Paulo (22,8%), Paraná (10,9%), Santa Catarina (10,0%), Minas Gerais (9,4%) e Rio de Janeiro (1,2%). A produção brasileira de pera é pequena quando comparada à potencialidade do País e das várias tentativas realizadas, portanto, é preciso incentivar o aumento da produção e o maior desenvolvimento da cultura (FIORAVANÇO, 2007).

A pera é a fruta fresca, importada em maior quantidade pelo Brasil. Em 2008, foram importadas mais de 139 mil toneladas e gastos da ordem de US\$ 120.600.000,00. No Brasil, são produzidas aproximadamente 17 mil toneladas ano⁻¹, numa área de 1650 ha, enquanto o consumo é da ordem de 130 mil toneladas (IBRAF, 2010).

I.2.3 Atributos físicos e químicos do solo

A física de solos estuda e define, qualitativa e quantitativamente, as propriedades físicas bem como sua medição, predição e controle, com o objetivo principal de entender os mecanismos que governam a funcionalidade dos solos e seu papel na biosfera. A importância prática de se entender o comportamento físico do solo está associada ao seu uso e manejo apropriado, ou seja, orientar irrigação, drenagem, preparo e conservação (REINERT; REICHERT, 2006).

Os atributos físicos do solo dizem respeito à capacidade de absorver e reter água, de circular o ar e à facilidade que oferece para a penetração das raízes das plantas (PENTEADO, 2007). A quantificação de atributos como a densidade e a porosidade do solo é fundamental para as questões relacionadas ao manejo agrícola e indica se o solo apresenta condições adequadas para o desenvolvimento e exploração das raízes e se há problemas de compactação (RAMIREZ-LOPEZ et al., 2008; STRUDLEY et al., 2008).

Uma das principais alterações do solo está relacionada à sua estrutura, uma vez que o seu equilíbrio é dependente do processo de agregação (SILVA, et al. 2000). Estrutura do solo é a propriedade física mais relacionada à degradação e recuperação dos mesmos e apresenta grande dinamicidade no tempo em função do manejo (REINERT, 1998).

Segundo Resende et AL. (2002), a estrutura do solo é dada pela agregação das partículas primárias - argila, silte e areia, juntamente com a matéria orgânica - em unidade maiores-agregados que em geral, pode fornecer ao solo seis tipos de estruturas: grânulos, grumos, blocos, prismas, colunas e laminar. Do ponto de vista agrícola, a manutenção de uma boa estabilidade de agregados, conseqüentemente, a formação da boa estrutura do solo é condição primordial para garantir altas produtividades (PERIN et al., 2002).

As alterações físicas do solo são causadas pelas práticas de manejo e consistem da redução do diâmetro médio dos agregados (NUERNBERG et al., 1986), da estabilidade de agregados (OLIVEIRA et al., 2001) da macroporosidade, do aumento da microporosidade (CUNHA et al., 2001), bem como do aumento da densidade do solo (ARAÚJO et al., 2007).

Segundo Araújo et al. (2004), um solo degradado pode apresentar, além da redução da quantidade de água disponível, uma menor taxa de difusão de oxigênio e maior resistência do solo à penetração, as quais podem influir no crescimento das plantas e, conseqüentemente, na disponibilidade de água no solo. Dessa forma, a caracterização dos efeitos dos sistemas de uso e manejo sobre a degradação e qualidade física do solo é mais bem quantificada por medidas integradoras dessas modificações.

A densidade do solo é de grande importância para os estudos agrônômicos, pois permite avaliar atributos como porosidade, condutividade hidráulica, difusividade do ar, além de ser utilizada como indicador do estado da compactação do solo (KIEHL, 1979). Pela estreita relação com outros atributos, a maioria das pesquisas converge para o fato de que, com o seu aumento, ocorre diminuição da porosidade total, macroporosidade, condutividade hidráulica, absorção iônica e o conseqüente aumento da microporosidade e da resistência mecânica do solo à penetração (ROSA FILHO et al. 2009).

De acordo com Thimóteo et al. (2001), os poros totais do solo constituem-se de macro e microporos, em que o aumento de um reduzirá a quantidade do outro. A diminuição da macroporosidade poderá ocasionar aumento de densidade do solo, diminuição de infiltração de água e, conseqüentemente, maior suscetibilidade do solo à erosão.

Bicalho (2011) estudou as condições físicas do solo sob diferentes sistemas de uso e manejo, em função da densidade do solo, densidade de partículas e densidade pelo método do torrão parafinado. O sistema de manejo que apresentou a maior densidade de partícula nas duas profundidades foi o pomar ($3,15 \text{ kg dm}^{-3}$) e ($3,28 \text{ kg dm}^{-3}$), respectivamente.

De modo geral, o solo mantido em estado natural, sob vegetação nativa, apresenta atributos físicos como permeabilidade, estrutura, densidade do solo e porosidade, os quais são adequados ao desenvolvimento normal de plantas (ANDREOLA et al., 2000). Nessas condições, o volume de solo explorado pelas raízes é relativamente grande. À medida que o solo é submetido ao uso agrícola, os atributos físicos sofrem alterações, geralmente desfavoráveis ao desenvolvimento vegetal (SPERA, 2004).

Thimoteo et al. (2001) avaliaram as alterações da porosidade e densidade do solo de um Latossolo Vermelho Distrófico, sob dois sistemas de manejo do solo: plantio direto e preparo convencional e concluíram que o sistema de plantio direto apresentou, na profundidade de 0,10 – 0,20 m, maiores valores de densidade e microporosidade do solo, quando comparados com o plantio convencional e mata. Esses resultados podem estar relacionados ao baixo teor encontrado de matéria orgânica e ao pouco tempo de adoção do sistema de plantio direto.

De acordo com Cintra; Coelho (1987), a redução das operações mecanizadas nas entrelinhas dos pomares e a utilização de herbicida pós-emergente à base de glifosato, para o controle das plantas espontâneas nas linhas, devem ser a melhor opção para redução da densidade do solo, aumento dos macroporos (aeração), da infiltração da água e, conseqüentemente, do seu armazenamento.

Dalben; Osaki (2008) avaliaram os atributos físicos de acordo com o grau de resistência à penetração do solo em dois ecossistemas florestais: cultivado e natural. A resistência à penetração do solo, com exceção da camada de 0-5 cm, foi maior para o ecossistema povoamento com *Pinus taeda*. O ecossistema Floresta Nativa apresentou teor de umidade superior em todas as profundidades quando comparado ao do ecossistema povoamento com *Pinus taeda*.

De acordo com Assis (2008), a fase líquida do solo é composta essencialmente de água e contém minerais dissolvidos e substâncias orgânicas solúveis. A parte líquida ocupa parte ou quase todo o espaço vazio entre as partículas sólidas, de acordo com a umidade do solo. A porosidade, arejamento, a resistência à penetração e o teor de água são sempre inter-relacionados, portanto, influem decisivamente no crescimento radicular.

Pereira et al. (2010), ao avaliarem a influência do sistema de manejo agrícola adotado sobre alguns atributos físicos e a curva de retenção de água em um solo cultivado com melão por cinco anos consecutivos, concluíram que o uso de práticas agrícolas de

manejo de solo influenciou a densidade do solo, porosidade total, microporosidade, conteúdo de água disponível, capacidade de campo e o ponto de murcha permanente.

As plantas arbóreas têm sistema radicular profundo, mas as raízes ativas e responsáveis pela absorção de aproximadamente 80% dos nutrientes localizam-se até 15 cm de profundidade. As raízes profundas são importantes para sustentação da estrutura arbórea e absorção de água. Por isso, as áreas destinadas ao cultivo dessas espécies não devem apresentar impedimentos físicos nem químicos, e o lençol freático não deve ser superficial (TEDESCO et al., 2004).

A presença de elementos minerais no solo exerce importante influência no florescimento e na fixação dos frutos. Dos elementos minerais existentes no solo e que são utilizados pelas plantas para satisfazer as suas necessidades, destacam-se: nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, enxofre, zinco, cobre, ferro, manganês, boro e molibdênio. As espécies apresentam necessidades específicas. Muitas vezes torna-se difícil separar a influência exercida pelos elementos contidos nas plantas daquela exercida pelos elementos essenciais do solo. Por exemplo, o excesso de cálcio poderá afetar a absorção de boro ou de fósforo ou ainda apresentar clorose, devido à ausência de ferro, zinco e manganês (SIMÃO, 1998).

Os solos, por serem sistemas dinâmicos e abertos, estão em constante modificação, constituindo assim corpos heterogêneos com ampla variação de propriedades químicas. Eles podem ser naturalmente férteis ou se tornarem férteis pelo manejo adequado. Da mesma forma, esse manejo pode modificar a 'reação do solo' que expressa, em termos de pH, condições de acidez ou alcalinidade dos solos. O pH do solo influencia, de forma indireta, o desenvolvimento das culturas, sendo evidenciado por meio das mudanças que provoca na solubilidade dos elementos essenciais e tóxicos existentes no solo, assim, altera a disponibilidade dos mesmos, e, a atividade e diversidade de microrganismos do solo (CHAVES et al., 2006).

As alterações químicas do solo envolvem a perda de nutrientes por lixiviação, taxa de mineralização da matéria orgânica (MO), o que pode diminuir as cargas que poderiam reter os nutrientes (GIANELLO et al., 1995). Outro indicador destas alterações refere-se ao teor de metais pesados, devido às sucessivas aplicações de defensivos, em especial os cúpricos, muito utilizados para o controle de doenças na cultura da macieira (WANG et al., 2009).

Existem indicadores químicos do solo que podem ser usados para diagnosticar a sua capacidade em promover o desenvolvimento das plantas, mantendo sua produtividade e qualidade ambiental. Os indicadores químicos cujas alterações se dão rapidamente no tempo de acordo com o manejo são: acidez, a disponibilidade de nutrientes, a capacidade

de troca de cátions (CTC), saturação por Alumínio e saturação por bases (MARTINAZZO, 2006).

Os atributos químicos do solo (pH, teor de nutrientes, capacidade de troca iônica, condutividade elétrica e matéria orgânica) são, ao lado da atividade biológica, responsáveis pelos principais mecanismos de atenuação de poluentes nesse meio. Entre eles podem ser destacadas a adsorção, a fixação química, a precipitação, a oxidação, a troca e a neutralização que invariavelmente ocorrem no solo e através do manejo de seus atributos podem ser incrementados. A matéria orgânica pode ajudar no aquecimento do solo, no suprimento de nutriente para as plantas, permite troca de gases, estabiliza a estrutura e aumenta a permeabilidade (CETESB, 2001).

O acúmulo de material orgânico no solo tem se mostrado como grande aliado, pois ajuda a melhorar a produtividade e a saúde do pomar, já que esses resíduos contribuem para o aumento da CTC e do volume de raízes no pomar (RIBEIRO, 2008). Com o aumento da matéria orgânica, há o aumento da Capacidade de Troca Catiônica (CTC), que é a capacidade do solo em armazenar nutrientes disponíveis para as plantas, e ainda a matéria orgânica fornece nitrogênio, fósforo e enxofre para as plantas. O solo acumula mais água, o que favorece a absorção de nutrientes pelas raízes com menor gasto de energia.

A matéria orgânica do solo (MOS) desempenha várias funções no ambiente, especialmente na ciclagem e retenção de carbono, armazenamento de água e agregação, fatores determinantes para a manutenção e melhoria da qualidade do solo e do ambiente. Assim, pela importância das suas funções no ambiente, o monitoramento dos estoques de carbono orgânico tem sido considerado um dos principais indicadores de qualidade (PILLON et al., 2007). As substâncias húmicas (humina, ácidos fúlvicos e ácidos húmicos) são consideradas a parte final da evolução da MOS e representam cerca de 70% do C presente no solo.

Ribeiro (2003) estudou as características físicas e químicas de solos em pomares de maçãs, conduzidos nos sistemas convencional e orgânico de produção, e verificou que as maiores alterações químicas ocorreram no sistema convencional de produção. À medida que os solos são trabalhados com máquinas e implementos pesados e há o uso de insumos industrializáveis, ocorrem consideráveis alterações químicas e físicas. Além disso, o manejo convencional apresenta alto custo de produção, devido, principalmente, à dependência por recursos não renováveis, tanto para a manutenção de altos níveis de fertilidade solo, quanto pelo excessivo número de aplicações de agrotóxicos utilizados no controle fitossanitário (MALUCHE, 2004).

Natale et al. (2001 a) analisaram os atributos físicos, químicos, mineralógicos e morfológicos do Latossolo Vermelho-Amarelo, a fim de que fossem identificados os minerais que pudessem ser fonte de K para as plantas. Os resultados indicaram a presença de micas

na fração argila e feldspatos na fração silte, que poderiam suprir as necessidades de potássio da cultura. Em função do amplo e profundo sistema radicular das goiabeiras, o K poderia ser gradativamente liberado desses minerais, a partir do chamado intemperismo biológico, ou seja, pelos mecanismos de dissolução dos minerais com a interferência do sistema radicular das plantas.

Rosa (2010) conduziu um estudo para avaliar os efeitos das práticas de manejos convencional e orgânico, em pomares de maçãs, nos atributos físicos e químicos do solo, na sanidade das plantas, na produção e na qualidade de frutos, ocorridas nas macieiras. O pomar convencional apresentou maiores teores de Ca, Na e pH em água em relação ao pomar orgânico na profundidade de 0-10 cm. Os maiores teores de Cu total foram observados no pomar orgânico quando comparados aos mesmos teores no pomar convencional, nas duas profundidades analisadas.

Segundo Stassen e North (2005), para a pereira cv. Forelle sobre o porta-exerto anão marmeleiro 'A' (*Cydonia oblonga*), nas condições da África do Sul, o mínimo requerimento de nutriente por tonelada de frutos produzidos é de 2,9 kg de N, 0,470 kg de P, 1,83 kg de K, 1,75 kg de Ca e 0,49 kg de Mg. No entanto, desses totais são exportados 27,2% de N, 39,3% de P, 50,3% de K, 1,6% de Ca e 14,2% de Mg pelos frutos. As demais quantidades dos nutrientes são perdidas na poda, na queda das folhas ou são fixadas pelas partes permanentes da planta, e, quando os materiais de poda e as folhas permanecem no pomar, entram no ciclo da matéria orgânica do solo, logo, há reciclagem dos nutrientes.

Botelho et al. (2010) concluíram que a extração de nutrientes pelos frutos de diferentes cultivares de pereiras situa-se entre 0,366 e 0,825 kg de N; 0,097 e 0,205 kg de P; 0,996 e 1,302 kg de K; 0,049 e 0,085 kg de Ca, e entre 0,041 e 0,095 kg de Mg por tonelada de frutos.

A disponibilidade de K no solo depende do potencial do solo em liberar o elemento adsorvido na CTC da matéria orgânica e das adubações. A disponibilidade e a absorção de K têm relações diretas com a nutrição de outros elementos. Um adequado suprimento de K pode amenizar os efeitos negativos de adubações nitrogenadas excessivas (EMBRAPA, 2003).

Segundo Meurer (2006), os latossolos que ocorrem em diversas regiões do território brasileiro são constituídos predominantemente pelos minerais caulinita e óxidos de ferro. Quanto mais avançado o estado de intemperização, maior a concentração de óxidos de ferro no solo, que pode ocorrer em acumulações localizadas.

I.2.3.1 Atributos químicos das folhas

Segundo Lopes (1998), a análise foliar tem sido utilizada nas seguintes situações: verificação do equilíbrio nutricional; constatação da ocorrência de deficiências ou toxidez de nutrientes; acompanhamento, avaliação e ajuste do programa de adubação; além da ocorrência de salinidade em áreas irrigadas.

A composição mineral das folhas pode ser afetada por fatores como: época de amostragem, localização na planta, cultivares copa e porta-enxerto, produção, idade das plantas, dentre outros (BASSO; FREIRE; SUZUKI, 2003).

As folhas são importantes centros metabólicos e a análise foliar reflete o estado nutricional da planta com mais fidelidade. Por isso, a análise foliar é uma das melhores técnicas disponíveis para avaliar o estado nutricional dos pomares e orientar programas de adubação, juntamente com o conhecimento da fertilidade do solo e de diversas influências de ordem técnica e climática (FACHINELLO et al. 2008).

A análise foliar serve também para identificar sintomas visuais de deficiência, especialmente quando ocorre mais de um sintoma simultâneo ou quando os sintomas são similares. Ela revela ainda estados de carência, ou fome oculta, fase em que o nutriente está em falta e os sintomas ainda não se manifestaram, ou simplesmente o nutriente não manifesta sintomas típicos de deficiência, como é o caso do Ca (BASSO; FREIRE; SUZUKI, 2003).

Para os Estados de Santa Catarina e do Rio Grande do Sul, para a adubação de manutenção da cultura da pereira, recomenda-se a análise conjunta dos seguintes parâmetros: análise foliar, análise do solo, idade das plantas, crescimento vegetativo, sistema de condução, adubações anteriores, produção, tratos culturais, distúrbios nutricionais e presença de sintomas de deficiência ou de toxidez (BASSO, 2002; CQFS-RS/SC, 2004).

Botelho et al. (2010), ao avaliarem o teor de nutrientes em folhas e extração pelos frutos de cultivares de pereira Cascatense, Tenra, Hosui, Packham's Triumph e Williams, enxertadas sobre o porta-enxerto marmeleiro 'CP', observaram que as cultivares apresentaram diferenças em relação aos teores de nutrientes nas folhas e frutos, portanto, há distintas exigências nutricionais. A cv. Hosui, de origem asiática, apresentou teores foliares de Cu, Zn e B mais baixos, e maiores valores de K nos frutos, sugerindo requerimentos diferenciados em relação às outras cultivares de origem europeia ou híbridas, ou mesmo, algum grau de incompatibilidade com o porta-enxerto 'CP'.

Martins et al. (2010) avaliaram as características químicas do solo e nutricionais da planta através da análise do tecido foliar e das frutas das macieiras em pomares de diferentes cultivares, conduzidos em sistemas de produção convencional (PC), em transição

convencional-orgânico (PET), integrado (PI) e orgânico (PO), e alertam que foi observado um nível altíssimo de Cu nas folhas da macieira do sistema PET e esse nível foi ainda maior no PO. Este fato deve-se, provavelmente, às pulverizações realizadas com produtos à base de Cu, utilizadas no tratamento fitossanitário, especialmente no controle da Sarna da macieira.

I.2.4 Nutrição e adubação de plantas frutíferas

Embora os princípios gerais de disponibilidade de nutrientes no solo sejam bastante conhecidos, a sua aplicação em fruticultura enfrenta algumas dificuldades, principalmente devido ao pouco conhecimento do sistema radicular no que diz respeito à morfologia, distribuição e absorção dos nutrientes do solo. Além da falta de conhecimento do sistema radicular e de técnicas de aplicação de fertilizantes, ainda não existem critérios definidos para a recomendação segura desses insumos em plantas perenes. As plantas frutíferas exploram grandes volumes de solo e se diferenciam das plantas anuais, pois apresentam estruturas que podem armazenar nutrientes de um ano para outro, como raízes, caule, ramos e folhas (FACHINELLO et al., 2008).

O uso de corretivos e adubos nas culturas deve permitir boa nutrição das plantas, manter, ou mesmo melhorar, a fertilidade natural do solo e ser uma prática economicamente rentável. A aplicação de fertilizantes em plantas frutíferas é quase uma imposição à produção, seja pela pobreza natural dos solos tropicais, seja pelas grandes quantidades de elementos que são imobilizados pela parte vegetativa ou exportados a cada safra. O aspecto nutricional é particularmente importante para os frutos, visto a influência que os elementos minerais exercem sobre sua qualidade. As plantas frutíferas são altamente responsivas à adição de fertilizantes. Em muitos casos, a adubação e, conseqüentemente o estado nutricional das culturas, pode afetar não apenas a produtividade, mas o tamanho e o peso do fruto, a cor, a aparência, o sabor, o aroma, a conservação pós-colheita, a resistência a pragas e doenças, entre outros (TODA FRUTA, 2006).

De maneira geral, todas as tentativas para correlacionar os valores da análise de solo com as necessidades de nutrientes, medidos por outros métodos, não têm apresentado resultados que permitam estabelecer uma boa correlação. Isto acontece, provavelmente, porque é quase impossível coletar uma amostra que represente a massa de solo explorada pelas raízes e, também, pelo fato de que as plantas perenes apresentam capacidade de extração de nutrientes do solo, diferente das plantas anuais (FACHINELLO et al., 2008).

Os nutrientes e as quantidades a serem aplicadas devem ser baseados na análise conjunta dos seguintes parâmetros: análise foliar, análise periódica do solo, idade das plantas, crescimento vegetativo, sistema de plantio e condução, adubações anteriores,

produção, tratos culturais, distúrbios nutricionais e presença de sintomas de deficiência ou toxidez. No caso das peras, deve-se considerar que excessos de N e K, pela utilização de adubos orgânicos, podem predispor a distúrbios fisiológicos e diminuir sua conservabilidade, além de deixar as plantas mais susceptíveis ao ataque de doenças e pragas (TEDESCO et al., 2004).

A pereira adapta-se a diferentes tipos de solo, portanto, depende do porta-enxerto utilizado, e prefere solos profundos, de textura franca a franco-argilosa, férteis e com bons teores de matéria orgânica (EMBRAPA, 2007).

O sistema radicular de uma pereira adulta é composto por raízes grossas, de constituição lenhosa, responsáveis pela sustentação da planta e raízes finas, responsáveis pela absorção de água e nutrientes. Os porta-enxertos usados para pereira são vigorosos e possuem sistema radicular abundante, quer em profundidade como lateralmente. Isso confere à pereira a capacidade de explorar um grande volume de solo, para buscar nutrientes em camadas mais profundas, e de ser menos susceptível à falta de água em curtos períodos de estiagem. O sistema radicular pode manter certa taxa de atividade mesmo durante o período de repouso vegetativo (EMBRAPA, 2003).

A pereira tem a capacidade de armazenar nutrientes nos tecidos lenhosos do sistema radicular e da parte aérea, os quais são utilizados no ciclo seguinte. O processo consiste basicamente na migração de nutrientes das folhas para os tecidos lenhosos, na fase em que antecede a senescência e a queda das folhas, no outono. A floração e o início do crescimento vegetativo ocorrem a partir de substâncias elaboradas e armazenadas na planta no ciclo anterior (EMBRAPA, 2003).

1.2.5 Épocas de fertilização

As plantas frutíferas de clima temperado possuem ciclos vegetativos determinados, que precisam ser considerados na época de aplicação dos fertilizantes. No outono/inverno, devem-se aplicar os fertilizantes fosfatados e material orgânico. O nitrogênio apresenta grande mobilidade no solo e está prontamente disponível às raízes das plantas dentro de pouco tempo, dependendo da umidade, muitas vezes dentro de 15 dias. Em consequência, ele não deve ser todo aplicado de uma só vez, mas fracionado da seguinte forma: 30% no início da brotação, 30% depois do raleio e 40% depois da colheita, todavia, essa aplicação é feita, basicamente, para que a planta mantenha as folhas por um período mais longo. No início da brotação, o nitrogênio deve ser aplicado, preferencialmente, na forma nítrica ou amoniacal; na diferenciação floral, na forma amoniacal, e, quando aplicado no final de verão, deve-se aplicar na forma orgânica ou amoniacal. Deficiências que porventura ocorram

durante o ciclo vegetativo podem ser corrigidas com aplicações foliares de macro e micronutrientes (FACHINELLO et al., 2008).

I.2.6 Agricultura de precisão

O conceito da agricultura de precisão (AP) não é novo, tendo sido praticado já no início da agricultura quando se manejava pequenas áreas, tratando manualmente e de forma individualizada cada planta ou pequena área. Com o aumento no tamanho das áreas dos cultivos, esse tipo de tratamento tornou-se praticamente impossível, assim, passou-se a trabalhar as áreas de maneira uniforme, sem considerar a variabilidade (WERNER, 2004). A AP tem por princípio a existência da variabilidade da produtividade das culturas e dos atributos de planta e solo, os quais podem ser classificados em espacial, temporal e preditiva (BLACKMORE; LARSCHEID, 1997) e expressos por meio de mapas.

A AP poderá ser uma importante ferramenta para implantação da produção integrada de frutas (PIF) no Brasil. A PIF baseia-se em um sistema de diretrizes técnicas e de normas, definidas por consenso por meio de um comitê gestor voluntário, que permite a produção de alimentos e outros produtos de alta qualidade (ISO 9002) com o uso racional dos recursos naturais e de mecanismos reguladores para controlar os insumos agrícolas e para assegurar uma produção sustentada (ISO 14001) (SILVA et al., 2000).

Do ponto de vista do gerenciamento localizado de sítios de produção de frutas, poucos trabalhos têm procurado explorar o uso do conceito de AP e das geotecnologias, como meio de suporte ao produtor para minimizar custos e conhecer as diferentes unidades de manejo (BIFFI; RAFAELI NETO, 2009). Algumas iniciativas têm procurado explorar o potencial da AP em culturas perenes. Trabalhos com mapeamento de produção, que é um dos pontos de partida para AP, são utilizados em colheita mecanizada de café (LEAL, 2002) e colheita de laranja (BALASTREIRE et al., 1999; FARIAS et al., 2003), colheita de peras (KONOPATZKI et al., 2009), citrus (SUSZEK et al., 2009), aliados a técnicas e instrumentos de AP nos sítios produtivos. Bazzi et al. (2009) definiram unidades de manejo para controle de plantas invasoras e Rodrigues et al. (2009) mapearam a incidência de invasoras em pomar de peras e concluíram que a metodologia adotada foi eficiente, representando adequadamente a distribuição espacial das invasoras de folhas largas e estreitas na área estudada.

Em citricultura, técnicas de sensoriamento remoto já são utilizadas para o levantamento de variáveis como o número de pés e o espaçamento entre árvores, visando ao planejamento do setor. No entanto, a utilização dessas técnicas voltadas à estimativa de produção ainda continua sob avaliação. Reconhece-se que há grande dificuldade em se estabelecerem relações entre variáveis biofísicas e produção, particularmente em culturas

permanentes (PARISE; VETTORAZZI, 2005). Blazquez et al., (1998) e Weepener et al. (2000) já haviam chamado atenção para a potencialidade da utilização das técnicas de sensoriamento remoto, dentre as quais, a videografia aérea, para a estimativa de produção em citricultura. Blazquez et al. (1984) conseguiram estimar a produção de um pomar cítrico por meio da utilização de fotografias aéreas infravermelhas.

I.2.6.1 Sistemas de informação geográfica (SIG) e o gerenciamento de informações em culturas perenes

Segundo Burrough (1986), um SIG tem a capacidade de gerenciar dados geográficos, os quais descrevem entes do mundo real pela sua posição, geometria, relacionamentos espaciais e atributos.

Ortiz (2005) realizou um trabalho com o objetivo de analisar as transformações ocorridas com o uso da terra e vegetação visando à detecção de alguns impactos ambientais ocorridos no espaço de 33 anos, de 1962 e 1995, no município de Rio Claro (SP). Para tal, fez-se uso das operações booleanas disponíveis no SIG IDRISI®. O autor observou que os cruzamentos entre mapas de uma mesma área, gerados de forma convencional, e posteriormente digitalizados para duas datas distintas, por meio das ferramentas disponíveis em um SIG, produzem resultados que podem indicar tendências de expansão ou retração das classes mapeadas, assim como quantificar a intensidade de tais fenômenos.

De acordo com Biffi (2006), culturas perenes têm potencial para se beneficiarem da utilização de SIG em sua cadeia de produção, pois há uma quantidade de fatores climáticos, biológicos, humanos e de mercado que interferem no processo decisório. Leal (2002) utilizou o SIG SSToolBox® para a interpolação dos valores de produção de café colhido mecanicamente com pesagem automática no campo, a partir de um sistema desenvolvido com células de carga. O trabalho mostrou que a produtividade média da área foi de 4.226 kg ha⁻¹, com pontos na área variando entre 1.284 e 6.326 kg ha⁻¹.

Os primeiros trabalhos realizados na fruticultura foram com a produção de mapas de colheitas de citrus (BALASTREIRE et al., 1999; PARISE, 2004; FARIAS et al., 2003). Na cultura da maçã, na região Serrana de Santa Catarina, Rudorff et al. (2003) fizeram uso de SIG para auxiliar no gerenciamento de quadras na Fazenda Rio Verde, em Fraiburgo; Braga (2010) fez uso de SIG para gerenciar dados climáticos e fenológicos da cultura da maçã, com o intuito de fazer previsões das fenofases, rendimentos e safras. Segundo o autor, as previsões podem ser feitas com até 120 dias de antecedência do evento. Em viticultura, o uso de SIG permitiu demarcar zonas para manejo diferenciado em áreas, na busca de zonear áreas para produção de uvas para vinhos de qualidade dentro de um sítio de produção (PÉREZ-QUEZADA, 2005).

I.2.7 Análise espacial da variabilidade

Análise espacial é o estudo das propriedades e relacionamentos de um ou mais fenômenos, levando-se em consideração a localização espacial. De acordo com a análise espacial, é possível estimar propriedades e relacionamentos em locais não amostrados, tal que os fenômenos possam ser expressos na forma de mapas. A análise espacial possibilita tanto uma visão holística do fenômeno, como uma visão específica mais detalhada de um local em particular. Usualmente, em AP, análise espacial é praticada a partir de um conjunto de amostras georreferenciadas, submetidas a tratamentos estatísticos e geoestatísticos, com a finalidade de se avaliar o grau de dependência espacial dos atributos medidos (BIFFI, 2006).

Biffi et al. (2008), em trabalho realizado em São Joaquim, SC, em um pomar de maçãs, avaliaram possíveis interações espaciais entre atributos de produção (peso de frutos por planta, número de frutos por planta, peso médio de frutos por planta, diâmetro do caule) e altitude, em dois anos de observações. Foi possível afirmar que, no período de seca, regiões mais baixas do relevo compensaram a diminuição da produção das regiões mais altas, associados ao manejo de podas mais intensas. No período de boa distribuição de chuvas, a variabilidade espacial dos atributos foi maior, provavelmente devido à maior umidade do solo.

Franco et al. (2008) determinaram na videira Benitaka, a variabilidade espacial da produção de cachos e do pH do solo, baseados na correlação de seus mapas. O experimento foi conduzido no vinhedo Santa Catarina, município de Janaúba, Norte de Minas Gerais. O mapeamento da distribuição espacial da produção de cachos por planta e do pH do solo demonstrou que existe variabilidade espacial das variáveis estudadas, uma vez que apresentaram tendência de similaridade nos valores mais baixos, ou seja, menores produtividades, o que permitiu a utilização desses, a fim de favorecer maior eficiência das práticas culturais.

Balastreire et al. (2001) realizaram o mapeamento da produtividade da cultura do café no município de Pinhal- SP e verificaram variabilidade da produtividade do café, a partir de um mínimo de $1,4 \text{ Mg ha}^{-1}$ a um máximo de $18,4 \text{ Mg ha}^{-1}$, o que corresponde à variação de 12,9 vezes maior que o mínimo. Molin et al. (2002) realizaram um trabalho de mapeamento de produtividade de café e sua correlação com os componentes de fertilidade do solo em duas áreas pilotos nos municípios de Gália - SP e Pompéia - SP e observaram que os coeficientes de correlação entre a produtividade e a fertilidade do solo resultaram em baixos valores.

Árvores frutíferas diferem da maioria de culturas anuais e de algumas culturas perenes, haja vista a maioria das plantas serem clonadas em um pomar. Isso sugere haver

mínima variação biológica entre elas, quando comparadas às culturas anuais. Entretanto, o manejo de pomares e os efeitos localizados de solo e clima são impostos a essa homogeneidade. Portanto, espera-se haver tanto variabilidade entre as árvores como efeitos de maior escala, baseados no solo, microclima e manejo (PERRY et al., 2010).

A variabilidade espacial dos solos não tem sido devidamente considerada nos processos produtivos da agricultura. Um maior conhecimento da variabilidade espacial da produtividade e das propriedades físicas do solo bem como o estudo desta variabilidade, com o passar dos anos (variabilidade temporal), somam-se ao conhecimento já existente sobre o assunto, o qual, ao ser devidamente disponibilizado aos produtores que adotam a técnica de AP, pode viabilizar uma agricultura moderna, economicamente competitiva e ecologicamente correta (MERCANTE; URIBE-OPAZO; SOUZA, 2003).

I.2.7.1 Variabilidade espacial das propriedades físicas do solo

Áreas consideradas pedologicamente similares podem apresentar variabilidade distinta em atributos quando submetidas às diferentes práticas de manejo. O manejo pode alterar os atributos químicos, físicos, mineralógicos e biológicos, com impacto principalmente nas camadas superficiais do solo (MARQUES JÚNIOR et al., 2000).

Em relação às propriedades físicas do solo, a maioria dos estudos tem demonstrado ampla diversidade de resultados, com variação de local para local, com presença ou ausência de continuidade espacial, provavelmente associada ao sistema de manejo de solo e de culturas adotado e das características intrínsecas do solo, relacionado com os fatores e processos de formação dos solos (GREGO; VIEIRA, 2005).

Estudos mais detalhados, que utilizaram modelos de paisagem e geoestatística, têm demonstrado que em áreas consideradas homogêneas, embora haja uma única classe de solo, há dependência espacial de atributos químicos e granulométricos (SOUZA et al., 2003; SOUZA et al., 2004; MONTANARI et al., 2005). A distribuição de atributos granulométricos está associada ao sistema deposicional de sedimentos e à gênese do solo, com alta variabilidade ao longo da vertente (DANIELS; HAMMER, 1992). O registro da variabilidade espacial de atributos granulométricos é considerado uma importante ferramenta para ser usado na otimização das aplicações de insumos, no auxílio do planejamento do controle da erosão, aumento da produtividade e consequente diminuição dos problemas ambientais (WILDING; DREES, 1983).

Mercante; Uribe-Opazo; Souza (2003), ao avaliarem o comportamento das variabilidades (espacial e temporal) por meio da técnica de escalonamento de semivariogramas, da variável resistência mecânica do solo à penetração (RMSP) nas camadas de 0-0,1, 0,1-0,2, 0,2-0,3 m, para os anos de 1999 a 2001, sob duas formas de

manejo (com manejo químico localizado e sem manejo químico localizado), concluíram que a resistência mecânica do solo à penetração apresentou variabilidade espacial com comportamento distinto, conforme a camada e o ano de estudo.

Schaffrath et al. (2008) verificaram a dependência e a correlação espacial de algumas propriedades físicas do solo pelo ajuste de dados aos semivariogramas simples e cruzados em um Latossolo Vermelho Distroférrico, sob plantio direto e preparo convencional. Observaram que essas propriedades físicas do solo apresentaram semivariogramas simples com maior variabilidade espacial e menor alcance no plantio direto do que no preparo convencional.

Souza et al. (2004), ao avaliarem a variabilidade espacial de atributos físicos de um Latossolo Vermelho Eutroférrico sob cultivo de cana-de-açúcar, por meio da geoestatística, concluíram que os maiores alcances foram observados nas profundidades de 0,2 - 0,4 e 0,4 - 0,6 m, para todos as variáveis estudadas. A identificação de compartimentos da paisagem na área de estudo mostrou-se eficiente na compreensão das causas da variabilidade espacial dos atributos estudados.

Marques Júnior et al. (2000) investigaram a variabilidade espacial de atributos químicos e granulométricos do solo (P, MO, pH, K, Ca, Mg, H+Al, SB, VTC, V%, argila e site) de uma lavoura de café na região de Patrocínio-MG e observaram dependência espacial para todos os atributos estudados.

1.2.7.2 Variabilidade espacial das propriedades químicas do solo

As variações de parâmetros do solo são devido às distintas intensidades de atuação dos processos de sua formação e à intervenção antrópica. A produtividade agrícola de uma área é influenciada por vários fatores, dentre eles, a fertilidade dos solos, os quais podem ser naturalmente férteis ou se tornarem férteis por meio de manejo adequado (MENDES et al., 2007). O estudo da variabilidade espacial das propriedades químicas dos solos é importante em áreas onde o solo está submetido a diferentes manejos, pois a análise geoestatística pode indicar alternativas não apenas para a redução dos efeitos da variabilidade do solo na produção das culturas, mas também para aumentar a possibilidade de se estimarem respostas dos atributos do solo em função de determinadas práticas de manejo (TRANGMAR et al., 1985; OVALLES; REY, 1994). Além disso, a eficácia das estratégias de amostragem do solo pode ser aumentada com a incorporação de um modelo de variabilidade espacial (BRUS, 1993).

Silva et al. (2007), ao caracterizarem a variabilidade espacial de atributos químicos e a produtividade da cultura do cafeeiro em um Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico, observaram que todas as variáveis estudadas apresentaram estrutura de dependência

espacial, o que permitiu o mapeamento dessas a partir de técnicas geoestatísticas. Os atributos químicos apresentaram baixos valores de alcance, com exceção das variáveis fósforo e potássio, as quais evidenciaram a baixa continuidade do solo sob cafeeiro. A grande amplitude nos atributos químicos justifica a aplicação diferenciada e localizada de fertilizantes na lavoura cafeeira.

Barbieri et al. (2002) estudaram a variabilidade espacial de P, K e a soma de bases em área sob cultivo de cana-de-açúcar. Esses autores verificaram que os alcances para os atributos de solo variaram entre 587 e 743 m. A partir dessas informações, sugeriram que, em futuras amostragens, para avaliação daqueles atributos, em condições semelhantes, seja utilizada uma malha suficiente que cubra toda a área de interesse.

Corá et al. (2004) afirmaram que conhecer a variabilidade dos atributos do solo, principalmente aquelas que controlam a produtividade das culturas, é fator importante em um sistema de produção que visa à sustentabilidade por meio do manejo localizado.

Sanchez et al. (2005), ao estudarem a variabilidade espacial de atributos químicos do solo e da produção de café em diferentes superfícies geomórficas, observaram dependência espacial para todos os atributos químicos estudados e para produtividade do café.

I.2.8 Geoestatística

Áreas consideradas pedologicamente similares podem apresentar variabilidade nos atributos quando submetidas a diferentes práticas de manejo. O manejo pode alterar os atributos químicos, físicos, mineralógicos e biológicos, com impacto principalmente nas camadas superficiais do solo (MARQUES JÚNIOR, 2000).

A geoestatística, ou teoria das variáveis regionalizadas, desenvolveu-se a partir dos trabalhos realizados por Matheron (1969, 1971) e dirigidos para a estimativa de reservas de minério. A partir daí, seu campo de aplicação se estendeu para outras áreas de pesquisa, como o estudo de propriedades geoquímicas e edafológicas. Uma variável aleatória é uma medida de particularidades que se espera variar de acordo com alguma lei de distribuição de probabilidade, caracterizada por parâmetros da distribuição, tais como média e variância da distribuição normal. A variável aleatória, quando assume valores em função da localização onde é amostrada no campo, caracteriza-se por uma variável regionalizada e, considera-se o conjunto de todas as possíveis realizações da variável aleatória, em todos os locais do campo, tem-se uma função aleatória (TRANGMAR et al., 1985).

Segundo Assumpção et al. (2007), a geoestatística fundamenta-se em conceitos básicos da estatística clássica, mas leva em consideração as coordenadas geográficas dos pontos amostrais e a dependência espacial entre as amostras. A partir da determinação de

um gráfico, conhecido como semivariograma, em que se relaciona a distância entre as amostras com a respectiva função semivariância, ajusta-se um modelo teórico que fornece os parâmetros necessários para determinar a estrutura de variabilidade espacial e, posteriormente, a interpolação de valores em qualquer posição na área em estudo por meio da krigagem. O semivariograma é o principal instrumento da teoria das variáveis regionalizadas. O principal estimador utilizado na construção do semivariograma experimental é o dos momentos, conhecido como semivariograma de Matheron, para processos estocásticos gaussianos (FARACO et al., 2008).

O semivariograma é um gráfico que representa a semivariância $\gamma(h)$ dos dados em relação à distância correspondente que os separa (MASCARIN, 2006). A semivariância é uma medida do grau de dependência espacial entre as amostras. Assim, todos os possíveis pares são analisados. E, quando a distância entre os pares é zero, significa que o valor em cada ponto é comparado com ele mesmo, logo, as diferenças são zero e o valor da semivariância também é zero.

Para o semivariograma experimental, é ajustada a curva que proporciona a máxima correlação possível com os pontos plotados. O modelo ajustado é chamado de modelo teórico do semivariograma. No modelo ajustado, é possível a obtenção de valores dos parâmetros de 'alcance', 'patamar' e 'efeito pepita'.

Na Figura 01, está ilustrado um semivariograma teórico, no qual a semivariância cresce em função de h até determinado ponto em que não se observa mais a continuidade espacial. Esse ponto, no eixo h , é denominado de alcance (*range*) do semivariograma (a), e no eixo $\gamma(h)$ é denominado patamar (*sill*) ($C_0 + C_1$) e é aproximadamente igual à variância dos dados (VIEIRA, 1995). O valor positivo de $\gamma(h)$, quando h tende a zero, denomina-se efeito pepita (*nugget effect*) (C_0). Seu valor revela a descontinuidade do semivariograma para distâncias menores que a distância entre as amostras. Parte dessa descontinuidade também pode ser atribuída a erros de medições. O componente estrutural, também chamado de contribuição (C_1), é a porção da variação explicada pela continuidade espacial.

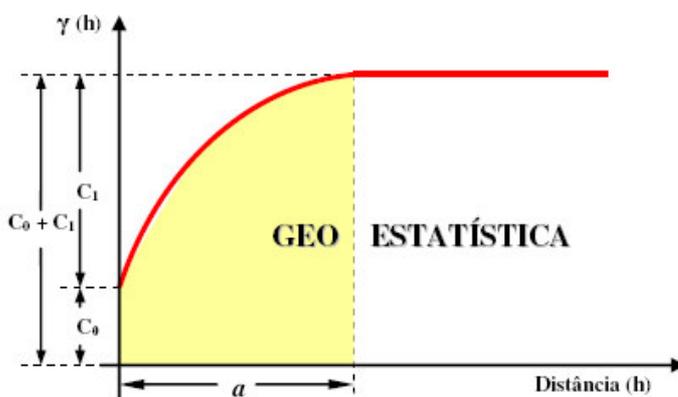


Figura 01 Semivariograma e seus componentes.
Fonte: Adaptado de Guerra (1988).

O alcance é uma medida importante para o planejamento e a avaliação experimental, já que pode auxiliar na definição de novos procedimentos de amostragem (BOLFE; GOMES; FONTES, 2007). Esse parâmetro representa a distância em que os pontos amostrais estão correlacionados entre si. Verificaram-se diferenças significativas nos alcances de dependência espacial.

O alcance estabelece o limite de dependência espacial entre as amostras, isto é, para distâncias iguais ou menores que o alcance, diz-se que os valores vizinhos de uma variável estão espacialmente correlacionados e podem ser utilizados para a estimação de valores em qualquer ponto entre eles (REICHARDT, 1985; TRANGMAR et al., 1985).

A krigagem, um dos métodos geoestatísticos de interpolação, apresenta ótimas propriedades de estimação em dados esparsos, pois leva em consideração as características espaciais de autocorrelação de variáveis regionalizadas; utiliza distâncias ponderadas e estimação por médias móveis. O que diferencia a krigagem dos outros métodos de interpolação é a estimação de uma matriz espacial que determina os pesos atribuídos às diferentes amostras, o tratamento da redundância dos dados, a vizinhança a ser considerada no procedimento inferencial e o erro associado ao valor estimado. Além disso, a krigagem também fornece estimadores com propriedades de não tendenciosidade e eficiência (DRUCK et al., 2004).

I.3 MATERIAL E MÉTODOS

A área experimental está localizada nas coordenadas geográficas 25°23'22" de latitude Sul, 52°34'15" de longitude Oeste e altitude média de 750 m, no município de Nova Laranjeiras-PR (Figura 02). O solo da área é um Latossolo Vermelho Distroférico Típico (EMBRAPA, 2006) com 630 g kg⁻¹ de argila, 170 g kg⁻¹ de silte e 200 g kg⁻¹ de areia, segundo análise granulométrica realizada pela Cooperativa Central de Pesquisa Agrícola – COODETEC.

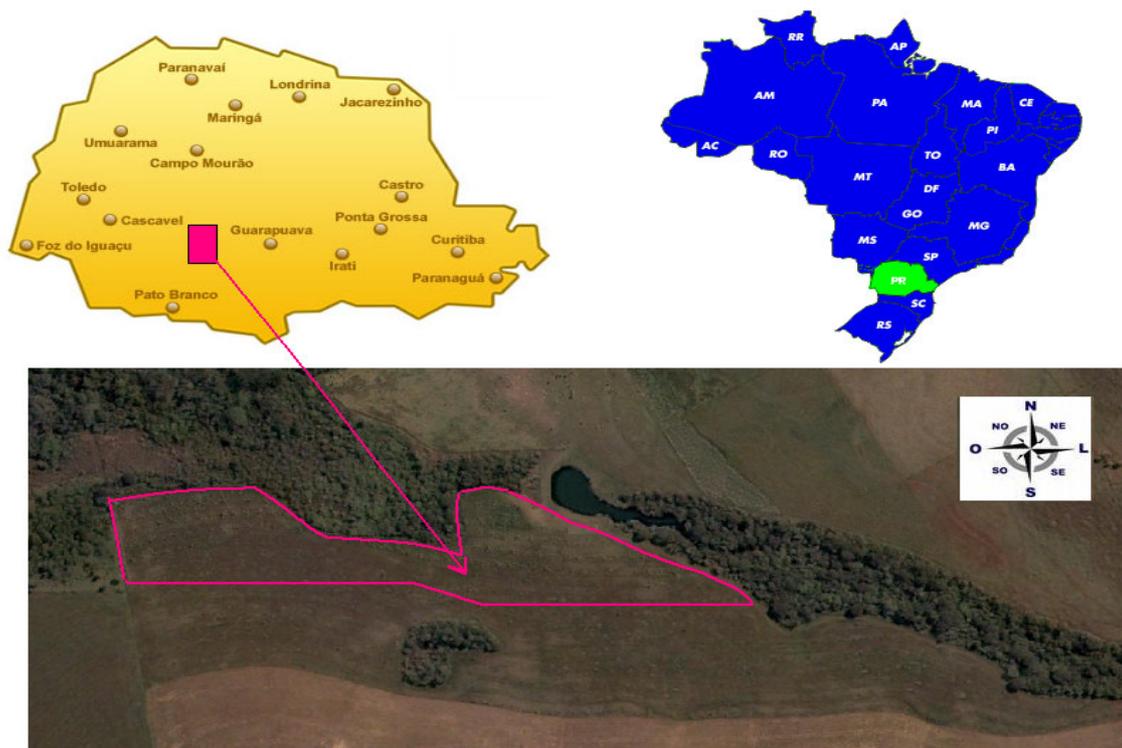


Figura 02 Imagem da área experimental obtida pelo programa computacional Google Earth 4.3 (2009).

O clima é do tipo Subtropical Úmido Mesotérmico (Cfb), com precipitação média anual de 1900 mm, verões quentes com tendência de concentração de chuvas, geadas pouco frequentes, sem estação seca definida. O município apresenta temperatura média de 20° C e a umidade relativa média do ar de 70% (CAVIGLIONE et al., 2000). Os dados meteorológicos dos períodos analisados (Tabela 01) são provenientes da estação meteorológica mais próxima, Salto Osório. A altitude aproximada da estação é de 510m e está localizada a 60 km de Nova Laranjeiras.

Tabela 01 Precipitação pluvial, umidade relativa, temperatura máxima e mínima, referentes a três safras¹

Mês	Precipitação (mm)			Umidade Relativa (%)			Temperatura Máx. (°)			Temperatura Mín. (°)		
	2008/09	2009/10	2010/11	2008/09	2009/10	2010/11	2008/09	2009/10	2010/11	2008/09	2009/10	2010/11
Jul	85,2	168,4	123,8	84,0	92,9	79,2	30	28,1	28,7	7,5	0,2	-
Ago	144,4	187,4	28	83,5	84,4	68,5	31,6	31,9	33,3	5,4	5,7	-
Set	83,4	195,8	70,4	76,3	89,3	68,3	33,9	34,5	34,5	3,5	8,1	20,5
Out	254,2	279,0	296,2	89,5	88,1	73,8	34,1	34,8	33,4	10,8	10,5	9,9
Nov	116,8	252,0	77,8	81,4	90,6	69,6	33,6	37,2	33,4	14,7	16,1	10,1
Dez	43,4	141,4	346,8	75,2	89,5	83,9	36,4	32,9	33,4	10,5	14,2	11
Jan	72,2	632,8	145,6	86,3	83,0	84,0	33,4	33,6	34,5	13,9	22,1	17,2
Fev	0,0	172,6	51,2	89,4	82,1	87,5	35,1	37	32,9	16,6	16,8	18,2

¹Fonte: SIMEPAR, estação de Salto Osório – PR (2011).

O pomar foi implantado no ano de 2000, em área anteriormente cultivada com milho, soja, aveia e sorgo, sob sistema plantio direto. As mudas foram provenientes da região de Mafra-SC, da Fruticultura Brongiel. Os porta-enxertos são da variedade pera dura (Kieffer), nos quais foram enxertadas a variedade Pera d'água. O espaçamento foi de 8,0 m entre linhas e 10 m entre plantas. A área experimental corresponde a 1,24 ha, cultivada com 146 pereiras da variedade Pera d'água. No plantio, as covas foram preparadas com termofosfato (300 g por cova + 10 g de ácido bórico) e todos os anos foram realizadas adubações de cobertura com N (uréia) e K (cloreto de potássio).

A amostragem foi realizada em malha com espaçamento regular de 30 m, utilizando-se GPS topográfico, modelo Trimble Geo Explorer 3, datum WGS-84. A localização do ponto de amostragem seguiu o procedimento denominado de amostragem sistemática estratificada. Foram selecionados 36 pontos, sendo 18 gerados a partir da grade (grid) amostral e 18 pontos coincidentes com a primeira planta à direita (sentido leste-oeste) e receberam o nome de sistema AP (Figura 03).

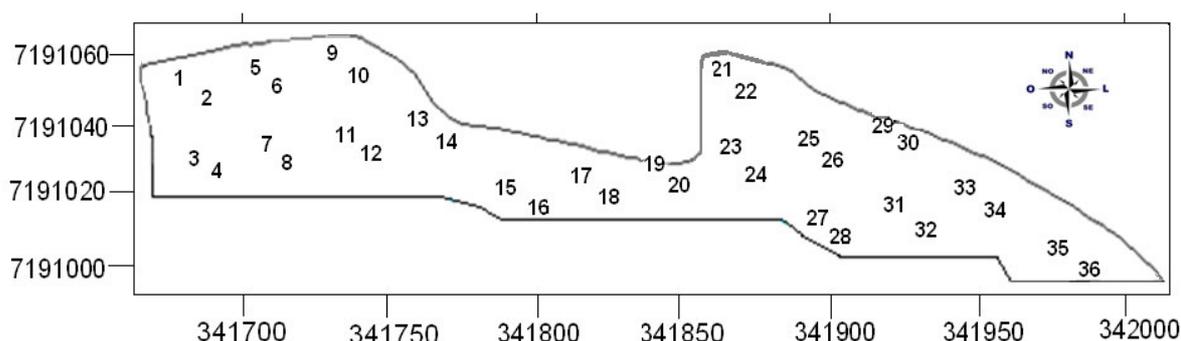


Figura 03 Localização dos pontos de amostragem.

Para avaliar o comportamento espacial e temporal dos atributos do solo, da planta e da produtividade, foram realizadas adubações diferenciadas. Em 2008, a adubação foi realizada pela média. No ano de 2009, não foi feita adubação. Já em 2010, foram selecionadas 36 árvores (Figura 04) que serviram de referência como testemunha e que receberam adubação convencional (AC), ou seja, a mesma adubação para todas as plantas.

Cada árvore do sistema AC recebeu 400 g de N, parcelados em duas doses e 300 g de K aplicados na projeção da copa (coroamento), utilizando-se como fontes a ureia e o cloreto de potássio, respectivamente, de acordo com recomendação técnica.

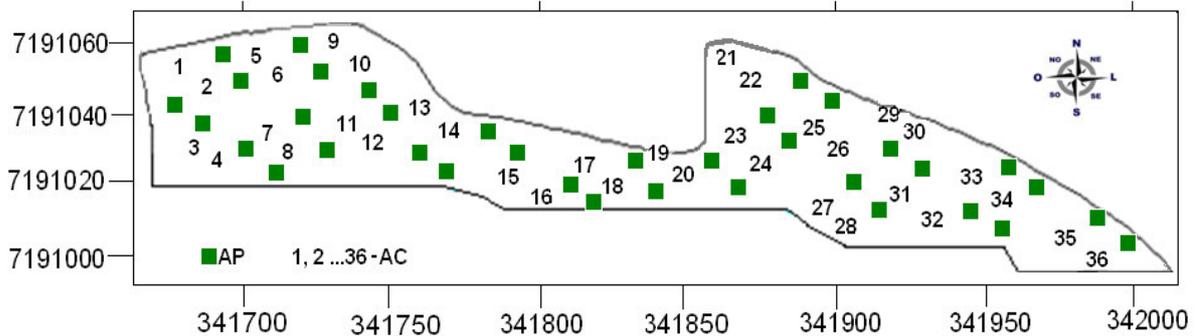


Figura 04 Localização dos pontos de amostragem para os sistemas AP e AC.

Outras trinta e seis árvores foram selecionadas e receberam dosagem variável (sistema AP), todavia, a quantidade de nutrientes foi de acordo com a necessidade calculada para cada planta, a partir de uma equação de regressão desenvolvida para P e K (equações 1 e 2), baseada na interpretação dos resultados da análise química do solo e a partir das recomendações de COSTA & OLIVEIRA (2001).

$$P_2O_5 \text{ (kg ha}^{-1}\text{)} = \begin{cases} -11 \cdot P + 118,5 \quad (R^2=0,99), \text{ quando } 1,5 \leq P \leq 10,5 \text{ mg dm}^{-3} \\ 100, \text{ quando } P < 1,5 \\ 0, \text{ quando } P > 10,5 \end{cases} \quad (1)$$

$$KCl \text{ (kg ha}^{-1}\text{)} = \begin{cases} -250 \cdot K + 87,5 \quad (R^2=1,0), \text{ quando } 0,05 \leq K \leq 0,35 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3} \\ 75, \text{ quando } K < 0,05 \\ 0, \text{ quando } K > 0,35 \end{cases} \quad (2)$$

Os tratos fitossanitários foram realizados conforme a necessidade e recomendações técnicas para a cultura.

I.3.1 Avaliação das características químicas e físicas do solo

Nos anos de 2009 e 2010, foram coletadas amostras de solo para análise química de rotina. Em 2010, foi realizada também a análise granulométrica. Para a determinação dos

atributos físicos do solo (2010), foram feitas amostras indeformadas de solo nas camadas de 0-20 e 20-40 cm (TEDESCO, 2004), visando avaliar os atributos: densidade, porosidade total, macro e microporosidade, umidade volumétrica e textura do solo. Ainda em 2010, foi realizada a determinação da resistência do solo à penetração (RSP), na profundidade de 0 a 40 cm, com um medidor automatizado Falker penetroLOG[®], conexão GPS e levantamento topográfico da área. Todas as variáveis foram avaliadas quanto à sua variabilidade espacial.

I.3.2 Avaliação das características químicas das plantas

Para determinar o teor de nutrientes no tecido vegetal e o estado nutricional da cultura, foi realizada análise foliar da pereira, ao serem coletadas 10 folhas completas (limbo e pecíolo) da porção média dos ramos do ano, nos diferentes lados das plantas (Janeiro de 2009, 2010 e 2011), de modo que a amostragem seja feita sempre antes da colheita (EMBRAPA, 2003). O material coletado foi conduzido ao Laboratório de Química Ambiental e Instrumental da UNIOESTE, *campus* de Marechal Cândido Rondon (PR).

I.3.3 Avaliação da produtividade

Em cada colheita, foi realizada a pesagem de todos os frutos colhidos em cada árvore da grade amostral. A produtividade total foi obtida pela soma das colheitas individuais das plantas. Na Figura 05, está apresentado o cronograma das atividades realizadas durante o experimento.

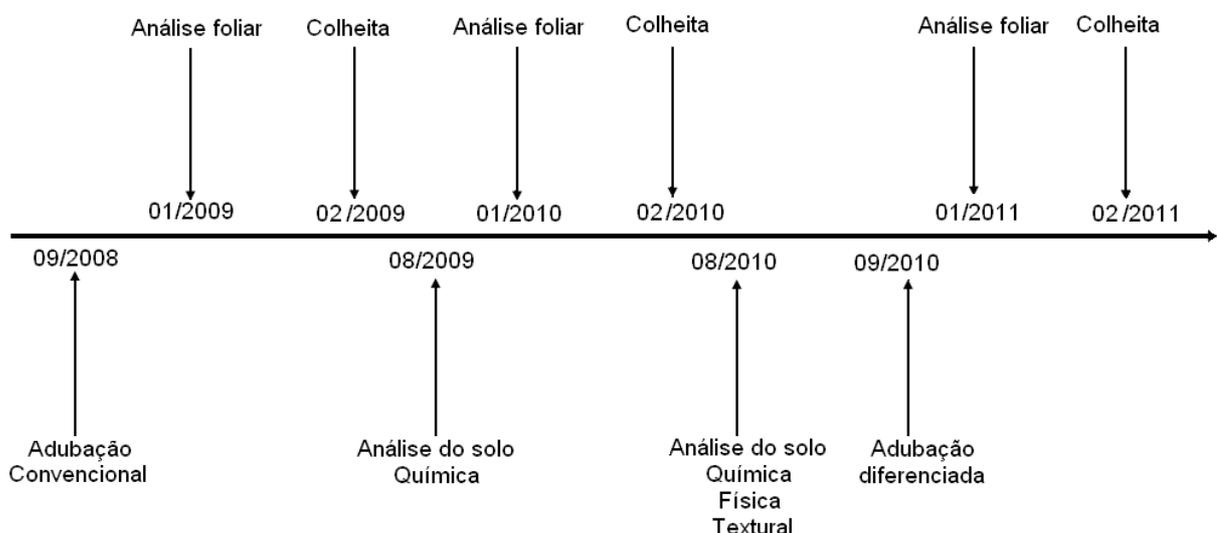


Figura 05 Cronograma do experimento.

I.3.4 Análise estatística

Na análise exploratória dos dados, foram calculadas as medidas de posição (média e mediana), medidas de dispersão (variância, desvio padrão, coeficiente de variação e amplitude interquartis) e medidas de forma da distribuição (coeficiente de assimetria e coeficiente de curtose), visando identificar e avaliar se os dados possuem homogeneidade e normalidade. A normalidade dos dados foi verificada pelos testes de Anderson-Darling e Kolmogorov-Smirnov, ao nível de 5 % de significância. Foram considerados com distribuição de probabilidade normal os dados que apresentaram normalidade em, pelo menos, um dos testes. Os pontos discrepantes foram verificados por meio dos gráficos de boxplot.

O coeficiente de variação (CV) foi considerado baixo quando $CV \leq 10\%$; médio quando $10\% < CV \leq 20\%$; alto quando $20\% < CV \leq 30\%$; e muito alto quando $CV > 30\%$ (PIMENTEL GOMES; GARCIA, 2002).

Para avaliar o grau de correlação entre as variáveis, foi utilizado o coeficiente de correlação linear de Pearson (R), calculado por meio do *software Minitab 14*, e classificado conforme interpretação adaptada de Zou et al. (2003). O coeficiente “R” expressa numericamente tanto a magnitude quanto o sentido da correlação (Tabela 02), cujo valor varia entre 1 e -1, ou seja: $-1 \leq R \leq 1$.

Tabela 02 Níveis para correlação linear de Pearson

0	$0 \leq R < -0,2$	$-0,2 \leq R < -0,4$	$-0,4 \leq R < -0,6$	$-0,6 \leq R < -0,8$	$-0,8 \leq R \leq -1$
Ausência	Negativa Muito fraca	Negativa fraca	Negativa moderada	Negativa forte	Negativa muito forte
0	$0 \leq R < 0,2$	$0,2 \leq R < 0,4$	$0,4 \leq R < 0,6$	$0,6 \leq R < 0,8$	$0,8 \leq R \leq 1$
Ausência	Positiva Muito fraca	Positiva Fraca	Positiva moderada	Positiva forte	Positiva muito forte

I.3.5 Análise geoestatística e mapas temáticos

Na análise geoestatística, foram construídos os semivariogramas para verificar a dependência espacial dos dados. Para estimar a função semivariância experimental, foi utilizado o estimador proposto por Matheron (1963), para dados com distribuição normal, e o estimador de Cressie e Hawkins (1980), para dados com distribuição não normal. Os modelos teóricos ajustados aos semivariogramas foram o esférico, o exponencial e o gaussiano. Os semivariogramas experimentais foram obtidos aplicando-se os métodos de ajuste de mínimos quadrados ordinários (OLS) para estimarem-se os parâmetros efeito pepita (C_0), patamar ($C_0 + C_1$) e alcance (a), adotando-se o modelo isotrópico (semivariograma omnidirecional) com *cut-off* de 50% da distância máxima (CLARK, 1979). A

seleção do melhor modelo de semivariograma foi feita por meio do índice de qualidade de ajuste (IQA, PANNATIER, 1996, Equação 3).

$$IQA = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N \sum_{i=0}^{n(k)} \frac{P(i)}{\sum_{j=0}^{n(k)} P(j)} \cdot \frac{D(k)}{d(i)} \cdot \left[\frac{\gamma(i) - \hat{\gamma}(i)}{\sigma^2} \right]^2 \quad (3)$$

Em que:

N é o número de variogramas direcionais na janela de plotagem,

n(k) – é o número de intervalos relativos ao variograma k;

D(k) – é a máxima distância relativa ao variograma k;

P(i) – é o número de pares do intervalo de i ao variograma k;

d(i) – é a distância média entre pares do intervalo i do variograma k;

$\gamma(i)$ – é a medida experimental de continuidade espacial do intervalo de i;

$\hat{\gamma}(i)$ – é a medida modelada da continuidade espacial para d (i) e

σ^2 - é a variância dos dados para o variograma.

Os parâmetros que apresentaram efeito pepita puro foram representados nos mapas usando-se o interpolador inverso do quadrado da distância (IQD).

O grau de dependência espacial dos semivariogramas foi avaliado pelo índice de dependência espacial (IDE, Equação 4), sendo que Cambardella *et al.* (1994) propuseram os seguintes intervalos: IDE \leq 25% - forte dependência espacial; 25% \leq IDE \leq 75% - moderada dependência espacial e IDE \geq 75% - fraca dependência espacial.

$$IDE = \frac{C_0}{C_1 + C_0} \times 100 \quad (4)$$

Para a elaboração dos mapas temáticos com a espacialização dos atributos estudados e a produtividade das pereiras, foi utilizado o programa Surf 8.0.

I.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

I.4.1 Análise de macro e micronutrientes da planta

Na Tabela 3, são apresentadas as análises estatísticas descritivas para os atributos químicos das folhas das pereiras, para os anos de 2009, 2010 no sistema AC e 2011 nos sistemas AP e AC.

Tabela 3 Estatística descritiva das propriedades químicas da folha em pomar de peras, Nova Laranjeiras - PR (2009, 2010, 2011)

Ano de 2009 no sistema de AC									
Atributo	N, P, K, Ca e Mg (g kg ⁻¹)					Cu, Fe, Mn e Zn (mg kg ⁻¹)			
	Mín.	Média	Mediana	Máx	DP	CV(%)	Assim.	Curtose	Norm
N	21,00	35,37	35,00	43,75	4,36	12,33 (m)	-0,55 (b)	2,63 (B)	sim
P	0,99	1,18	1,15	1,44	0,10	8,66 (b)	0,56 (b)	-0,02 (C)	Sim
K	8,40	12,27	12,55	14,90	1,45	11,83 (m)	-0,72 (c)	0,71(B)	Sim
Ca	23,60	33,79	33,65	42,10	5,01	14,82 (m)	-0,17 (b)	-0,83 (C)	Sim
Mg	7,00	9,37	9,30	11,00	0,97	10,37 (m)	-0,50 (b)	-0,24 (C)	Sim
Cu	8,00	10,00	10,00	14,00	1,07	10,69 (m)	1,49 (a)	4,62 (B)	Sim
Fe	102,00	150,92	146,00	221,00	30,58	20,26 (a)	0,40 (b)	-0,52 (C)	Sim
Mn	75,00	104,62	100,00	190,00	24,99	23,89 (a)	1,52 (b)	2,82 (B)	Não
Zn	29,00	48,44	48,00	74,00	10,82	22,33 (a)	0,39 (b)	-0,15 (C)	Sim
Ano de 2010 no sistema de AC									
Atributo	Mín.	Média	Mediana	Máx	DP	CV(%)	Assim.	Curtose	Norm
N	13,13	15,85	15,75	19,25	1,30	8,22 (b)	0,02 (b)	0,86 (B)	Sim
P	1,07	1,69	1,69	2,36	0,27	16,01 (m)	0,10 (a)	0,20 (C)	Sim
K	6,60	13,23	13,80	18,20	3,07	23,21 (a)	-0,30 (c)	-0,63(C)	Sim
Ca	23,15	35,80	34,68	51,60	6,71	18,74 (m)	0,59 (b)	0,53 (B)	Sim
Mg	6,15	9,14	8,85	12,45	1,52	16,65 (m)	0,42(b)	-0,11(C)	Sim
Cu	2,00	18,50	8,00	75,00	21,93	118,56(ma)	1,49 (b)	1,09 (B)	Não
Fe	31,00	101,70	61,00	910,00	158,50	61,00 (ma)	4,45 (b)	20,96(B)	Não
Mn	104,00	184,90	174,50	435,00	68,00	36,74 (ma)	1,75 (b)	4,29 (B)	Não
Zn	19,00	49,94	47,00	173,00	25,97	51,99 (ma)	3,11 (b)	14,22(B)	Não
Ano de 2011 no sistema de AP									
Atributo	Mín.	Média	Mediana	Máx	DP	CV(%)	Assim.	Curtose	Norm
N	12,25	17,33	17,50	21,88	2,22	12,82 (m)	0,04 (c)	0,42 (B)	Sim
P	0,95	1,35	1,34	2,11	0,22	15,95 (m)	1,26 (b)	3,67 (B)	sim
K	6,20	13,44	13,47	27,60	3,50	26,03 (a)	1,47 (c)	7,23 (B)	Sim
Ca	15,60	25,44	25,10	36,10	4,07	15,98 (m)	-0,15 (b)	1,29 (B)	Sim
Mg	2,80	5,03	5,15	6,30	0,69	13,74 (m)	-0,97 (b)	1,71 (B)	Sim
Cu	7,00	11,84	10,00	29,00	4,33	36,55 (ma)	2,67 (b)	8,21 (B)	Não
Fe	11,00	134,90	100,50	453,00	88,30	65,47 (ma)	1,85 (b)	4,05 (B)	Não
Mn	53,00	142,10	125,50	798,00	119,30	83,99 (ma)	4,98 (b)	27,73 (B)	Não
Zn	25,00	44,97	46,50	64,00	9,93	22,08(a)	-0,16 (c)	-0,70 (C)	Sim
Ano de 2011 no sistema de AC									
Atributo	Mín.	Média	Mediana	Máx.	DP	CV(%)	Assim.	Curt.	Norm
N	7,88	16,63	16,63	21,00	2,79	16,8 (m)	-0,93 (a)	1,82 (B)	Sim
P	0,60	1,24	1,19	2,22	0,31	25 (a)	0,75 (b)	2,25 (B)	Não
K	8,00	15,82	15,77	27,30	4,65	29,4 (a)	0,80 (b)	0,66 (B)	Não
Ca	12,45	21,50	21,00	30,30	4,76	22,1 (a)	0,09 (b)	-0,64 (C)	Sim
Mg	2,80	4,73	4,50	7,30	0,82	17,4 (m)	0,63 (b)	2,05 (B)	Sim
Cu	9,00	17,00	13,00	83,00	14,12	83 (ma)	3,64 (b)	14,49 (B)	Não
Fe	25,00	80,42	72,50	192,00	37,42	46,5 (ma)	1,08 (b)	1,12 (B)	Não
Mn	10,00	133,80	116,00	350,00	64,20	48 (ma)	1,24 (b)	2,56 (B)	Sim
Zn	19,00	46,50	46,00	78,00	12,22	26,3(a)	0,26 (b)	0,44 (B)	Sim

*Nor: Teste de normalidade Anderson-Darling e Kolmogorov-Smirnov; desvio padrão (DP); Coeficientes de variação (CV): baixo (b); médio (m), alto (a), muito alto (ma); Assimetria - distribuição simétrica (a), assimetria positiva (b), assimetria negativa (c); Curtose - mesocúrtica (A), platicúrtica (B), leptocúrtica (C).

Os íons Cu, Fe, Mn e Zn apresentaram coeficiente de variação (CV) muito alto em pelo menos três avaliações (Tabela 4). Somente o N e o P apresentaram CV baixo em somente uma avaliação. Todas as outras medições apresentaram CV médio ou alto. Logo, constatou-se que o CV para os atributos N, P e K no sistema AP (12, 15 e 26 %) mostrou-se menor em relação ao sistema AC (16, 25 e 29 %), como era esperado, visto que na adubação sob sistema AP, foi aplicado somente o necessário, de acordo com o cálculo das equações 1 e 2.

Os atributos N e Zn apresentaram distribuição assimétrica negativa em apenas uma avaliação, enquanto o atributo K mostrou comportamento assimétrico negativo em três avaliações. Apenas os atributos N, P e Cu apresentaram distribuição simétrica. Os demais atributos apresentaram distribuição assimétrica positiva. Os atributos P, Mg e Zn apresentaram curva de distribuição leptocúrtica em pelo menos duas avaliações. Ca, K e Fe apresentaram o mesmo comportamento em apenas uma avaliação. Os demais atributos apresentaram uma curva de distribuição platicúrtica.

Tabela 4 Coeficiente de variação, assimetria e curtose e teste de normalidade reclassificados em função do ano de ensaio e sistema de adubação em pomar de peras, Nova Laranjeiras - PR (2009, 2010, 2011)

Ano\Atributo		N	P	K	Ca	Mg	Cu	Fe	Mn	Zn
CV	2009 AC	m	b	m	m	m	m	a	a	a
	2010 AC	b	m	a	m	m	ma	ma	ma	ma
	2011 AP	m	m	a	m	m	ma	ma	ma	a
	2011 AC	m	a	a	a	m	ma	ma	ma	a
Assimetria	2009 AC	b	b	c	b	b	a	b	b	b
	2010 AC	b	a	c	b	b	b	b	b	b
	2011 AP	c	b	c	b	b	b	b	b	c
	2011 AC	a	b	b	b	b	b	b	b	b
Curtose	2009 AC	B	C	B	C	C	B	C	B	C
	2010 AC	B	C	C	B	C	B	B	B	B
	2011 AP	B	B	B	B	B	B	B	B	C
	2011 AC	B	B	B	B	B	B	B	B	B
Normalidade	2009 AC	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	não	sim
	2010 AC	sim	sim	sim	sim	sim	não	não	não	não
	2011 AP	sim	sim	sim	sim	sim	não	não	não	sim
	2011 AC	sim	não	não	sim	sim	não	não	sim	sim
CV	(b) baixo	a (simétrica)	A (Mesocúrtica)	sim						
(m) médio	b	B		não						
(a) alto	c	C								
(ma)muito alto										

Os atributos P, K e Zn não apresentaram normalidade em apenas uma das avaliações e o Mn em duas avaliações. Já o Cu e o Fe não apresentaram normalidade em pelo menos três avaliações.

Para a interpretação dos resultados da análise foliar da pereira, foram utilizados os valores de concentração de nutrientes apresentados na Tabela 05.

Tabela 05 Níveis de interpretação dos atributos químicos das folhas com a porcentagem encontrada em cada faixa, em pomar de peras, Nova Laranjeiras - PR (2009, 2010, 2011)

Atributos	Insuf.	Abaixo do Normal	normal	Acima do normal	Excesso
N (g kg⁻¹)	<17,00	17,00 a 19,00	20,00 a 25,00	25,10 a 30,00	>30,00
N (encontrado) 2009 AC				6%	94%
N (encontrado) 2010 AC	89%	11%			
N (encontrado) 2011 AP	44%	48%	8%		
N (encontrado) 2011 AC	53%	25%	22%		
P (g kg⁻¹)	<1,00	1,00 a 1,40	1,50 a 3,00	>3,00	
P (encontrado) 2009 AC	3%	94%	3%		
P(encontrado) 2010 AC		11%	89%		
P (encontrado) 2011 AP	5%	81%	14%		
P (encontrado) 2011 AC	17%	66%	17%		
K (g kg⁻¹)	<8,00	8,00 a 11,90	12,00 a 15,00	15,10 a 20,00	>20,00
K (encontrado) 2009 AC		30%	70%		
K (encontrado) 2010 AC		36%	33%	31%	
K (encontrado) 2011 AP	6%	25%	47%	19%	3%
K (encontrado) 2011 AC	3%	14%	22%	41%	20%
Ca (g kg⁻¹)	<8,00	8,00 a 10,90	11,00 a 17,00	>17,00	
Ca (encontrado) 2009 AC				100%	
Ca (encontrado) 2010 AC				100%	
Ca (encontrado) 2011 AP			5%	95%	
Ca (encontrado) 2011 AC			19%	81%	
Mg (g kg⁻¹)	<2,00	2,00 a 2,40	2,50 a 4,50	>4,50	
Mg (encontrado) 2009 AC				100%	
Mg (encontrado) 2010 AC				100%	
Mg (encontrado) 2011 AP			22%	78%	
Mg (encontrado) 2011 AC			40%	60%	
Fe (mg kg⁻¹)		<50	50 a 250	>250	
Fe (encontrado) 2009 AC			100%		
Fe (encontrado) 2010 AC		25%	72%	3%	
Fe (encontrado) 2011 AP		5%	87%	8%	

continua ...

Tabela 05 ... continuação

Atributos	Insuf.	Abaixo do Normal	normal	Acima do normal	
Fe (encontrado) 2011 AC	22%	78%			
Mn (mg kg ⁻¹)	<20	20 a 29	30 a 130	131 a 200	>200
Mn (encontrado) 2009 AC			86%	14%	
Mn (encontrado) 2010 AC			25%	48%	27%
Mn (encontrado) 2011 AP			55%	37%	8%
Mn (encontrado) 2011 AC			55%	27%	18%
Zn (mg kg ⁻¹)	<15	15 a 19	20 a 100	>100	
Zn (encontrado) 2009 AC			100%		
Zn (encontrado) 2010 AC		3%	94%	3%	
Zn (encontrado) 2011 AP			100%		
Zn (encontrado) 2011 AC		3%	96%		
Cu (mg kg ⁻¹)	<3	3 a 4	5 a 30	31 a 50	>50
Cu (encontrado) 2009 AC			100%		
Cu (encontrado) 2010 AC		30%	48%	8%	14%
Cu (encontrado) 2011 AP			100%		
Cu (encontrado) 2011 AC			92%	5%	3%

Fonte - Classificação dos atributos, proposta por Basso et al. (2003)

Os teores médios de N encontrados nas folhas foram 35,37; 15,85; 17,33 e 16,63 g kg⁻¹ para os anos de 2009, 2010 e 2011 (AP e AC), respectivamente. No ano de 2009, 6% dos valores encontrados foram considerados acima do normal e 94% em excesso, já para o ano de 2010, 11% foram considerados abaixo do normal e 89% insuficientes. No ano de 2011, para o sistema de AP, 8% dos valores encontrados foram considerados normais, 48% abaixo do normal e 44% insuficientes. Já para o sistema AC, 22% dos valores encontrados foram considerados normais, 25% abaixo do normal e 53% insuficientes.

Martins et al. (2010) avaliaram três cultivares de maçãs sob diferentes sistemas de produção e encontraram teores de N que variaram entre 15,3 e 23,5 g kg⁻¹. Com exceção do ano de 2010, os valores encontrados neste estudo situam-se dentro desta faixa. Botelho et al. (2010), para diferentes cultivares de peras, encontraram variação média nos teores de N de 24,1 a 28,5 g kg⁻¹ (2006) e 20,3 a 27,4 g kg⁻¹ (2007), ou seja, valores superiores aos resultados expostos neste trabalho mas, apenas o ano de 2009, estão acima desses valores.

Normalmente não são verificados problemas com deficiência de P em pereiras, haja vista a não exigência em relação a esse elemento (NAVA et al., 2001). O maior teor encontrado foi no ano de 2010 (1,69 g kg⁻¹) e o menor valor no ano de 2009 (1,18 g kg⁻¹). Para o ano de 2009, 94% dos valores encontrados situavam-se na faixa abaixo do normal,

em 2010, 89% apresentavam-se na faixa normal, em 2011 sob o sistema AP, 81% dos valores e sob o sistema AC, 66% dos valores situavam-se na faixa abaixo do normal. Segundo Suzuki e Basso (2002), teores de 1,5 a 3,0 g kg⁻¹ de P, nas folhas, são considerados como ideais no cultivo de maçãs e peras. Martins et al. (2010) encontraram valores de P que variaram entre 1,8 e 1,9 g kg⁻¹ em pomares de maçã no Estado de Santa Catarina, ou seja, valores superiores aos encontrados neste estudo. Botelho et al. (2010) observaram que apenas as cultivares *Packham's Triumph* e *Williams* apresentaram teores de P na faixa normal, nos dois anos observados, enquanto as demais cultivares tiveram teores de P abaixo dos valores encontrados neste estudo (1,00 a 1,40 g kg⁻¹).

São considerados normais os valores de K que variaram entre 12,00 e 15,00 g kg⁻¹ e acima do normal, valores de 15,10 e 20,00 g kg⁻¹. Os teores de K nas folhas variaram de 6,20 a 27,60 g kg⁻¹. No ano de 2009, 70% dos valores encontrados foram considerados normais, já para o ano de 2010, 33% foram considerados normais e 31% acima do normal. No ano de 2011, para o sistema de AP, 19% dos valores encontrados foram considerados acima do normal e 3% em excesso. Já para o sistema AC, 41% dos dados foram considerados acima do normal e 20% em excesso. Este fato pode ser reflexo da adubação localizada realizada no ano de 2010. Martins et al. (2010), ao avaliarem os pomares de maçã, encontraram valores de K com variação entre 9,4 e 12,1 g kg⁻¹. Para Botelho et al. (2010), as cultivares de peras Cascatense e Tenra apresentaram os menores teores de K nas folhas, no ano de 2007, ou seja, 9,8 e 10,5 g kg⁻¹, respectivamente.

Para a variável Ca, foram encontrados teores médios cuja variação foi de 21,50 a 35,80 g kg⁻¹. Para peras, Basso et al. (2003) classificaram como acima do normal valores maiores que 17,00 g kg⁻¹. Nos anos de 2009 e 2010, 100% dos valores situavam-se na faixa acima do normal, e para o ano de 2011, 95% (AP) e 81% (AC) foram considerados acima do normal. Martins et al. (2010) encontraram teores de Ca cuja variação foi de 9,8 a 10,7 g kg⁻¹, valores esses muito abaixo dos encontrados neste estudo.

Para a variável Mg, foram encontrados teores cuja variação foi de 4,73 a 9,37 g kg⁻¹. Os anos de 2009 e 2010 apresentaram 100% dos dados analisados na faixa acima do normal. Já para o ano de 2011, observou-se redução nos níveis encontrados, para o sistema AP, 78% dos dados encontrava-se na faixa acima do normal e no sistema AC 60% dos dados analisados foram considerados acima do normal. Botelho et al. (2010) encontraram teores de Ca e Mg dentro da faixa normal para a cultura, nos dois anos de avaliação, Ca entre 11,00 e 17,00 g kg⁻¹ e Mg entre 2,50 e 4,50 g kg⁻¹, valores inferiores aos observados neste estudo.

Para a variável Cu, observou-se grande variação nos teores encontrados, apresentando valor mínimo de 2,00 mg kg⁻¹ (2010) e máximo de 83,00 mg kg⁻¹ (2011-AC). Os teores médios variaram de 10 a 18,5 mg kg⁻¹. Para os anos de 2009 e 2011 AP, 100%

dos valores foram considerados normais, 48% no ano de 2010 e 92% no ano de 2011 AC. Martins et al. (2010) também encontraram altos valores de Cu nas folhas de macieiras sob diferentes sistemas de condução, cuja variação foi de 5,7 a 743,6 mg kg⁻¹. Os autores citaram que este fato deve-se, provavelmente, às pulverizações realizadas com produtos à base de Cu, utilizadas no tratamento fitossanitário, especialmente no controle da sarna, doença comum em maçãs e peras, juntamente com as aplicações de biofertilizantes que em sua constituição levam Cu, e por isso contribuíram para o elevado nível de Cu nas folhas do pomar.

Segundo Suzuki e Basso (2002), teores foliares de Zn na faixa de 20 a 100 mg kg⁻¹ são considerados dentro da normalidade. Desta forma, pode-se constatar que em todos os períodos amostrados, os teores médios se enquadraram nessa recomendação (2011 AC, 46,50; 2011 AP, 44,97; 2010, 49,94; 2009, 48,44 mg kg⁻¹). Os anos de 2009 e 2011, AP e AC apresentaram 100% dos dados analisados na faixa normal. Já para os anos de 2010 e 2011 AC, observou-se uma pequena redução nos níveis encontrados, 94 e 96%, respectivamente. Martins et al. (2010) encontraram valores médios de Zn que variaram entre 26,7 e 31,9 mg kg⁻¹ em pomares de maçã sob sistema convencional, valores inferiores aos encontrados neste estudo.

Botelho et al. (2010), para diferentes cultivares de peras, encontraram variação média nos teores de Zn de 25,0 a 67,7 mg kg⁻¹ (2006) e 21,0 a 28,7 mg kg⁻¹ (2007), ficando o ano de 2006, semelhante aos resultados expostos neste trabalho.

Basso et al. (2003) classificaram como normais os valores de Fe entre 50 a 250 mg kg⁻¹. Neste estudo, foram encontrados teores médios de Fe cuja variação foi de 80,42 a 150,8 mg kg⁻¹. No ano de 2009, 100% dos valores encontrados foram considerados normais, já para o ano de 2010, 72% foram considerados normais, 3% acima do normal e 25% abaixo do normal. No ano de 2011, para o sistema de AP, 87% dos valores encontrados foram considerados normais, 8% acima do normal e 5% abaixo do normal. Para o sistema AC, 78% foram considerados normais e 22% abaixo do normal.

Botelho et al. (2010), ao estudarem cinco cultivares de peras, encontraram valores de ferro, cuja variação foi de 89,3 a 141,3 mg kg⁻¹ para o ano de 2006, valores semelhantes aos deste estudo, e para o ano de 2007 de 76,7 a 90,3 mg kg⁻¹, inferiores aos observados neste estudo. Da mesma maneira que ocorreu com o Cu, foram encontrados para o Fe, alguns valores altos, sendo que para o ano de 2010, foi observado o valor máximo de 910,00 mg kg⁻¹.

O acúmulo de Fe nas folhas pode estar correlacionado com o fato de que esse é um elemento pouco móvel na planta e sua presença é necessária para a formação da clorofila. Segundo Malavolta (1981), entre os principais micronutrientes, o ferro é o mais exportado pela pereira (100 g ha⁻¹).

Singh et al. (2005) também verificaram diferenças significativas entre 13 cultivares de pereiras asiáticas, com teores variando para os seguintes micronutrientes Mn (112 a 135 mg kg⁻¹), Fe (148 a 209 mg kg⁻¹), Zn (24 a 50 mg kg⁻¹) e Cu (9 a 18 mg kg⁻¹).

I.4.2 Análise de macro e micronutrientes do solo

Na Tabela 6, são apresentadas as análises estatísticas descritivas para os atributos químicos do solo, para os anos de 2009, 2010 no sistema AC e na Tabela 07, encontram-se as concentrações de nutrientes para interpretação da análise dos atributos químicos do solo.

Tabela 6 Estatística descritiva das propriedades químicas do solo em pomar de peras, Nova Laranjeiras - PR (2009 e 2010)

Ano de 2009 AC									
P, Cu, Zn, Fe, Mn (mg dm ⁻³)				C (g dm ⁻³)			H+Al ³⁺ , Ca, Mg, Al, K, (cmol _c dm ⁻³)		
Atributo	Mín.	Média	Mediana	Máx.	DP	CV(%)	Assim.	Curt.	Normal*
P	2,60	4,03	3,50	7,60	1,22	30,36 (ma)	1,24 (b)	1,04 (B)	Não
C	19,87	27,62	28,05	35,84	4,36	15,78 (m)	-0,09 (c)	-0,89 (C)	Sim
Ph	4,7	5,22	5,20	5,90	0,33	6,36 (b)	0,21 (b)	-0,44 (C)	Sim
H+Al ³⁺	3,97	6,06	6,21	9,01	1,13	18,69 (m)	0,36 (c)	0,03 (C)	Sim
Ca	3,44	6,68	7,03	9,39	1,70	25,41 (a)	-0,33 (c)	-0,82 (C)	Sim
Mg	1,01	2,15	2,21	3,20	0,59	27,31 (a)	-0,27 (c)	-0,74 (C)	Sim
Al	0	0,03	0	0,20	0,05	204,52 (ma)	2,00 (b)	3,29 (B)	Sim
K	0,18	0,80	0,86	1,14	0,32	40,42 (ma)	-0,39 (c)	-1,23 (C)	Sim
Cu	6,30	10,09	9,75	14,20	1,97	19,48 (m)	0,51 (b)	-0,19 (C)	Sim
Zn	2,70	4,96	5,05	8	1,50	30,31 (ma)	0,28 (c)	-0,92 (C)	Sim
Fe	20	37,17	34,50	94	14,76	39,71 (ma)	2,57 (b)	7,73 (B)	Não
Mn	66	127,83	108,5	230	45,82	35,85 (ma)	0,62 (b)	-0,87 (C)	Não
Ano de 2010 AC									
Atributo	Mín.	Média	Mediana	Máx.	DP	CV(%)	Assim.	Curt.	Normal
P	1,00	1,88	1,60	4,10	0,97	51,78 (ma)	0,94 (b)	-0,22 (C)	Não
C	14,03	26,40	25,71	36,62	3,62	13,09 (m)	-0,61 (b)	4,41 (B)	Sim
Ph	4,60	5,03	5,00	5,70	0,30	6,10 (b)	0,27 (b)	-0,99 (C)	Sim
H+Al ³⁺	3,97	6,36	5,76	9,01	1,54	24,11 (a)	0,24 (b)	-1,22 (C)	Sim
Ca	2,57	6,18	6,31	9,89	2,02	32,61 (ma)	-0,22 (c)	-0,72 (C)	Sim
Mg	0,89	2,40	2,50	3,55	0,67	28,06 (a)	-0,26 (c)	-0,59 (C)	Sim
Al	0	0,09	0	0,53	0,16	174,62 (ma)	1,73 (b)	1,91 (B)	Não
K	0,09	0,36	0,34	0,82	0,20	56,63 (ma)	0,31 (b)	-0,85 (C)	Sim
Cu	6,10	9,94	10,00	14,00	1,72	17,27 (m)	0,04 (c)	0,51 (B)	Sim
Zn	0,80	4,39	3,40	15,50	3,33	75,77 (ma)	2,18 (b)	5,28 (B)	Não
Fe	14,00	28,50	27,00	60,00	9,91	34,76 (ma)	1,41 (b)	2,55 (B)	Sim
Mn	24,00	62,11	53,00	119,00	28,15	45,33 (ma)	0,63 (b)	-0,82 (C)	Não

*Teste de normalidade Anderson-Darling e Kolmogorov-Smirnov. Desvio padrão (DP); Coeficientes de variação (CV): baixo (b); médio (m), alto (a), muito alto (ma); Assimetria - distribuição simétrica (a), assimetria positiva (b), assimetria negativa (c); Curtose - mesocúrtica (A), platicúrtica (B), leptocúrtica (C).

Tabela 07 Níveis de interpretação dos teores dos atributos químicos do solo com a porcentagem encontrada em cada faixa, em pomar de peras, Nova Laranjeiras - PR (2009 e 2010)

Teores encontrados	Atributo	M. Baixo	Baixo	Médio	Alto	M. Alto
	P (mg dm ⁻³)	--	≤ 3,0	3,1- 6,0	6,1 - 9,0	> 9,0
2009 AC			12%	80%	8%	
2010 AC			83%	17%		
	K (cmol _c dm ⁻³)	--	< 0,10	0,11-0,20	0,21-030	> 0,30
2009 AC				3%	6%	91%
2010 AC			17%	14%	14%	55%
	Ca (cmol _c dm ⁻³)	--	< 2,00	2,10 – 4,00	> 4,00	--
2009 AC				6%	94%	
2010 AC				19%	81%	
	Mg (cmol _c dm ⁻³)	<0,40	0,41 - 0,60	0,61 - 0,80	>0,80	--
2009 AC					100%	
2010 AC					100%	
	C (g dm ⁻³)	<9	9,0 - 14	14,1 – 20	21-35	> 35
2009 AC				3%	94%	3%
2010 AC				6%	91%	3%
	Cu (mg dm ⁻³)	--	< 0,8	0,8 - 1,7	> 1,7	--
2009 AC					100%	
2010 AC					100%	
	Zn (mg dm ⁻³)	--	< 3,0	3,0 - 7,0	> 7,0	--
2009 AC			3%	91%	6%	
2010 AC			36%	50%	14%	
	Fe (mg dm ⁻³)	--	≤15,0	15,0 - 40,0	≥ 40,1	--
2009 AC				85%	24%	
2010 AC			3%	89%	8%	
	Mn (mg dm ⁻³)	--	< 15,0	15,0 - 30,0	> 30,0	--
2009 AC					100%	
2010 AC				16%	84%	

Fonte: Classificação dos atributos, proposta por COSTA; OLIVEIRA (2001).

Os teores médios de P, encontrados no ano de 2009, foram de 4,03 mg dm⁻³, sendo que no ano de 2010 ocorreu diminuição na concentração deste elemento (1,88 mg dm⁻³) apesar das adubações efetuadas. Para o ano de 2009, 80% dos dados analisados encontraram-se na faixa de teor médio, 8% alto e 12% na faixa baixo, já no ano de 2010, 83% dos dados apresentavam-se na faixa de teor baixo e 17% na faixa médio. Para Scaloppi; Baptistella (1986), o P, após ser aplicado no solo, pode ser: adsorvido pelas partículas do solo; absorvido pelas plantas; percolado pelo perfil do solo ou ainda precipitado.

A pereira se desenvolve relativamente bem em solos com baixa disponibilidade de P. Isso tem sido explicado pela exigência moderada da cultura e pela extensão e capacidade de absorção do sistema radicular. Em pomares de pereiras são realizadas adubações pesadas de K devido ao fato deste elemento ser o macronutriente mais exportado pela pera. Segundo Malavolta (1981), em um hectare de pomar de peras são exportados 20 kg de potássio.

Para os teores de K, no ano de 2009, observa-se que 91% dos dados analisados encontram-se na faixa de teor muito alto ($\geq 0,31 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$), sendo encontrada concentração média de $0,80 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$. Para o ano de 2010, houve diminuição dos teores encontrados, mas, apenas 55% dos dados analisados encontravam-se na faixa muito alta, cuja média geral é de $0,36 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$.

Para solos argilosos, os valores de $\text{Ca} \geq 4,0 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ são considerados como altos. Para o ano de 2009, 94% dos dados analisados encontravam-se na faixa de teor alto e concentração média de $6,68 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$. Para o ano de 2010, 81% dos dados analisados encontravam-se na faixa de teor alto e concentração média de $6,18 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$. Botelho et al. (2010), ao avaliarem o estado nutricional de pomar de peras em Guarapuava-PR, encontraram valores de $6,4 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, que corroboraram com os valores encontrados neste estudo. Em pomares, como não há o revolvimento do solo, ocorre a estratificação do conteúdo de cátions trocáveis, com acúmulo nos primeiros centímetros superficiais e a redução da concentração com o aumento da profundidade (CENTURION et al., 1985).

Para solos argilosos, são considerados como altos os valores de $\text{Mg} \geq 0,80 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$. A classificação deste solo, para os dois anos de estudo, é alta, e apresentou 100% dos dados analisados nesta faixa. O teor médio encontrado para o ano de 2009 foi de $2,15 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ e para o ano de 2010, o teor médio encontrado foi de $2,40 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$.

Rosa (2010), ao avaliar pomares de maçã, encontrou concentrações do teor de Mg de $5,30 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ em pomar convencional e $4,60 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ em pomar orgânico, valores superiores aos encontrados neste estudo.

Para os pomares em produção e considerando-se as possibilidades de respostas imediatas, pode-se dizer que a chave da nutrição em fruticultura de clima temperado em todo o mundo é o nitrogênio (FACHINELLO et al., 2008). A matéria orgânica existente no solo é fonte potencial de N, P e S. Para o ano de 2009, 94% dos valores de C encontrados foram considerados altos e 3% em excesso, os quais apresentaram valores semelhantes em 2010, 91% altos e 3% em excesso. Os valores obtidos foram multiplicados por 1,724, pois admite-se que o carbono orgânico participa com 58% na composição da matéria orgânica do solo (EMBRAPA, 1999). Ao serem transformados os valores médios de C para matéria orgânica (MO), tem-se 47,59 e 45,49 g dm^{-3} , respectivamente, para 2009 e 2010, valores acima do ideal (40 g dm^{-3}).

Hoppe (2007), ao trabalhar com pomares orgânicos em transição nos anos de 2002 e 2003, nos municípios de Rio Pardo, Santa Cruz do Sul, observou que os pomares apresentaram elevação nos valores de MO de 18,4 g dm⁻³ (2002) para 23 g dm⁻³ (2003) mas, ainda distantes dos 40 g dm⁻³, considerados ideais. Martins et al. (2010), ao trabalharem em pomares de maçãs conduzidos sob diferentes sistemas de produção, encontraram teores de MO que variaram entre 43, 8 e 50,5 g dm⁻³. Os valores observados neste estudo foram semelhantes e estão dentro deste intervalo.

Em relação aos teores de Cu, foram encontrados valores de 10,09 (2009) e 9,94 mg dm⁻³ (2010), classificados como altos para solos argilosos, porém, 100% dos dados foram considerados elevados nos dois anos avaliados. Para Lindsay (1972), somente dois fatores afetam a disponibilidade de Cu no solo: pH e matéria orgânica. Quando o pH se eleva em uma unidade, a concentração de Cu⁺² na solução do solo diminui em 100 vezes. Em pH menor que 7,3 predomina a espécie iônica Cu⁺², a qual é fortemente complexada pela matéria orgânica e apenas concentrações acima de 30 mg dm⁻³, na solução do solo, podem causar fitotoxicidade (BRAILE; CAVALCANTI, 1979); fato que não ocorreu neste trabalho, pois as concentrações encontram-se abaixo desse valor.

Rosa (2010), ao avaliar pomares de maçã, encontrou teores de Cu cuja variação foi de 8,30 a 13,80 mg dm⁻³, valores condizentes com os observados neste estudo.

Uma porção significativa do Cu que atinge o solo via pulverizações com fungicidas ou outro resíduo permanece nas camadas mais superficiais, ligada principalmente à matéria orgânica do solo, por complexos de esfera interna. Quaggio (1991) observou que parte das aplicações de Cu é absorvida diretamente pelas folhas e outra, talvez bem maior, é levada para o solo onde se acumula.

Para solos argilosos, Oliveira (2003) classificou como médios os valores de Zn entre 3 a 7 mg dm⁻³. No ano de 2009, 91% dos dados analisados encontravam-se classificados como médios, assim, apresentaram concentração média de 4,96 mg dm⁻³. No ano de 2010, apenas 50% dos dados analisados continuaram classificados como médios com aumento de 33% nos dados considerados baixos. A concentração média para este ano foi de 4,39 mg dm⁻³.

Baixos teores de zinco no solo podem ser justificados, uma vez que ele pode ser fixado pela matéria orgânica ou imobilizado, temporariamente, pelos microrganismos do solo, quando da aplicação de resíduos orgânicos, ainda, a elevada disponibilidade de P pode induzir deficiência de Zn (OLSEN, 1972; MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1997). Fageria (2000) e Carneiro et al. (2008) também informaram que a aplicação de altas doses de fósforo no solo podem contribuir para a escassez de zinco, devido ao antagonismo entre esses dois nutrientes.

Em relação aos teores de Fe, observa-se que 85% dos dados analisados no ano de 2009 encontraram-se na faixa classificada como médios, e para o ano de 2010, 89% dos dados encontraram-se na mesma faixa. Neste estudo, foram encontradas concentrações médias de ferro de 37,17 mg dm⁻³ no ano de 2009 e 28,50 mg dm⁻³, no ano de 2010. Souza (2006) estudou a variabilidade espacial de atributos de solo e a produtividade em área cultivada com café orgânico e convencional e encontrou valores de concentração de Fe de 74 mg dm⁻³, valor superior aos encontrados neste estudo.

Para solos argilosos, valores de Mn maiores que 30 mg dm⁻³ são considerados elevados. No ano de 2009, observa-se que 100% dos dados analisados foram classificados na faixa como elevado, com teor médio de 127,83 mg dm⁻³. Já no ano de 2010, 84% dos dados analisados encontram-se na mesma faixa, com teor médio de 62,11 mg dm⁻³. Souza (2006), em lavoura de café, encontrou valores de Mn muito inferiores aos encontrados neste estudo (25,24 mg dm⁻³).

Na Tabela 8 são apresentados os coeficientes de variação, assimetria, curtose e o teste de normalidade reclassificados.

Tabela 8 Coeficiente de variação, assimetria, curtose e teste de normalidade, reclassificado em função do ano de ensaio, em pomar de peras, Nova Laranjeiras - PR (2009 e 2010)

Ano/Atributo		P	C	pH	H+Al ³	Ca	Mg	Al	K	Cu	Zn	Fe	Mn
CV	2009 AC	ma	m	b	a	ma	a	ma	ma	m	ma	ma	ma
	2010 AC	a	m	b	m	a	a	ma	ma	m	ma	ma	ma
Assimetria	2009 AC	b	b	b	b	c	c	b	b	c	b	b	b
	2010 AC	b	c	b	c	c	c	b	c	b	c	b	b
Curtose	2009 AC	C	B	C	C	C	C	B	C	B	B	B	C
	2010 AC	B	C	C	C	C	C	B	C	C	C	B	C
Normalidade	2009 AC	não	sim	sim	sim	sim	sim	não	sim	sim	não	sim	não
	2010 AC	não	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	não	não
CV	Assimetria	Curtose		Normalidade									
(b) baixo	a (simétrica)	A (Mesocurtica)		sim									
(m) médio	b (assim. positiva)	B (Platicurtica)		não									
(a) alta	c (assim. negativa)	C (Leptocurtica)											
(ma) muito alto													

O CV para pH do solo foi considerado baixo (5,22; 5,05), o qual indica elevada homogeneidade, pois os valores foram, respectivamente, menores que 10% para os períodos amostrados. Souza et al. (2010) acrescentaram que o pH do solo geralmente indica baixo CV, uma vez que apresenta escala logarítmica, dessa maneira, grandes variações nas concentrações hidrogeniônicas na solução do solo resultam em pequenas variações no valor do pH. Todas as outras medições apresentaram CV médio ou elevado.

Os atributos C, H+Al³, Ca, Cu e Zn apresentaram distribuição assimétrica negativa em apenas uma avaliação. Já os atributos P, pH, Al, Fe e Mn mostraram comportamento assimétrico negativo nas duas avaliações. Os demais atributos apresentaram distribuição assimétrica positiva.

Os atributos Al e Fe apresentaram curva de distribuição leptocúrtica em pelo menos duas avaliações. P, C, Cu e Zn apresentaram o mesmo comportamento em apenas uma avaliação. Os demais atributos apresentaram uma curva de distribuição platicúrtica. Os atributos Al e Zn não apresentaram normalidade em apenas uma das avaliações. Já o P o Mn não apresentaram normalidade nas duas avaliações.

I.4.3 Análise das propriedades físicas do solo

Na Tabela 09, estão apresentados os resultados da estatística descritiva para os atributos físicos do solo avaliados no ano de 2010.

Tabela 09 Resultados da análise estatística descritiva para alguns atributos físicos do solo, em pomar de peras, Nova Laranjeiras - PR (2010)

Física do solo 0-20 cm de profundidade									
Atributos	Micro, Macro, Porosidade total (m ³ m ⁻³)				Densidade (g cm ⁻³)		RSP (MPa)		
	Mín.	Média	Mediana	Máx.	DP	CV(%)	Assim.	Curt.	Normal
Micro	0,34	0,41	0,41	0,57	0,04	10,4 (m)	1,12 (a)	4,36 (B)	sim
Densidade	0,98	1,15	1,14	1,30	0,08	7,08 (b)	-0,02 (b)	-0,48 (C)	sim
Macro	0,05	0,10	0,09	0,23	0,04	37,03 (ma)	1,65 (c)	4,74 (B)	sim
Poros. total	0,44	0,51	0,50	0,64	0,04	8,42 (b)	1,13 (c)	2,51(B)	não
Teor de água	28,10	39,44	40,21	57,66	5,54	14,04 (m)	0,46 (c)	2,51(B)	sim
RSP	0,70	1,14	1,11	1,87	227	19,92 (m)	0,80 (b)	1,80 (B)	sim
Física do solo 20-40 cm de profundidade									
Micro	0,32	0,51	0,53	0,58	0,06	11,17 (m)	-2,31 (c)	5,77 (B)	não
Densidade	0,94	1,12	1,11	1,35	0,01	8,85 (b)	0,71 (b)	0,22 (C)	sim
Macro	0,03	0,08	0,09	0,16	0,03	30,42 (ma)	0,22 (a)	1,01 (B)	sim
Poros. total	0,41	0,60	0,62	0,67	0,06	9,83 (b)	-1,72 (c)	3,35 (B)	não
Teor de água	17,60	35,57	37,00	40,70	5,0	14,12 (m)	-1,95 (c)	4,38 (B)	não
RSP	1,21	1,88	1,82	3,57	462	24,59 (a)	1,63 (b)	4,13(B)	não
Textura do solo									
Argila (g kg ⁻¹)	620	712	720	770	3,78	5,31 (b)	-0,89(c)	0,16(C)	Sim
Silte (g kg ⁻¹)	140	169	170	200	1,50	8,87 (b)	0,20(c)	-0,20(C)	Sim
Areia (g kg ⁻¹)	80	119	110	180	2,93	24,61 (a)	0,57(b)	-0,71(C)	Sim
Topografia									
Altitude (m)	680,40	687,21	687,05	692,71	3,0	0,44 (b)	-0,01(b)	-0,51(C)	Sim

Micro - Microporosidade, Macro – Macroporosidade; RSP – Resistência do solo a penetração;

*Teste de normalidade Anderson-Darling e Kolmogorov-Smirnov; desvio padrão (DP);

Coefficientes de variação (CV): baixo (b); médio (m), alto (a), muito alto (ma). Assimetria - distribuição simétrica (a), assimetria positiva (b), assimetria negativa (c); Curtose - mesocúrtica (A), platicúrtica (B), leptocúrtica (C).

Na profundidade de 0-20 cm, a densidade e a porosidade do solo apresentaram os menores CVs (7,08; 8,42%). Souza et al. (2004) também encontraram valores semelhantes quando avaliaram um latossolo vermelho sob cultivo de cana-de-açúcar. Já o maior CV foi encontrado para a macroporosidade (37,03%), o qual está em concordância com os resultados obtidos por Machado (1994), Mata et al. (1998), Cavalcante (1999), Carvalho et al. (2003) e Souza et al. (2004).

A microporosidade apresentou valores médios de $0,41 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ (na profundidade de 0-20 cm) e $0,51 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ (na profundidade de 20-40 cm). O valor médio encontrado por Schaffrath et al. (2008), num Latossolo Vermelho Distroférico, sob plantio direto, na profundidade de 0-15 cm, foi de $0,50 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, superior ao encontrado neste estudo.

A densidade do solo apresentou pequena variação entre as duas profundidades, mas, para a profundidade de 0-20 cm, os valores médios encontrados foram maiores ($1,15 \text{ kg dm}^{-3}$). Tormena et al. (1998) observaram valores de densidade maiores na superfície, em sistema plantio direto, os quais foram associados à acomodação do solo juntamente com o tráfego de máquinas no sistema. Para solos de textura argilosa, classe textural do solo deste experimento, a densidade crítica situa-se entre 1,4 e $1,5 \text{ mg m}^{-3}$ (REICHERT et al., 2003), faixa não alcançada nas profundidades avaliadas.

Kiehl (1979) também afirmou que a amplitude média de variação da densidade para solos argilosos é de 1,00 a $1,25 \text{ kg dm}^{-3}$ e $1,60 \text{ kg dm}^{-3}$ como valor limite, acima do qual as raízes não podem penetrar nos solos argilosos. Neste estudo, foram encontrados valores médios de densidade de $1,15 \text{ kg dm}^{-3}$ (profundidade de 0-20 cm) e $1,12 \text{ kg dm}^{-3}$ (profundidade de 20-40 cm). Assim, tais valores estão dentro da faixa de amplitude citada por Kiehl.

Para a macroporosidade, foram observados valores de $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ para a profundidade 0-20 cm e $0,08 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ para a profundidade 20-40 cm. Kiehl (1979) destacou que a macroporosidade está correlacionada com o crescimento das plantas e seus valores ótimos encontram-se entre 0,20 e $0,30 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$. Assim, os valores superiores são prejudiciais, pois restringem a capacidade de retenção de água do solo e os valores menores que $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ prejudicam o desenvolvimento das raízes, a infiltração de água e a aeração do solo. Ademais, a amplitude média de variação da densidade aparente para solos argilosos é de 1,00 a $1,25 \text{ kg dm}^{-3}$, enquanto $1,60 \text{ kg dm}^{-3}$ é o valor limite acima do qual as raízes não podem penetrar nos solos argilosos. Schaffrath et al. (2008), em um latossolo, sob plantio direto, na profundidade de 0-15 cm, encontraram valores de $0,13 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ sob plantio direto e $0,08 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ sob plantio convencional, os quais corroboram com os valores encontrados neste estudo.

A porosidade total do solo, na profundidade de 0-20 cm, foi em média $0,51 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ e $0,60 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ na profundidade de 20-40 cm. Rosa (2010) avaliou pomares de maçãs sob dois sistemas de produção e observou que os solos dos pomares apresentaram porosidade total de $0,57 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ (0-10 cm) e $0,55 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ (10-20 cm), sem diferenças significativas. A área de campo nativo, situada ao lado dos pomares, apresentou os maiores valores de porosidade total, $0,61 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ e $0,56 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ nas profundidades de 0-10 e 10-20 cm, respectivamente.

Segundo Reynolds et al. (2002), o valor médio de $0,66 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ para a porosidade total corresponde ao valor ideal de qualidade física, e valores menores do que $0,66 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ são

indicativos de elevada retenção de água, concomitantemente, menor capacidade de aeração do solo constituindo-se numa limitação ao crescimento de raízes. Como pomares são culturas perenes, com sistema radicular abundante, quer em profundidade como lateralmente, os valores limitantes encontrados por Reynolds (2002) podem não ser aplicados a esta cultura.

Klein e Libardi (2002) observaram que, no solo da mata, a porosidade total variou de 0,670 a 0,615 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ em profundidade (0,1 a 1 m), e que os macro e microporos apresentaram alterações, tendo os primeiros apresentado uma tendência de diminuição em profundidade e, em consequência disso, o aumento dos microporos.

Em relação à profundidade, as atividades de fatores pedogenéticos resultantes da evolução do solo podem causar o adensamento de camadas subsuperficiais. Os materiais mais finos são transportados da superfície do solo, logo preenchem os vazios (poros) das camadas inferiores e aumentam sua resistência à penetração (CAMARGO; ALLEONI, 2006). Observou-se, ao longo do perfil do solo, determinado acréscimo na resistência do solo à penetração (RSP), na medida em que se aumentou a profundidade (1,14 MPa, para 0-20 cm e 1,88 MPa, para 20-40 cm), corroborando com Dalben; Osaki (2008), os quais também observaram tal acréscimo quando avaliaram as propriedades físicas do solo em áreas de floresta nativa e em povoamento de *Pinus taeda* e cinco profundidades. Martins et al. (2002) estudaram quatro povoamentos florestais e relataram que os maiores valores de RSP foram observados na camada de 20-40 cm, semelhantes aos resultados obtidos no presente trabalho.

Para o teor de água no solo, foram observados valores médios de 39,4% (na profundidade de 0-20 cm) e 35,6% (na profundidade de 20-40 cm). Os resultados do teor de umidade do solo reforçam os resultados obtidos para a resistência do solo à penetração. Na profundidade 20-40 cm verificou-se maior resistência à penetração, portanto, menor infiltração e armazenamento de água.

Foi possível observar neste trabalho que existe variabilidade nos teores de argila, silte e areia dentro da área experimental, os quais confirmam as observações de Souza et al. (2003); Souza et al. (2004); Montanari et al. (2005), de que mesmo em áreas consideradas homogêneas, em uma classe de solo, existe dependência espacial de atributos químicos e granulométricos.

Na Tabela 10, são apresentados os coeficientes de variação (CV), assimetria, curtose e o teste de normalidade, reclassificados para as variáveis microporosidade, densidade do solo, macroporosidade, porosidade total, resistência do solo à penetração, argila, silte, areia e altimetria. A macroporosidade apresentou CV muito alto nas duas profundidades, RSP e areia apresentaram CV alto para a profundidade 20-40 cm, os atributos microporosidade e teor de água apresentaram CV médio para as duas

profundidades. A RSP apresentou CV médio apenas na profundidade 0-20 cm. Os demais atributos apresentaram CV baixo.

Os atributos micro e macroporosidade apresentaram distribuição simétrica em pelo menos uma profundidade. A densidade do solo e a RSP apresentaram distribuição assimétrica positiva nas duas profundidades, areia e altimetria em apenas uma profundidade. Todavia, a porosidade e o teor de água no solo apresentaram distribuição assimétrica negativa nas duas profundidades; enquanto microporosidade, macroporosidade, argila e silte apresentaram distribuição negativa em uma profundidade.

Tabela 10 Coeficiente de variação, assimetria e curtose e teste de normalidade, reclassificados em função da profundidade em pomar de peras, Nova Laranjeiras - PR (2010)

	Atributos	micro	densidade	macro	poros. Total	Teor de água	RSP	Argila	Silte	Areia	Altimetria
CV	0-20 cm	m	b	ma	b	m	m				
	20-40 cm	m	b	ma	b	m	a	b	b	a	b
Assimetria	0-20 cm	a	b	c	c	c	b				
	20-40 cm	c	b	a	c	c	b	c	c	b	b
Curtose	0-20 cm	B	C	B	B	B	B				
	20-40 cm	B	C	B	B	B	B	C	C	C	C
Normalidade	0-20 cm	sim	sim	sim	sim	sim	sim				
	20-40 cm	não	sim	sim	não	não	não	sim	sim	sim	sim

Micro - Microporosidade, Macro – Macroporosidade, Dens.- densidade, RSP – Resistência do solo à penetração

CV	Assimetria	Curtose	Normalidade
(b) baixo	a (simétrica)	A (Mesocúrtica)	sim
(m) médio	b (assim. positiva)	B (Platicúrtica)	não
(a) alta	c (assim. negativa)	C (Leptocúrtica)	
(ma) muito alto			

A densidade do solo apresentou curva de distribuição leptocúrtica em duas avaliações, o teor de areia, silte, argila e altimetria apresentaram uma curva de distribuição leptocúrtica em apenas uma avaliação. Os demais atributos apresentaram uma curva de distribuição platicúrtica.

Foi verificada normalidade para as variáveis densidade e macroporosidade nas duas profundidades estudadas, e microporosidade, porosidade, teor de água e RSP na profundidade de 0-20 cm. Os parâmetros da textura do solo (areia, silte e argila) e altimetria também apresentaram normalidade. A normalidade para a variável densidade do solo também foi verificada por Souza et al. (2001) e Carvalho et al. (2003), enquanto a macroporosidade foi verificada por Mata et al. (1998).

I.4.4 Análise da produtividade

Para este estudo, a produtividade do pomar foi avaliada em três anos consecutivos, mas, no ano de 2011, foram investigados dois sistemas de produção (Tabela 11).

Em todos os períodos avaliados, o CV mostrou-se muito alto indicando heterogeneidade dos dados. O sistema AP apresentou CV menor (48,8%) quando comparado ao sistema AC (59,7%), o que era esperado devido à adubação localizada. Os períodos avaliados apresentaram distribuição assimétrica positiva com curva de distribuição platicúrtica para os anos de 2009 e 2011 AC, leptocúrtica para os anos de 2010 e 2011 AP. Apenas para o ano de 2009, os dados não apresentaram normalidade, no entanto, verificaram-se maior produtividade e menor CV.

Os anos de 2011 e 2010 apresentaram decréscimo na produtividade quando comparados ao ano de 2009. As baixas produtividades podem estar relacionadas ao excesso de chuva nos meses que antecedem a colheita, dezembro e janeiro (Tabela 01).

Tabela 11 Estatística descritiva das produtividades em kg ha⁻¹, em pomar de peras, Nova Laranjeiras - PR (2009, 2010 e 2011)

Atributos	Mín.	Média	Mediana	Máx.	DP	CV(%)	Assim.	Curtose	Normal*
Produt. 2011 AC	333	2.548	2.328	6.440	1.523	59,77 (ma)	0,97 (b)	0,53 (B)	Sim
Produt. 2011 AP	207	2.625	2.605	5.271	1.282	48,86 (ma)	0,36 (b)	-0,24 (C)	Sim
Produt. 2010 AC	765	3.032	3.026	6.085	1.375	45,35 (ma)	0,30 (b)	-0,36 (C)	Sim
Produt. 2009 AC	1.626	5443	5.006	10.738	2.067	37,97 (ma)	0,84 (b)	0,37 (B)	Não

*Teste de normalidade Anderson-Darling e Kolmogorov-Smirnov. Desvio padrão (DP); Coeficientes de variação (CV): muito alto (ma). Assimetria - distribuição simétrica (a), assimetria positiva (b), assimetria negativa (c); Curtose - mesocúrtica (A), platicúrtica (B), leptocúrtica (C).

Balastreire (2001), ao estudar o mapeamento da produtividade da cultura do café, também encontrou elevado CV para a produtividade. As causas de tal variabilidade dentro do pomar podem ser diversas, dentre elas estão: as condições ambientais, o clima, o solo e sua topografia; grau de infestação de pragas, doenças e plantas invasoras; umidade e temperatura; profundidade e compactação do solo; histórico do manejo da área e problemas de drenagem. Existem ainda fatores biológicos tais como a quebra de dormência e a polinização.

1.4.5 Análise de correlação

Na Tabela 12, está apresentado o resultado da análise das correlações de Pearson para os atributos químicos do solo e da produtividade para o ano de 2010. Os atributos K e Ca, K e Mn, K e pH, Ca e Mn, Ca e pH, pH e Mg, pH e Zn, H+Al e Al apresentaram forte correlação linear positiva. Já os atributos Ca e H+Al, Ca e Al, Mg e H+Al, Mg e Al, H+Al e Zn e Al e pH apresentaram forte correlação linear negativa ou inversa. Os atributos H+Al e pH apresentaram correlação linear negativa muito forte. Já os atributos Ca e Mg apresentaram correlação linear positiva muito forte que pode estar associada à interação chamada de sinergismo, ou seja, a presença de um dado elemento aumenta a absorção de outro. Esta forte correlação entre esses elementos também pode ser devido à maior CTC, à aplicação

de fertilizantes e corretivos e à mineralização dos resíduos das plantas de cobertura. A calagem com calcário dolomítico além de aumentar a disponibilidade do fósforo também torna maior a absorção do mesmo, devido à introdução de magnésio na solução do solo. Como a CTC é o somatório de K, Ca, Mg e H+Al, o H+Al exerce influência direta, o que pode ser confirmado pela forte correlação entre esses atributos.

Tabela 12 Correlação linear de Pearson para os atributos químicos do solo e a produtividade para o ano de 2010, em pomar de peras, Nova Laranjeiras - PR

	C	P	K	Ca	Mg	Cu	Fe	Zn	Mn	H+Al	Al	pH	Prod.
P (mg dm ⁻³)	0,17												
K (cmol _c dm ⁻³)	0,11	0,22								m. fraca			0 ≤ R < 0,2
Ca (cmol _c dm ⁻³)	0,14	0,26	0,71							fraca			0,2 ≤ R < 0,4
Mg (cmol _c dm ⁻³)	0,19	0,06	0,51	0,84						moderada			0,4 ≤ R < 0,6
Cu (mg dm ⁻³)	-0,44	-0,27	-0,11	-0,43	-0,38					forte			0,6 ≤ R < 0,8
Fe (mg dm ⁻³)	-0,36	0,19	-0,33	-0,41	-0,47	0,35				m. forte			0,8 ≤ R ≤ 1
Mn (mg dm ⁻³)	-0,01	0,24	0,78	0,75	0,63	-0,22	-0,37						
Zn (mg dm ⁻³)	0,20	0,12	0,24	0,45	0,40	-0,18	-0,22	0,33					
H+Al (cmol _c dm ⁻³)	0,16	-0,03	-0,59	-0,85	-0,77	0,28	0,47	-0,68	-0,22				
Al (cmol _c dm ⁻³)	-0,05	-0,03	-0,43	-0,81	-0,80	0,35	0,42	-0,47	-0,39	0,79			
pH	-0,06	0,11	0,61	0,84	0,77	-0,34	-0,44	0,68	0,15	-0,94	-0,71		
Produt. (kg ha ⁻¹)	0,24	-0,05	0,21	0,07	0,01	0,02	-0,18	0,18	0,15	0,02	-0,02	-0,02	

Interações entre os nutrientes também podem ser nocivas, prejudiciais à nutrição das plantas, por conseguinte, podem comprometer a produtividade. É o caso do K e Ca, K e Mn, Ca e Al, Mg e Al, existe o efeito denominado antagonismo, ou seja, a presença de um nutriente causa a indisponibilização do outro, apesar desse estar presente em quantidade suficiente no solo.

A produtividade apresentou correlação linear fraca ou muito fraca com todos os atributos químicos do solo analisados, resultado coerente com as observações de Stassen; North (2005), em que afirmam que grandes quantidades dos nutrientes são perdidas na poda e na queda das folhas (voltando ao solo na reciclagem e ciclo da matéria orgânica) ou são fixadas pelas partes permanentes da planta. Portanto, apenas uma parte dos nutrientes do solo é requerida para os frutos, que posteriormente indicarão a produtividade do pomar.

Com relação aos atributos do solo, as correlações lineares de Pearson para a profundidade de 0-20 cm (Tabela 13) apresentaram uma correlação positiva muito forte entre a microporosidade e o teor de água no solo, forte entre a microporosidade e a porosidade total, a porosidade total e o teor de água. A densidade e o teor de água no solo apresentaram forte correlação negativa, concordando com Kiehl (1979) e também com Rosa Filho et al. (2009), os quais explicaram que a diminuição da densidade significa o predomínio no solo de partículas mais finas com maior capacidade de retenção de água.

Para a profundidade de 20-40 cm (Tabela 13), observou-se correlação positiva muito forte entre microporosidade e porosidade total, microporosidade e teor de água e porosidade total e teor de água. A microporosidade apresentou correlação moderada negativa com a densidade para as duas profundidades. Segundo Silva; Kay (1997), a microporosidade do solo é fortemente influenciada pela textura, pelo teor de carbono orgânico e muito pouco influenciada pela densidade.

A produtividade apresentou correlação linear muito fraca e fraca com todos os atributos físicos do solo, analisados. A porosidade é a fração volumétrica do solo ocupada com ar e, ou, água, logo, representa o local onde circulam a solução (água e nutrientes) e o ar, sendo, portanto, o espaço em que ocorrem os processos dinâmicos do ar e a solução do solo. Portanto, torna-se evidente a forte correlação entre esses atributos.

Tabela 13 Correlação linear de Pearson para os atributos físicos do solo e produtividade, em pomar de peras, Nova Laranjeiras - PR (2010)

Profundidade 0- 20 cm							
	Produt.	Micro	Densidade	Macro	Poros.total	RSP*	Teor de água
Microporosidade (m ³ m ⁻³)	-0,06						
Densidade (g cm ⁻³)	0,12	-0,48					
Macroporosidade (m ³ m ⁻³)	-0,07	-0,42	-0,02				
Porosidade total (m ³ m ⁻³)	-0,12	0,64	-0,50	0,42			
RSP (MPa)	0,15	-0,13	0,44	-0,32	-0,40		
Teor de água (%)	-0,13	0,80	-0,65	-0,05	0,76	-0,34	
Altitude (m)	-0,17	-0,23	0,32	0,17	-0,09	0,31	-0,29
Profundidade 20-40 cm							
	Produt.	Micro	Densidade	Macro	Poros.total	RSP*	Teor de água
Microporosidade (m ³ m ⁻³)	0,30					m. fraca	0 ≤ R < 0,2
Densidade (g ³ cm ⁻³)	0,03	-0,47				fraca	0,2 ≤ R < 0,4
Macroporosidade (m ³ m ⁻³)	0,05	-0,17	0,00			moderada	0,4 ≤ R < 0,6
Porosidade total (m ³ m ⁻³)	0,31	0,90	-0,46	0,28		forte	0,6 ≤ R < 0,8
RSP (MPa)	-0,15	-0,25	0,49	0,06	-0,21	m.forte	0,8 ≤ R ≤ 1
Teor de água (%)	0,36	0,90	-0,53	-0,06	0,85		
Altitude (m)	-0,17	0,09	0,33	0,11	0,13	0,42	0,03

* Resistência do solo à penetração

Na Tabela 14, estão apresentados os resultados das correlações lineares para os atributos químicos das folhas e a produtividade sob dois sistemas de adubação (AP e AC). Para o ano de 2011 nos sistemas AC e AP, a produtividade apresentou correlação moderada a muito fraca com todos os atributos analisados. Também é possível observar forte correlação entre os atributos Ca e Zn (0,68) para AC em 2011.

Para o ano de 2011, no sistema AP, houve forte correlação positiva entre os atributos Fe e P(0,81), Ca e Mg (0,81) e negativa entre os atributos Ca e Cu (-0,96) e Cu e Zn (-0,96).

Tal correlação positiva pode estar associada a uma interação entre os nutrientes, chamada de sinergismo, ou seja, ao se adicionar determinado elemento no solo, que interage com outro, auxilia na absorção pela planta e produz um efeito positivo. Já a forte correlação negativa pode estar associada ao antagonismo, interação conhecida como inibição competitiva: o cobre inibe competitivamente a absorção do zinco (CAMARGOS, 2005).

Tabela 14 Correlação linear de Pearson para os atributos químicos das folhas e produtividade em pomar de peras, Nova Laranjeiras – PR (2011)

Ano 2011 - Sistema AC									
	N	P	K	Ca	Mg	Cu	Fe	Mn	Zn
P (g kg ⁻¹)	-0,38						m.fraca		0 ≤ R < 0,2
K (g kg ⁻¹)	-0,16	0,07					fraca		0,2 ≤ R < 0,4
Ca (g kg ⁻¹)	0,21	0,09	0,40				moderada		0,4 ≤ R < 0,6
Mg (g kg ⁻¹)	0,11	0,11	0,38	0,43			Forte		0,6 ≤ R < 0,8
Cu (mg kg ⁻¹)	-0,17	0,09	0,18	-0,12	0,32		m.forte		0,8 ≤ R ≤ 1
Fe (mg kg ⁻¹)	-0,04	0,23	0,13	-0,14	0,10	-0,02			
Mn (mg kg ⁻¹)	-0,19	-0,06	0,14	0,07	0,24	-0,16	0,08		
Zn (mg kg ⁻¹)	0,31	0,17	0,36	0,68	0,38	-0,25	0,00	0,21	
Produt.(kg ha ⁻¹)	-0,04	0,04	-0,27	0,04	-0,12	-0,46	0,14	0,18	0,06

Ano 2011 - Sistema AP									
	N	P	K	Ca	Mg	Cu	Fe	Mn	Zn
P (g kg ⁻¹)	-0,06								
K (g kg ⁻¹)	-0,53	0,20							
Ca (g kg ⁻¹)	-0,15	0,36	0,13						
Mg (g kg ⁻¹)	-0,14	0,32	0,14	0,81					
Cu (mg kg ⁻¹)	0,20	0,60	0,00	-0,96	0,09				
Fe (mg kg ⁻¹)	0,03	0,81	0,06	0,40	0,34	0,44			
Mn (mg kg ⁻¹)	-0,28	0,02	0,21	0,13	0,14	-0,19	0,16		
Zn (mg kg ⁻¹)	-0,36	0,31	0,45	0,54	0,44	-0,96	0,23	0,64	
Produt.(kg ha ⁻¹)	-0,08	0,26	0,10	-0,26	-0,18	0,46	0,12	-0,02	-0,18

I.4.6 Análise geoestatística

Os modelos ajustados para os semivariogramas (Tabela 15) para os atributos químicos das folhas foram o exponencial (13 ocorrências), o gaussiano (13 ocorrências) e o esférico (10 ocorrências). Para o ano de 2009, os maiores alcances foram encontrados para os atributos N e Mg (80,4 m), e o menor alcance foi para o atributo Mn (29,5 m). Para o ano de 2010, os maiores alcances foram encontrados para os atributos N (102 m) e K (174 m), e o menor alcance foi para o atributo Cu (13,4 m).

Para o ano de 2011, sob o sistema AC, o maior alcance foi encontrado para o atributo K (72,4 m), e o menor alcance foi para o atributo P (8,04 m). Para o ano de 2011, sob o sistema AP, os maiores alcances foram encontrados para os atributos K (265 m) e Fe (139 m) e os menores alcances foram para os atributos Mg (13,4 m) e P (18,8 m). Para o

ano de 2011, sob sistema AP (Tabela 15), todas as variáveis apresentaram moderada dependência espacial. O mesmo ocorreu para o ano de 2011 sob sistema AC, com exceção das variáveis P e Zn, as quais apresentaram forte e fraca dependência espacial, respectivamente.

Tabela 15 Modelos e parâmetros estimados dos semivariogramas para os atributos químicos da folha, analisados em pomar de peras, Nova Laranjeiras - PR (2009, 2010 e 2011)

Atributos	Modelos	C ₀	C ₀ +C ₁	C ₁	a (m)	IDE(%)
2009 AC						
N (g k ⁻¹)	Gaussiano	14,34	24,70	10,36	80,40	58 Mo
P (g k ⁻¹)	Gaussiano	0,01	0,01	0,01	72,36	38 Mo
K (g k ⁻¹)	Exponencial	1,64	2,29	0,65	72,36	72 Mo
Ca (g k ⁻¹)	Esférico	10,53	26,32	15,79	64,32	40 Mo
Mg (g k ⁻¹)	Exponencial	0,70	1,02	0,32	80,40	69 Mo
Cu (mg k ⁻¹)	Gaussiano	13,43	24,81	11,38	64,32	54 Mo
Fe (mg k ⁻¹)	Gaussiano	42,87	103,96	61,09	40,20	41 Mo
Mn (mg k ⁻¹)	Exponencial	77,84	398,94	321,10	29,48	19 Fo
Zn (mg k ⁻¹)	Esférico	23,58	103,97	80,39	42,88	23 Fo
2010 AC						
N (g k ⁻¹)	Gaussiano	0,87	2,26	1,39	101,84	38 Mo
P (g k ⁻¹)	Gaussiano	0,06	0,09	0,03	75,04	70 Mo
K (g k ⁻¹)	Exponencial	6,26	10,79	4,53	174,19	58 Mo
Ca (g k ⁻¹)	Esférico	37,19	50,76	13,57	91,12	73 Mo
Mg (g k ⁻¹)	Gaussiano	0,90	2,25	1,35	45,56	40 Mo
Cu (mg k ⁻¹)	Esférico	173,77	298,43	124,66	13,40	58 Mo
Fe (mg k ⁻¹)	Esférico	1962,29	2532,28	569,99	34,84	77 Fr
Mn (mg k ⁻¹)	Exponencial	1288,69	2994,31	1705,62	18,76	43 Mo
Zn (mg k ⁻¹)	Esférico	129,63	362,95	233,32	30,02	36 Mo
2011 AC						
N (g k ⁻¹)	Esférico	4,03	7,41	3,38	21,44	54 Mo
P (g k ⁻¹)	Gaussiano	0,01	0,06	0,05	8,04	17 Fo
K (g k ⁻¹)	Exponencial	15,37	26,18	10,81	72,36	59 Mo
Ca (g k ⁻¹)	Exponencial	12,50	20,97	8,47	45,56	60 Mo
Mg (g k ⁻¹)	Exponencial	0,43	0,61	0,18	29,48	70 Mo
Cu (mg k ⁻¹)	Esférico	18,01	43,09	25,08	37,51	42 Mo
Fe (mg k ⁻¹)	Exponencial	377,13	1018,25	641,12	21,44	37 Mo
Mn (mg k ⁻¹)	Exponencial	1963,33	2982,75	1019,42	48,24	66 Mo
Zn (mg k ⁻¹)	Gaussiano	123,98	141,69	17,71	10,72	87 Fr
2011 AP						
N (g k ⁻¹)	Exponencial	2,86	5,16	2,30	46,88	55 Mo
P (g k ⁻¹)	Gaussiano	2,62	4,12	1,50	18,76	63 Mo
K (g k ⁻¹)	Gaussiano	11,70	27,50	15,80	265,31	43 Mo
Ca (g k ⁻¹)	Exponencial	9,72	17,02	7,30	123,28	57 Mo
Mg (g k ⁻¹)	Exponencial	0,29	0,47	0,18	13,40	62 Mo
Cu (mg k ⁻¹)	Gaussiano	5,62	9,24	3,62	107,20	61 Mo
Fe (mg k ⁻¹)	Gaussiano	1788,91	3907,36	2118,45	139,35	46 Mo
Mn (mg k ⁻¹)	Esférico	6130,48	9962,03	3831,55	26,80	61 Mo
Zn (mg k ⁻¹)	Esférico	55,73	102,99	47,26	24,12	54 Mo

C₀ = Efeito Pepita; C₁ = Sill; C₀+C₁ = Patamar; a = Alcance; IDE – Índice de dependência espacial: fraca (Fr), moderada (Mo) e forte (Fo).

Para o ano de 2010, apenas a variável Fe apresentou fraca dependência espacial e as demais apresentaram dependência moderada. Para o ano de 2009, as variáveis Mn e Zn apresentaram forte dependência espacial e as demais apresentaram moderada dependência. É possível observar que uma variação da dependência espacial dos atributos no tempo pode estar associada aos processos fisiológicos da planta.

Os modelos ajustados para os semivariogramas (Tabela 16) para os atributos químicos do solo, para os anos de 2009 e 2010, foram o exponencial (duas ocorrências), o gaussiano (10 ocorrências) e o esférico (10 ocorrências). No ano de 2010, os maiores alcances foram observados para os atributos Ca (126 m) e Mn (96,5 m) e os menores alcances para os atributos Fe (10,7 m) e Cu (18,76 m). Para o ano de 2009 os maiores alcances foram observados para os atributos Zn (206 m) e C (190 m) e os menores alcances para os atributos pH (37,5 m) e $H+Al^3$ (32,2 m).

Tabela 16 Modelos e parâmetros estimados dos semivariogramas para os atributos químicos do solo, em pomar de peras, Nova Laranjeiras - PR (2009 e 2010)

Atributos	Modelos	C ₀	C ₀ +C ₁	C ₁	a (m)	IDE (%)
2009 AC						
P (mg dm ⁻³)	Gaussiano	0,50	1,14	0,64	75,04	44 Mo
C (g dm ⁻³)	Gaussiano	7,61	20,16	12,55	190,27	38 Mo
pH	Esférico	0,06	0,09	0,03	37,52	67 Mo
$H+Al^3$ (cmol _c dm ⁻³)	Esférico	0,59	0,94	0,35	32,16	63 Mo
Ca (cmol _c dm ⁻³)	Exponencial	0,42	2,51	2,09	77,72	17 Fo
Mg (cmol _c dm ⁻³)	Gaussiano	0,14	0,34	0,20	96,48	41 Mo
K (cmol _c dm ⁻³)	Exponencial	0,06	0,12	0,06	78,47	50 Mo
Cu (mg dm ⁻³)	Gaussiano	1,25	3,72	2,47	53,60	34 Mo
Zn (mg dm ⁻³)	Gaussiano	0,77	4,24	3,47	206,35	18 Fo
Fe (mg dm ⁻³)	Esférico	35,78	128,47	92,69	61,64	28 Mo
Mn (mg dm ⁻³)	Gaussiano	985,18	2349,28	1364,10	85,76	42 Mo
2010 AC						
P (mg dm ⁻³)	Gaussiano	0,32	1,14	0,82	86,31	28 Mo
C (g dm ⁻³)	Esférico	6,25	11,33	5,08	42,88	55 Mo
pH	Esférico	0,05	0,09	0,04	32,16	55 Mo
$H+Al^3$ (cmol _c dm ⁻³)	Gaussiano	0,93	3,16	2,23	91,12	29 Mo
Ca (cmol _c dm ⁻³)	Esférico	0,72	6,09	5,37	125,96	12 Fo
Mg (cmol _c dm ⁻³)	Esférico	0,20	0,47	0,27	72,36	42 Mo
K (cmol _c dm ⁻³)	Esférico	0,02	0,05	0,03	85,76	40 Mo
Cu (mg dm ⁻³)	Esférico	1,27	3,01	1,74	18,76	42 Mo
Zn (mg dm ⁻³)	Esférico	2,74	6,47	3,73	26,80	42 Mo
Fe (mg dm ⁻³)	Gaussiano	44,88	91,72	46,84	10,72	49 Mo
Mn (mg dm ⁻³)	Gaussiano	166,63	1466,30	1299,67	96,48	11 Fo

C₀ = Efeito Pepita; C₁ = Sill; C₀+C₁ = Patamar; a = Alcance;

IDE – Índice de dependência espacial: fraca (Fr), moderada (Mo) e forte (Fo).

Todas as variáveis analisadas apresentaram dependência espacial. Para o ano de 2010, as variáveis Ca (12%) e Mn (11%) apresentaram forte dependência espacial, enquanto para o ano de 2009, Ca (17%) e Zn (18%) foram as variáveis que apresentaram forte dependência espacial. Mas, as demais variáveis apresentaram moderada dependência espacial. Silva et al. (2007) também encontraram forte dependência espacial para o cálcio e moderada para P e K em seu estudo quando analisaram a variabilidade espacial dos

atributos químicos e da produtividade do café. Portanto, é válido o uso da geoestatística para estudar o comportamento dessas variáveis em pomar de peras.

Várias pesquisas indicam o modelo esférico como o de maior ocorrência para os atributos do solo e de plantas (SOUZA et al., 1997; SOUZA et al., 2004; GREGO; VIEIRA, 2005). Marques Júnior et al. (2000), ao estudarem a variabilidade espacial de atributos químicos e produção do café, ajustaram os dados dos atributos químicos ao modelo esférico, com exceção da variável produção. Neste estudo, para o ano de 2010, o modelo esférico foi o que melhor se ajustou para os dados de C, pH, Ca, Mg, K, Cu e Zn. Para o ano de 2010, apenas as variáveis pH, H+Al³ e Fe ajustaram-se ao modelo esférico.

Os modelos ajustados para os semivariogramas (Tabela 17) para os atributos físicos do solo, para o ano de 2010, foram o exponencial (cinco ocorrências), o gaussiano (três ocorrências) e o esférico (cinco ocorrências).

Tabela 17 Modelos e parâmetros estimados dos semivariogramas experimentais para as variáveis microporosidade, densidade do solo, macroporosidade, porosidade total, teor de água, resistência do solo à penetração, argila, silte e areia, de amostras coletadas nas profundidades de 0 - 20 e 20 - 40 cm, em pomar de peras, Nova Laranjeiras - PR (2010)

Atributos	Modelos	C ₀	C ₀ +C ₁	C ₁	a (m)	IDE (%)
Profundidade 0 - 20 cm						
Micro (m ³ m ⁻³)	Exponencial	0,001	0,002	0,001	150,07	50 Mo
Densidade (g cm ⁻³)	Exponencial	0,003	0,006	0,003	120,60	50 Mo
Macro (m ³ m ⁻³)	Pepita puro	-	-	-	-	-
Poros. total (m ³ m ⁻³)	Pepita puro	-	-	-	-	-
Teor de água (%)	Esférico	20,17	32,78	12,61	190,27	61 Mo
RSP (MPa)	Esférico	34977	48468	13491	13,40	72 Mo
Profundidade 20-40 cm						
Micro (m ³ m ⁻³)	Esférico	0,001	0,004	0,003	32,16	25 Mo
Densidade (g cm ⁻³)	Gaussiano	0,004	0,008	0,004	56,28	50 Mo
Macro (m ³ m ⁻³)	Pepita puro	-	-	-	-	-
Poros. total (m ³ m ⁻³)	Esférico	0,002	0,004	0,002	29,48	50 Mo
Teor de água (%)	Exponencial	14,03	26,81	12,74	37,52	52 Mo
RSP (MPa)	Exponencial	48863	122158	73294	58,96	40 Mo
Textura do solo						
Argila (g kg ⁻¹)	Gaussiano	8,74	20,27	11,53	162,04	43 Mo
Silte (g kg ⁻¹)	Exponencial	1,78	3,59	1,81	318,80	50 Mo
Areia (g kg ⁻¹)	Esférico	3,84	11,75	7,91	167,35	33 Mo
Topografia						
Altitude (m)	Gaussiano	2,01	9,15	7,14	114,22	22 Fo

C₀ = Efeito Pepita; C₁ = Sill; C₀+C₁ = Patamar; a = Alcance;

IDE – Índice de dependência espacial: fraca (Fr), moderada (Mo) e forte (Fo).

Os resultados da análise geoestatística mostraram apenas que as variáveis microporosidade na profundidade 20-40 cm e a altitude apresentaram forte dependência espacial. As demais variáveis apresentaram moderada dependência espacial. Biffi (2006) e Ortiz (2003) pesquisaram pomares de maçã e também encontraram forte dependência espacial para a altitude, corroborando com este estudo.

A presença de efeito pepita puro para os atributos físicos do solo macroporosidade (0-20; 20-40 cm) e porosidade total (0-20 cm) indica que o espaçamento utilizado não foi suficiente para detectar a variabilidade espacial desses atributos. Souza et al. (2004) trabalharam com atributos físicos do solo e também encontraram efeito pepita puro para a variável macroporosidade.

As variáveis apresentaram diferentes alcances nas profundidades de 0-20 e 20-40 cm. Na profundidade de 0-20 cm, o teor de água no solo mostrou o maior alcance (190 m) e a RSP apresentou o menor (13 m). Para a profundidade de 20-40 cm, a RSP mostrou o maior alcance (59 m) e a porosidade total apresentou o menor (29 m). Com relação à textura do solo, os alcances encontrados foram de 162 m (argila) a 319 m (silte) e 167 m (areia).

Siqueira et al. (2009) trabalharam com a variabilidade espacial da densidade e da porosidade de um latossolo vermelho eutroférico sob semeadura direta e encontraram alcances de 65 m para densidade e 42 m para microporosidade na profundidade 0-10 cm. Ressalta-se que tais valores são basicamente a metade do alcance observado neste estudo na profundidade de 0-20 cm.

Souza et al. (2004) avaliaram a variabilidade espacial de atributos físicos de um latossolo vermelho eutroférico sob cultivo de cana-de-açúcar e observaram que na profundidade de 0-0,20 m, os alcances foram os menores quando comparados com a profundidade de 0,2-0,4 m, logo, ocorreu o aumento do alcance em profundidade para todas as variáveis em estudo. Neste estudo, apenas a RSP apresentou maior alcance em função do aumento da profundidade.

Na profundidade de 0-20 cm, os alcances foram os maiores quando comparados com a profundidade de 20-40 cm, com exceção da variável resistência mecânica à penetração que com o aumento da profundidade apresentou aumento em seu alcance. Os atributos físicos assim como os atributos texturais do solo indicaram moderada dependência espacial. Já para a altitude do terreno, a dependência espacial encontrada foi forte.

Segundo Bertolani e Vieira (2001), os atributos do solo, após sucessivas alterações provocadas pelas atividades agrícolas e, conseqüentemente, pelos processos erosivos, são bastante diferenciados ao longo da paisagem. Portanto, a variabilidade espacial da textura do solo não é apenas atribuída aos processos de formação do solo, como também aos seus sistemas de preparo do solo, pois esses provocam perdas de solos na camada superficial.

Os resultados da análise geoestatística da produtividade (Tabela 18) mostram em todos os anos que o modelo que melhor se ajustou aos dados foi o exponencial, sendo que o maior alcance foi encontrado para o ano de 2010 (101 m) e o menor alcance para o ano de 2011 AC (44 m). A produtividade apresentou dependência espacial moderada para todos os anos analisados, com exceção do sistema AC em 2011 que apresentou fraca

dependência espacial. Leal (2002) avaliou a produtividade de café e Biffi (2006) comparou os atributos físicos do fruto e a produção de maçã, como resposta, encontraram dependência moderada para a produtividade.

Tabela 18 Modelos e parâmetros estimados dos semivariogramas experimentais para a produtividade em pomar de peras, Nova Laranjeiras – PR (2009, 2010 e 2011)

Produtividade (kg ha ⁻¹)	Modelo	C ₀	C ₀ +C ₁	C ₁	a (m)	IDE(%)
Ano – 2009 AC	Exponencial	1,40	4,15	2,75	61,10	34 Mo
Ano - 2010 AC	Exponencial	0,87	2,39	1,52	100,94	36 Mo
Ano – 2011 AP	Exponencial	0,99	1,97	0,98	77,03	50 Mo
Ano – 2011 AC	Exponencial	1,76	2,06	0,30	44,10	85 Fr

I.4.7 Mapas temáticos

Mapas temáticos dos atributos químicos do solo e das folhas (N, P, K e Cu), dos atributos físicos do solo e da produtividade foram gerados a fim de representarem a distribuição espacial dos mesmos. Ressalta-se que a amplitude dos dados após a interpolação por krigagem é menor que a dos dados originais, pois o interpolador suaviza a distribuição, isto é, aumenta os valores mínimos e diminui os máximos. Esse fato pode ser visualizado quando são comparados os limites de cada mapa temático (Figuras 06 a 16) com os apresentados na análise descritiva (Tabelas de 3 a 11).

Os mapas temáticos dos atributos texturais do solo (Figura 06) mostram que o maior conteúdo de argila está localizado na metade superior esquerda da área (região oeste) e inferior esquerda (sudeste), enquanto os maiores conteúdos de areia estão presentes na parte superior direita da área (nordeste).

Quanto à altitude do terreno, podem-se verificar os maiores valores na região sul, os quais decrescem à medida que se direcionam para o norte. Sanchez et al. (2009) ressaltaram que locais da paisagem sob a mesma classe de solo e manejo, influenciados por diferentes formas de paisagem e declives, possuem padrões de variabilidade espacial dos atributos do solo diferenciados. Vale ressaltar que esta região outrora era cultivada por culturas anuais, sob sistema plantio direto e as linhas de semeadura foram feitas de acordo com as curvas de nível, ou seja, locais com a mesma altitude. Estas curvas de nível foram mantidas.

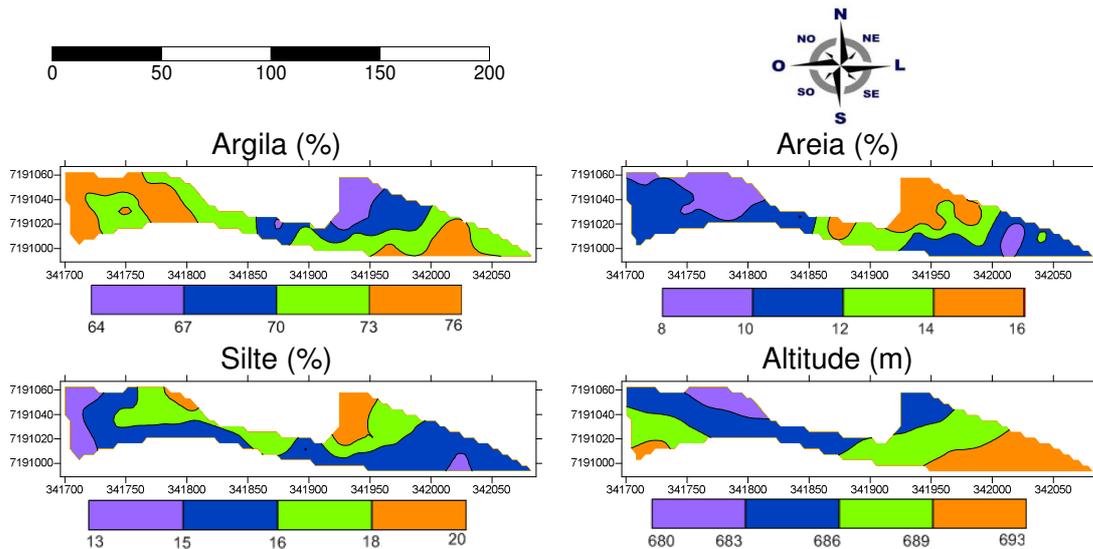


Figura 06 Distribuição espacial da textura do solo (argila, areia, e silte) e da altitude em pomar de peras, Nova Laranjeiras – PR.

Os mapas da distribuição espacial dos atributos físicos do solo (Figura 07) mostram que a macroporosidade na camada 0-20 cm (Figura 07a) apresentou variação na faixa de 0,07 a 0,12 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ em praticamente toda a área. Já na camada 20-40 cm apresentou pequena alteração, mostrando valores na faixa de 0,06 a 0,10 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ (Figura 07b). Em praticamente toda área, a macroporosidade foi maior na camada de 0-20 cm (Figura 07c).

A porosidade total na camada de 0-20 cm (Figura 07d) apresentou variação na faixa de 0,46 a 0,52 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ em praticamente toda a área. Já na camada de 20-40 cm, observa-se acréscimo nos valores, predominando a faixa de 0,55 a 0,67 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ (Figura 07e). Em praticamente toda área, a porosidade total foi maior na camada de 20-40 cm (Figura 07f).

A microporosidade na camada de 0-20 cm (Figura 07g) apresentou variação na faixa de 0,34 a 0,44 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ em praticamente toda a área. Já na camada de 20-40 cm, a variação foi na faixa de 0,46 a 0,58 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ (Figura 07h). Observou-se ainda acréscimo dos valores do atributo em função do aumento da profundidade (Figura 07i), com exceção de duas pequenas regiões situadas a noroeste e sudoeste da área onde ocorreu o inverso.

Os mapas da densidade do solo para as duas profundidades apresentaram semelhança, com pequena variação. A densidade do solo na camada de 0-20 cm (Figura 07j) apresentou variação na faixa de 0,98 a 1,3 g cm^{-3} . Já na camada de 20-40 cm, a variação foi na faixa de 0,92 a 1,36 g cm^{-3} (Figura 07k). Em praticamente toda área, a densidade do solo foi maior na camada de 0-20 cm (Figura 07l).

O teor de água no solo variou em praticamente toda a área no intervalo de 32 a 44%, na camada de 0-20 cm (Figura 07m) e de 33 a 40%, na camada de 20-40 cm (Figura 07n). Em praticamente toda área, o teor de água foi maior na camada de 0-20 cm (Figura 07o).

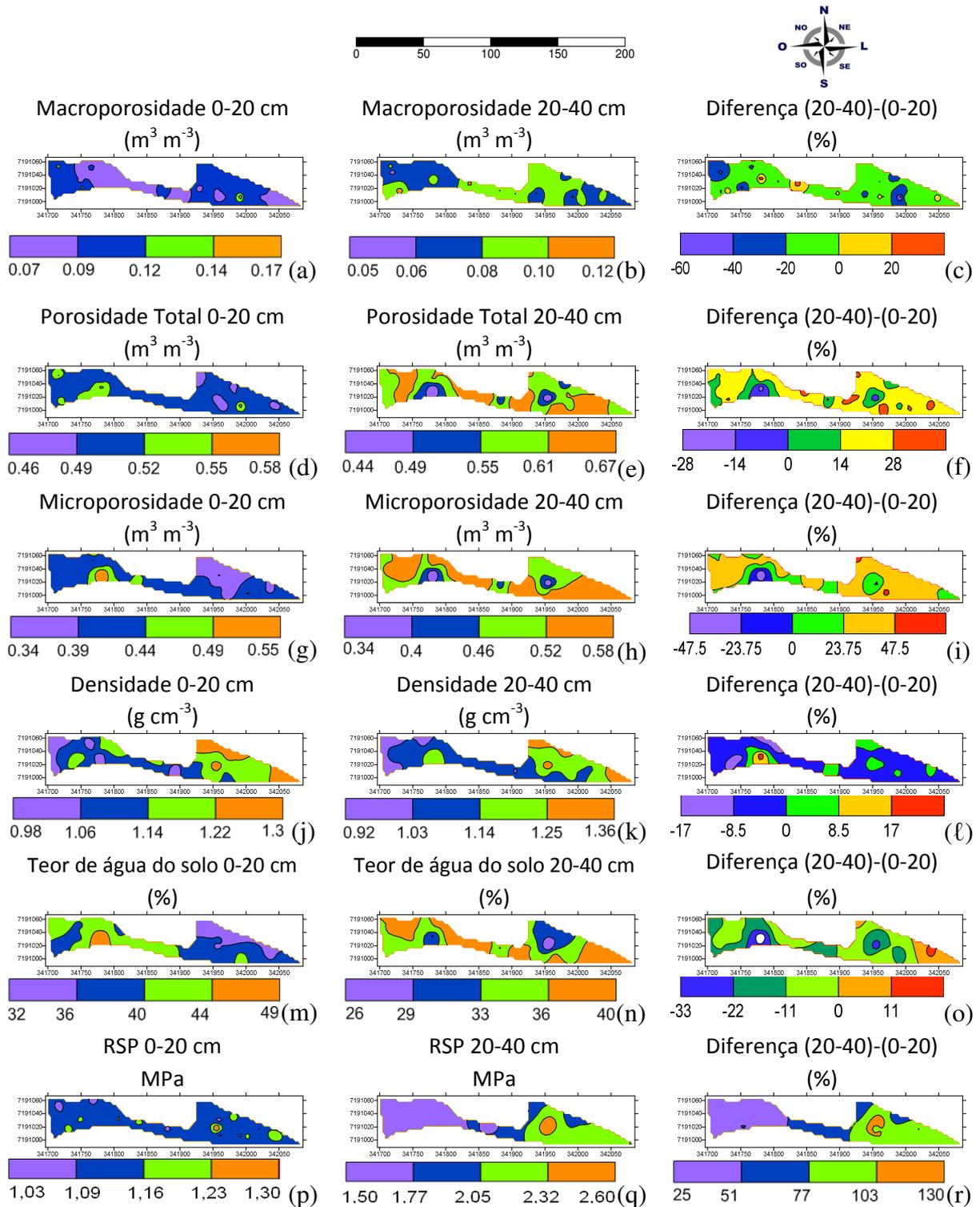


Figura 07 Distribuição espacial dos atributos físicos do solo de amostras coletadas na malha nas profundidades de 0-20 e 20-40 cm em pomar de peras, Nova Laranjeiras – PR.

A RSP variou em praticamente toda a área no intervalo de 1,09 a 1,16 MPa, na camada de 0-20 cm (Figura 07p) e de 1,50 a 2,32 MPa, na camada de 20-40 cm (Figura 07q). Em toda a área, a RSP aumentou com a profundidade (Figura 07r). Na camada de 20-40 cm, a RSP apresentou maiores valores na parte leste da área e isto pode estar relacionado ao maior tráfego de máquinas, o qual se deve pela existência de uma estrada

que contorna parte dessa área (Figura 02) e porque, geralmente, as máquinas transitam por essa área, ao invés de contorná-la a fim de diminuir o percurso.

A compactação do solo pelo tráfego de máquinas agrícolas sobre o terreno aumenta sua densidade e pode dificultar a permeabilidade da água, dificultar o crescimento das raízes, diminuir o espaço poroso bem como diminuir o ar do solo. Segundo Secco et al. (2005), valores acima de 2,0 MPa podem ser considerados limitantes ao crescimento radicular.

Os mapas de microporosidade e teor de água no solo apresentaram a mesma tendência, conforme pode ser evidenciado pela correlação de Pearson, classificada como positiva e muito forte (Tabela 09).

O atributo químico do solo C, no ano de 2009 (Figura 08a), apresentou variação na faixa de 20 a 27 g dm⁻³ na parte leste da área e de 27 a 35 g dm⁻³ na parte central e oeste. Já no ano de 2010, observa-se decréscimo nos valores, com predominância na faixa de 22 a 30 g dm⁻³ (Figura 08b). Constatou-se que a região oeste da área experimental apresentou maiores teores de C no ano de 2009 e a região leste apresentou maiores teores de C no ano de 2010 (Figura 08c).

Solos com maiores teores de matéria orgânica e, portanto, maior teor de C apresentam menores densidades (GIASSON, 2010). Tal fato pode ser observado no ano de 2009 (Figura 08a), e parcialmente em 2010 (Figura 08b), ao se confrontarem os referidos mapas com o da densidade 0-20 cm (Figura 07j).

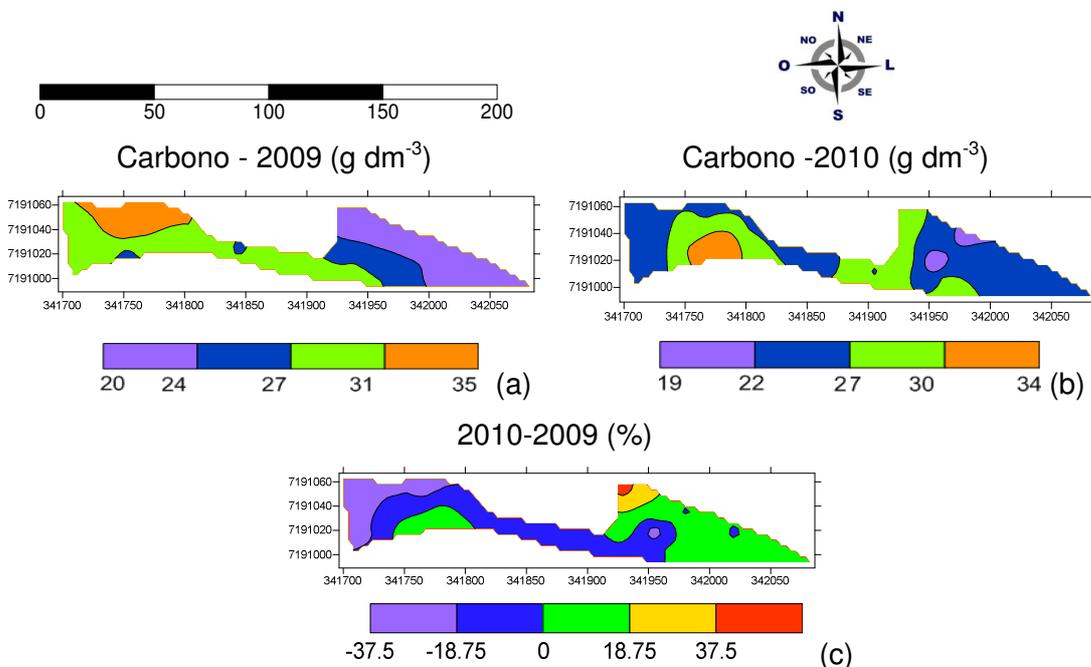


Figura 08 Distribuição espacial do atributo químico carbono no solo, em pomar de peras, Nova Laranjeiras - PR.

O atributo P, no ano de 2009 (Figura 09a), apresentou variação na faixa de 2,6 a 5 mg dm⁻³, na maior parte da área experimental, com exceção dos extremos leste e oeste. Já

para o ano de 2010, a faixa predominante foi de 0,8 a 2,5 mg dm⁻³ (Figura 09b). Constatou-se que, em praticamente toda área, o teor de P no solo foi maior no ano de 2009 (Figura 09c).

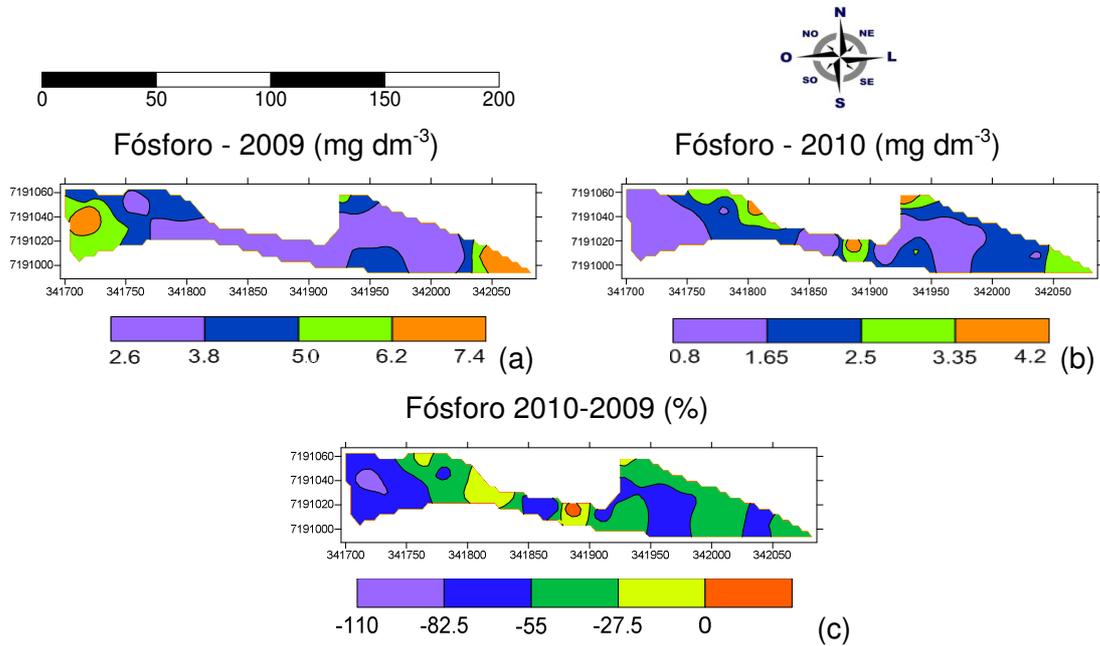


Figura 09 Distribuição espacial do atributo químico fósforo no solo, em pomar de peras, Nova Laranjeiras – PR.

O atributo K, no ano de 2009 (Figura 10a), apresentou variação na faixa de 0,15 a 1,25 cmol_c dm⁻³. Já para o ano de 2010, a faixa predominante foi de 0,05 a 0,61 cmol_c dm⁻³ (Figura 10b). Constatou-se que, em praticamente toda área, o teor de K no solo foi maior no ano de 2009 (Figura 10c).

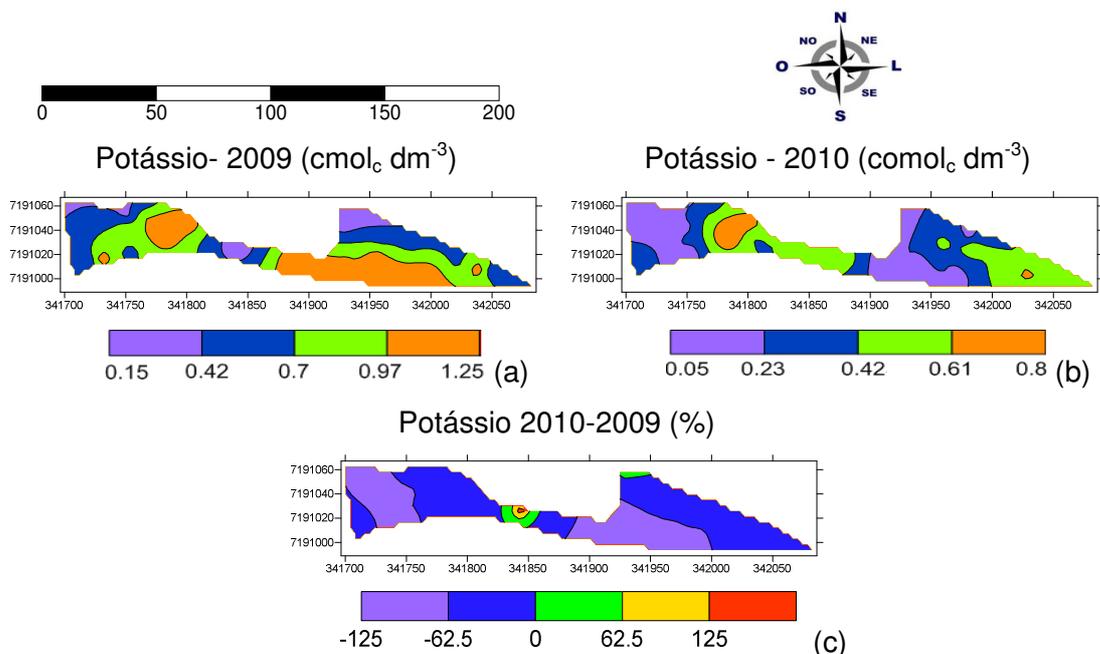


Figura 10 Distribuição espacial do atributo químico potássio no solo em pomar de peras, Nova Laranjeiras – PR.

O atributo Cu, no ano de 2009 (Figura 11a), apresentou variação na faixa de 8,3 a 12,4 mg dm⁻³ na maior parte da área experimental. Já para o ano de 2010, a faixa predominante foi de 8 a 12 mg dm⁻³ (Figura 11b). Constatou-se que, para o ano de 2009, foram encontrados maiores valores na região leste da área experimental, enquanto, para o ano de 2010, os maiores valores encontram-se na região oeste da área experimental (Figura 11c).

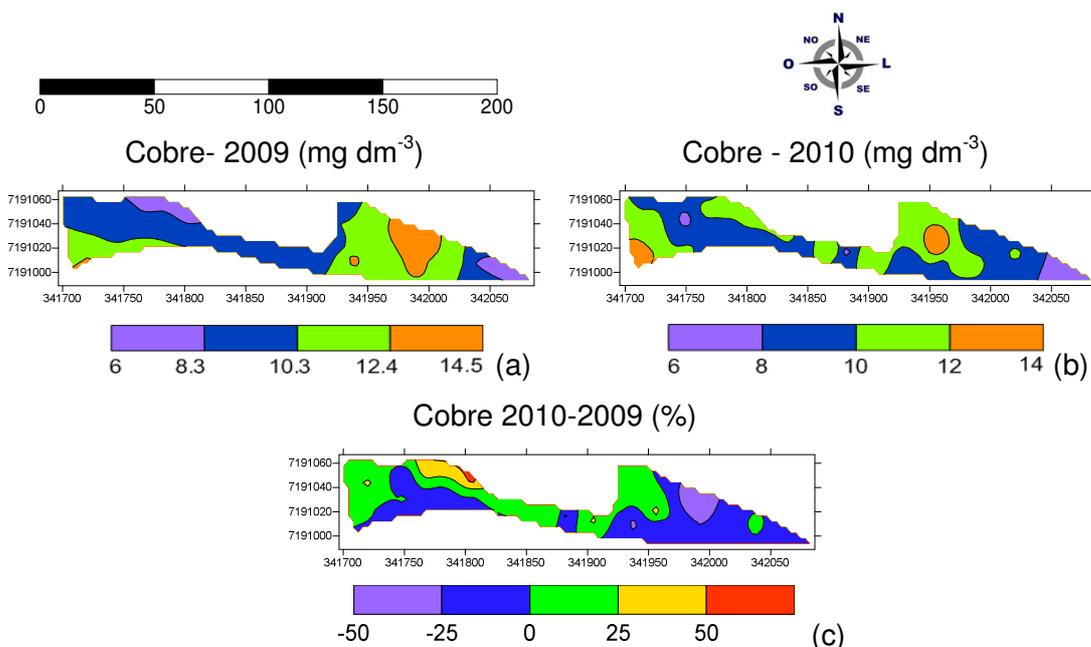


Figura 11 Distribuição espacial do atributo químico cobre no solo, em pomar de peras, Nova Laranjeiras – PR.

Neste trabalho, foram encontrados valores considerados elevados para os teores de Cu no solo (Tabela 06). Pomares de peras são submetidos às aplicações sucessivas de defensivos cúpricos para o controle de doenças. Por este motivo, deve ser dada uma atenção especial a esse micronutriente. Vários fatores podem comprometer a eficiência da aplicação, dentre eles a máquina, o operador e o produto, o qual pode não atingir o alvo de forma eficiente ao objetivo proposto, sendo depositado no solo, e conseqüentemente ocorre a contaminação do mesmo.

O teor de N nas folhas apresentou uma variação na faixa de 30,6 a 41,5, 14,6 a 17,5 e 15 a 20 g kg⁻¹ para os anos de 2009 (Figura 12a), 2010 (Figura 12b) e 2011 (Figura 12c), respectivamente. Os teores de N encontrados para 2009 foram maiores do que os registrados em 2010 e 2011 (Figuras 12d e 12f). Por sua vez, em 2010, tais dados foram superiores aos observados em 2011 (Figura 12e), em praticamente toda a área.

Para o sistema AP, na maior parte da área experimental, o N (Figura 12g) apresentou variação na faixa de 15,4 a 19,1 g kg⁻¹ e para o sistema AC (Figura 12h), a faixa de variação foi de 15 a 20 g kg⁻¹. Constatou-se que, sob o sistema AP, os valores de N foram maiores (Figura 12i).

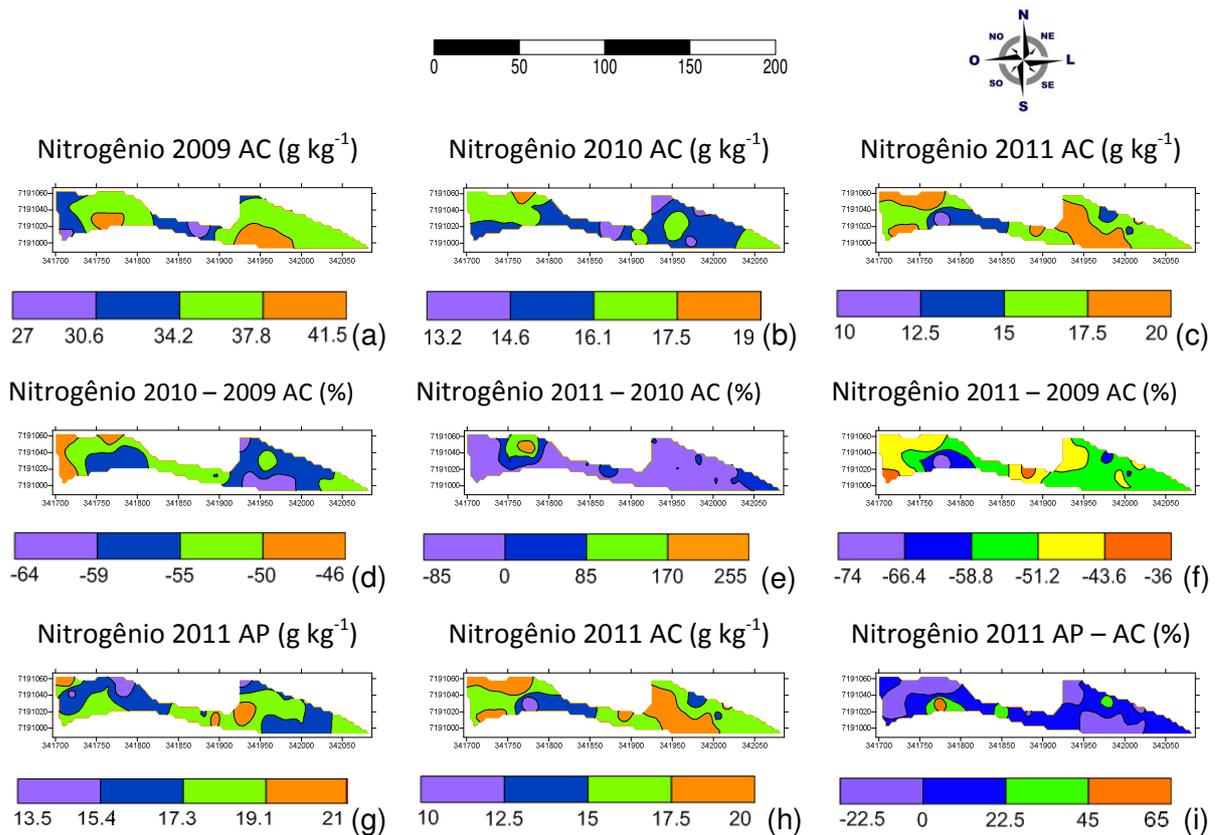


Figura 12 Distribuição espacial do atributo químico nitrogênio nas folhas em pomar de peras, Nova Laranjeiras – PR.

A maior parte da área apresentou P nas folhas com variações entre 1,08 e 1,28; 1,4 e 2,0, e 0,99 e 1,76 g kg^{-1} , para os anos de 2009 (Figura 13a), 2010 (Figura 13b) e 2011 (Figura 13c), respectivamente. Os teores de P encontrados para 2010 foram maiores do que os dados de 2009 (Figura 13d) e maiores do que os de 2011 (Figura 13e), em praticamente toda a área.

Para o ano de 2011, os mapas de AC e AP mostraram as mesmas tendências. No sistema AP (Figura 13g), a faixa de variação foi de 1,24 a 1,47 g kg^{-1} em praticamente toda a área; e no sistema AC (Figura 13h), a faixa de variação foi de 0,99 a 1,76 g kg^{-1} .

Observou-se que na maior parte da área, os teores de P no sistema AP foram maiores do que os dados encontrado no sistema AC (Figura 13i).

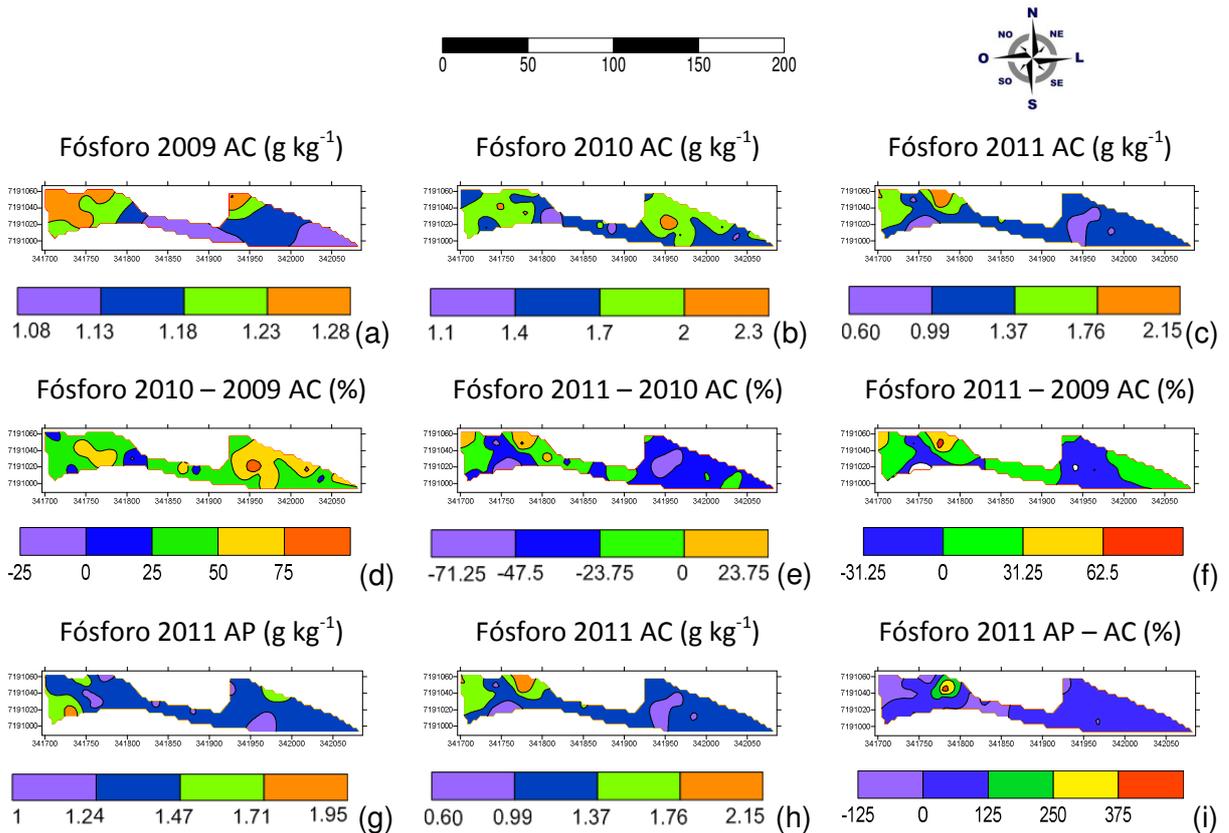


Figura 13 Distribuição espacial do atributo químico fósforo nas folhas em pomar de peras, Nova Laranjeiras – PR.

A maior parte da área apresentou K nas folhas, cujas variações foram de 10,7 a 14,6; de 10,0 a 17,5; e de 11,5 a 23,0 g kg^{-1} , para os anos de 2009 (Figura 14a), 2010 (Figura 14b) e 2011 (Figura 14c), respectivamente. Os teores de K encontrados para 2010 foram maiores do que os dados encontrados em 2009 (Figura 14d) e 2011 (Figura 14e), em praticamente toda a área. No sistema AP (Figura 14g), a faixa de variação foi de 11,75 a 14,50 g kg^{-1} em praticamente toda a área e para o sistema AC (Figura 14h), a faixa de variação foi de 11,5 a 23,0 g kg^{-1} . Observou-se que, na maior parte da área, os teores de P no sistema AC foram maiores que no AP (Figura 14i).

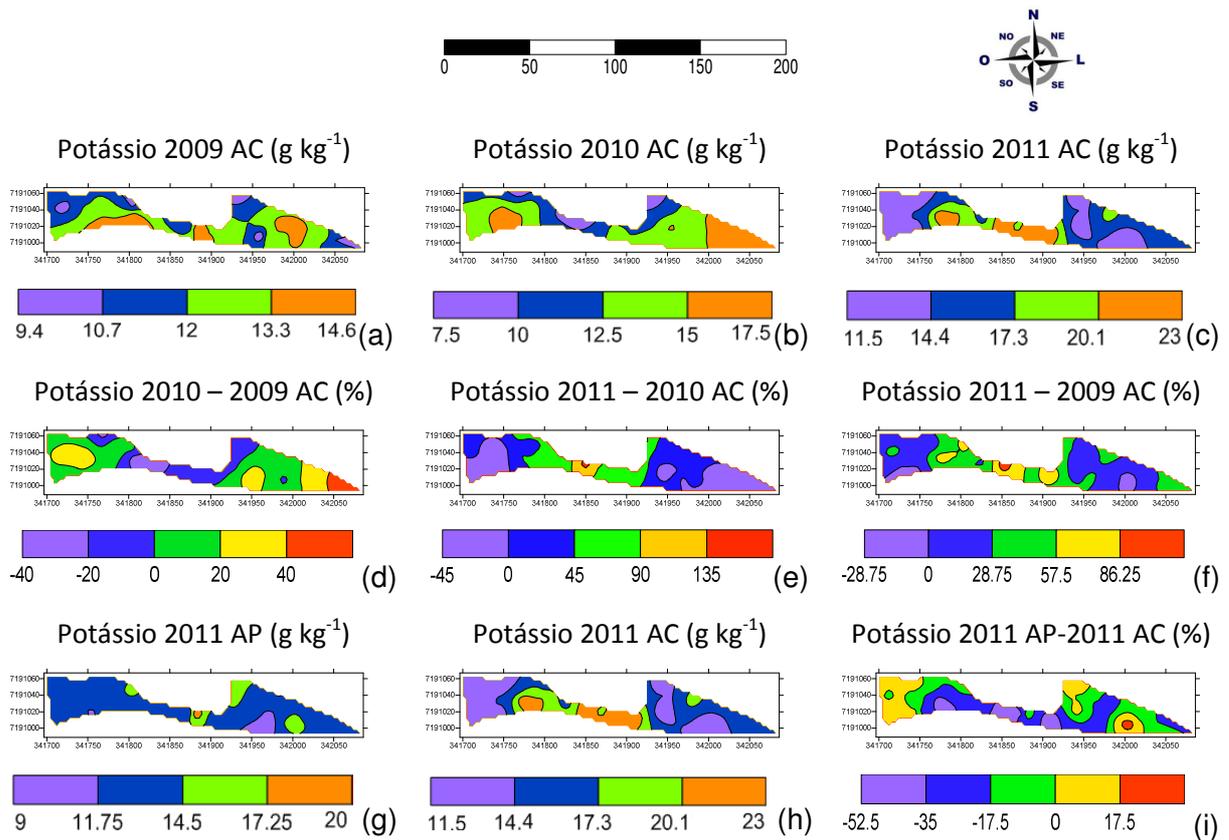


Figura 14 Distribuição espacial do atributo químico potássio nas folhas em pomar de peras, Nova Laranjeiras – PR.

O teor de cobre nas folhas apresentou variações de 8,6 a 10,5; de 6,0 a 26,0 e de 10,0 a 22,0 mg kg^{-1} em grande parte da área experimental para os anos de 2009 (Figura 15a), 2010 (Figura 15b) e 2011 (Figura 15c), respectivamente. Os teores de cobre encontrados para 2010 foram maiores do que os dados de 2009 (Figura 15d) e 2011 (Figura 15e), em praticamente toda a área. No sistema AP (Figura 15g), a faixa de variação foi de 7 a 17,5 g kg^{-1} em praticamente toda a área e no sistema AC (Figura 15h), a faixa de variação foi de 10 a 22,5 mg kg^{-1} . Observou-se que, na maior parte da área, os teores de Cu foram maiores no sistema AC quando comparados aos dados no AP (Figura 15i).

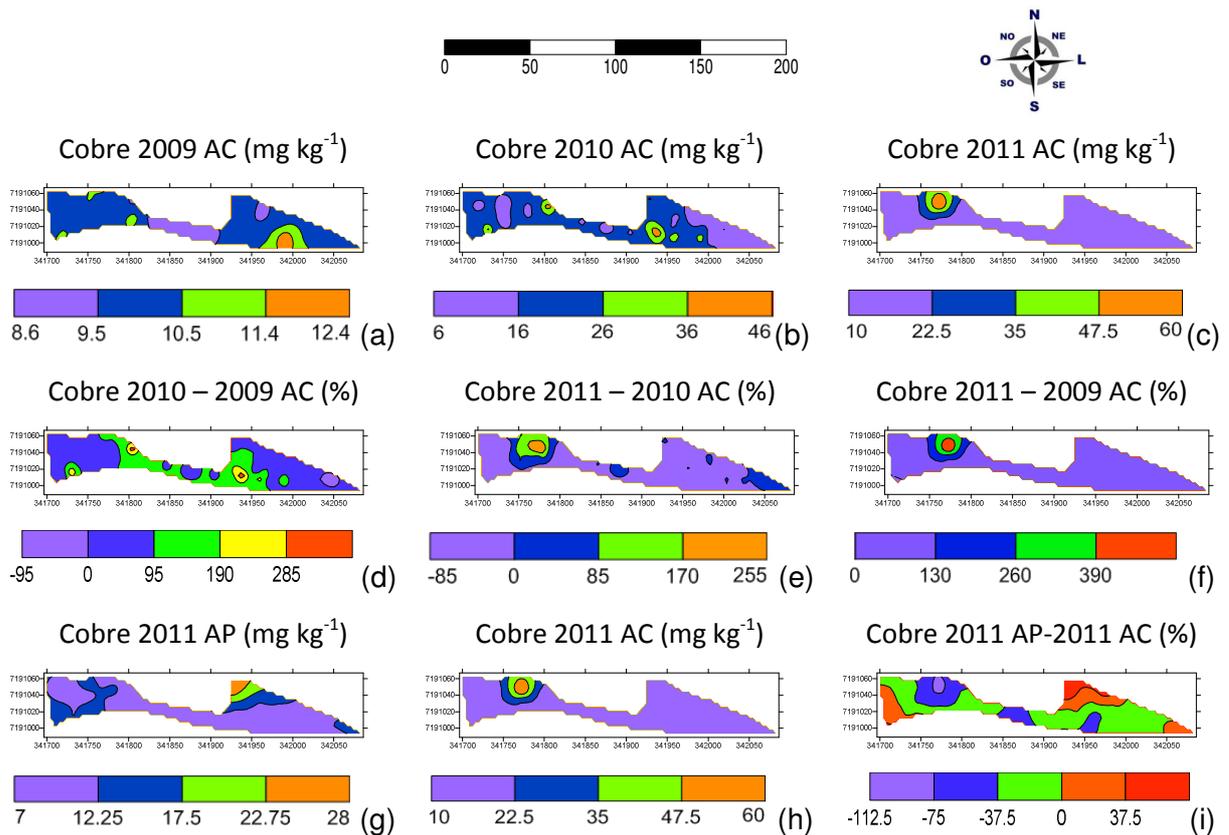


Figura 15 Distribuição espacial do atributo químico cobre nas folhas em pomar de peras, Nova Laranjeiras – PR.

Na maior parte da área, a produtividade variou de 4000 a 8000, de 2000 a 4400 e de 1650 a 4550 kg ha⁻¹ para os anos de 2009 (Figura 16a), 2010 (Figura 16b) e 2011 (Figura 16c), respectivamente. A produtividade no ano de 2009 foi maior do que em 2010 (Figura 16d), porém, a produtividade em 2010 foi maior do que em 2011 (Figura 16e) em praticamente toda a área.

Para o sistema AP (Figura 16g), a produtividade variou na faixa de 1600 a 4000 kg ha⁻¹ em praticamente toda a área e para o sistema AC (Figura 16h), a faixa de variação foi de 1650 a 4550 kg ha⁻¹. Assim, constatou-se que a produtividade do sistema AP foi pouco maior (59% da área) do que a do sistema AC (Figura 16i).

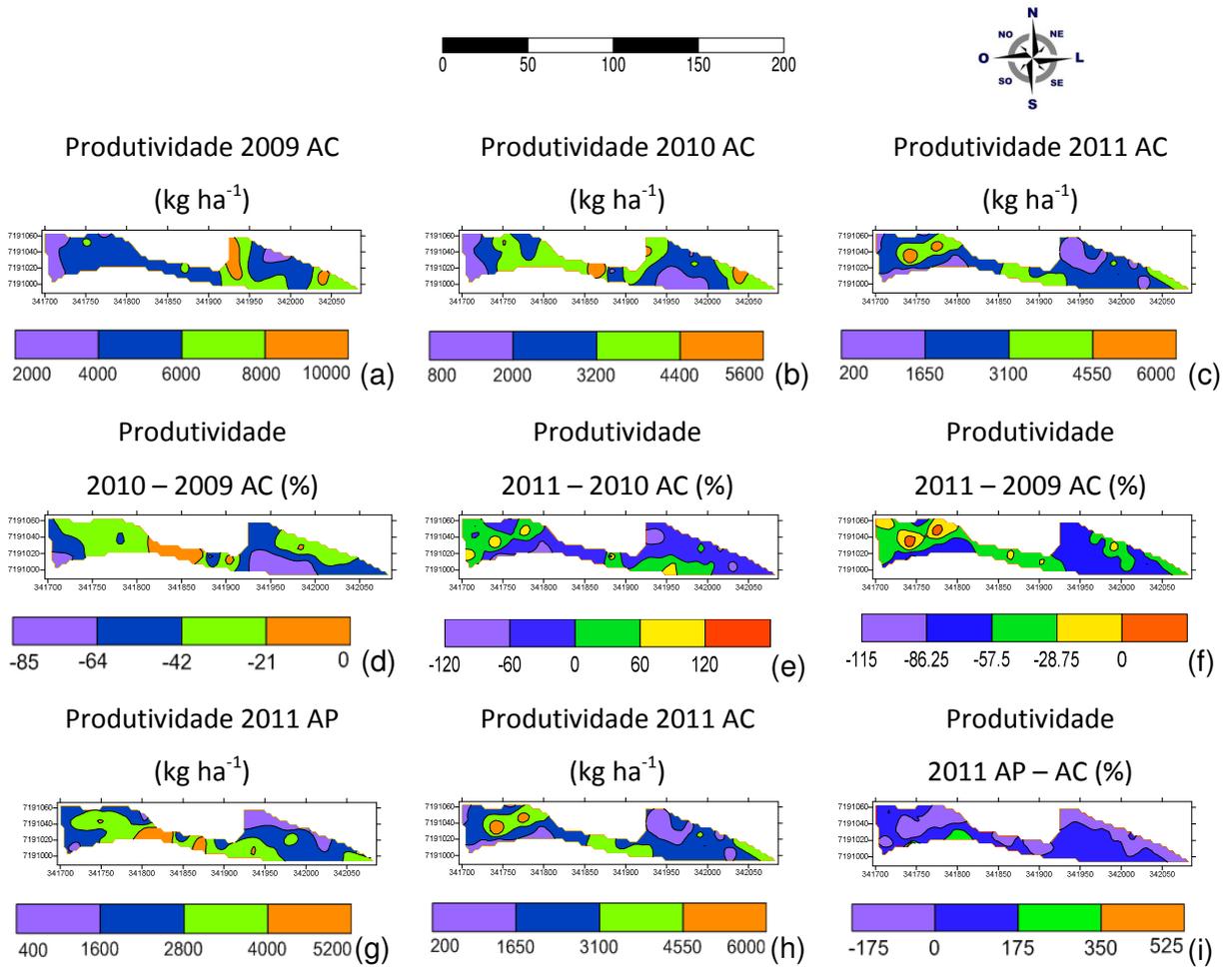


Figura 16 Distribuição espacial da produtividade (kg ha⁻¹) para os anos de 2009, 2010, 2011 AP e 2011 AC, em pomar de peras, Nova Laranjeiras – PR.

I.5 CONCLUSÕES

- Para todas as determinações (2009, 2010 e 2011), a variabilidade da produtividade foi considerada muito alta, caracterizando-se uma grande heterogeneidade dentro do pomar. A produtividade do sistema de adubação localizada (AP) foi pouco maior (2.625 kg ha^{-1}) e ocupou maior área (59%) que o sistema de adubação convencional (AC, 2.548 kg ha^{-1} em 41% da área). Outro fato importante é que o sistema AP diminuiu a variabilidade da produtividade;
- A produtividade apresentou correlação linear muito fraca e fraca com todos os atributos físicos e químicos do solo e químicos da planta. Como exceção, teve-se a correlação moderada da produtividade com o cobre;
- Com exceção da macroporosidade (0-20 cm; 20-40 cm) e da porosidade total (0-20 cm), as demais variáveis estudadas apresentaram estrutura de dependência espacial, logo, é possível a aplicação localizada de fertilizantes.

I.6 REFERÊNCIAS

- ABANORTE, 2008. **Perspectivas da fruticultura brasileira**. Disponível em: <http://www.abanorte.com.br/noticias/noticias-principal/perspectivas-da-fruticultura-brasileira/>. Acesso em: 14 de dezembro de 2009.
- ANDREOLA, F.; COSTA, L. M.; OLSZEWSKI, N. Influência da cobertura vegetal de inverno e da adubação orgânica e, ou, mineral sobre as propriedades físicas de uma Terra Roxa Estruturada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.24, n.4, p.857-865, 2000.
- ARAÚJO, R.; GOEDERT, W. J. & LACERDA, M. P. C. Qualidade de um solo sob diferentes usos e sob cerrado nativo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.31, n.5, p.1099-1108, 2007.
- ARAUJO, M. A.; TORMENA, C. A.; SILVA, A. P. Propriedades físicas de um LATOSSOLO Vermelho Distrófico cultivado e sob Mata Nativa ⁽¹⁾. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, n.2, p.337-345, 2004.
- ASSIS, S. V. de. **Umidade do solo**. Material didático. Disciplina: Agrometeorologia. Universidade Federal de Pelotas, Faculdade de Meteorologia. Departamento de Meteorologia. Disponível em: <http://www.minerva.ufpel.tche.br/~assis/agro/agro_05.doc>. Acesso em: 28 out. 2008.
- ASSUMPCÃO, R. A. B.; URIBE-OPAZO, M. A.; SOUZA, E.G.; JOHANN, J. A. Uso da krigagem indicatriz na avaliação da probabilidade de produtividade da soja segundo os padrões Regional, Estadual e Nacional. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v.29, n.2, p. 165-171, 2007.
- BALASTREIRE, L. A. 2001. Agricultura de precisão: mapeamento da produtividade de uma cultura de café (compact disc). In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, Foz do Iguaçu. **Anais**. Jaboticabal: SBEA, 2001. CD-ROM.
- BALASTREIRE, L. A.; AMARAL, J. R.; ESQUERDO, J. C. D. M.; RODRIGUES, A. **Mapeamento da produtividade de uma cultura de laranja**. GPS Global Artigos. 1999. Disponível em: <<http://www.gpsglobal.com.br>>. Acesso em 22 set. 2004.
- BARBIERI, D. M.; SOUZA, Z. M.; MARQUES JÚNIOR, J.; CORÁ, J. E.; PEREIRA, G. T.; BENTO, M. J. C. Variabilidade espacial de fósforo, potássio e soma de bases em um LATOSSOLO vermelho eutrófico sob cultivo de cana-de-açúcar na região de Jaboticabal, SP. In: Reunião Brasileira de fertilidade do solo e nutrição de plantas, 25.; ix reunião Brasileira sobre micorrizas, 9.; VII Simpósio Brasileiro de microbiologia do solo, 9.; Reunião Brasileira de biologia do solo, 4., 2002, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: SBCS, 2002. p. 28.
- BASSO, C.; FREIRE, C. J. S.; SUZUKI, A. Solos, adubação e nutrição. In: CENTELLAS-QUEZADA, A. C.; NAKASU, B. H.; HERTER, F. G. **Pera: produção**. Brasília: Embrapa, 2003. p. 55-67. (Frutas do Brasil, 46).
- BASSO, C. Distúrbios fisiológicos. In: EPAGRI. **A cultura da macieira**. Florianópolis, 2002. 609-637p.
- BAZZI, C. L.; SOUZA, E. G.; RODRIGUES, S.; NÓBREGA, L. H. P.; SANTOS, D.; KONOPATZKI, M. R. S.; SUSZEK, G. Definição de unidades de manejo para controle de plantas invasoras. In: Universidad Nacional de Rosario. (Org.). **Avances en ingeniería rural 2007-2009**. Rosario: Universidad Nacional de Rosario vol. 1, p. 835-842, 2009.

BERTOLANI, F. C.; VIEIRA, S. R. Variabilidade espacial da taxa de infiltração de água e da espessura do horizonte A, em um Argissolo Vermelho Amarelo, sob diferentes usos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.25, n.4, p.987- 995 2001.

BICALHO, I. M.: Um estudo da densidade do solo em diferentes sistemas de uso e manejo. **Enciclopédia biosfera, centro científico conhecer** - Goiânia, v.7, n.12; p. 2-9. 2011.

BIFFI, L. J.; RAFAELI NETO, S. L.; BECEGATO, V. A. Interação espacial entre atributos de produção de maçã. In: IV **Simpósio Regional de Geoprocessamento e Sensoriamento remoto, 2008**, Aracaju. Geonordeste, 2008. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2008.

BIFFI, L. J.; RAFAELI NETO, S. L. Comportamento espacial de variáveis agronômicas da maçã 'Fuji' durante dois anos de observações no planalto serrano de Santa Catarina. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 30, n. 4. p. 975-980. 2008.

BIFFI, L. J. **Mapeamento e análise espacial de variáveis de produção de maçã conduzida sobre pomar comercial na região de São Joaquim – SC**. 2006. 106 p. Dissertação (Mestrado) – Centro de Ciências Agroveterinárias / UDESC. 2006.

BLACKMORE, B. S.; LARSCHEID, G. Strategies for managing variability, In: European conference on precision agriculture 1997, Warwick, 1997. **Proceedings**. London: BIOS Scientific, V. 01, p. 851-859, 1997.

BLAZQUEZ, C.H.; EDWARDS, G.J.; MURARO, R.P. The role of maps, aerial photography, and image analysis in citrus grove surveillance and appraisal. **Proceedings of the Florida State Horticultural Society**, v.97, p.69 - 73, 1984.

BLAZQUEZ, C. H.; ADAIR, R. C.; DENNIS, G. D.; BUTTS, J.; BRADY, D.; WHITTAKER, H. M. Application of aerial photography and videography to citrus tree inventory. **Proceedings of the Florida State Horticultural Society**, v.111, p.173 - 177, 1998.

BOLFE, E. L.; GOMES, J. B. V.; FONTES, H. R. Variabilidade espacial de atributos do solo como subsídio para produção integrada de frutas em perímetro irrigado no nordeste do Brasil. **Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Florianópolis, Brasil, 21-26 abril 2007, INPE, p. 67-74.

BOTELHO, R. V.; MULLER, M. M. L.; BASSO, C.; SUZUKI, A. Estado nutricional de diferentes cultivares de pereira nas condições edafoclimáticas de Guarapuava-Pr¹. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal - SP, v. 32, n. 3, p. 884-891, 2010.

BRAILE, P. M.; CAVALCANTI, J. E. W. A. **Manual de tratamento de águas residuárias industriais**. São Paulo: CETESB, 1979. 764p.

BRAGA, R. **Viticultura de precisão - um caso particular de agricultura de precisão** - Variabilidade espaço-temporal. Inovação e Tecnologia na Formação Agrícola. Disponível em: <http://vitiprecisao.agrinov.wikispaces.net/2>. Acesso em 07/01/2010.

BURROUGH, P. A. **Principles of geographical information systems for land resources assessment**. Oxford University Press, USA, 1986. 220p.

BRUS, D. J. **Incorporating models of spatial variation in sampling strategies for soil**. Tese (Doutorado) Wageningen, Agricultural University, 1993. 211p.

CAMARGO, O. A.; ALLEONI, L. R. **Causas da compactação do solo**. Disponível em: <<http://www.infobibos.com/Artigos/CompSolo/C3/Comp3.htm>>. Acesso em: 28 out. 2010.

CAMARGOS, S. L. **Conceitos sobre fertilidade e produtividade**. Universidade Federal de Mato Grosso. Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária. Departamento de Solos e Engenharia Rural. Apostila, 41p. 2005.

CAMBARDELLA, C. A.; MOORMAN, T. B.; NOVAK, J. M.; PARKIN, T. B.; KARLEN, D. L.; TURCO, R. F.; KONOPKA, A. E. Field-scale variability of soil properties in Central Iowa Soils. **Soil Science Society America Journal**, Madison, v.58, n.5, p.1501-1511, 1994.

CARNEIRO, L. F.; FURTINI NETO, A. E.; RESENDE, A. V. de; CURI, N. SANTOS, J. Z. L.; LAGO, F. J do. Fontes, doses e modos de aplicação de fósforo interação fósforo-zinco em milho. **Ciências e Agrotecnologia**, Lavras, v. 32, n. 4, p. 1133-1141, jul./ago., 2008.

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.

CAVIGLIONE, J. H.; KIIHL, L. R. B.; CARAMORI, P. H.; OLIVEIRA, D. **Cartas climáticas do Paraná**. Londrina: IAPAR, 2000.

CAVALCANTE, E. G. S. **Variabilidade espacial de atributos físicos e de um LATOSSOLO Vermelho-Escuro sob diferentes condições de uso e manejo**. 1999. 199 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual Paulista - UNESP, Ilha Solteira, 1999.

CENTURION, G. M.; DEMATÊ, J. L. I.; FERNADES, P. M. Efeitos de sistemas de preparo nas propriedades químicas de um solo sob cerrado cultivado com soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 9, n. 2, p. 267-270, 1985.

CETESB. **Solos – Propriedades**. 2001. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. Secretaria de Estado do Meio Ambiente. Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br/Solo/solo/propriedades.asp>. Acesso em 26/02/2010.

CHAVES, L. H G.; CHAVES, I. B.; SILVA, P. C. M.; VASCONCELOS, A. C. F. Variabilidade de propriedades químicas do solo aluvial da Ilha de Picos, Pernambuco. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**. Universidade Estadual da Paraíba. Campina Grande. v. 6 n.1, p. 13-19. 2006.

CINTRA, F. L. D.; COELHO, Y. S. Caracterização física do solo em pomares da região do Recôncavo baiano. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Cruz das Almas, v.9, n.1, p. 27-35, 1987.

CLARK, I. **Practical geostatistics**. London, Applied science publishers Ltda, 1979. 123p.

COELHO, A. M. Agricultura de precisão: manejo da variabilidade espacial e temporal dos solos e culturas. **Tópicos em Ciência do Solo**, Viçosa, v.3, p. 249-290, 2003.

COELHO, A. M.; FRANÇA, G. E. de; PITTA, G. V. E.; ALVES, V. M. C. Cultivo do Milho: Diagnose foliar do estado nutricional da planta. **Comunicado Técnico 45**. EMBRAPA Milho e Sorgo, 5p. 2002.

CORÁ, J. E.; ARAUJO, A. V.; PEREIRA, G. T.; E BERALDO, J. M. G. Variabilidade espacial de atributos do solo para adoção do sistema de agricultura de precisão na cultura de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** v. 28; p.1013-1021, 2004.

COSTA, J. M.; OLIVEIRA, E. F. **Fertilidade do solo e nutrição de plantas**. Cascavel: COAMO/COODETEC, 2001. 93p.

CQFS-COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO-RS/SC. **Manual de adubação e de calagem para os Estados do Rio grande do Sul e de Santa Catarina**. 10. ed. Porto Alegre: SBCS-Núcleo Regional Sul, 2004. 400p

CRESSIE, N. A.; HAWKINS, D. M. Robust estimation of the variogram. **Mathematical Geology Journal**. New York, v. 12, p. 115-125, 1980.

CUNHA, T.J.F.; MACEDO, J.R.; RIBEIRO, L.P.; PALMIERI, F. FERITAS, P.L.; AGUIAR, A. C. Impacto do manejo convencional sobre propriedades físicas e substâncias húmicas de solos sob cerrado. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.31, n.1, p.27-36, 2001.

DALBEN, A. D.; OSAKI, F. Atributos físicos do solo de um cambissolo háplico em floresta nativa e de *Pinus taeda*. **Revista Acadêmica de Ciências Agrárias e Ambiental**, Curitiba, v. 6, n. 1, p. 29-37, 2008.

DANIELS, R. B.; HAMMER, R. D. **Soil Geomorphology**. New York: John Wiley, 1992. 236p.

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

DOBERMANN, A.; PING, J. L.; ADAMCHUK, V. I.; SIMBAHAN. G. C.; FERGUSON, R. B. Classification of crop yield variability in irrigated production fields. *Agronomy Journal*, v. 95, p. 1105-1120, 2003.

DRUCK, S.; CARVALHO, M. S.; CÂMARA, G.; MONTEIRO, A. M. V. **Análise espacial de dados geográficos**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados; 2004. 209 p.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA Fruticultura brasileira em análise. **Embrapa Mandioca e Fruticultura Tropical** 2008. Disponível em: <http://www.portaldoagronegocio.com.br/conteudo.php?id=24830>. Acesso em: 14 de dezembro de 2009.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **A cultura da pera** / Embrapa Clima Temperado. – Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2007. 58 p.: il. – (Coleção Plantar, 58).

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2.ed. Rio de Janeiro, 2006. 306p.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Pera produção**. Embrapa Informação Tecnológica. Brasília, DF. 2003. 105 p.

EMBRAPA-SOJA - **Recomendações técnicas para a cultura da soja na região central do Brasil 1999/2000** - EMBRAPA-SOJA, 1999.

FACHINELLO, J. C.; NACHTIGAL, J. C.; KERSTEN, E. **Fruticultura: Fundamentos e práticas**. Pelotas, 2008. 176p.

FAGERIA, N. K. Níveis adequados e tóxicos de zinco na produção de arroz, feijão, milho, soja e trigo em solo de cerrado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 4, n. 3, p. 390-395, 2000.

FARACO, M. A.; URIBE-OPAZO, M. A.; 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 Ciências do Solo**, Viçosa, v.32, n.2, p.463-476, 2008.

FARIAS, P. R. S.; NOCITI, L. A. S.; BARBOSA, J. C.; PERECIN, D. Agricultura de precisão: mapeamento da produtividade em pomares cítricos usando geostatística. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 25, n. 2, p. 235-241, 2003.

FIORAVANÇO, J. C.; **A cultura da pereira no Brasil: situação econômica e entraves para o seu crescimento**. Instituto de Economia Agrícola. 2007. Disponível em: <www.iab.org.br/wp-content/uploads/2007/07/boletin-on-line-32.pdf> Acesso em 15 de abril de 2007.

FRANCO, A. A. N.; RIBEIRO, D. P.; CERQUEIRA, E. S. A.; MENEZES, M. A.; LOPES, P. S.; ROCHA, G. B. M. Variabilidade espacial da produção de cachos e do ph do solo da videira benitaka. **XX Congresso Brasileiro de Fruticultura 54th Annual Meeting of the Interamerican Society for Tropical Horticulture** 12 a 17 de Outubro de 2008 - Centro de Convenções – Vitória/ES

GIANELLO, C.; BISSANI, C. A.; TEDESCO, M. J. **Princípios de Fertilidade do Solo**. Porto Alegre: Departamento de Solos da UFRGS, 1995. 276p.

GIASSON, E. Introdução ao estudo dos solos. In: MEURER, E. J. **Fundamentos de química do solo**. 4^a Edição. Porto Alegre: Evangraf, 2006. 266 p.

GOOGLE EARTH. **Google Earth 5.0**. Disponível em: <<http://earth.google.com.br/>> Acesso em: 13 Maio 2009.

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

HOPPE, M.; FAGGION, F.; FOGLIATTO, C. S.; DANIEL L.; ETGES, D. L.; Avaliação da evolução da fertilidade do solo em pomares em transição para orgânicos. Resumos do II Congresso Brasileiro de Agroecologia. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v.2, n.1. p.820-823, 2007.

IBRAF – **Instituto Brasileiro de frutas**. Disponível em http://www.ibraf.org.br/estatisticas/est_frutas.asp. Acesso em 15 de março de 2010.

KERBAUY, G. B. **Fisiologia Vegetal**. 2^a Edição. Editora Guanabara Koogan. 452p. 2008.

KIEHL, E. J. **Manual de edafologia: Relações solo-planta**. 1. ed. Piracicaba, Agronômica Ceres, 1979. 264p.

KLEIN, V. A.; LIBARDI, P. L. Densidade e distribuição do diâmetro dos poros de um LATOSSOLO. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 26, p. 857-867, 2002.

KONOPATZKI, M. R. S. ; SOUZA, E. G.; SUSZEK, G ; SANTOS, D. ; BAZZI, C. L. Análise temporal da variabilidade espacial da produtividade em um pomar de peras. In: Universidad Nacional de Rosario. (Org.). **Avances en Ingeniería Rural 2007-2009**. Rosario: Universidad Nacional de Rosario, v. 1, p. 882-889, 2009.

LEAL, J. C. G. **Mapeamento da produtividade na colheita mecanizada do café**. 2002. 74 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.

LINDSAY, W. L. Inorganic phase equilibria of micronutrients in soils. In: MORTVEDT, J. J.; GIORDANO, P. M.; LINDSAY, W. L. **Micronutrients in agriculture**. Madison: Soil Science of America, p. 41-47, 1972.

LOPES, A. S. **Manual internacional de fertilidade do solo**. Tradução e Adaptação. 2ed. Piracicaba: Potafos, 1998.177p.

MACHADO, R. V. **Variabilidade espacial de atributos físico-hídricos em uma hidrossequência de solos bem a muito mal drenados**. 1994. 88p. Dissertação (Mestrado) Lavras: Escola Superior de Agricultura de Lavras.

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

MALAVOLTA, E. **Manual de química agrícola: adubos e adubação**. 3 ed. São Paulo: Agronômica Ceres, 1981. 596p.

MALUCHE, C. R. D. **Atributos microbiológicos e químicos do solo em sistemas de produção de maçãs convencional e orgânico**. 2004. 72p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, 2004.

MARQUES JÚNIOR, J.; SANCHEZ, R. B.; PEREIRA, G. T.; CORÁ, J. E. Variabilidade espacial de propriedades químicas e físicas de LATOSSOLOS em áreas de cerrado sob cultivo de café, em Patrocínio, MG. In: BALASTREIRE, L. A. (ed) **O estado-da-arte da agricultura de precisão no Brasil**. Piracicaba: L. A. Balastreire, p.105-112, 2000.

MARTINAZZO, R. Diagnóstico da fertilidade de solos em áreas sob plantio **direto consolidado**. 2006. 84p. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2006.

MARTINS, S. G.; SILVA, M. L. N.; CURTI, N.; FERREIRA, M. M. Avaliação de atributos físicos de um LATOSSOLO VERMELHO Distroférico sob diferentes povoamentos florestais. **CERNE**, Lavras, v. 8, n. 1, p. 32-41, 2002.

MARTINS, C. R.; FARIA, J. L. C.; FARIAS, R. de M. Sistemas de produção de macieiras influenciam o teor dos nutrientes no solo, no tecido foliar e na fruta. **Revista da FZVA**. Uruguaiana, v.17, n.1, p. 14-26. 2010.

MASCARIN, L. S. **Caracterização de sistemas de colheita e desenvolvimento de técnica para a obtenção de mapas de produtividade para citros**. 2006. 78p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba.

MATA, J. D. V.; GONÇALVES, A. C. A.; VIEIRA, S.R. Variabilidade espacial da macroporosidade do solo em área irrigada, antes do preparo e após colheita, sob dois sistemas de preparo. **Acta Scientiarum**, Maringá, v.20, n.3, p.307-312, 1998.

MATHERON, G. Principles of geostatistics. **Economic Geology Journal**, v.58, n.8, p. 1246-1266,1963.

MERCANTE, E.; URIBE-OPAZO M. A.; SOUZA E. G. Resistência mecânica do solo à penetração em áreas com e sem manejo químico localizado **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27. p.1149-1159, 2003.

MENDES, A. M. S.; DUDA, G. P.; LIMA, J. A. G.; AMORIN, L. B. Variabilidade espacial das características químicas de um Cambissolo cultivado com mamão no semiárido do Rio

Grande do Norte. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**. Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande, v. 7 n.2, p.169-174. 2007.

MEURER, E. J. **Fundamentos de Química do Solo** - 3. ed. Porto Alegre: Editora Evangraf, 2006. v.1. 285 p.

MOLIN, J. P.; GIMENEZ, L. M.; PAULETTI, V.; SCHMIDHALTER, U.; HAMMER, J. Mensuração da condutividade elétrica do solo por indução e sua correlação com fatores de produção. **Revista Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.25, n. 2, p.420- 426 2005.

MOLIN, J. P.; RIBEIRO FILHO, A. C.; TORRES, F. P.; SHIRAISSI, L. E.; SARTORI, S.; SARRIÉS, G. A. Mapeamento da produtividade de café e sua correlação com componentes de fertilidade do solo em duas áreas pilotos. In: BALASTREIRE, L.A. **Avanços na agricultura de precisão no Brasil no período de 1999- 2001**. Piracicaba, ESALQ, 2002. p. 58-65.

MONTANARI, R.; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, G. T.; SOUZA, Z. M. Forma da paisagem como critério para otimização amostral de LATOSSOLOS sob cultivo de cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.40, n.1, p.69-77, 2005.

NAVA, G. NUERNBERG, N. G.; KATSURAYAMA, J. M.; WATANABE, M. Problemática do manejo de solos para o cultivo de macieiras no Sul do Brasil e desenvolvimento de tecnologias visando o aumento da produtividade. In: Seminário sobre fruticultura de clima temperado, 1, 2001, Florianópolis, sc. **Anais...** Florianópolis: Epagri, 2001. p. 69-75.

NATALE, W.; MARQUES, J. J.; BOARETTO, A. E.; SIMÕES, F. L. Mineralogy and forms of potassium in red yellow latosol of a guava (*Psidium guajava*) tree orchard. **The Indian Journal of Agricultural Science**, New Delhi – Índia, v.71, n.3, p. 166-170, 2001 a.

NUERNBERG, N.; STAMEL, J.G.; CABEDA, M.S.V. Efeito de sucessão de culturas e tipos de adubação em características físicas de um solo da encosta basáltica sul-rio-grandense. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 10, n.3, p. 185-190, 1986.

OLIVEIRA, E. L. de. Sugestão de adubação e calagem para culturas de interesse econômico no Estado do Paraná. **Circular Técnica 128**. Londrina, Instituto Agrônomo do Paraná – IAPAR, 30p. 2003.

OLIVEIRA, J. R. A.; MENDES, I. C.; VIVALDI, L. Carbono da biomassa microbiana em solos do Cerrado, sob vegetação nativa e sob cultivo: avaliação dos métodos de fumigação incubação e fumigação-extração. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 25, n.4, p.863-871, 2001.

OLSEN, S. R. Micronutrients Interactions. In: MORTVEDT, J. J.; GIORDANO, P. M.; LINDSAY, W. L. **Micronutrients in agriculture**. Madison: Soil Science Society of America, p. 243-264, 1972.

ORTIZ, J. L.; FREITAS, M. I. C. Análise da transformação do uso da terra, vegetação e impactos ambientais por meio de sensoriamento remoto e geoprocessamento. São Paulo, UNESP, **Geociências**, Rio Claro, v. 24, n. 1, p. 77-89, 2005.

OVALLES, F.; REY, J. Variabilidad interna de unidades de fertilidad en suelos de la depresión del Lago de Valencia. **Agronomia Tropical**. Venezuela, v. 44: n.1, p.41- 65, 1994.

PANNATIER, Y. VARIOWIN: **Software for spatial data analysis in 2D**. New York, Springer, 1996. 96p.

PARISE, F. J. O.; VETTORAZZI, C. A. Análise de dados de produção em um pomar jovem de laranjeiras Hamlin: I Relações com a resposta espectral. **Revista Brasileira de Fruticultura**. Jaboticabal, v.27, n.1, p. 48-51, 2005.

PARISE, F. J. O. **Padrões de variabilidade espacial e temporal da produção em um pomar jovem de laranja Hamlin**. 2004. 107 f. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2004.

PENTEADO, S. R. **Adubação verde e produção de biomassa: Melhoria e recuperação dos Solos**. Campinas - SP, Fraga e Penteado: Livros Via Orgânica, 2007, 164p.

PEREIRA, R. G.; SANTOS, M. N. dos; QUEIROGA, F. M.; LEMOS, M.; LEITE, G. A. L. Influência do manejo sobre alguns atributos físicos do solo após cinco anos de cultivo com melão. **Revista Verde** - Mossoró – RN – Brasil. v.5, n.2, p. 103 - 108 abril/junho de 2010.

PÉREZ-QUEZADA, J. F. Viticultura de precisión aplicada al viñedo. In. X Congresso latino-americano de viticultura e enologia, 10, 2005, Bento Gonçalves. **Anais**. Bento Gonçalves: GUERRA, C. C; SEBEN, S. S., Embrapa Uva e Vinho, 137-143p. 2005.

PERIN, A.; GUERRA, J. G. M.; TEIXEIRA, M. G.; PEREIRA, M. G.; FONTANA, A. Efeito da cobertura viva com leguminosas herbáceas perenes na agregação de um argissolo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.26, n.3, p.713-720, 2002.

PERRY, E. M.; PIERCE, F. J.; DEZZANI, R. J.; SEAVERT, C. F. Spatial variation in tree characteristics and yield in a pear orchard. Springer Science + Business Media, LLC 2009. **Precision Agriculture**, v.11, p. 42-60. 2010.

PILLON, C. N.; SCIVITTARO, W. B.; POTES, M. L.; MORAES, C. S.; MICHELS, G. H. e PEREIRA, J. S. Acúmulo de carbono orgânico por sistemas de cultura sob plantio direto em terras baixas. Resumos do II Congresso Brasileiro de Agroecologia. **Revista Brasileira de Agroecologia**. Cruz Alta, RS, v.2, n.1, 2007.

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

QUAGGIO, J. A. **Resposta da laranjeira Valência sobre limoeiro-Cravo à calagem e ao equilíbrio de bases no solo**. 1991. 107 p. Tese (Doutorado) Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz/USP, Piracicaba, SP. 1991.

QUEIROZ, D. M. de; DIAS, G. P.; MANTOVANI, E. C. Agricultura de precisão na produção de grãos. In: BORÉM, A. B.; GIÚDICE, M. P.; QUEIROZ, D. M.; MANTOVANI, E. C.; FERREIRA, L. R.; VALLE, F. X. R.; GOMIDE, R. T. **Agricultura de precisão**. Viçosa: UFV, 2000. p 1-42.

RAIJ, B. V. **Fertilidade do solo e adubação**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1991. 343p.

RAMIREZ-LOPEZ, L.; REINA-SANCHEZ, A.; CAMACHO-TAMAYO, J. H. Variabilidad espacial de atributos físicos de un Typic Haplustox de los Llanos Orientales de Colômbia. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.28, n.1, p. 55-63, 2008.

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

REICHARDT, K. Processos de transferência no sistema solo planta- atmosfera. Campinas, Fundação Cargill, 1985. 445p.

REICHERT, J. M.; REINERT, D. J.; BRAIDA, J. A. Qualidade do solo e sustentabilidade de sistemas agrícolas. **Revista de Ciência Ambiental**, v. 27, p. 29- 48, 2003.

REINERT, D. J. **Recuperação de solos em sistemas agropastoris: recuperação de áreas degradadas**. Viçosa: UFV. Departamento de Solos, Sociedade Brasileira de Recuperação de Áreas Degradadas, 251p. 1998.

REINERT, D. J.; REICHERT, J. M. Propriedades físicas do solo. Universidade Federal de Santa Maria, RS - **Apostila**. 18p. 2006.

REYNOLDS, W. D.; BOWMAN, B. T.; DRURY, C. F.; TAN, C. S. ; LU, X. Indicators of good soil physical quality: density and storage parameters. **Geoderma**, Amsterdam, v.110, n.1-2, p.131-146, 2002.

RESENDE, M; CURI, N.; REZENDE, S. B; CORREA, G. F. **Pedologia base para distinção de ambientes**. 4 ed. Viçosa, MG: NEPUT, 2002. 338p.

RIBEIRO, M. V. **Fontes de matéria orgânica no Paraná**. 2008. Disponível em: [/www.agrofit.com.br/portal/citros/52-citros/89-fontes-de-materia-organica-no-parana](http://www.agrofit.com.br/portal/citros/52-citros/89-fontes-de-materia-organica-no-parana). Acesso em 25/07/2011.

RIBEIRO, G. M. **Características químicas, físicas e biológicas do solo em pomares de macieiras conduzidos nos sistemas orgânico e convencional de produção**. 2003. 56p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, 2003.

ROSA FILHO, G.; CARVALHO, M. P.; ANDREOTTI, M.; MONTANARI, R.; BINOTTI, F. F. S.; GIOIA, M. T. Variabilidade da produtividade da soja em função de atributos físicos de um LATOSSOLO VERMELHO Distroférrico sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.33, n.2, p. 283-293, 2009.

ROCHA, J. V.; LAMPARELLI, R. A. C. Geoprocessamento. In: SILVA, F. M. **Mecanização e agricultura de precisão**. Poços de Caldas: UFV, 1998. Cap.1, p.1-30.

ROSA, E. de F. F. **Atributos do solo, produtividade e qualidade de Frutos em pomares de maçãs ‘royal gala’ em sistemas Convencional e orgânico de produção**. 2010, 71p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo). Universidade Estadual de Santa Catarina-Lages, 2010.

RODRIGUES, S.; SOUZA, E. G.; NÓBREGA, L. H. P.; URIBE-OPAZO, M. A.; BAZZI, Claudio L.; KONOPATZKI, M. R. S; SUSZEK, G. Spatial and temporal variability of weeds incidence in pear trees orchard. In: **Frutic Chile 2009** - 8th Fruit, Nut, and Vegetable Production Engineering Symposium, 2009, Concepción. Proceedings of the 8th Fruit, Nut, and Vegetable Production Engineering Symposium, vol. 1. p. 524-531. 2009.

RUDORFF, B. F. T.; AULICINO, L. C. M.; MOREIRA, M. A. Tecnologias geoespaciais no gerenciamento da cultura da maçã. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal – SP, v. 25, n. 1, p. 108-110, Abril 2003.

RURALNET. **Toda Fruta**. Boletim 200 do IAC, SP. Disponível em: www.ruralnet.com.br/frutiferas/pera.asp.> Acesso em 25 de setembro de 2006.

SANCHEZ, R. B.; MARQUES JUNIOR, J.; SOUZA, Z. M.; PEREIRA, G.T.; MARTINS FILHO, M. V. Variabilidade espacial de atributos do solo e de fatores de erosão em diferentes pedoformas (1). **Revista Bragantia**, Campinas, v.68, n.4, p.1095-1103, 2009.

SCALOPI, E. J.; BAPTISTELA, J. R. Considerações sobre aplicação de efluentes ao solo. In: CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 1986. Brasília, **Anais...** Brasília: ABID.

SCHAFFRATH, V. R.; TORMENA, C. A.; FIDALSKI, J.; GONÇALVES, A. C. A. Variabilidade e correlação espacial de Propriedades físicas de solo sob Plantio direto e preparo convencional(1) **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa,v.32, n.4, p. 1369-1377. 2008

SECCO, D.; DAROS, C. O.; SECCO, J. K.; FIORIN, J. E. Atributos físicos e produtividade de culturas em um LATOSSOLO Vermelho argiloso sob diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.29, n.3, p. 407-414, 2005.

SILVA, F. M. da; SOUZA, Z. M.; FIGUEIREDO, C. A. P.; MARQUES JUNIOR, J.; MACHADO, R. V. Variabilidade espacial de atributos químicos e de produtividade na cultura do café. **Ciência Rural**, v.37, n.2, p-402-407, 2007.

SILVA, A. S.; PESSOA, M. C. P. Y.; FERRACINI, V. L.; SILVA, C. M. M. S. Bases e organização da produção integrada. In: DONADIO, L. C.; STUCHI, E.S (Ed.) **Seminário internacional de citros: Produção Integrada**. Bebedouro: Fundação Cargill, p. 1-35. 2000.

SILVA, V. R.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M. Susceptibilidade à compactação de um LATOSSOLO vermelho-escuro e de um Podzólico vermelho- Amarelo ⁽¹⁾. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.24, n.2, p. 239-249, 2000.

SIMÃO, S. **Tratado de fruticultura**. Piracicaba. FEALQ. 1998. 760p.

SIMEPAR - Instituto Tecnológico Simepar. – Disponível em <<http://www.simepar.br/tempo/clima/clima.jsp>>. Acesso em 13 de setembro de 2011.

SINGH, T.; SANDHU, A. S.; SINGH, R.; DHILLON W. S. Vegetative and fruiting behavior of semi-soft pear strains in relation to nutrient status. **Acta Horticulturae**, Wageningen, n.696, p.289-293, 2005.

SIQUEIRA, G. M.; VIEIRA, S. R.; DECHEN, F.; CARMELA, S. Variabilidade espacial da densidade e da porosidade de um LATOSSOLO vermelho eutroférico sob semeadura direta por vinte anos. **Revista Bragantia**, Campinas, v. 68, n. 3, p. 751-759, 2009.

SOUZA, G. S. de; LIMA, J. S. de S.; XAVIER, A. C.; ROCHA, W. S. D. da. Krigagem ordinária e inverso do quadrado da distância aplicados na espacialização de atributos químicos de um argissolo. **Scientia Agrária**, Curitiba, v.11, n.1, p. 073-081, jan./fev. 2010.

SOUZA, C. K. **Variabilidade espacial de atributos de solo e produtividade em área cultivada com café orgânico e convencional**. 2006. 74 p. Tese (Doutorado em Produção Vegetal). Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Unesp, Jaboticabal.2006.

SOUZA, Z. M.; MARQUES JUNIOR, J.; PEREIRA, G. T.; BENTO, M. J. C. Variabilidade espacial de atributos físicos de um LATOSSOLO Vermelho sob cultivo de cana-de-açúcar **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, PB, v.8, n.1, p.51-58, 2004.

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

SOUZA, C. K., MARQUES JÚNIOR, J.; MARTINS FILHO, M. V.; PEREIRA, G. T. Influência do relevo e erosão na variabilidade espacial de um LATOSSOLO em Jaboticabal (SP). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.27, n.6, p.1067-1074, 2003.

SOUZA, Z. M.; SILVA, M. L. S.; GUIMARÃES, G. L.; CAMPOS, D. T. S.; CARVALHO, M. P.; PEREIRA, G. T. 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, n.3, p.699-707, 2001.

SOUZA, L. S.; COGO, N. P.; VIEIRA, S.R. Variabilidade de propriedades físicas e químicas do solo em um pomar cítrico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.21, n.3, p.367-372, 1997.

SPERA, S. T.; SANTOS, H. P.; FONTANELI, R. S. Efeitos de sistemas de produção de grãos envolvendo pastagens sob plantio direto nos atributos físicos de solo e na produtividade. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, n. 3, p. 533-542. 2004.

STASSEN, P. J. C.; NORTH, M. S. Nutrient distribution and requirement of 'Forelle' pear trees on two rootstocks. **Acta Horticulturae**, Wageningen, n. 671, p. 493-500, 2005.

STRUDLEY, M. W.; GREEN, T. R.; ASCOUGH, J. C. Tillage effects on soil hydraulic properties in space and time: State of the science. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 99, n. 1, p. 4-48, 2008.

SUSZEK, G.; SOUZA, E. G.; NÓBREGA, L. H. P.; KONOPATZKI, M. R. S.; BAZZI, C.L. Validação cruzada para avaliação do comportamento espacial do nitrogênio, potássio, cálcio e concentração de sólidos solúveis em pomar de citros. In: XXXVIII Congresso brasileiro de engenharia agrícola, 2009, Juazeiro/Petrolina. **Anais: XXXVIII Congresso brasileiro de engenharia agrícola**, v. 1, p. 1-4. 2009.

SUZUKI, A.; BASSO, C. Solos e nutrição da macieira. In: EPAGRI. **A cultura da macieira**. Florianópolis, 2002. 341-381 p.

TODA FRUTA. **Contribuições da pesquisa sobre nutrição, calagem e adubação em frutíferas para alta produção**. 2006. Disponível em: http://www.todafruta.com.br/todafruta/mostra_conteudo.asp?conteudo=13885. Acesso em: 29 de setembro de 2008.

TEDESCO, M. J.; GIANELLO, C.; ANGHINONI, I.; BISSANI, C. A.; CAMARGO, F. A. O.; WIETHÖLTER, S. **Manual de adubação e calagem para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO – Núcleo Regional Sul. Comissão de química e fertilidade do solo. 10 ed. Porto Alegre, 400p. 2004.

THIMOTEO, C. M. S.; BENINNI, E. R. Y.; MURATA, I. M.; FILHO, J. T. Alterações da porosidade e da densidade de um LATOSSOLO Vermelho Distrófico em dois sistemas de manejo de solo. **Acta Scientiarum**, Maringá, v. 23, n. 5, p. 1299-1303, 2001.

TORMENA, C. A.; ROLOFF, G.; SÁ, J. C. M. Propriedades físicas do solo sob semeadura direta, influenciadas por calagem preparo inicial e tráfego. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 22, n. 2, p. 301-309, 1998.

TRANGMAR, B. B.; YOST, R. S.; WADE, M. K.; UEHARA, G. Applications of geostatistics to spatial studies of soil properties. **Advances in Agronomy**, San Diego, v. 38, n. 1, p. 45-94, 1985.

VIEIRA, S.R. Uso da geoestatística em estudos de variabilidade espacial. In: Curso de atualização em conservação do solo, 1995. **Apostila**. Campinas: IAC, 1995. 61p.

WANG, Q. Y.; ZHOU, D. M.; CANG, L. Microbial and enzyme properties of apple orchard soil as affected by long-term application of copper fungicide. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 41, n.7, p.1504-1509, 2009.

WEEPENER, H. L.; NARCISO, G.; LYON, T. Monitoring citrus plantations with airborne imagery. In: International conference on geospatial information in agriculture and forestry, 2, Lake Buona Vista, 2000. **Proceedings**. Ann Arbor: Veridian Erim International, v.2. p.132-139. 2000.

WERNER, V. **Utilização de recursos de agricultura de precisão na geração de mapas de atributos, mapas de produtividade e aplicação de insumos a taxas variáveis**. 2004.125 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola), Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, RS. 2004.

WERNER, M. R. Soil quality characteristics during conversion to organic orchard Management. **Applied Soil Ecology**, v. 5, n.2, p. 151-167, 1997.

WILDING, L. P.; DREES, L. R. Spatial variability and pedology. In: **Pedogenesis and soil taxonomy: I concepts and interactions**. New York: Elsevier, 1983. p.83-116.

ZOU, K. H.; TUNCALI, K.; SILVERMAN, S.G. Correlation and Simple Linear Regression. **Radiology**, Oak Brook, v. 227, n. 3, p. 617–622, 2003.

CAPÍTULO II

CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DOS FRUTOS DE PERA SOB ADUBAÇÕES DIFERENCIADAS

RESUMO

Muitos problemas durante a condução de uma lavoura podem ocorrer de forma irregular ou simultânea e, geralmente, são tratados pela média, desconsiderando-se variações locais. Um modo de abrandar tal desequilíbrio é particularizar o manejo nos pontos críticos, ou pelo menos em áreas definidas. O objetivo deste trabalho foi avaliar e mapear o comportamento espacial de atributos físicos e químicos dos frutos em um pomar de peras durante as safras de 2009/2010 e 2010/2011. A área experimental está localizada no município de Nova Laranjeiras - PR. O pomar foi implantado no ano de 2000, em uma área anteriormente cultivada com milho, soja, aveia e sorgo, em sistema plantio direto. A amostragem foi realizada em malha com espaçamento regular de 30 m, utilizando-se GPS. Foram selecionados 36 pontos, a partir da grade amostral (grid) que foi denominada de AP. Para avaliar o comportamento espacial e temporal dos atributos do solo, da planta e da produtividade, foi realizada adubação diferenciada no ano de 2010. Seguindo o mesmo procedimento, foram selecionadas outras 36 árvores que serviram de referência como testemunhas e receberam adubação convencional (AC), ou seja, a mesma adubação para todas as plantas. Já as árvores do sistema AP receberam a quantidade de nutrientes de acordo com a necessidade calculada para cada planta, a partir de uma equação de regressão. Para avaliar o grau de maturação dos frutos, em cada colheita, foram avaliados, aleatoriamente, quatro frutos por planta da grade amostral, nos quais foram realizadas determinações de: diâmetro e comprimento, densidade do fruto, acidez total titulável e sólidos solúveis totais. Em cada colheita, foi realizada a pesagem de todos os frutos colhidos em cada árvore da grade amostral. A produtividade total foi obtida pela soma das colheitas individuais das plantas. A produtividade foi pouco correlacionada com os atributos SST, pH e densidade do fruto, logo, essas variáveis não são afetadas por influências extrínsecas comuns. Já com o comprimento do fruto, a produtividade apresentou uma correlação de moderada a forte no ano de 2011. Constatou-se também uma grande variabilidade espacial, que não apresentou padrões de comportamento semelhantes para as variáveis analisadas.

Palavras-chave: qualidade do fruto, agricultura de precisão.

PHYSICOCHEMICAL CHARACTERISTICS OF PEAR FRUITS UNDER DIFFERENT FERTILIZATIONS

ABSTRACT

During a crop management, many problems may occur in an irregular or simultaneous way and are generally treated by means, regardless of local variations. An option to mitigate this imbalance is to individualize the management at critical points, or at least in specific areas. This trial aimed at evaluating and mapping the spatial behavior of physical and chemical properties of fruits in a pear orchard during 2009/2010 and 2010/2011 harvests. The experimental area is in Nova Laranjeiras (PR). The orchard was established in 2000 in an area previously cropped with corn, soybeans, oats and sorghum in a no-tillage system. The sample was held in a 30 m regular spacing mesh, by GPS. Thirty six points were selected from the sampling grid, named as PA. In order to evaluate spatial and temporal properties of soil, plant and yield, a different fertilization was carried out in 2010. It followed the same procedure, 36 trees were selected to be considered as control and received conventional fertilization (CF), which meant that the same fertilizer was used for all the plants. On the other hand, the trees of PA system received the amount of nutrients according to each plant's need, based on a regression equation. To evaluate fruit ripeness degree of each harvest, four fruits per plant of a sampling grid were randomly evaluated in order to obtain the following determinations: diameter and length, fruit density, total titratable acidity and total soluble solids. In each crop, the weighing of all fruits collected from each tree from sampled grid has been recorded. The total yield was obtained by adding the individual crops of plants. Yield was little correlated with TSS properties, pH and fruit density, so these variables were not affected by common extrinsic influences. On the other hand, with fruit length, yield showed from moderate to strong correlation in 2011. It was also observed a great spatial variability, which did not show similar patterns of behavior for the studied variables.

Keywords: fruit quality, precision agriculture

II.1 INTRODUÇÃO

A exploração econômica da pereira no Brasil ainda é bastante reduzida, porém é a terceira fruta mais consumida entre as espécies de clima temperado, perdendo apenas para a maçã e o pêssego. É explorada especialmente na região Nordeste do Rio Grande do Sul e no Planalto Catarinense, onde já existe infraestrutura adequada para a cultura da macieira, a qual pode ser aproveitada para o cultivo da pereira. Além desse fato, existe um mercado aberto para o produto, pois seu valor comercial é bem superior ao da maçã, provavelmente pela menor disponibilidade dessas frutas (LOMBARDI et al., 2000).

A pera, como outras espécies de folhas caducifólias, tem estados definidos de crescimento entre a floração e a colheita. Uma vez que atinge a maturidade, normalmente a colheita é realizada por meio de indicadores, tais como coloração da casca, tamanho e peso do fruto, que não são parâmetros adequados para definir o momento certo para a colheita, devido à irregularidade da fruta (KABAS; OZMERZI, 2005). Para determinar a maturação de frutas em geral, são considerados outros parâmetros, como: acidez, firmeza da polpa, conteúdo de sólidos solúveis e a intensidade respiratória (LOMBARDI et al., 2000). Tais propriedades são influenciadas pelas condições climáticas, especialmente pela luminosidade e temperatura (CALVO, 2004) e incidem diretamente na formação do fruto e nos parâmetros como cor, firmeza e concentração de sólidos solúveis bem como a conservação durante as operações pós-colheita (PARK et al., 2002).

Árvores frutíferas diferem da maioria das culturas anuais e de algumas culturas perenes pelo fato de a maioria das plantas em um pomar serem clonadas, sugerindo haver mínima variação biológica entre elas quando comparadas a outras culturas. Entretanto, algumas práticas de manejo como: poda, raleio e colheita são feitas individualmente em cada árvore, enquanto outras são realizadas em blocos uniformes, como: irrigação e aplicação de fertilizantes. Os fatores que determinam a produtividade e a qualidade das plantas no pomar são variáveis no espaço e no tempo.

O mercado mundial consumidor de frutas estabelece requisitos sanitários rigorosos e exige garantias de qualidade e inocuidade. Isso requer a adoção de uma visão diferenciada de produção que prioriza a qualidade da fruta e o meio ambiente. As alternativas, em consonância com as novas tendências para fruticultura, são a adoção de técnicas de produção preconizadas pelos sistemas de produção integrada e orgânica de frutas e a fruticultura de precisão (TIBOLA; FACHINELLO, 2004).

Muitos problemas relativos à lavoura podem ocorrer irregular ou simultaneamente e, geralmente, são tratados pela média, desconsiderando-se as variações locais. Parte desses problemas se deve a carências da cultura e a deficiências do solo, que pode disponibilizar água e nutrientes em quantidades insuficientes às demandas da cultura. Um modo de

abrandar este desequilíbrio seria particularizar o manejo nos pontos críticos, ou pelo menos em áreas definidas. Para evitar desperdícios e aumentar a eficiência, hoje é possível usar tecnologias que racionalizem a aplicação de insumos e gerenciem com precisão a produção agrícola (FERRERO, 2009).

Portanto, este trabalho objetivou mapear e avaliar o comportamento espacial dos atributos físicos e químicos dos frutos em um pomar de peras durante as safras de 2009/2010 e 2010/2011, bem como verificar a correlação entre a produtividade e cada atributo estudado.

II.2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

II.2.1 A fruticultura

O setor de fruticultura está entre os principais geradores de renda, emprego e de desenvolvimento rural do agronegócio nacional. Os índices de produtividade e os resultados comerciais obtidos nas últimas safras são fatores que demonstram não apenas a vitalidade como também o potencial desse segmento produtivo. Atualmente, existem pelo menos 30 grandes pólos de produção de frutas espalhados por todo o País. A fruticultura é uma atividade com elevado efeito multiplicador de renda, portanto, tem força suficiente para dinamizar economias locais estagnadas e com poucas alternativas de desenvolvimento (MAPA/SPA, 2007).

Depois da queda em 2009, a produção brasileira de frutas apresentou um crescimento em 2010 se comparado ao rendimento anterior. Os números do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) apontam uma produção de 43 milhões de toneladas de frutas, o que representa 5% a mais que 2009, quando chegou a 41 milhões. O resultado mantém o Brasil como terceiro maior produtor mundial, atrás apenas da China e da Índia (POLL et al., 2011).

O Brasil possui condições edafoclimáticas para produzir uma gama de frutas tropicais, subtropicais e temperadas e situações especiais que permitem que se possa produzir o ano todo. Apesar de todas essas condições favoráveis, o Brasil ainda importa várias frutas que poderiam ser produzidas aqui, dentre elas se destacam a pera, a uva de mesa, as passas, as ameixas, o kiwi, a cereja e a maçã, na entressafra. Os principais fornecedores dessas frutas são a Argentina, o Chile e o Uruguai (FACHINELLO et al., 2008). Seja para o mercado local e regional, seja para exportação, o fato é que o País amplia suas áreas produtivas a cada ano (POLL et al., 2011).

Contudo, o mercado internacional de frutas ainda é uma realidade distante para o Brasil. O País ainda tem um longo caminho a percorrer para ocupar posição de destaque e que seja condizente com sua importância na condição de grande produtor mundial de frutas. Os motivos que levam o Brasil a ocupar uma posição insignificante no mercado internacional de frutas vão desde problemas na produção e classificação, passa por uma infraestrutura deficiente, até a falta de tradição no mercado internacional (NUNES, 2009).

O mercado internacional envolve uma série de regras e exigências, que mudam de país para país. Na área de alimentos, incluída a fruticultura, esses requisitos referem-se a aspectos econômicos e também fitossanitários. Cada item possui as suas especificidades, o

que torna as transações comerciais bastante complexas. Não basta ter um comprador para o produto, é preciso cumprir com as cláusulas impostas pelo governo da nação importadora.

II.2.1.1 A pera

A pereira pertence à família Rosaceae, subfamília Pomoideae gênero *Pyrus*. Compreende mais de 20 espécies, todas nativas da Europa e da Ásia. As cultivares mais consumidas no mundo podem ser classificadas em dois grupos: Europeias (*Pyrus communis*) e Asiáticas (*Pyrus pyrifolia*, *Pyrus bretschneideri*) (EMBRAPA, 2003). Considerada um fruto típico de clima temperado, a pera necessita, para o seu pleno desenvolvimento, de inverno frio para hibernação e dias quentes e claros para frutificação. O seu cultivo não é recomendado em zonas úmidas e com ocorrência de granizo e de fortes geadas (SATO; ASSUNÇÃO, 2003).

A pera, como as demais frutas de clima temperado, vem apresentando, no Brasil, uma notável expansão de consumo ao longo dos últimos anos. De acordo com Junqueira e Peetz (2003), pomares comerciais começam a surgir nos Estados do Rio Grande do Sul, de Santa Catarina, Paraná e São Paulo, com a adoção de cultivares de pereiras europeias, japonesas e híbridas. Estima-se uma área cultivada com pera de pouco mais de 2.300 ha, com uma produção de 19 mil toneladas anuais. Por ordem de importância, os Estados produtores são: Rio Grande do Sul (42,6% da produção); São Paulo (22,3%); Minas Gerais (20,2%); Santa Catarina (8,2%); Paraná (3,2%), outros Estados (3,4%). Os crescentes volumes dessa fruta comercializados no mercado interno originam-se de importações, que respondem ainda por cerca de 90% da sua disponibilidade interna (EMBRAPA, 2003).

Segundo Nakasu e Faoro (2003), as cultivares de pereiras mais consumidas no mundo podem ser classificadas em dois grupos:

- Europeias: *Pyrus Communis*
- Asiáticas: Pera japonesa – *Pyrus pyrifoliar var.culta*.

Pera chinesa – *Pyrus bretschneiderie Pyrus ussuriensis*.

II.2.2 Manejo do solo em pomares

O manejo do solo envolve todos os tratamentos culturais aplicados à camada de solo utilizada pelas plantas frutíferas, desde o momento do plantio até a colheita. Deve ser o mais eficiente possível quanto ao controle da erosão do solo, regulação da disponibilidade de água, manutenção de bom nível de matéria orgânica, redução da competição com ervas daninhas, manutenção da fertilidade do solo, facilidade no trânsito do homem e máquinas no pomar. É preciso levar em consideração a economicidade, equipamentos e máquinas

disponíveis na propriedade. O manejo do solo e a sua execução estão intimamente ligados ao sistema de plantio, espaçamento adotado, dimensão da área, espécie cultivada, clima e topografia (FACHINELLO et al., 2008).

As áreas de dispersão geográfica de diferentes espécies e variedades diferem muito entre si. Quando do estabelecimento de uma exploração frutífera, é importante conhecer as condições de solo (aspectos químicos, físicos, biológicos, topografia, compactação e uniformidade) e clima (temperatura e pluviosidade).

Nos pomares de peras, recomenda-se que as faixas sejam mantidas limpas até 1 m de cada lado da linha das plantas. A limpeza pode ser manual, mecânica ou com o emprego de herbicidas de pós-emergência, a partir do segundo ano, com N-(fosfometil) glicina, (glifosato); as folhas das plantas não podem ser atingidas e é preciso evitar atingir o tronco. O restante da área pode ser utilizado para o cultivo de gramíneas de inverno e leguminosas de verão até o terceiro ano. A partir do quarto ano, nas entre filas, deve-se manter uma leguminosa ou uma gramínea rasteira bem como manter a cobertura verde sempre roçada (EMBRAPA, 2003).

II.2.3 Clima e fruticultura

A luz é fator importante na vida da planta. O aumento de luz provoca aumento da atividade fotossintética, com acréscimo no vigor da planta, no tamanho e na qualidade do fruto. A luminosidade afeta a formação de flores e dos frutos. O florescimento e a frutificação ocorrem, normalmente, na parte externa da planta, por ser mais iluminada e arejada que seja. A água se encontra em fluxo contínuo dentro das plantas. Baixo teor de água induz à paralisação das atividades vegetais e quando a árvore se encontra em frutificação, pode ocorrer queda elevada dos frutos. A temperatura influencia a planta de várias maneiras. Os processos biológicos estão intimamente relacionados com a temperatura. Assim, dormência, florescimento, fecundação, frutificação, maturação e qualidade dos frutos dependem, cada um a seu tempo, de determinado grau de calor (LIMA; BORGES, 2007).

Entre os fenômenos climáticos que causam danos à produção, merecem destaque as geadas, os ventos fortes, as secas e o granizo. O congelamento se dá nas partes intercelulares e no interior de tecido. O efeito dos ventos é indireto, pois induz o fechamento dos estômatos, reduz a atividade fotossintética e o crescimento, além de poder causar estresse hídrico pelo aumento da demanda evaporativa. Em caso de ocorrência de estresse hídrico, pode ocorrer redução na produção. O estresse pode ainda causar prejuízo na produção do ano seguinte e influir na diferenciação floral (EMBRAPA, 2005).

A umidade atmosférica interfere na qualidade de muitos frutos. O ambiente seco favorece a proliferação de ácaros e de cochonilhas. A queda de muitos frutos em formação

ocorre geralmente em períodos quentes, após secas prolongadas. Essa queda pode estar associada à baixa umidade relativa e a uma elevada transpiração, devido ao desequilíbrio que ocorre entre absorção e perda de água (SIMÃO, 1998).

II.2.4 Desenvolvimento floral

O processo de desenvolvimento floral é caracterizado pela interrupção da endodormência, que promove a retomada do crescimento dos órgãos florais e a maturação das células reprodutivas pela meiose, portanto, culmina com a abertura da flor. Em trabalho realizado por Citadin (2001), com ramos das cultivares de pessegueiro Precocinho e Eldorado e com a seleção BR-1, nas condições climáticas do Sul do Brasil, a interrupção da endodormência dessas cultivares ocorre em junho-agosto, assim, tais observações podem ser aplicadas às peras.

II.2.4.1 Indução Floral

A iniciação floral é caracterizada por modificações morfológicas do meristema que se transformam irreversivelmente em flor. Essas transformações ocorrem no domo do meristema, que limita o desenvolvimento vegetativo e corresponde ao período de inibição da própria formação dos primórdios foliares. Em seguida, o meristema apical passa por intensa atividade mitótica e o domo apical aumenta consideravelmente. Essa fase constitui o estágio pré-floral que é perceptível entre janeiro e fevereiro no Brasil. Em seguida, no domo apical se forma o receptáculo da flor, diferenciando-se, sucessivamente, as sépalas, as pétalas, os estames e o pistilo (MONET; BASTARD, 1970).

Vários problemas que se verificam após a floração ou mesmo na colheita, como baixa produtividade, atribuídos muitas vezes apenas às condições de inverno que ocorrem na região sul, podem ter origem em etapa anterior do desenvolvimento e, muito provavelmente, na diferenciação floral. Não é raro observar pessegueiros, macieiras, pereiras e outras em floração em abril-maio, antes mesmo do início do inverno, cerca de cinco meses anteriores à primavera. Cabe ressaltar que a característica de floração precoce pode estar correlacionada com a elevação das temperaturas durante a fase de diferenciação floral que, possivelmente, acelera os processos bioquímicos nas plantas, conseqüentemente, as etapas de diferenciação floral e podem resultar em problemas referentes à morfologia floral (COUTO, 2006).

Na produção de pêssegos sob clima subtropical, condições contínuas de altas temperaturas influenciam o desenvolvimento das flores, conseqüentemente podem reduzir a frutificação efetiva, com repercussão na produção (KOZAI et al., 2002). Em framboeseira e

damasqueiro, cultivados em regiões quentes de zonas temperadas, temperaturas excessivamente elevadas ($> 25\text{ }^{\circ}\text{C}$) afetam o desenvolvimento de flores e a fertilização, o que resulta na redução da frutificação efetiva (BEPPU et al., 2001; RODRIGO; HERRERO, 2002).

Um esforço para integrar as variáveis que influenciam a produção de frutas, em um modelo de análises de regressão múltipla (BEATTIE; FOLLEY, 1978), mostrou que as variáveis meteorológicas durante a floração têm um efeito na subsequente produção de macieiras e as temperaturas na pré-floração também influenciam a sua produtividade. Esses resultados foram confirmados posteriormente, ou seja, mostram que há uma correlação negativa entre a produtividade em 43 macieiras e as temperaturas elevadas durante a pré-floração (JACKSON et al., 1983). Reciprocamente, baixas temperaturas ($10\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $15\text{ }^{\circ}\text{C}$) na pré-floração têm sido correlacionadas com altas produtividades em pereira (BROWNING; MILLER, 1992).

II.2.5 Maturação dos frutos

A qualidade da fruta é uma expressão do potencial genético da cultivar, de técnicas corretas de manejo do cultivo e de condições ambientais adequadas, de clima e solo. As alterações sofridas durante o amadurecimento dos frutos correspondem às mudanças sensoriais de sabor, odor, cor e firmeza, que tornam o fruto aceitável para consumo (KOBBLITZ, 2008).

A maturação é o estágio do desenvolvimento dos frutos que compreende uma inter-relação de mudanças bioquímico-moleculares, cujo resultado são alterações fisiológicas e fenotípicas facilmente perceptíveis, como é o caso da coloração (degradação da clorofila e/ou síntese de outros pigmentos), solubilização de pectinas (aumento da fragilidade e amolecimento dos tecidos), formação de ceras na epiderme, melhoria do sabor, pela síntese e bioconversão de carboidratos, síntese e bioconversão de ácidos orgânicos, síntese e/ou polimerização/condensação de compostos fenólicos, e da produção de substâncias voláteis (NEVES, 2009).

Em peras, pode-se distinguir a maturação de colheita ou maturação fisiológica como aquela que a fruta alcança na árvore e assegura a continuidade dos processos normais de amadurecimento. A maturação de consumo ocorre posteriormente quando a fruta desenvolve, ao máximo, suas características de qualidade organoléptica, logo, fica apta para o consumo (EMBRAPA, 2003).

Segundo Fachinello et al. (2008), de acordo com o modelo de respiração apresentado, as frutas podem ser classificadas em dois grupos: frutas climatéricas e frutas não climatéricas. As frutas climatéricas apresentam um período em que ocorre uma

elevação na taxa respiratória, devido à produção autocatalítica de etileno. A produção de etileno, o ácido ribonucléico (RNA) e as proteínas, juntamente com aumento na taxa respiratória e com a decomposição de certas estruturas celulares, marcam a transição entre a fase de maturação e a senescência. As frutas climatéricas podem ser colhidas mesmo que ainda não estejam maduras, pois a maturação é atingida após a colheita. No entanto, as frutas não devem ser colhidas muito jovens, devido às perdas nas qualidades organolépticas. As principais frutas climatéricas são maçã, pera, pêssego, ameixa, goiaba, figo, caqui, abacate, mamão, manga, maracujá, banana, cherimólia, damasco, melão e tomate.

As principais variáveis de monitoramento da maturação são baseadas em avaliações sensoriais, métodos analíticos e biológicos. No primeiro grupo estão, por exemplo, a forma, a coloração, o tamanho, o sabor, o aroma e a presença de defeitos. Entretanto, as informações obtidas dessa maneira não são suficientes para obter uma correta classificação qualitativa, porque não são capazes de definir os aspectos organolépticos, nutricionais e higiênico-sanitários que definem a qualidade (FIORI, 2005).

O estágio de maturação em que os frutos são colhidos determinará a qualidade do fruto a ser oferecido ao consumidor. Os frutos colhidos verdes, além de pouca qualidade, têm alto índice de perda de água e são muito suscetíveis às desordens fisiológicas. Por outro lado, quando colhidos muito amadurecidos, entram rapidamente em senescência (MANICA et al., 2000).

A determinação do grau adequado de maturação, por ocasião da colheita da fruta, é de grande importância para que o produto atinja o mercado ou a indústria em perfeitas condições. O grau ideal de maturação é bastante variável com a espécie e, também, com a cultivar. Outro fator que determina o ponto de colheita é o destino que será dado à fruta, assim, frutas destinadas ao consumo *in natura* devem ser colhidas maduras ou ligeiramente firmes, enquanto aquelas destinadas à industrialização ou ao armazenamento podem ser colhidas com grau de maturação menos avançado (FACHINELLO et al., 2008).

A definição da qualidade e a avaliação da evolução fisiológica da maturação dos frutos não podem deixar de aplicar outros critérios de avaliação. Por isso, complementarmente, são aplicados métodos analíticos para a avaliação da qualidade dos frutos, incluindo aqueles para determinação de sólidos solúveis totais, carboidratos totais e suas frações, acidez total e identificação de ácidos orgânicos, compostos voláteis totais e frações, coloração, firmeza e textura de polpa, teores de fibras totais e solúveis, dentre outros (NEVES, 2009).

Os sólidos solúveis totais (SST) são usados como índices de açúcares totais em frutas e indicam o grau de amadurecimento. São constituídos por compostos solúveis em água que representam os açúcares, ácidos, vitamina C e algumas pectinas. A presença de

concentrações adequadas de açúcares solúveis e ácidos orgânicos determina o desenvolvimento do sabor do fruto e afeta diretamente a qualidade do produto (MOURA et al., 2005).

Os teores de sólidos solúveis totais (SST), com a maturação, tendem a aumentar devido à biossíntese ou à degradação de polissacarídeos. A medição do teor de SST é feita com um aparelho denominado de refratômetro e a leitura é dada em °Brix. Em peras européias, os açúcares podem variar de 11 °Brix a 14 °Brix (EMBRAPA, 2003).

Com a evolução da maturação das peras, ocorrem, em geral, decréscimo e estabilização da acidez (KINGSTON, 1993); aumento no teor de açúcares (BELL et al., 1996), intensificação da cor na epiderme, variável conforme a cultivar (KAPPEL et al., 1995), e por fim, redução na firmeza da polpa, resultante da perda excessiva de água dos tecidos, além da diminuição da pressão de turgescência, em virtude da baixa umidade relativa do ar, principalmente pela intensificação da atividade enzimática (CHITARRA e CHITARRA, 1990). Para Ahmede; Labavith (1980), a diminuição da firmeza da polpa é devido, basicamente, à dissociação das paredes celulares, com diminuição no grau de polimerização de ácidos urônicos que, geralmente, são acompanhados de aumento nos teores de pectinas solúveis.

O pH é um parâmetro que mede de forma geral a acidez de frutas e alimentos, o qual é um indicador do tipo de tratamento necessário para a conservação dos alimentos. A determinação do pH é eletrométrica e avalia a concentração de íons hidrogênio em uma amostra. O aumento do pH está diretamente relacionado com o decréscimo da acidez ocorrida com o avanço da maturação dos frutos (CHITARRA; CHITARRA, 1990).

A acidez total titulável (ATT) é medida, em um extrato da fruta, por meio de titulação com hidróxido de sódio e representa o teor de ácidos presentes. Normalmente, a ATT diminui com a maturação da fruta. O pH apresenta comportamento inverso ao da ATT, ou seja, aumenta com a maturação da fruta (FACHINELLO et al., 2008).

Segundo Chitarra (1997), os sólidos solúveis totais e a acidez titulável são importantes características de qualidade do sabor. Enquanto o teor de sólidos solúveis aumenta durante o amadurecimento, a acidez diminui. Vangdal (1982) afirma que o sabor das peras é fortemente influenciado pelo conteúdo de sólidos solúveis totais da fruta.

II.2.6 Agricultura de precisão

De acordo com os avanços tecnológicos na agropecuária, especialistas têm observado, cada vez mais, que os diversos setores da agricultura não podem ser tratados de maneira homogênea no que diz respeito à medição de variáveis nas áreas agrícolas. Neste sentido, a variação espacial e temporal deve ser considerada para que se possa ter melhor aplicação e aproveitamento dos insumos e assim melhorar a produtividade, reduzir o

custo de produção e o impacto ambiental causado pelo excesso de insumos utilizados (FARIAS et al., 2003).

Neste contexto, surge a Agricultura de Precisão (AP) que Molin (2000) define como um elenco de tecnologias e procedimentos utilizados para que os sistemas de produções agrícolas sejam otimizados, cujo objetivo principal é o gerenciamento da variabilidade espacial da produção e dos fatores relacionados a ela. Para Rolas (2004), a AP consiste na aplicação de tecnologias de avaliação e o manejo da variabilidade espacial dos parâmetros das culturas e do solo.

Os conceitos da AP têm por princípio a existência de variabilidade da produtividade das culturas e atributos de planta e solo, podendo ser classificadas em espacial, temporal e preditiva (BLACKMORE; LARSCHEID, 1997).

A pesquisa em AP já avançou muito no setor de frutas no País. Farias et al. (2003) utilizaram a geoestatística e os mapas de satélite para captar a variabilidade de produtividade em pomares de laranja no Estado de São Paulo. Mascarin; Molin (2006) também realizaram estudos a respeito de mapas de produtividade com citros. Silva et al. (2006) aplicaram as ferramentas da AP como mapas em escalas detalhadas de relevo, uso da terra, topografia e imagem de satélite de alta resolução espacial para planejar a introdução de um pomar de frutas em Jundiaí (SP). A AP também é apontada como uma ferramenta importante para trabalhar com rastreabilidade na fruticultura exportadora para a identificação dos lotes da fazenda (JAKUBASZKO, 2008).

II.2.7 Geoestatística

Áreas consideradas pedologicamente semelhantes podem apresentar variabilidade nos atributos quando submetidas a diferentes práticas de manejo. O manejo pode alterar os atributos químicos, físicos, mineralógicos e biológicos, com impacto principalmente nas camadas superficiais do solo (MARQUES JÚNIOR, 2000).

A variabilidade em solos e plantas tem sido motivo de inúmeros estudos, devido à dificuldade de sua caracterização e quantificação. A geoestatística, pela análise de semivariogramas, tem sido a técnica mais utilizada para a caracterização das variabilidades espacial e temporal (CARVALHO, et al., 2010).

A geoestatística, ou teoria das variáveis regionalizadas, desenvolveu-se a partir dos trabalhos realizados por Matheron (1969, 1971), dirigidos para a estimativa de reservas de minério. A partir daí, estendeu seu campo de aplicação para outras áreas de pesquisa, como o estudo de propriedades geoquímicas e edafológicas. Uma variável aleatória é uma medida de particularidades que se espera variar de acordo com alguma lei de distribuição de probabilidade, caracterizada por parâmetros da distribuição, tais como média e variância

da distribuição normal. A variável aleatória, quando assume valores em função da localização onde é amostrada no campo, caracteriza-se como uma variável regionalizada, e, ao considera-se o conjunto de todas as possíveis realizações da variável aleatória, em todos os locais do campo, tem-se uma função aleatória (TRANGMAR et al., 1985).

A geoestatística não é um tipo diferente ou especial de estatística, mas uma estatística que leva em conta não apenas o valor obtido para uma variável resposta Z , mas também a sua posição, expressa por um sistema de coordenadas (SILVA et al., 2003). A modelagem geoespacial, por meio da geoestatística, permite a descrição quantitativa da variação espacial dos atributos em análise e a estimativa não-tendenciosa da variância mínima desses valores em locais não-amostrados bem como subsidia a construção de mapas de valores e a identificação de esquemas de amostragens eficientes (QUEIROZ et al., 1997).

Segundo Assumpção et al. (2007), a geoestatística fundamenta-se em conceitos básicos da estatística clássica, mas leva em consideração as coordenadas geográficas dos pontos amostrais e a dependência espacial entre as amostras. A partir da determinação de um gráfico, conhecido como semivariograma, em que se relaciona a distância entre as amostras com a respectiva função semivariância, ajusta-se um modelo teórico que fornece os parâmetros necessários para determinar a estrutura de variabilidade espacial e, posteriormente, a interpolação de valores em qualquer posição na área em estudo por meio da krigagem. O semivariograma é o principal instrumento da teoria das variáveis regionalizadas (FARACO et al., 2008).

A dependência espacial, em experimentos de campo, caracteriza-se pelo fato de que parcelas localizadas próximas umas das outras tendem a exibir resultados semelhantes, quanto à variável em estudo, do que parcelas distantes entre si.

O grau de dependência espacial pode ser classificado de acordo com o índice de dependência espacial (IDE, Equação 1). Neste sentido, Cambardella et al. (1994) propuseram os seguintes intervalos para avaliar a porcentagem da semivariância do efeito pepita: $\leq 25\%$ - forte dependência espacial; entre 25% e 75% - moderada dependência espacial e $\geq 75\%$ - fraca dependência espacial.

$$IDE = \frac{C}{C + C_0} \times 100 \quad (1)$$

Em que:

C - contribuição
 C_0 - efeito pepita

Quanto menor a relação do efeito pepita com o patamar, menores serão as diferenças entre os valores de amostras vizinhas, maior será a continuidade do fenômeno, menor a variância da estimativa e maior será a confiabilidade das estimativas (VIEIRA, 1995

e 1997). A nulidade do efeito pepita em relação ao patamar indica que o erro experimental é praticamente nulo e que inexistem variações significativas a distâncias menores que a amostrada (TRANGMAR et al., 1985).

II.3 MATERIAL E MÉTODOS

II.3.1 Localização da área experimental

A área experimental está localizada nas coordenadas geográficas 25°23'22" de latitude Sul, 52°34'15" de longitude Oeste e altitude média de 750 m, no município de Nova Laranjeiras-PR (Figura 01). O solo da área é caracterizado como Latossolo Vermelho Distroférico Típico (EMBRAPA, 2006) com 630 g kg⁻¹ de argila, 170 g kg⁻¹ de silte e 200 g kg⁻¹ de areia, segundo a análise granulométrica realizada pela Cooperativa Central de Pesquisa Agrícola – COODETEC.

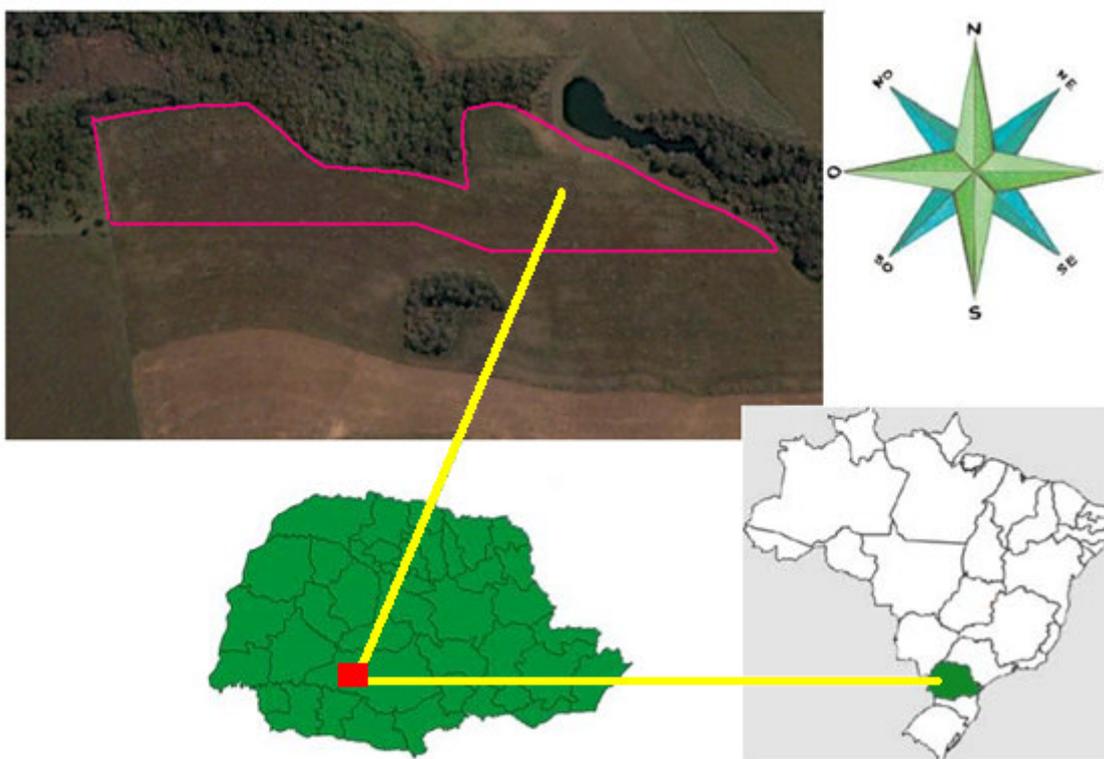


Figura 01 Imagem da área experimental obtida pelo programa computacional Google Earth 4.3 (2009).

O clima é do tipo Subtropical Úmido Mesotérmico (Cfb), com precipitação média anual de 1900 mm, verões quentes com tendência de concentração de chuvas, geadas pouco frequentes, sem estação seca definida. O município apresenta temperatura média de 20 °C e a umidade relativa média do ar de 70 % (CAVIGLIONE et al., 2000). Os dados meteorológicos de precipitação, umidade relativa, temperatura máxima e temperatura mínima dos períodos analisados (safra 2009/10 e 2010/11) estão apresentados nas Tabela 01 e Figura 02. Os dados foram solicitados ao SIMEPAR no mês de fevereiro de 2011 e abrangem todo o período de interesse.

Tabela 01 Precipitação pluvial, umidade relativa, temperatura máxima e mínima, referentes a duas safras¹ para a região de Nova Laranjeiras - PR.

Mês	Precipitação (mm)			Umidade Relativa (%)			Temperatura Máx. (°)			Temperatura Mín. (°)		
	2009	2010	2011	2009	2010	2011	2009	2010	2011	2009	2010	2011
Jan	72,2	632,8	145,6	86,3	83,0	84,0	33,4	33,6	34,5	13,9	22,1	17,2
Fev	0,0	172,6	51,2	89,4	82,1	87,5	35,1	37	32,9	16,6	16,8	18,2
Mar	3,2	213	-	85,5	80,3	-	35,7	35	-	15,5	*	-
Abr	71,0	240,4	-	81,4	81,1	-	33,1	31,6	-	11,5	*	-
Mai	223,0	104	-	91,4	87,2	-	30,3	28,1	-	5,1	*	-
Jun	116,6	50,6	-	91,7	80,0	-	27,3	29,1	-	1,7	*	-
Jul	168,4	123,8	-	92,9	79,2	-	28,1	28,7	-	0,2	*	-
Ago	187,4	28	-	84,4	68,5	-	31,9	33,3	-	5,7	*	-
Set	195,8	70,4	-	89,3	68,3	-	34,5	34,5	-	8,1	20,5	-
Out	279,0	296,2	-	88,1	73,8	-	34,8	33,4	-	10,5	9,9	-
Nov	252,0	77,8	-	90,6	69,6	-	37,2	33,4	-	16,1	10,1	-
Dez	141,4	346,8	-	89,5	83,9	-	32,9	33,4	-	14,2	11	-

¹Fonte: SIMEPAR, estação de Salto Osório – PR. *Sem leitura

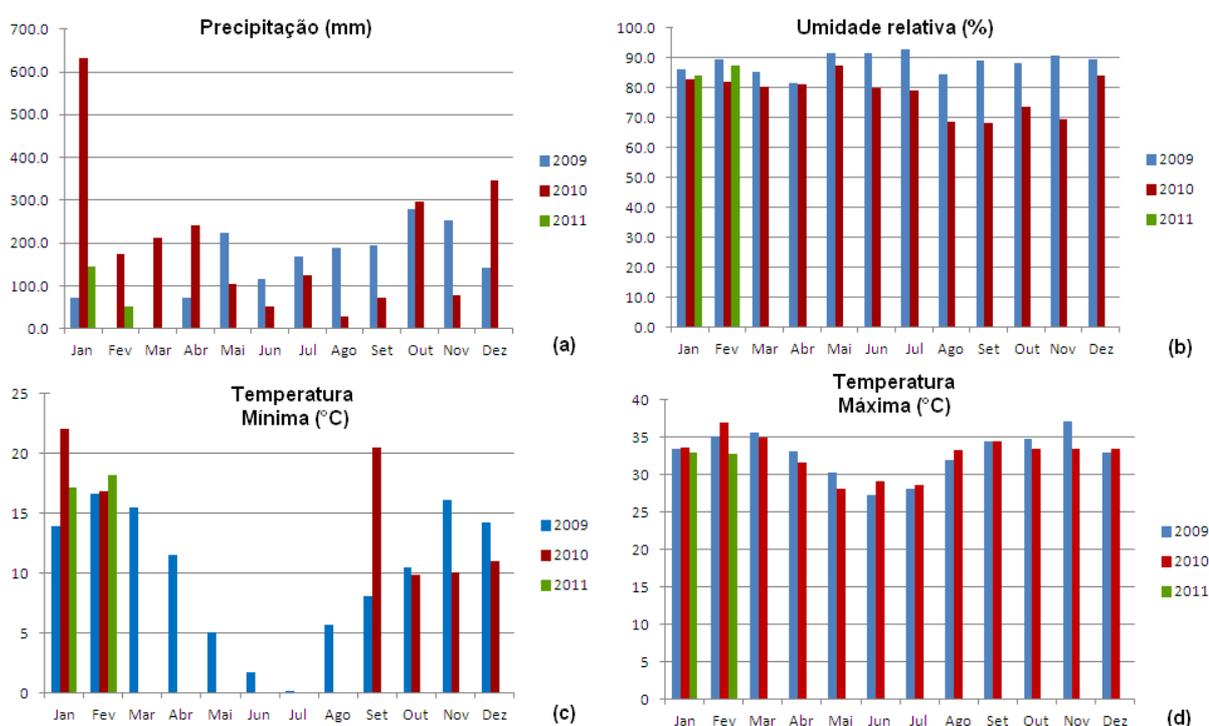


Figura 02 Gráfico da variação mensal da precipitação 10 e 2010/11, para a região de Nova Laranjeiras - PR.

II.3.2 Cultura e adubação

O pomar foi implantado no ano de 2000, em uma área anteriormente cultivada com milho, soja, aveia e sorgo, em sistema plantio direto. As mudas foram provenientes da região de Mafra-SC, da Fruticultura Brongiel. Os porta-enxertos são da variedade pera dura (Kieffer), nos quais foi enxertada a variedade Pera d'água. O espaçamento foi de 8,0 m entre linhas e 10,0 m entre plantas. A área experimental corresponde a 1,24 ha, cultivada

com 146 pereiras da variedade Pera d'água. No plantio, as covas foram preparadas com termofosfato (300 g por cova + 10 g de ácido bórico) e todos os anos são realizadas adubações de cobertura com N (uréia) e K (Cloreto de potássio).

A amostragem foi realizada em malha com espaçamento regular de 30 m, com um GPS topográfico. A localização do ponto de amostragem seguiu o procedimento denominado de amostragem sistemática estratificada. Foram selecionados 36 pontos, sendo 18 gerados a partir da grade (*grid*) amostral e 18 pontos coincidentes com a primeira planta à direita (sentido leste-oeste) que receberam o nome de sistema AP. No georreferenciamento do talhão e dos locais de amostragem, utilizou-se um receptor GPS topográfico com pós-processamento, modelo Trimble Geo Explorer 3, datum WGS-84.

Para avaliar o comportamento espacial e temporal dos atributos do solo, da planta e da produtividade, foram realizadas adubações diferenciadas. No ano de 2009, não foi feita adubação. Já em 2010, foram selecionadas 36 árvores que serviram de referência como testemunha e que receberam adubação convencional (AC), ou seja, mesma adubação para todas as plantas. Cada árvore do sistema AC recebeu 400 g de N, parceladas em duas doses e 300 g de K aplicados na projeção da copa (coroamento), utilizando-se como fontes a ureia e o cloreto de potássio, respectivamente, de acordo com recomendação técnica. Já as árvores do sistema AP receberam a quantidade de nutrientes de acordo com a necessidade calculada para cada planta, a partir de uma equação de regressão desenvolvida para P e K (equações 2 e 3), de acordo com a interpretação dos resultados da análise química do solo e pelas recomendações de COSTA & OLIVEIRA (2001).

$$P_2O_5 \text{ (kg ha}^{-1}\text{)} = \begin{cases} -11 * P + 118,5 & (R^2=0,99), \text{ quando } 1,5 \leq P \leq 10,5 \text{ mg dm}^{-3} \\ 100, & \text{quando } P < 1,5 \\ 0, & \text{quando } P > 10,5 \end{cases} \quad (2)$$

$$KCl \text{ (kg ha}^{-1}\text{)} = \begin{cases} -250 * K + 87,5 & (R^2=1,0), \text{ quando } 0,05 \leq K \leq 0,35 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3} \\ 75, & \text{quando } K < 0,05 \\ 0, & \text{quando } K > 0,35 \end{cases} \quad (3)$$

Os tratos fitossanitários foram realizados conforme a necessidade e recomendações técnicas para a cultura. Os principais tratos culturais consistiram em capina manual no período seco e roçada no período chuvoso. As plantas invasoras foram controladas com o uso de roçadora nas entrelinhas e herbicida na linha de plantio e foi utilizado um herbicida com ação dessecante.

II.3.3 Avaliação das características químicas e físicas dos frutos

Para avaliar o grau de maturação dos frutos em cada colheita, foram avaliados, aleatoriamente, quatro frutos por planta da grade amostral, nas quais foram realizadas as seguintes medições:

- diâmetro (transversal) e comprimento (longitudinal) - com o auxílio de um paquímetro digital, foram medidos o diâmetro transversal e o comprimento dos frutos;
- densidade do fruto - os frutos foram pesados separadamente. Em um recipiente com volume conhecido de água, foi medido o volume de água, deslocado quando o fruto foi submerso no mesmo. A densidade foi calculada pela razão entre a massa e o volume deslocado de água.
- testes de acidez titulável - o pH foi avaliado diretamente através de um potenciômetro previamente calibrado, operando-o de acordo com as instruções do manual do fabricante, determinado sem diluições devido à amostra ser líquida conforme descrito no método N°017/IV, IAL (2008).
- sólidos solúveis totais (SST) ou °Brix - a determinação dos SST foi realizada por leitura direta em refratômetro de Abbe, com o resultado expresso em °Brix, conforme AOAC (1995), seguindo o método N°315/IV descrito pelo IAL (2008).

II.3.4 Avaliação da Produtividade

Em cada colheita, foi realizada a pesagem de todos os frutos colhidos em cada árvore da grade amostral. A produtividade total foi obtida pela soma das colheitas individuais das plantas.

II.3.5 Cronograma

O cronograma da pesquisa (Figura 03) apresenta, de forma resumida, as atividades e os períodos em que as mesmas foram realizadas.

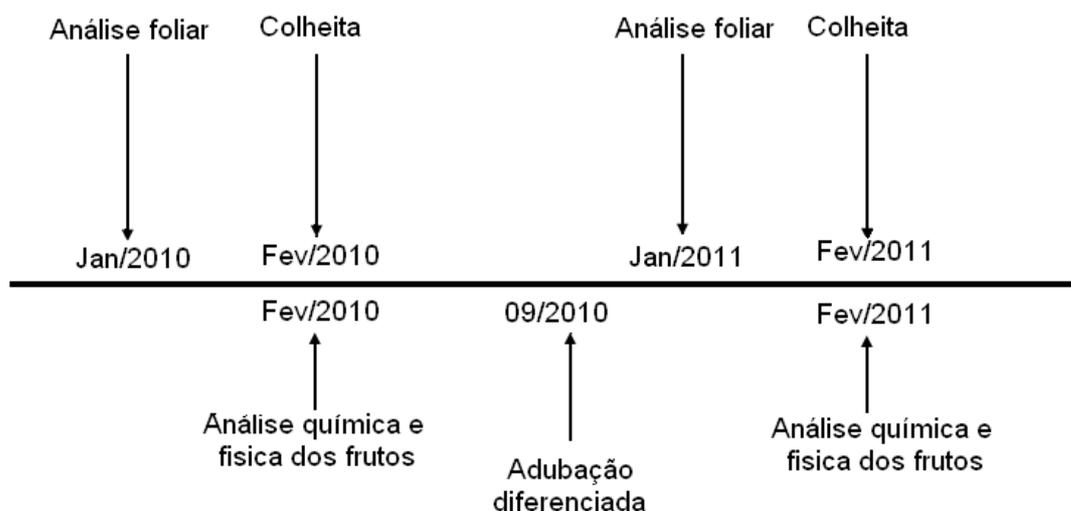


Figura 03 Cronograma do experimento em pomar de peras, Nova Laranjeiras – PR.

II.3.6 Análise estatística

Na análise exploratória dos dados, foram calculadas as medidas de posição (média e mediana), medidas de dispersão (variância, desvio padrão, coeficiente de variação e amplitude interquartis) e medidas de forma da distribuição (coeficiente de assimetria e coeficiente de curtose), visando identificar e avaliar se os dados possuem homogeneidade e normalidade. A normalidade dos dados foi verificada pelos testes de Anderson-Darling e Kolmogorov-Smirnov, ao nível de 5 % de significância. Foram considerados com distribuição de probabilidade normal os dados que apresentaram normalidade em, pelo menos, um dos testes. Os pontos discrepantes foram verificados por meio dos gráficos Box-Plot.

O coeficiente de variação (CV) foi considerado baixo quando $CV \leq 10\%$ (homocedasticidade); médio quando $10\% < CV \leq 20\%$; alto quando $20\% < CV \leq 30\%$; e muito alto quando $CV > 30\%$ (heterocedasticidade) (PIMENTEL GOMES; GARCIA, 2002).

Para avaliar o grau de correlação entre as variáveis, foram utilizados o coeficiente de correlação linear de Pearson (R) e o coeficiente de correlação não-paramétrica de Spearman (Rs) (Tabela 02). O coeficiente de Spearman foi usado para investigar se os dados não formavam uma nuvem comportada com alguns pontos bem distantes dos demais ou se existe relação crescente ou decrescente em um formato não linear.

O coeficiente 'R' expressa, numericamente, tanto a força quanto o sentido da correlação. Seu valor varia entre 1 e -1, ou seja: $-1 \leq R \leq 1$.

Tabela 02 Níveis para correlação linear de Pearson e Spearman

$0 \leq R < -0,2$	$-0,2 \leq R < -0,4$	$-0,4 \leq R < -0,6$	$-0,6 \leq R < -0,8$	$-0,8 \leq R \leq -1$	0
Negativa	Negativa	Negativa	Negativa	Negativa	Ausência
Muito fraca	fraca	moderada	forte	muito forte	
$0 \leq R < 0,2$	$0,2 \leq R < 0,4$	$0,4 \leq R < 0,6$	$0,6 \leq R < 0,8$	$0,8 \leq R \leq 1$	0
Positiva	Positiva	Positiva	Positiva	Positiva	Ausência
Muito fraca	Fraca	moderada	forte	muito forte	

Fonte: Adaptado de Beiguelman (1996).

II.3.7 Análise geoestatística

Na análise geoestatística, foram construídos os semivariogramas para verificar a dependência espacial dos dados. Para estimar a função semivariância experimental, foi utilizado o estimador proposto por Matheron (1963). Os modelos teóricos ajustados aos semivariogramas foram o esférico, o exponencial e o gaussiano. Os semivariogramas experimentais foram obtidos ao serem aplicados os métodos de ajuste de mínimos quadrados ordinários (OLS) para estimar os parâmetros efeito pepita (C_0), patamar ($C_0 + C_1$) e alcance (a) e pela adoção do modelo isotrópico (semivariograma omnidirecional) com *cut-off* de 50% da distância máxima (CLARK, 1979).

A seleção do melhor modelo de semivariograma foi feita pelo índice de qualidade de ajuste IQA (PANNATIER, 1996), Equação 4.

$$IQA = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N \sum_{i=0}^{n(k)} \frac{P(i)}{\sum_{j=0}^{n(k)} P(j)} \cdot \frac{D(k)}{d(i)} \cdot \left[\frac{\gamma(i) - \hat{\gamma}(i)}{\sigma^2} \right]^2 \quad (4)$$

Quando:

N é o número de variogramas direcionais na janela de plotagem;

$n(k)$ – é o número de intervalos relativos ao variograma k ;

$D(k)$ – é a máxima distância relativa ao variograma k ;

$P(i)$ – é o número de pares do intervalo de i ao variograma k ;

$d(i)$ – é a distância média entre pares do intervalo i do variograma k ;

$\gamma(i)$ – é a medida experimental de continuidade espacial do intervalo de i ;

$\hat{\gamma}(i)$ – é a medida modelada da continuidade espacial para $d(i)$ e

σ^2 - é a variância dos dados para o variograma.

O IDE foi calculado pela equação 01 ao se adotar a classificação proposta por Cambardella et al. (1994): $IDE \leq 25\%$ - forte dependência espacial; $25\% \leq IDE \leq 75\%$ - moderada dependência espacial e $IDE \geq 75\%$ - fraca dependência espacial.

II.3.8 Mapas temáticos

Para a elaboração dos mapas com a espacialização dos atributos químicos estudados e a produtividade das pereiras, utilizou-se o programa Surfer 8.0, com base nos valores estimados pelo interpolador geoestatístico denominado de krigagem. Os parâmetros que apresentaram efeito pepita puro foram representados nos mapas usando-se o interpolador inverso do quadrado da distância (IQD).

II. 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

II.4.1 Análise da produtividade

A produtividade do pomar foi avaliada nos anos de 2010 e 2011, porém, em 2011, os dois sistemas de adubação foram investigados (AP e AC). Os dados são apresentados na Tabela 03.

Tabela 03 Estatística descritiva das produtividades (kg ha⁻¹) em pomar de peras, Nova Laranjeiras – PR

Atributos	Mín.	Média	Mediana	Máx.	DP	CV(%)	Assim.	Curtose	Normal*
Produt. 2010 AC	765	3.032	3.026	6.085	1.375	45,35 (ma)	0,30 (b)	-0,36 (C)	Sim
Produt. 2011 AP	207	2.625	2.605	5.271	1.282	48,86 (ma)	0,36 (b)	-0,24 (C)	Sim
Produt. 2011 AC	333	2.548	2.328	6.440	1.523	59,77 (ma)	0,97 (b)	0,53 (B)	Sim

*Teste de normalidade Anderson-Darling e Kolmogorov-Smirnov. Coeficientes de variação (CV), desvio padrão (DP); muito alto (ma). Assimetria - distribuição simétrica (a), assimetria positiva (b), assimetria negativa (c); Curtose - mesocúrtica (A), platicúrtica (B), leptocúrtica (C).

Nos dois anos avaliados, a produtividade apresentou normalidade dos dados, com CV muito altos. Para todos os anos, os dados mostraram comportamento assimétrico positivo com curva de distribuição platicúrtica para o ano de 2011 sob o sistema de AP, leptocúrtica para o ano de 2010 e em 2011, sob o sistema AC.

No Rio Grande do Sul, a instabilidade climática influencia acentuadamente a variabilidade temporal da produtividade das culturas (BERLATO et al., 2005). A mesma variabilidade também foi observada neste trabalho, em que as produtividades apresentaram um alto CV. Balastreire (2001), em um estudo sobre o mapeamento da produtividade da cultura do café, também encontrou elevado CV para a produtividade.

O ano de 2010 apresentou a maior produtividade média (3.032 kg ha⁻¹). Para o ano de 2011, sob o sistema AC, a produtividade variou de 333 a 6.440 kg ha⁻¹, cuja média foi de 2.548 kg ha⁻¹. Já para o sistema AP, a variação foi de 207 a 5.271 kg ha⁻¹, com média de 2.625 kg ha⁻¹. O sistema AP apresentou um pequeno acréscimo nos valores de produtividade média (3%) em relação ao sistema AC.

Argenta (2009) avaliou a intensidade e as épocas de poda verde na pereira Abate Fetel na região de Vacaria (RS) e registrou produtividades médias cuja variação foi de 3,19 a 6,06 t ha⁻¹, valores superiores aos encontrados neste estudo. A variabilidade dentro de um pomar de citros também foi verificada nos trabalhos de Whitney et al. (1998) e Schueller et al. (1999), os quais relatam que, sob desigualdade de produção, o aproveitamento dos insumos uniformemente aplicados torna-se ineficiente em algumas áreas.

Segundo Williams (1965), por retardarem a abscisão das folhas, as altas temperaturas no outono aumentam o conteúdo de carboidratos nas gemas florais,

consequentemente, promovem floração e frutificação adequadas. Por meio do gráfico da variação mensal da precipitação mensal, umidade relativa e temperaturas máxima e mínima para as safras 2009/10 e 2010/11 (Figura 2), é possível observar que as temperaturas máximas nos meses de abril e maio de 2009 foram superiores ao ano de 2010 e isso pode ter influenciado na maior produtividade de 2010. Por outro lado, temperaturas altas na pré-floração e na floração (junho e julho) afetam negativamente a meiose polínica e/ou a formação dos gametas sexuais e, consequentemente, a formação de pólen. O ano de 2011 pode ter apresentado decréscimo na produção de pólen causado pelo menor acúmulo de frio e pelas temperaturas máximas observadas durante o inverno (Tabela 01) de 29,1 e 28,7 °C para os meses de junho e julho, respectivamente, o que pode ter provocado a queda na produtividade comparada ao ano de 2010.

Em estudos com pessegueiros e nectarineiras, em casa de vegetação, culturas de comportamento semelhante às pereiras, Erez et al. (2000) verificaram que altas temperaturas na pré-floração e floração retardaram a frutificação e favoreceram o crescimento vegetativo, não permitindo frutificação quando as plantas foram submetidas a temperaturas entre 21 e 29 °C.

Para Kozai et al. (2004), a frutificação efetiva de pessegueiros também foi significativamente reduzida com o aumento da temperatura, todavia, acima 25 °C, a mesma raramente ocorreu. Esses dados corroboram com os obtidos com o pessegueiro 'Granada' (Nava, 2007), em que foi possível observar que a frutificação efetiva dessa cultivar foi significativamente reduzida pelas elevadas temperaturas diurnas (acima de 25 °C) durante o período de pré-floração e floração.

Para o ano de 2011, no sistema AP, o comprimento e o diâmetro dos frutos (Tabela 04) apresentaram valores superiores comparados aos dados dos anos de 2011 e 2010, sob o sistema AC. Segundo Fachinello et al. (2008), o excesso de chuvas em determinado período pode provocar o aparecimento de doenças, por outro lado, a falta de chuvas no período que antecede a colheita pode causar diminuição do tamanho e até mesmo queda das frutas. No ano de 2009, o mês de dezembro apresentou baixa pluviosidade (Figura 2a), tendo como provável efeito frutos com tamanhos menores para a safra de 2010.

Foram registrados valores de SST para a cv. pera d'água, de 10,59 (2011 AC) a 11,50 (2010 AC), entretanto, o maior teor (12,15 °Brix) foi encontrado para o ano de 2010, sob o sistema AC. Em peras européias, os açúcares podem variar de 11°Brix a 14°Brix (EMBRAPA, 2003).

Os melhores padrões de qualidade (concentração de açúcar e coloração adequada) são encontrados em áreas de temperaturas de verão, em particular no período de pré-colheita, relativamente altas, sem serem excessivas combinadas com temperaturas amenas à noite (MEDEIROS; RASEIRA, 1998). Ao se observar o gráfico das temperaturas mínimas

e máximas (Figura 2c e 2d) para o ano de 2010, constatou-se que a variação entre mínimas e máximas foi inferior ao ano de 2011, o que pode ter ocasionado um acréscimo nos teores dos SST no ano de 2010.

Tabela 04 Estatística descritiva dos parâmetros físico-químicos dos frutos em pomar de peras, Nova Laranjeiras – PR

Variáveis	Mín.	Média	Mediana	Máx.	DP	CV	Assim.	Curtose	Normal*
Ano 2010 AC									
Comprimento (mm)	82,03	91,23	91,22	99,46	3,67	4,02(b)	-0,33 (b)	0,67 (B)	Sim
Diâmetro (mm)	62,52	66,39	66,76	71,39	2,08	3,14 (b)	0,22 (c)	0,09 (C)	Sim
SST (°Brix)	10,93	11,50	11,55	12,15	0,35	2,99 (b)	-0,15 (c)	-1,03 (C)	Sim
pH	3,81	3,90	3,92	3,99	0,05	1,22 (b)	-0,20 (c)	-0,98 (C)	Sim
Densidade (g cm ⁻³)	0,99	1,04	1,04	1,10	0,03	2,42 (b)	0,27 (a)	0,07 (C)	Sim
Ano 2011 AP									
Comprimento (mm)	72,77	109,30	108,35	133,56	11,72	10,73 (m)	-0,35 (b)	1,61 (B)	Sim
Diâmetro (mm)	65,72	74,77	73,26	102,24	6,56	8,77 (b)	2,12 (b)	7,79 (B)	Sim
SST (°Brix)	10,25	10,73	10,75	11,35	0,29	2,72 (b)	0,18 (c)	-0,92 (C)	Sim
pH	3,36	3,66	3,66	3,86	0,11	2,94 (b)	-0,58 (a)	0,83(B)	Sim
Densidade (g cm ⁻³)	0,82	0,95	0,95	1,16	0,06	6,30 (b)	1,26 (a)	4,54 (B)	Não
Ano 2011 AC									
Comprimento (mm)	89,52	107,38	107,95	131,94	9,85	9,17 (b)	0,51 (c)	-0,02 (C)	Sim
Diâmetro (mm)	58,12	74,74	74,13	101,73	6,92	9,26 (b)	1,55 (b)	6,61 (B)	Não
SST (°Brix)	9,77	10,59	10,61	11,25	0,34	3,23 (b)	-0,46 (c)	0,18 (C)	Sim
pH	3,55	3,67	3,68	3,77	0,06	1,63 (b)	-0,33 (c)	-0,85 (C)	Sim
Densidade (g cm ⁻³)	0,88	0,94	0,94	1,08	0,04	4,24 (b)	1,29 (a)	3,70 (B)	Sim

*Teste de normalidade Anderson-Darling e Kolmogorov-Smirnov. Coeficientes de variação (CV); desvio padrão (DP).

Os valores de sólidos solúveis totais (11,8 a 18,6 °Brix) foram obtidos por Kappel et al. (1995) em experimento com cultivares distintas de pera. Argenta (2009) encontrou valores de 11,5 a 12,6 °Brix para a cv. Abate Fetel, enxertada sobre marmeleiro Adams. Os valores encontrados neste estudo estão abaixo dos observados pelos autores citados.

Diferente das peras asiáticas, as peras européias não alcançam maturação de consumo na planta. De modo geral, devem ser colhidas com maturação fisiológica, muito firmes, e amadurecidas antes do consumo mediante armazenamento. Coutinho et al. (2003), ao estudarem o comportamento de peras cv. Carrick sob condições de armazenamento, observaram uma evolução nos teores de sólidos solúveis 11,7 °Brix na colheita até 13,87°Brix, no tratamento de 24 dias, quando armazenadas a 0 °C mais 6 dias mantidas a 20 °C.

Para peras da variedade Shinsseiki, Lombardi et al. (2000) observaram um aumento crescente nos teores de SST até alcançar valores de 11,3 °Brix no momento da colheita. Seibert et al. (2000) reportam valores de 11,5 °Brix para peras da variedade Packham's Triumph, semelhantes aos encontrados neste estudo para o ano de 2010. Valores

superiores foram encontrados para as variedades Carrick, com 11,7 °Brix (COUTINHO et al., 2003), Williams com 11,1 °Brix (CALVO, 2004), Barlett com 12,8 °Brix (MARSAL et al., 2000). Neste trabalho foram encontrados valores médios de pH, cuja variação foi de 3,66 a 3,90 e juntamente com o valor do Brix, confirmam o estágio ideal de maturação fisiológica dos frutos. Parra-Coronado et al.(2006) estudaram algumas propriedades físicas e fisiológicas na pré-colheita da pera, variedade Triunfo de Viena, e registraram valores de pH cuja variação ficou entre 3,8 e 4. Esse fato corrobora com os valores encontrados neste estudo.

Para a densidade do fruto, foram encontrados valores entre 0,94 e 0,95 g cm⁻³ para o ano de 2011 (sistemas AC e AP, respectivamente) e 1,04 g cm⁻³ para o ano de 2010, sob o sistema AC. Dados que também corroboram com Parra-Coronado (2006), que encontrou valores de densidade de fruto de 1,04 g cm⁻³ para a cultivar Triunfo de Viena.

Para facilitar a interpretação do comportamento dos atributos analisados, foi elaborada a Tabela 5, que apresenta a disposição dos coeficientes de variação, assimetria, curtose e o teste de normalidade. Todas as variáveis em todos os anos e forma de adubação apresentaram baixo CV, caracterizando homogeneidade dos dados. A exceção foi o comprimento, em 2010, sob o sistema AC, o qual foi classificado com médio CV. Apenas a densidade e o diâmetro em 2011, sob o sistema AC, não apresentaram normalidade.

Tabela 05 Coeficiente de variação, assimetria, curtose e teste de normalidade reclassificados em função do ano de ensaio e sistema de adubação em pomar de peras, Nova Laranjeiras - PR

Ano/Atributos		compr.	diâm.	SST	pH	dens.	CV
							(b) baixo
CV	2010 AC	m	b	b	b	b	(m) médio
	2011 AP	b	b	b	b	b	(a) alta
	2011 AC	b	b	b	b	b	Assimetria
Assimetria	2010 AC	b	c	c	c	a	a (simétrica)
	2011 AP	b	b	c	a	a	b (assim. positiva)
	2011 AC	c	b	c	c	a	c (assim. negativa)
Curtose	2010 AC	B	C	B	B	C	Curtose
	2011 AP	B	B	B	B	B	A (Mesocúrtica)
	2011 AC	C	B	C	B	B	B (Platicúrtica)
Normal	2010 AC	sim	sim	sim	sim	sim	C (Leptocúrtica)
	2011 AP	sim	sim	sim	sim	sim	Normal
	2011 AC	sim	não	sim	sim	não	sim
Compr.: comprimento		diâm.: diâmetro		dens.: densidade			não

Os atributos comprimento e diâmetro apresentaram distribuição assimétrica negativa em apenas uma avaliação. No entanto, o atributo SST mostrou comportamento assimétrico negativo em três avaliações e o pH em duas avaliações. Apenas o atributo densidade

apresentou distribuição simétrica nas três avaliações. Os demais atributos apresentaram distribuição assimétrica positiva, enquanto os atributos comprimento, diâmetro e SST apresentaram curva de distribuição leptocúrtica em uma avaliação. Os atributos apresentaram uma curva de distribuição platicúrtica em pelo menos duas avaliações.

II.4.2 Análise Geoestatística

Os resultados da análise geoestatística da produtividade (Tabela 6) mostram que, para os dois anos de estudo, o modelo exponencial foi o que melhor se ajustou aos dados e o maior alcance foi encontrado para o ano de 2010, sob sistema AC (101 m) e o menor alcance para o ano de 2011, sob o sistema AC (44 m). A produtividade apresentou dependência espacial moderada nos anos de 2010 e 2011, sob o sistema AP. Já o sistema AC apresentou fraca dependência espacial. Biffi; Rafaeli Neto (2008), ao avaliarem o comportamento espacial da maçã Fuji no planalto serrano catarinense, encontraram forte dependência espacial para a produção por planta e o número de frutos por planta. Esses dados discordam dos encontrados neste trabalho.

Tabela 06 Modelos e parâmetros estimados dos semivariogramas experimentais para a produtividade (kg ha^{-1}) em pomar de peras, Nova Laranjeiras - PR

Ano/Sistemas	Modelo	C_0	C_0+C_1	C_1	a (m)	IDE (%)
2010 AC	Exponencial	0,87	2,39	1,52	100,9	36 (mo)
2011 AP	Exponencial	0,99	1,97	0,98	77,0	50 (mo)
2011 AC	Exponencial	1,76	2,06	0,30	44,1	85 (fr)

fr: fraca mo: moderada

A análise geoestatística dos parâmetros que representam a qualidade dos frutos (Tabela 07) mostra moderada dependência espacial para todos os atributos nos dois anos de observação. A densidade dos frutos apresentou efeito pepita puro para o ano de 2010 no sistema AC e em 2011, nos dois sistemas (AP e AC). Os modelos ajustados para os semivariogramas para os atributos químicos e físicos dos frutos foram o exponencial (5 ocorrências), o esférico (5 ocorrências) e o gaussiano (2 ocorrências) .

Para o ano de 2011, sob o sistema AP, foi encontrado o maior alcance para o diâmetro do fruto (103 m) e o menor alcance foi encontrado em 2010 AC para o comprimento do fruto (26 m). Farias et al. (2003) estudaram a variabilidade espacial em pomares cítricos e constataram que o modelo esférico foi o que melhor representou os valores observados para o tamanho de frutos, o que também ocorreu neste estudo, para o ano de 2011, em ambos os sistemas em estudo.

Tabela 07 Modelos e parâmetros estimados dos semivariogramas experimentais para os parâmetros físico-químicos dos frutos em pomar de peras, Nova Laranjeiras – PR

Parâmetros	Modelos	C ₀	C ₀ +C ₁	C ₁	a (m)	IDE (%)
Ano 2010 AC						
Comprimento (mm)	Gaussiano	5,55	11,68	6,13	26,56	47 (mo)
Diâmetro (mm)	Gaussiano	1,64	6,23	4,59	98,29	26 (mo)
SST (°Brix)	Exponencial	0,07	0,12	0,05	87,66	58 (mo)
pH	Esférico	0,001	0,002	0,001	47,81	50 (mo)
Densidade (g cm ⁻³)	Pepita puro	-	-	-	-	-
Ano 2011 AP						
Comprimento (mm)	Esférico	59,62	128,73	69,11	34,53	46 (mo)
Diâmetro (mm)	Esférico	22,46	62,89	40,43	103,60	35 (mo)
SST (°Brix)	Exponencial	0,04	0,09	0,05	39,85	44 (mo)
pH	Exponencial	0,008	0,012	0,004	69,06	66 (mo)
Densidade (g cm ⁻³)	Pepita puro	-	-	-	-	-
Ano 2011 AC						
Comprimento (mm)	Esférico	57,23	89,42	32,19	28,54	64 (mo)
Diâmetro (mm)	Esférico	34,50	53,32	18,82	93,40	65 (mo)
SST (°Brix)	Exponencial	0,04	0,10	0,06	31,14	40 (mo)
pH	Exponencial	0,002	0,004	0,002	15,69	50 (mo)
Densidade (g cm ⁻³)	Pepita puro	-	-	-	-	-

II.4.3 Análise de correlação

II.4.3.1 Coeficiente de correlação linear de Pearson (R)

Para a determinação de quais parâmetros influenciaram a produtividade, foram feitas correlações entre a produtividade e o comprimento do fruto, o diâmetro do fruto, a SST, a densidade e o pH. Pelos resultados obtidos, observa-se que para o ano de 2010 (Tabela 08) não houve correlação significativa para o comprimento e produtividade (-0,05) e diâmetro e produtividade (-0,08). No entanto, apresentaram correlação moderada positiva diâmetro, comprimento (0,52) e diâmetro e SST (0,44).

Tabela 08 Correlação linear de Pearson para a produtividade e os parâmetros de qualidade dos frutos para o ano de 2010 em pomar de peras, Nova Laranjeiras – PR

2010 AC						
	Comprim.	Diâmetro	SST	Densidade	pH	
Diâmetro (mm)	0,52					0 ≤ R < 0,2 m.fraca
SST (°Brix)	0,37	0,44				0,2 ≤ R < 0,4 fraca
Densidade (g cm ⁻³)	-0,13	-0,33	-0,24			0,4 ≤ R < 0,6 moderada
pH	0,08	0,06	-0,03	-0,20		0,6 ≤ R < 0,8 forte
Produtividade (kg ha ⁻¹)	-0,05	-0,08	0,19	0,10	0,17	0,8 ≤ R ≤ 1 m.forte

Já para o ano de 2011 (Tabela 09), a produtividade apresentou correlação moderada com o comprimento do fruto no sistema AP, e forte no sistema AC.

A produtividade apresentou correlação moderada também com o diâmetro dos frutos no sistema AC, o que evidencia a influência do tamanho dos frutos na produtividade. Os demais parâmetros apresentaram correlação fraca e muito fraca com a produtividade e apresentaram correlação moderada positiva diâmetro e comprimento no sistema AP (0,41).

Tabela 09 Correlação linear de Pearson para a produtividade e os parâmetros de qualidade dos frutos para o ano de 2011 em pomar de peras, Nova Laranjeiras - PR

2011 AP						
	Comprim.	Diâmetro	SST	Densidade	pH	
Diâmetro (mm)	0,41					0 ≤ R < 0,2 m.fraca
SST (°Brix)	-0,14	-0,13				0,2 ≤ R < 0,4 fraca
Densidade (g cm ⁻³)	-0,03	-0,07	-0,10			0,4 ≤ R < 0,6 moderada
pH	0,07	-0,12	0,09	-0,01		0,6 ≤ R < 0,8 forte
Produtividade (kg ha ⁻¹)	0,41	-0,02	-0,22	-0,20	0,06	0,8 ≤ R ≤ 1 m.forte

2011 AC						
	Comprim.	Diâmetro	SST	Densidade	pH	
Diâmetro (mm)	0,29					
SST (°Brix)	0,17	-0,20				
Densidade (g cm ⁻³)	0,05	-0,28	0,06			
pH	0,38	0,13	0,18	-0,26		
Produtividade (kg ha ⁻¹)	0,60	0,48	-0,01	-0,02	0,17	

II.4.3.2 Coeficiente de correlação não-paramétrica de Spearman (Rs)

Com relação à correlação não-paramétrica por postos de Spearman (Tabela 10), para o ano de 2010, os resultados foram semelhantes à correlação linear de Pearson (Tabela 09). A produtividade foi muito pouco correlacionada com todos os atributos. Uma moderada correlação de Spearman (R_s) foi encontrada para o comprimento e o diâmetro dos frutos ($R_s=0,58$), comprimento e SST ($R_s=0,45$), diâmetro e SST ($R_s=0,42$) e diâmetro e densidade ($R_s=0,41$).

Tabela 10 Correlação não paramétrica de Spearman para a produtividade e os parâmetros de qualidade dos frutos para o ano de 2010 AC em pomar de peras, Nova Laranjeiras – PR

	Comprim.	Diâmetro	SST	Densidade	pH		
Diâmetro (mm)	0,58						$0 \leq R < 0,2$ m.fraca
SST (°Brix)	0,45	0,42					$0,2 \leq R < 0,4$ fraca
Densidade (g cm ⁻³)	-0,23	-0,41	-0,24				$0,4 \leq R < 0,6$ moderada
pH	0,08	0,00	0,01	-0,18			$0,6 \leq R < 0,8$ forte
Produtividade (kg ha ⁻¹)	-0,05	-0,08	0,21	0,06	0,07		$0,8 \leq R \leq 1$ m.forte

Para o ano de 2011, sob o sistema AP (Tabela 11), a produtividade apresentou correlação moderada com o comprimento dos frutos ($R_S=0,48$), e forte sob o sistema AC ($R_S=0,68$).

Os atributos mais correlacionados foram: comprimento e diâmetro ($R_S=0,64$), no sistema AP e comprimento e densidade ($R_S=0,41$), no sistema AC. As demais correlações foram consideradas fracas e muito fracas.

Tabela 11 Correlação não paramétrica de Spearman para a produtividade e os parâmetros de qualidade dos frutos para o ano de 2011 em pomar de peras, Nova Laranjeiras – PR

2011 AP								
	Comprim.	Diâmetro	SST	Densidade	pH			
Diâmetro (mm)	0,64						$0 \leq R < 0,2$ m.fraca	
SST (°Brix)	-0,14	-0,25					$0,2 \leq R < 0,4$ fraca	
Densidade (g cm ⁻³)	0,14	-0,04	0,03				$0,4 \leq R < 0,6$ moderada	
pH	-0,07	-0,09	-0,09	-0,09			$0,6 \leq R < 0,8$ forte	
Produtividade (kg ha ⁻¹)	0,48	0,13	-0,31	0,16	-0,29		$0,8 \leq R \leq 1$ m.forte	

2011 AC						
	Comprim.	Diâmetro	Brix	Densidade	pH	
Diâmetro (mm)	0,33					
SST (°Brix)	0,07	-0,13				
Densidade (g cm ⁻³)	0,41	0,24	0,02			
pH	-0,05	-0,24	0,05	-0,22		
Produtividade (kg ha ⁻¹)	0,68	0,35	0,02	0,25	0,03	

II.4.4 Mapas temáticos

Os mapas temáticos (Figuras 4 a 9) para as variáveis analisadas mostram que, para cada variável, foram encontrados diferentes locais em relação aos valores mínimos e máximos, condizentes com a baixa correlação encontrada entre as variáveis (Tabelas 08 a 11).

O comprimento do fruto para o ano de 2010 (Figura 04a) apresentou uma variação na faixa de 86 a 94 mm em praticamente toda a área experimental. Para o ano de 2011, sob o sistema AP (Figura 04b), esta variação ocorreu na faixa de 98 a 115 mm e para o ano de 2011, sob o sistema AC (Figura 04c) de 103 a 112 mm. Constatou-se que, em praticamente toda área, o comprimento do fruto foi maior no ano de 2011 do que em 2010 (Figura 04d), e ao serem comparados os dois sistemas (Figura 04e), 2011 AP, apresentou maiores frutos.

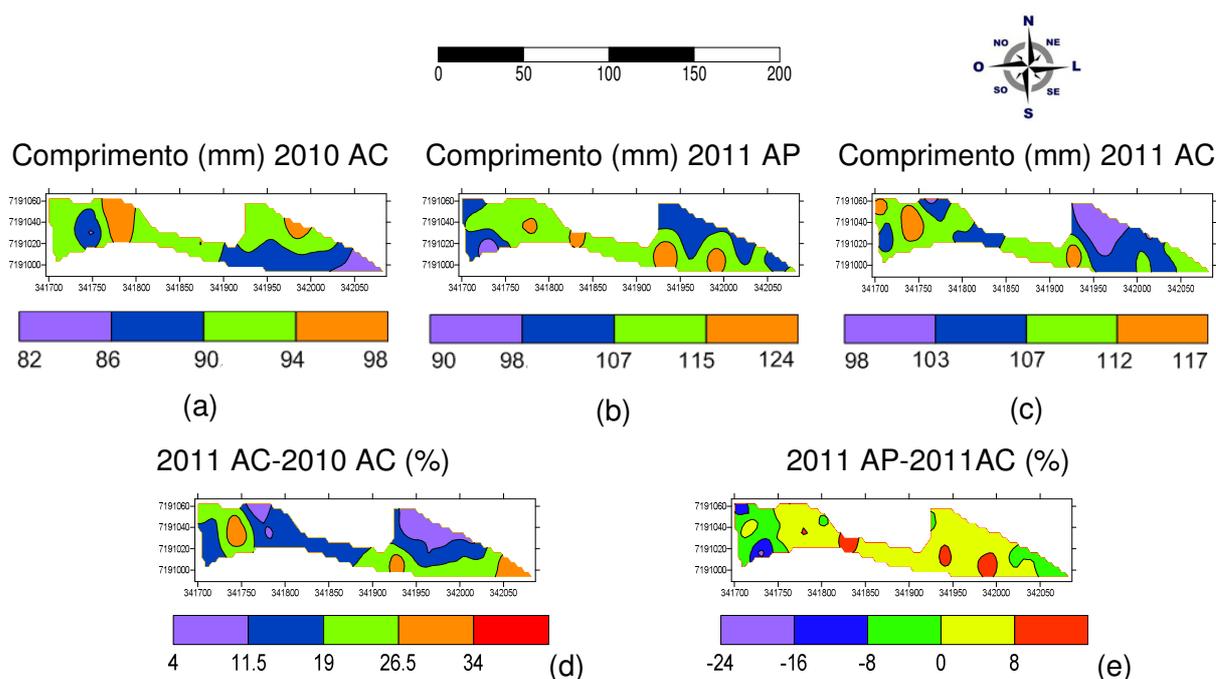


Figura 04 Distribuição espacial do atributo comprimento do fruto em pomar de peras, Nova Laranjeiras-PR.

O diâmetro do fruto (Figura 05a) apresentou uma faixa de variação para o ano de 2010, sob o sistema AC, de 64,6 a 68,8 mm em praticamente toda a área experimental. Já para o ano de 2011, no sistema AP (Figura 05b), a faixa predominante foi de 69 a 80 mm e no sistema AC (Figura 05c), a variação foi de 68 a 80 mm. Observa-se uma tendência de frutos com maiores diâmetros na parte central da área. O ano de 2011 apresentou maiores diâmetros comparados aos obtidos em 2010 (Figura 05d) em toda a área experimental. Ao serem analisados os dois sistemas de adubação, pôde-se constatar que na região central e nos extremos noroeste e leste da área experimental o sistema AP apresentou maiores diâmetros de frutos quando comparados aos frutos obtidos no sistema AC.

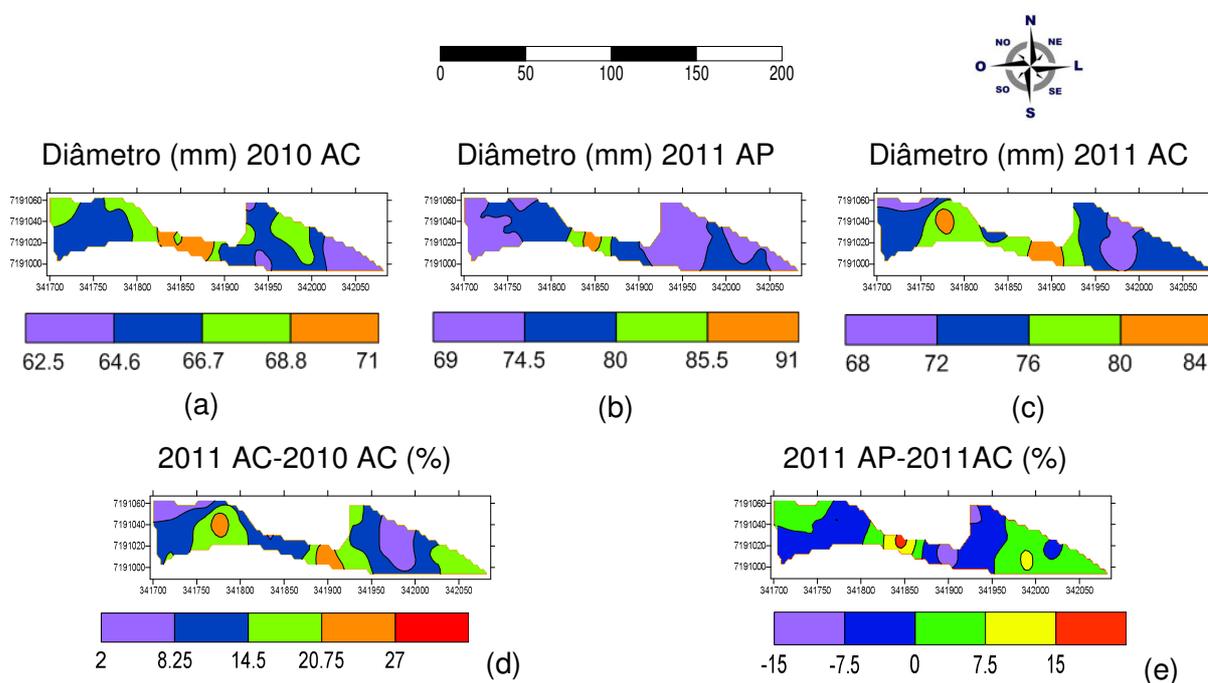


Figura 05 Distribuição espacial do atributo diâmetro do fruto em pomar de peras, Nova Laranjeiras – PR.

O teor de SST apresentou na maior parte da área uma variação de 10,9 a 11,8°Brix para o ano de 2010 (Figura 6a). Já para o ano de 2011, sob o sistema AP (Figura 6b), a faixa variou entre 10,2 e 11,1° e para o sistema AC (Figura 6c), a variação foi de 10,1 a 11,2°Brix.

No ano de 2010, nas pereiras em estudo, foram registrados os maiores valores de SST quando comparados aos valores de SST para o ano de 2011 (Figura 6d). Constatou-se que o ano de 2011, sob sistema AP (Figura 6e), apresentou os maiores teores de SST das peras quando comparados aos teores das frutas do sistema AC na maior parte da área. A região oeste da área experimental apresentou maiores valores de SST para os anos de 2010 e 2011 AC.

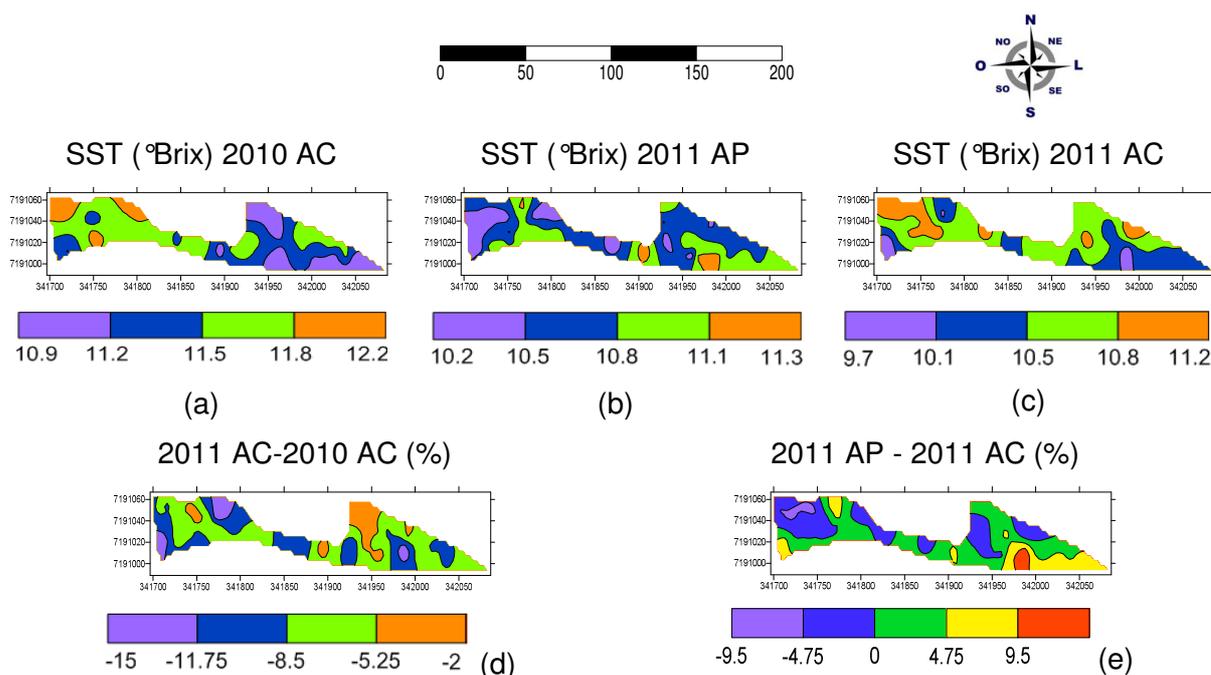


Figura 06 Distribuição espacial do atributo SST em pomar de peras, Nova Laranjeiras - PR.

O pH dos frutos, para o ano de 2010 (Figura 7a), apresentou uma variação na faixa de 3,86 a 3,95 em praticamente toda a área. Já para o ano de 2011, essa faixa variou de 3,49 a 3,84 (Figura 7b) e 3,62 a 3,73 (Figura 7c) para os sistemas AP e AC, respectivamente. O ano de 2010 (Figura 7d) apresentou maiores valores de pH quando comparados aos dados obtidos ao ano de 2011. Entre os dois sistemas de adubação (Figura 7e), o pH apresentou valores superiores no sistema AC em praticamente toda área.

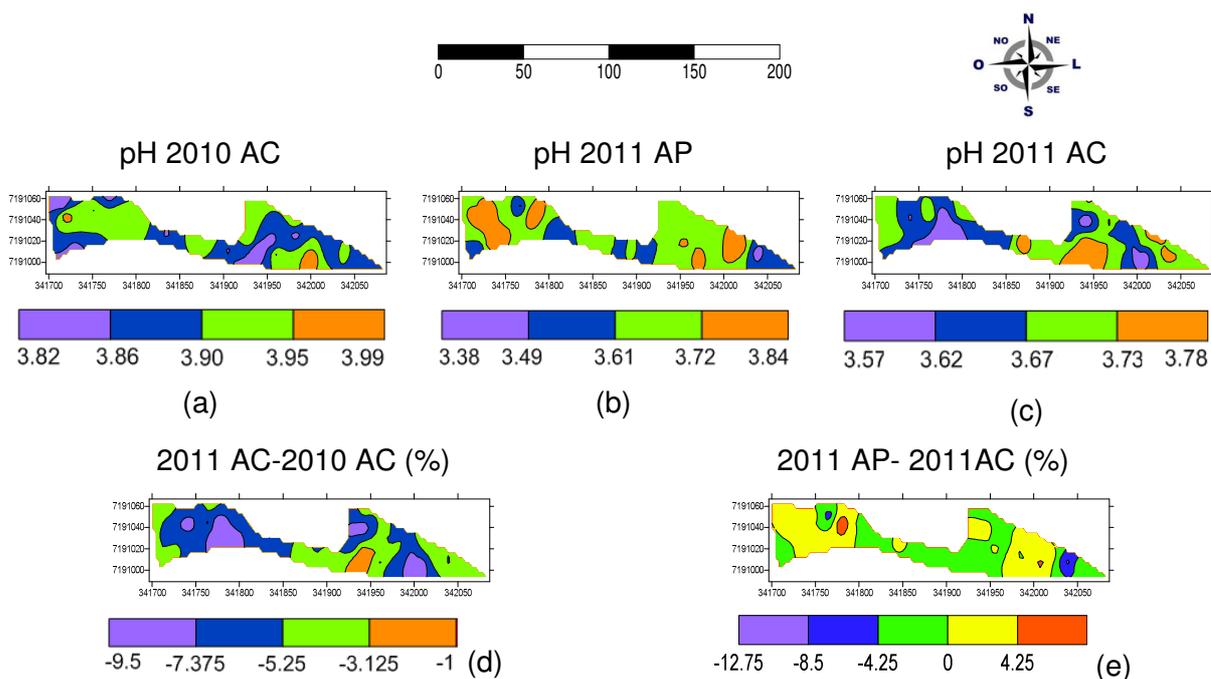


Figura 07 Distribuição espacial do atributo pH em pomar de peras, Nova Laranjeiras - PR.

A densidade do fruto para o ano de 2010 apresentou uma faixa de variação de 1,01 a 1,07 g cm⁻³ (Figura 08a) em praticamente toda a área. Para o ano de 2011, a faixa de variação foi de 0,81 a 1,04 (Figura 08b) e 0,87 a 0,97 g cm⁻³ (Figura 08c) para os sistemas AP e AC, respectivamente. No ano de 2010 foram registrados os maiores valores de densidade quando comparados aos resultados do ano de 2011 (Figuras 08d). A partir da comparação dos dois sistemas de adubação, constatou-se que 2011 AP apresentou maiores valores que 2011 AC (Figuras 08e).

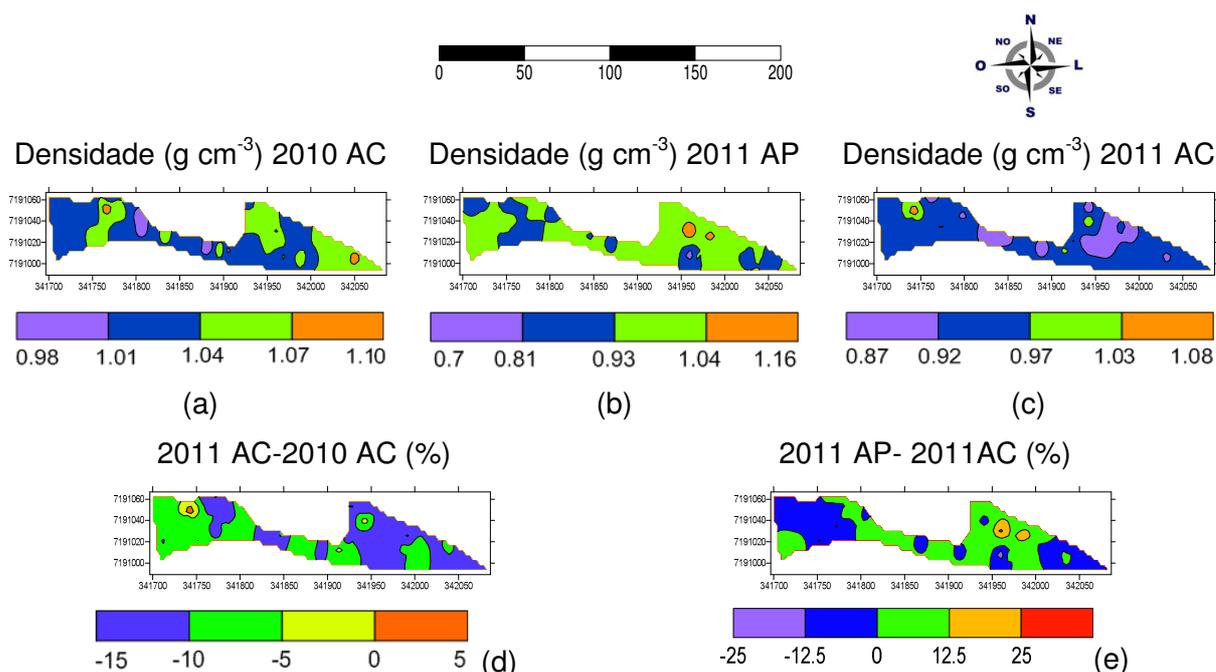


Figura 08 Distribuição espacial da densidade do fruto em pomar de peras, Nova Laranjeiras-PR.

Na maior parte da área, a produtividade variou de 2000 a 4400, 1600 a 4000 e de 1650 a 4550 kg ha⁻¹ para os anos de 2010, sob o sistema AC (Figura 9a), 2011, sistema AP (Figura 9b) e 2011 sistema AC (Figura 9c), respectivamente. A produtividade em 2010 foi maior do que a de 2011 (Figura 09d) em praticamente toda a área. Constatou-se que o sistema AP apresentou uma área um pouco maior (59%) que o sistema AC (Figura 9e).

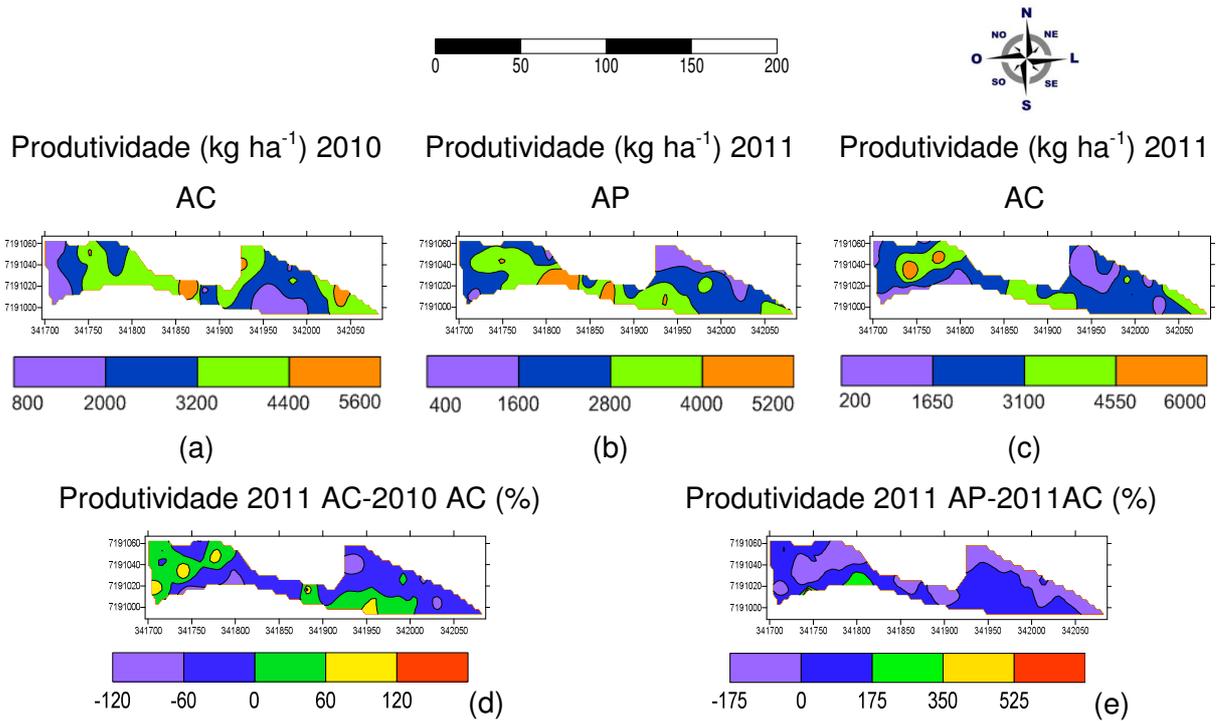


Figura 09 Distribuição espacial da produtividade em pomar de peras, Nova Laranjeiras - PR.

II.5 CONCLUSÕES

A produtividade no pomar de peras foi pouco correlacionada com os atributos sólidos solúveis totais, pH, e densidade, por isso apresento uma correlação de muito fraca a fraca. No ano de 2011, a produtividade apresentou uma correlação de moderada à forte com o comprimento do fruto, e de muito fraca a moderada com o diâmetro do fruto. Este fato demonstra uma variabilidade temporal que pode ser influenciada diretamente por diversos fatores (biológicos, climáticos, etc.), mas que pode não se repetir nas próximas safras. Constatou-se também uma grande variabilidade espacial, não apresentando padrões de comportamento semelhantes para as variáveis analisadas.

II.6 REFERÊNCIAS

- AHMED, A. E.; LABAVITCH, J. M. Cell metabolism in ripening fruit. I. Cell wall changes in ripening “Barlett” pears. *Plant Physiology*, Rockville, v.65, n.5, p. 1009-1013, 1980
- AMARANTE, C. V. T.; STEFFENS, C. A.; MAFRA, A. L.; ALBUQUERQUE, J. A. Yield and fruit quality of apple from conventional and organic production systems. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 43, n. 3, p. 333-340, 2008.
- AMARANTE, C. V. T.; CHAVES, D. V.; ERNANI, P. R. Análise multivariada de atributos nutricionais associados ao “bitter pit” em maçãs ‘Gala’. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, n. 5, p. 841-846, 2006.
- ARGENTA, F. **Intensidade e épocas de poda verde na pereira Abate Fetel enxertada sobre marmeleiros**. 2009. 79p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia). Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Programa de Pós-graduação em Fitotecnia. Porto Alegre-RS. 2009.
- ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS - **AOAC**. 1995. *Official Methods of Analysis*. 16.ed. AOAC, Washington, DC.
- ASSUMPÇÃO, R. A. B.; URIBE-OPAZO, M. A.; SOUZA, E. G.; JOHANN, J. A. Uso da krigagem indicatriz na avaliação da probabilidade de produtividade da soja segundo os padrões Regional, Estadual e Nacional. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, vol.29, n.2, p. 165-171, 2007.
- BALASTREIRE, L. A. Agricultura de precisão: mapeamento da produtividade de uma cultura de café (compact disc). In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, Foz do Iguaçu. **Anais...** Jaboticabal: SBEA, CD-ROM, 2001.
- BEATTIE, B. B., FOLLEY, R. R. W. Production variability in apple crops. II. The longterm behavior of the English crop. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam-Holland, v. 8, p., 325-332, 1978.
- BELL, R. L.; QUAMME, H. A.; LAYNE, R. E. C.; SKIRVIN, R. M. Pears. In: JANICK, J.; MOORE, J. N. (Ed.). **Fruit breeding**. West Lafayette: J. Wiley, v. 1, p. 441-515. 1996.
- BEPPU, K.; SUEHARA, T.; KATAOKA, I. Embryo sac development and fruit set of 'Satohnishiki' sweet cherry affected by temperature, GA3 and paclobutrazol. **Journal of Japanese Society for Horticultural Science**, Tokyo-Japan, v. 70, n. 2, p. 157- 162, 2001.
- BERLATO, M. A.; FARENZENA, H.; FONTANA, D. C. Associação entre El Nino Oscilação Sul e a produtividade do milho no Estado do Rio Grande do Sul. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 40, n. 5, p. 423-432. 2005.
- BIFFI, L. J.; RAFAELI NETO, S. L. Comportamento espacial de variáveis agrônomicas da maçã 'Fuji' durante dois anos de observações no planalto serrano de Santa Catarina. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, vol. 30, n. 4. p. 975-980. 2008.
- BLACKMORE, B. S.; LARSCHEID, G. Strategies for managing variability, In: European conference on precision agriculture 1997, Warwick, 1997. **Proceedings**. London: BIOS Scientific, v. 01, p. 851-859, 1997.

BROWNING, G.; MILLER, J. M. The association of year-to-year variation in average yield of pear cv. Conference in England with weather variables. **Journal of Horticultural Science**, Ashford Kent-England, v. 67, p. 593-599, 1992.

CALVO, G. Efecto del 1-metilciclopropeno (1-MCP) en pera variedad Williams cosechadas con dos estados de madurez. **Revista de Investigaciones Agropecuarias**, Buenos Aires, v.33, n.2, p.3-26, 2004.

CAMBARDELLA, C. A.; MOORMAN, T. B.; NOVAK, J. M.; PARKIN, T. B.; KARLEN, D. L.; TURCO, R. F.; KONOPKA, A. E. 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.

CARVALHO, S. R. L.; VILAS BOAS, G. S.; FADIGAS, F. S. Variabilidade espacial de atributos físicos e químicos em solos originados nos sedimentos da formação barreiras. **Cadernos de Geociências**, v. 7, n. 2, p. 63-79, 2010.

CAVIGLIONE, J. H.; KIIHL, L. R. B.; CARAMORI, P. H.; OLIVEIRA, D. **Cartas climáticas do Paraná**. Londrina: IAPAR, 2000.

CHITARRA, M. I. F.; CHITARRA, A. B. **Pós-colheita de frutos e hortaliças: fisiologia e manuseio**. Lavras: ESAL - Fundação de Apoio ao Ensino e Pesquisa, 1990. 320p.

CHITARRA, A. B. Qualidade, colheita e manuseio pós-colheita de frutos do pessegueiro e da ameixeira. **Informe Agropecuário**. Belo Horizonte, v. 18, n. 189, p. 68-74, 1997.

CHITARRA, M. I. F.; CHITARRA, A. B. **Fatores pré-colheita e colheita**. 2ª ed. Lavras: UFLA, 2005, p.203-287.

CITADIN, I. **Necessidade de frio, herdabilidade da necessidade de calor e marcadores bioquímicos relacionados com o final de endodormência em pessegueiro**. 2001. 76f. Tese (Doutorado em Fruticultura de Clima Temperado) – Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2001.

CLARK, I. **Practical geostatistics**. London, Applied science publishers Ltda, 1979. 123p.
COSTA, J. M.; OLIVEIRA, E. F. **Fertilidade do solo e nutrição de plantas**. Cascavel: COAMO/COODETEC, 2001. 93p.

COUTINHO, E. F.; MALGARIM, M. B.; SOUZA, E. L. de; TREPTOE, R. O. Qualidade pós-colheita da pera (*Pyrus communis* L.) cultivar Carrick, submetida a diferentes condições de armazenamento. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 25, n. 3, p. 417-420, 2003.

COUTO, M. **Efeito da temperatura durante a diferenciação de gemas, floração, crescimento e desenvolvimento de frutos em pessegueiro na região de Pelotas, RS**. 2006, 123p. Tese (Doutorado em Ciências: Fruticultura de clima temperado) Universidade Federal de Pelotas, RS, 2006.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro, 2006. 306p.

EMBRAPA. Embrapa Clima Temperado. 2005. **Sistemas de produção**, 4 ISSN 1806-9207 Versão Eletrônica Nov./2005. Disponível em: <http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Pessego/CultivodoPessegueiro/> Acesso em 15/03/2010.

EMBRAPA. **Pera produção**. Embrapa Informação Tecnológica. Brasília, DF. 2003. 105 p.
EREZ, A.; YABLOWITZ, Z.; KORCINSKI, R.; ZILBERSTAIN, M.; FOKKEMA, N. J. Greenhouse-growing of stone fruits: effect of temperature on competing sinks. **Acta Horticulturae**, Leuven, n. 513, p. 417-425, 2000.

FACHINELLO, J. C.; NACHTIGAL, J. C.; KERSTEN, E. **Fruticultura: Fundamentos e práticas**. Pelotas, 2008. 176p.

FARACO, M. A.; URIBE-OPAZO, M. A.; 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 Ciências do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 2, p. 463-476, 2008.

FARIAS, P. R. S.; NOCITI, L. A. S.; BARBOSA, J. C.; PERECIN, D. Mapeamento da produtividade em pomares cítricos usando geoestatística. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal - SP, v. 25, n. 2, p. 235-241, 2003.

FERRERO, A. H. Fruticultura de precisão. Tecnologia favorece o monitoramento nas diversas etapas da produção, prevenindo problemas e reduzindo custos. **Revista Frutas e derivados**. IBRAF, p. 30-33. Ano 4, Ed. 3, 2009.

FIORI, G. **Studio e progettazione di strumentazioni non distruttive per la definizione della qualità dei frutti**. 2005, 107p. Tese (Dottorado di Ricerca in Colture Arboree) – Facultad di Agraria, UNIBO, Bologna. 2005.

GOOGLE EARTH. 2004. **Google Earth 5.0**. Disponível em: <<http://earth.google.com.br/>> Acesso em: 13 Maio 2009.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ (IAL). **Métodos químicos e físicos para análise de alimentos**. São Paulo: IMESP, 2008. 1002 p.

JACKSON, J. E.; HAMER, P. J. C.; WICKENDEN, M. F. Effects of early spring temperatures on the set of fruits of Cox's Orange Pippin apple and year-to-year variations in its yields. **Acta Horticulturae**, The Hague-Holland, v. 139, p. 75-82, 1983.

JAKUBASZKO, R. Plantar e colher sem perda nem roubo. **DBO Agrotecnologia**. Disponível em: <http://www.falker.com.br/artigos/DBO_agricultura%20de%20precisao.pdf>. Acesso em: 12 outubro 2010.

JUNQUEIRA, A. H.; PEETZ, M. S. Mercados interno e externo. In: NAKASU, B. H.; CENTELLAS-QUEZADA, A.; HERTER, F. G. **Pera. Produção**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2003. p. 10-19.

KABAS, O.; OZMERZI, A. Comparing of the bruise volume calculation methods for Ankara pear (*Pyrus communis* L.). **Journal of Food Engineering**, *In press*. 2005.

KAPPEL, F.; FISHER, F. R.; HOGUE, E. J. Ideal pear sensory attributes and fruit characteristics. **HortScience**, Alexandria, vol.30, n.5, p.988-993, 1995.

KINGSTON, C. M. Maturity indices for apple and pear. **Horticultural Reviews**, New York, v. 13, n. 10, p. 407-432, 1993.

KOBLITZ, M. G. B. **Bioquímica de alimentos: teoria e aplicações práticas**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2008. 242 p.

KOZAI, N.; BEPPU, K.; KATAOKA, I. Adverse effects of high temperature on the development of reproductive organs in 'Hakuho' peach trees. In: Reports of the first international workshop on production technologies for low-chill temperate fruits, 1. 2002, Chiang Mai. **Reports...** Chiang Mai: TRFRPF, p. 212-220, 2002.

KOZAI, N.; BEPPU, K.; MOCHIOKA, R.; BOONPRAKOB, U.; SUBHADRABANDHU, S.; KATAOKA, I. Adverse effects of high temperature on the development of reproductive organs in 'Hakuho' peach trees. **Journal of Horticultural Science & Biotechnology**, Ashford, v. 79, n. 4, p. 533-537, 2004.

LIMA, A. A.; BORGES, A. 2007 Exigências climáticas do maracujazeiro. **Toda Fruta** 2007. Disponível em: http://www.todafruta.com.br/todafruta/mostra_conteudo.asp?Conteúdo=15063. Acesso em 15/03/2010.

LOMBARDI, S. R. B.; MORAES, D. M. de; CAMELATTO, D. Avaliação do crescimento e da maturação pós-colheita de peras da cultivar Shinsseiki. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 35, n. 12, p. 2399 - 2405, 2000.

MANICA, I.; ICUMA, I. M.; JUNQUEIRA, N. T. V.; SALVADOR, J. O.; MOREIRA, A.; MALAVOLTA, E. **Fruticultura tropical: goiaba**. Porto Alegre: Cinco Continentes, 2000. cap. 6, 373p.

MAPA/SPA, 2007. Brasil. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Cadeia produtiva de frutas** / Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, Secretaria de Política Agrícola, Instituto Interamericano de Cooperação para a Agricultura, Brasília 102 p.; (Agronegócios; v. 7). 2007.

MASCARIN, L. S.; MOLIN, J. P. Geração de mapas de produtividade para citros. In: **2º Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão São Pedro, SP – ESALQ/USP. 2006** Disponível em: <http://www.esalq.usp.br/departamentos/ler/download/TEC%202006.05.pdf> . Acesso em: 12 Out. 2010.

MARQUES JÚNIOR, J. Variabilidade espacial de propriedades químicas e físicas de latossolos em áreas de cerrado sob cultivo de café, em Patrocínio, MG. In: BALASTREIRE, L.A. **O estado da arte da agricultura de precisão no Brasil**. Piracicaba, ESALQ, 2000. p. 165-169.

MARSAL, J.; RAPOPORT, H. F.; MANRIQUE, T.; GIRONA, J. Pear fruit growth under regulated deficit irrigation in container-grown trees. **Scientia Horticulturae**, v. 85, p. 243-259, 2000.

MATHERON, G. Principles of geostatistics. **Economic Geology Journal**, v. 58, n. 8, p. 1246-1266, 1963.

MEDEIROS, C. A.; RASEIRA, M. C. **A cultura do pessegueiro**. Brasília: SPI, 1998. 350 p.

MOLIN, J. P. Definição de Unidades de anejo a partir de mapas de Produtividade. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 22, n. 1, p. 83-92, 2002.

MONET, T.; BASTARD, Y. Les mecanismes de la floraison chez le pêcher. **Bulletin Technical Information**, v. 248, p. 173-176, 1970.

MOURA, L. M.; FINGER, F. L.; MIZOBUTSI, G. P.; GALVÃO, H. L. Fisiologia do amadurecimento na planta do tomate "Santa Clara" e do mutante "Firme". **Horticultura Brasileira**. v. 23 n. 1 p. 81-85, 2005.

NAVA, G. A. **Desenvolvimento floral e frutificação de pessegueiros [Prunus persica (L.) Batsch] cv. Granada, submetidos a distintas condições térmicas durante o período de pré-floração e floração.** 2007. Tese (Doutorado em Fitotecnia) - Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, p. 158, 2007.

NEVES, L. C. **Manual pós-colheita da fruticultura brasileira.** Londrina: EDUEL, 2009. 494p.

NUNES, J. L. S. Perspectivas da fruticultura brasileira. 2009. Disponível em: <http://www.agrolink.com.br/noticias/NoticiaDetalhe.aspx?codNoticia=81113> Acesso em: 12/02/2010.

PARK, K. J.; BIN, A.; BROD, F. P. B.; PARK, T. H. Osmotic dehydration kinetics of pera D'anjou (*Pyrus communis* L.). **Journal of Food Engineering**, v. 52, p. 293-298, 2002.

PARRA-CORONADO, A.; HERNÁNDEZ, J. E. H.; CAMACHO-TAMAYO, J. H. Estudio de algunas propiedades físicas y fisiológicas precosecha deLa pera variedad triunfo de Viena¹. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal - SP, v. 28, n. 1, p. 55-59, 2006.

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

POLL, H.; VENCATO, A. Z.; KIST, B. B.; SANTOS, C.; CARVALHO, C.; REETZ, E. R.; BELING, R. R. **Anuário brasileiro da fruticultura.** 2011. Santa Cruz do Sul: Editora Gazeta Santa Cruz, 2011. 128 p.

QUEIROZ, J. E.; GONÇALVES, A. C.; SOUTO, J. S.; FOLEGATTI, M. V. Avaliação e monitoramento da salinidade do solo. In: GHEYI, H. R.; QUEIROZ, J. E. **Manejo e controle da salinidade na agricultura irrigada.** Campina Grande: UFPB, 1997. p. 69-101.

ROLAS. Rede Oficial de Laboratórios de Análise de Solo e de Tecido Vegetal do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina. **Manual de adubação e calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina.** Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. Comissão de química e fertilidade do solo. 10.ed. Porto Alegre, 2004.

RODRIGO, J.; HERRERO, M. Effects pre-blossom temperatures on flower development and fruit set in apricot. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam-Holland, v. 92, n. 2, p. 193-197, 2002.

SCHUELLER, J. K.; WHITNEY, J. D.; WHEATON, T. A.; MILLER, W. M.; TURNER, A. E. Low-cost automatic yield mapping in hand-harvested citrus. **Computers and Electronics in Agriculture**, Amsterdam, v. 23, p. 145-153, 1999.

SEIBERT, E.; BARRADAS, C. I. N.; ARAÚJO, P. J. de; BENDER, R. N. Efeito de ethehon e da frigoconservação na maturação de peras cv. Packham's Triumph. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 35, n. 1, p. 55-62, 2000.

SILVA, E. A. A.; URIBE-OPAZO, M. A.; SOUZA, E. G.; JOHANN, J. A. Um estimador robusto e o semivariograma cruzado na análise de variabilidade espacial de atributos agrícolas. **Acta Scientiarum**, Maringá, Paraná, v. 25, p. 365-371, 2003.

SILVA, A. M. C., VALLADARES, G. S., CAMARGO, O. A., HOTT, M. C. Base de dados georreferenciados para planejamento do capta-frutas, Jundiaí. In: 2º CONGRESSO BRASILEIRO DE AGRICULTURA DE PRECISÃO (ConBAP). **Anais.** São Pedro, SP, ESALQ/USP, 2006, 11p.

SIMÃO, S. **Tratado de fruticultura**. Piracicaba. FEALQ. 1998. 760p.

TIBOLA, C. S.; FACHINELLO, J. C. Tendências e estratégias de mercado para a fruticultura. **Revista brasileira de Agrociência**, v. 10, n. 2, p. 145-150, 2004.

TRANGMAR, B. B.; YOST, R. S.; UEHARA, G. Applications of geostatistics to spatial studies of soil properties. **Advances in Agronomy**, Orlando, v. 38, p. 45-94, 1985.

TREVISAN, R.; HERTER, F. G.; COUTINHO, E. F.; GONÇALVES, E. D.; SILVEIRA, C. A. P.; FREIRE, C. J. da S. Uso de poda verde, plásticos refletivos, antitranspirante e potássio na produção de pêssegos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, n. 10, p. 1485-1490, out. 2006.

VIEIRA, S. R. Uso da geoestatística em estudos de variabilidade espacial. In: Curso de atualização em conservação do solo, 1995. **Apostila**. Campinas: IAC, 1995. 61p.

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

ZIMBACK, C. R. L. **Análise espacial de atributos químicos de solos para fins de mapeamento da fertilidade**. 2001. 114 f. Tese (Livre-Docência) – Universidade Estadual de São Paulo, Botucatu, 2001.

VANGDAL, E. Eating quality of pears. **Acta Agriculture Scandinavica**, Norway, v. 32, p. 135-139, 1982.

WILLIAMS, R. R. The effect of summer nitrogen applications on the quality of apple blossom. **Journal of Horticultural Science**, Ashford Kent, v. 40, p. 31-41, 1965.

WHITNEY, J. D.; WHEATON, T. A.; MILLER, W. M.; SALYANI, M.; SCHUELLER, J. K. Precision farming applications in Florida Citrus. **Proceedings of Florida State Horticultural Society**, Orlando, v. 111, p. 148-150, 1998.

CAPÍTULO III

VARIABILIDADE ESPACIAL E TEMPORAL DA PRODUTIVIDADE EM UM POMAR DE PERAS

RESUMO

A Agricultura de Precisão (AP) pode ser definida como um conjunto de métodos, técnicas e tecnologias aplicadas ao gerenciamento de pequenas unidades espaciais de produção e tem por princípio básico o manejo da variabilidade dos solos e das culturas no espaço e no tempo. A AP preconiza o conhecimento da variabilidade da produtividade e dos fatores a ela relacionados. Tais fatores podem ser tratados localmente ou em áreas homogêneas conhecidas como unidades de gerenciamento diferenciado ou unidades de manejo. Novas técnicas, com um grau de detalhamento significativamente maior do que os métodos convencionais, têm apresentado acréscimo na eficiência com base no manejo diferenciado. Nesse contexto, é importante a avaliação de metodologias pelas quais as informações de produtividade possam ser utilizadas para determinação de unidades de manejo. Assim, o objetivo deste trabalho foi estudar as variabilidades espacial e temporal da produtividade, a partir de dados de cinco anos consecutivos. A área experimental corresponde a 1,24 ha, localizada nas coordenadas geográficas 25°23'22" S, 52°34'15" O, com altitude média de 750 m, localizada no município de Nova Laranjeiras-PR. No talhão, são cultivadas 146 pereiras da variedade Pera d'água. Para a avaliação das variabilidades espacial e temporal da produtividade, foram analisados dados de colheita dos anos de 2007 a 2011. Em cada colheita, foi realizada a pesagem de todos os frutos colhidos em cada árvore e a produtividade total foi obtida pela soma das colheitas individuais das plantas. Os valores das produtividades de cada ano foram então normalizados e padronizados pelas técnicas da produtividade normalizada e produtividade padronizada equivalente, sendo posteriormente classificados em unidades de manejo. Para a produtividade normalizada, as unidades de manejo mostram que 50% da área experimental encontram-se na classe 4 (inconsistente), ou seja, outros fatores como o manejo do solo e da planta talvez estejam afetando a produtividade da região. A produtividade apresentou dependência espacial moderada para todos os anos analisados, com exceção do sistema de adubação convencional (AC) em 2011, quando apresentou fraca dependência espacial. A metodologia de geração de unidade de manejo (UM), ao utilizar a produtividade normalizada, foi mais adequada do que quando se utilizou a produtividade padronizada por proporcionar distribuição das UMs mais apropriada ao manejo da área.

Palavras-chave: fruticultura de precisão, análise espacial, unidades de manejo.

SPATIAL AND TEMPORAL VARIABILITY OF YIELD IN A PEAR ORCHARD

ABSTRACT

The Precision Agriculture (PA) can be defined as a set of methods, techniques and technologies applied to the management of small spatial units of production. It has as main principle the management of variability of soil and crops in space and time. The PA recommends knowledge of yield and factors variability related to it and such factors can be sited-treated or in homogeneous areas known as distinguished management units or management units. New techniques, with a significantly higher level of detail than conventional methods, have shown an increase on efficiency based on a distinguished management. Therefore, it is important to evaluate the methods by which yield information can be used to determine management units. Thus, this trial aimed at studying the spatial and temporal variability of yield, based on data from five consecutive years. The experimental area has 1.24 ha, located in the following geographic coordinates: 25° 23' 22" S, 52° 34' 15" W, with an average altitude of 750 m, in Nova Laranjeiras-PR. In the plot, 146 pear trees of *Pera D'água* variety were grown. In order to evaluate spatial and temporal variability of yield, data were analyzed from 2007 to 2011 crop years. The weighing of all fruits collected from each tree was done in each crop and the total yield was obtained by adding the individual crops of plants. The yield values for each year were then normalized and standardized by techniques of standardized yield and the equivalent one. After that, they were classified into management units. For a standardized yield, the management units show that 50% of the experimental area is in class 4 (inconsistent), which means that other factors such as soil and plant management might be affecting the yield from this region. Yield has shown a moderate spatial dependence for all the analyzed years, except for conventional fertilization system (CS) in 2011, when it had presented a weak spatial dependence. The methodology for generating management unit (MU) using standardized yield was more appropriate than when standardized yield was used by providing more appropriate distribution of MUs to the management of this area.

Keywords: Precision horticulture, spatial analysis, management units.

III.1 INTRODUÇÃO

O interesse por informações técnicas e econômicas, dos países com potencial para a atividade agrícola, cresce de acordo com a demanda por frutas no mercado mundial, que serve de base para a tomada de decisão nos aspectos produtivo e comercial. Pela caracterização fundiária e ocupação populacional, formada em sua maioria de agricultores familiares, aliada ao clima e solo favoráveis, além do mercado consumidor promissor, a fruticultura apresenta-se no Paraná como alternativa agrícola com potencial. Todos os Municípios do Estado em que a fruticultura se destaca entre as cinco maiores atividades agrícolas apresentaram maior renda bruta gerada no campo e se tornaram prósperos nos últimos 10 anos. Até em municípios com vocação para o cultivo de grãos há um avanço no cultivo de frutas (AGÊNCIA ESTADUAL DE NOTÍCIAS, 2008).

Entre os frutos de clima temperado, a pera é a terceira mais consumida e a mais importada pelo Brasil. O consumo atual é da ordem de 150 mil toneladas ao ano. O cultivo comercial de pereiras ainda é insignificante, já que a produção não atinge 10% do total consumido. A dimensão do mercado interno favorece iniciativas de aumento da produção nacional da fruta, ressaltando-se, contudo, limitações tecnológicas e econômicas para que se atinja tal objetivo (LOPES; OLIVEIRA, 2011).

A Agricultura de Precisão (AP) pode ser definida como um conjunto de métodos, técnicas e tecnologias aplicadas ao gerenciamento de pequenas unidades espaciais de produção. Tem por princípio básico o manejo da variabilidade dos solos e das culturas no espaço e no tempo (COELHO, 2003). Seus principais objetivos são: otimizar a utilização de insumos e minimizar os prováveis impactos negativos sobre o meio ambiente e a saúde humana. Seus principais instrumentos de decisão são os mapas de variabilidade espacial, os quais indicam o comportamento geográfico do fenômeno (BIFFI; RAFAELI NETO, 2008).

Os parâmetros que influenciam a agricultura são variáveis em relação ao tempo e ao espaço. Dada a gama de fatores e parâmetros envolvidos, a AP requer um monitoramento contínuo, espacial e temporal da área estudada, cujo resultado é um grande volume de dados derivados de sensores ou de observações em campo, por meio de análises laboratoriais (JOHANN et al., 2004).

A variabilidade temporal pode ser definida como a diferença de valores de um atributo de um local do talhão em função do tempo. Essa pode ser observada, por exemplo, quando da comparação de mapas de produtividades de anos consecutivos (BIFFI, 2006). A AP preconiza o conhecimento das variabilidades espacial e temporal da produtividade e dos fatores a ela relacionados. Tais fatores podem ser tratados localmente ou em sítios de produção, conhecidos com unidades de gerenciamento diferenciado (MOLIN et al., 2005).

Segundo Queiroz et al. (2000), o objetivo da AP consiste em manusear pequenas áreas, dentro do campo de produção, visando reduzir o uso de produtos químicos e aumentar a produtividade. Por meio das técnicas de AP, pode-se identificar a variabilidade espacial e temporal existente na área de produção, a fim de tratar cada local específico de acordo com sua necessidade. Estas técnicas podem auxiliar na identificação de áreas com potencial para produção de frutos com melhor qualidade, e até mesmo no entendimento dos fatores que a determinam (QUEIROZ et al., 2004)

Unidades de manejo são sub-regiões que apresentam uniformidade quanto às principais características que afetam a produtividade, permitindo que, dentro delas, as práticas agronômicas possam ser uniformizadas. A definição de unidades de manejo torna mais fácil a aplicação das técnicas de AP uma vez que é possível o emprego dos mesmos sistemas utilizados na agricultura convencional no manejo das culturas (RODRIGUES JUNIOR, 2008).

Dentre os métodos existentes para o levantamento dos atributos utilizados na definição das unidades de manejo, destacam-se a amostragem do solo, o levantamento topográfico, a medição da condutividade elétrica do solo, o mapeamento espectral do solo nu e cultivado e o monitoramento da produtividade. O mapa de produtividade é apenas uma etapa de todo processo que envolve a AP e representa o efeito combinado de diversas fontes de variabilidade espacial e temporal. Uma parte dessa variabilidade pode ser atribuída a fatores que são constantes ou variam lentamente, enquanto outros são fatores transitórios, pois mudam de acordo com a importância e a distribuição espacial e temporal de uma safra para outra (CAPELLI, 2000).

Algumas iniciativas têm procurado explorar o potencial da AP em culturas perenes. Trabalhos com mapeamento de produção, que é um dos pontos de partida para AP, são utilizados em café (LEAL, 2002), laranja (BALASTREIRE et al., 1999; FARIAS et al., 2003, SUSZEK et al., 2009) e pera (KONOPATZKI et al. 2009), a partir de técnicas e instrumentos de AP nos sítios produtivos.

Assim, o objetivo deste trabalho foi estudar a variabilidade espacial e temporal da produtividade a partir de dados de cinco anos consecutivos de avaliação bem como analisar duas técnicas para definição de unidades de manejo, com base em mapas de produtividade normalizada e padronizada equivalente.

III.2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

III.2.1 A cultura da pera

O cultivo da pereira tem despertado o interesse dos produtores da região Sul do Brasil como uma opção para o abastecimento do mercado interno, numa primeira etapa, e substituição das importações. Dentre as frutas de clima temperado, a pera é a terceira mais consumida e a mais importada pelo Brasil. O consumo anual é da ordem de 150 mil toneladas, cuja maioria é importada da Argentina, dos Estados Unidos, do Uruguai e Chile (NAKASU, 2003).

A cultura da pereira é uma alternativa para aumentar a diversificação do sistema produtivo de frutas na região Sul do Brasil. Entretanto, a falta de material genético e tecnologias de manejo, apropriados, são os principais problemas para o desenvolvimento da cultura e isso tem dificultado a produção e limitado a expansão do cultivo (CARMELATTO et al., 2000; HERTER et al., 2001).

A pera é considerada um fruto típico de clima temperado e necessita, para seu pleno desenvolvimento, de inverno frio para hibernação e de dias quentes e claros para frutificação. O seu cultivo não é recomendado em zonas úmidas nem com a ocorrência de granizo e de fortes geadas. As principais cultivares são originárias do Oriente e da Europa, onde o inverno é de frio intenso. O Instituto Agronômico de Campinas (IAC) desenvolveu ótimas cultivares híbridas que se adaptaram bem às condições do inverno brasileiro, o qual é mais ameno (SATO; ASSUMPÇÃO, 2003).

III.2.2 Agricultura de Precisão

A AP é um elenco de tecnologias e procedimentos utilizados para que sistemas de produção agrícolas sejam otimizados, cujo objetivo principal é o gerenciamento da variabilidade espacial da produção e dos fatores a ela relacionados (MOLIN, 2000). Ela consiste na aplicação de tecnologias de avaliação e manejo da variabilidade espacial dos parâmetros das culturas e do solo. São utilizados sistemas georreferenciados de coleta de amostras de solo e de aplicação de insumos a taxas variáveis, ou seja, com doses ajustadas à condição agronômica de cada ponto dentro de uma lavoura (ROLAS, 2004).

Segundo Avellar et al. (2002), a AP despontou como uma modernização dos métodos para gerenciamento dos sistemas de produção agrícolas e criou nova demanda de dados espaciais no campo. O suporte de SIG se apresentou como uma opção aos métodos tradicionais de gerenciamento a partir dos mapas georreferenciados, pois, é uma ferramenta

poderosa que transforma dados em informações e permite que sejam tomadas decisões a partir do conhecimento prévio do que há na área a ser cultivada.

Segundo Balastreire (2002), na agricultura tradicional, os levantamentos sobre fertilidade, produtividade, compactação e de outras variáveis do solo são obtidos sem a preocupação com a variabilidade espacial ou temporal dos dados. Entretanto, esses parâmetros do solo e das culturas variam no espaço e no tempo, dentro de uma mesma lavoura.

As ferramentas de AP são incorporadas como meio de gerenciar a variabilidade de atributos de solo na propriedade e subsidiar o aprimoramento do manejo do solo e das culturas. O aumento na eficiência ocorre com base no manejo diferenciado, respeitando a variabilidade existente na área. A integração da computação e da eletrônica são os meios para se elevarem os níveis de controle e monitoramento da atividade agrícola em locais específicos da lavoura. Através de análise detalhada das lavouras e do aprimoramento das técnicas de manejo, novos níveis de eficiência qualitativos e quantitativos da produção das culturas podem ser sucessivamente alcançados (SANTI et. al., 2009).

Em uma primeira fase, o sistema de AP é visto como um conjunto de ações para o manejo localizado da lavoura. Entretanto, a AP é uma ferramenta de gestão ou um sistema de gerenciamento da produção que leva em consideração a variabilidade espacial da produtividade e dos fatores de produção (SWINTON; LOWENBERG-DEBOER, 1998).

O processo deve ter um ponto de partida e muitos pesquisadores acreditam que o mapa da produtividade é a informação mais completa para se visualizar a variabilidade espacial das lavouras. Várias outras ferramentas estão sendo propostas e testadas, a fim de que sejam identificadas as manchas existentes em um talhão, como as fotografias aéreas, as imagens de satélite, a videografia, a amostragem de solo em grade e a condutividade elétrica do solo. No entanto, nenhuma informação é mais real do que a própria resposta da cultura (MOLIN, 2002).

III.2.3 Variabilidade espaço temporal

Os fatores que determinam a variabilidade podem caracterizar-se em dois grupos principais: estáveis no tempo e variáveis no espaço ou variáveis simultaneamente no tempo e no espaço. No primeiro grupo, incluem-se as propriedades físicas do solo, enquanto no segundo estão incluídos fatores como o teor de água no solo ou a incidência de pragas e doenças. Outros fatores podem ser temporalmente variáveis, mas espacialmente estáveis, como a radiação solar incidente. Os fatores que determinam a variabilidade da produtividade podem ser divididos quanto à sua origem entre os que são de origem natural e os que resultam da intervenção do homem. Nos fatores de origem natural incluem-se a reserva de

água facilmente utilizável do perfil do solo, o tipo de solo, a orientação do declive e padrões de drenagem natural, o padrão de incidência de pragas e doenças. Quanto aos fatores que resultam da intervenção do homem, há inúmeras fontes de variabilidade: material de propagação de reduzida qualidade; porta-enxertos ou clones diferentes; aplicação não uniforme de água e/ou fertilizantes; más práticas de poda, gestão das plantas infestantes, intervenções em verde, etc (BRAGA, 2010).

Além da variabilidade espacial e temporal existe a variabilidade preditiva, diferença entre a previsão de algum valor de atributo e o valor que efetivamente ocorreu. Para que se possam gerenciar as variabilidades, é necessário compreendê-las e medi-las (BIFFI, 2006).

III.2.3.1 Análise espacial da variabilidade

Análise espacial é o estudo das propriedades e relacionamentos de um ou mais fenômenos, levando-se em consideração a localização espacial. Por meio da análise espacial é possível estimar propriedades e relacionamentos em locais não amostrados, de tal forma que os fenômenos possam ser expressos como mapas. A análise espacial possibilita tanto uma visão holística do fenômeno, como uma visão específica mais detalhada de um local em particular. Geralmente, em AP, a análise espacial é praticada a partir de um conjunto de amostras georreferenciadas, submetidas a tratamentos estatísticos e geoestatísticos, com a finalidade de se avaliar o grau de dependência espacial dos atributos medidos (BIFFI, 2006).

Ainda Biffi et al. (2008), em um trabalho realizado em São Joaquim, SC, em um pomar de maçãs, avaliaram possíveis interações espaciais entre atributos de produção (peso de frutos por planta, número de frutos por planta, peso médio de frutos por planta, diâmetro do caule) e altitude, em dois anos de observações. Foi possível afirmar que no período de seca, regiões mais baixas do relevo compensaram a diminuição da produção das regiões mais altas, associados ao manejo de podas mais intensas. No período de boa distribuição de chuvas, a variabilidade espacial dos atributos foi maior, provavelmente, devido à maior umidade do solo.

Franco et al. (2008), com o objetivo de determinar, na videira Benitaka, a variabilidade espacial da produção de cachos e do pH do solo, baseados na correlação com seus mapas, conduziram um experimento no vinhedo Santa Catarina, no município de Janaúba, Norte de Minas Gerais. Os mapeamentos da distribuição espacial da produção de cachos por planta e pH do solo demonstraram que existe variabilidade espacial das variáveis estudadas. Isso permitiu a utilização desses bem como favoreceu a uma maior eficiência das práticas culturais, além de haver uma pequena correlação quando as variáveis são correlacionadas entre si.

Árvores frutíferas diferem da maioria de culturas anuais e de algumas culturas perenes haja vista a maioria das plantas em um pomar serem clonadas. Logo, sugere-se que há uma variação biológica mínima entre elas quando comparadas às culturas anuais. Entretanto, o manejo de pomares e efeitos localizados de solo e clima são impostos a essa homogeneidade. Portanto, espera-se registrar tanto a variabilidade entre as árvores como os efeitos de maior escala, baseados no solo, microclima e manejo (PERRY et al., 2010).

Queiroz et al. (2000) e Molin (2001) afirmaram que os mapas de produtividade podem ser utilizados como ponto de partida na avaliação das causas de variabilidade da produtividade das culturas e verificaram as possíveis causas de modificações que o sistema de manejo, em locais específicos, pode trazer. Para Molin (2001), o mapa de produtividade é a informação mais completa para visualizar a variabilidade espacial das lavouras.

Segundo Cremonini; Molin (2002), a partir da geração de mapas de produtividades das culturas é possível constatar a variabilidade espacial da produção em que se evidenciam locais de alta e baixa produtividade. Deste modo, o mapeamento da produtividade das culturas é útil para a racionalização da agricultura, investigação mais precisa da variação espaço-temporal e definição de estratégias de manejo localizado (AVELLAR et al., 2002; MANZIONE et al., 2002, RODRIGUES et al., 2002).

Seelan et al. (2003) relataram que a identificação das variações da produtividade das culturas, a partir do mapeamento, juntamente com os avanços e desenvolvimento da AP têm proporcionado melhor aproveitamento do potencial produtivo das lavouras.

III.2.4 Geoestatística

A geoestatística é um método da estatística aplicada que trata de problemas referentes às variáveis regionalizadas; aquelas que têm comportamento espacial e mostram características intermediárias entre as variáveis verdadeiramente aleatórias e as totalmente determinísticas (LANDIM, 1998). Além disso, ela tem sua fundamentação teórica totalmente inserida na teoria convencional da estatística (CRESSIE, 1993; DIGGLE; RIBEIRO JÚNIOR, 2007; RIBEIRO JÚNIOR, 1995).

Variáveis Regionalizadas são aquelas cujos valores são relacionados, de algum modo, com a posição espacial onde os mesmos são obtidos, ou seja, é uma função que varia de um lugar para outro no espaço, com certa aparência de continuidade. A continuidade atribuída às variáveis regionalizadas está relacionada com a variabilidade das propriedades da amostra com respeito à distância e direção, ou seja, com a tendência de tomarem valores mais próximos em dois pontos amostrados, quanto menos afastados geograficamente estejam os referidos pontos (ROCHA, 2005).

Para Lima et al. (2009), a geoestatística apresenta uso crescente na avaliação da variabilidade espacial de atributos de interesse em ciências agrárias e permite a interpretação dos resultados com base na estrutura da sua variabilidade, considerando a existência da dependência espacial dentro do espaço de amostragem.

Através das técnicas geoestatísticas, são realizados estudos que levam em consideração a localização geográfica e a dependência espacial entre os dados, considerando, assim, as duas características essenciais das variáveis regionalizadas: o aspecto aleatório (já que os valores numéricos observados podem variar consideravelmente de um ponto a outro no espaço) e o aspecto espacial (visto que os valores numéricos observados não são inteiramente independentes), reproduzindo os fenômenos naturais, portanto, com maior fidelidade (ROCHA, 2005).

Os semivariogramas expressam o comportamento espacial da variável regionalizada (Figura 01) ou de seus resíduos e mostram o tamanho da zona de influência em torno de uma amostra, a variação nas diferentes direções do terreno e também a continuidade do atributo estudado no terreno (LANDIM, 1998).

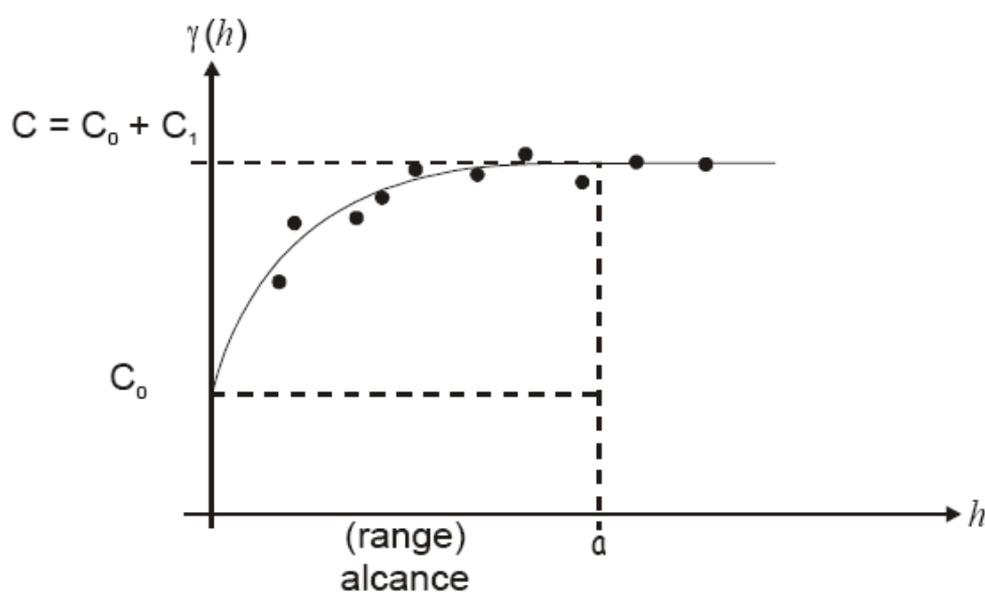


Figura 01 Parâmetros do semivariograma experimental.

- Alcance (a): distância dentro da qual as amostras apresentam-se espacialmente correlacionadas;
- Contribuição (C_1): porção da variação que é explicada pela continuidade espacial;
- Patamar (C): é o valor do semivariograma correspondente ao seu alcance (a). Deste ponto em diante, considera-se que não existe mais dependência espacial entre as amostras porque a variância da diferença entre pares de amostras torna-se aproximadamente constante;

- Efeito pepita (C_0): indica variabilidade não explicada, que pode ser devido a erros de medidas ou microvariações não detectadas, de acordo com a distância da amostragem utilizada (CAMBARDELLA, et al., 1994). No entanto, é importante quantificar a contribuição individual dos erros de medições ou da variabilidade para cada atributo analisado (ARZENO, 1990).

III.2.4.1 Interpolação

Interpolação é um procedimento de estimação de um atributo em locais não amostrados a partir de pontos amostrados na mesma área ou região. Uma interpolação espacial converte dados de observações pontuais em campos contínuos e produz padrões espaciais que podem ser comparados com outras entidades espaciais contínuas. O raciocínio que está na base da interpolação é que, em média, os valores do atributo tendem a ser similares em locais mais próximos do que em locais mais afastados (ORTIZ, 2004).

Existem vários métodos de interpolação que podem ser utilizados para auxiliar no refinamento de dados coletados em campo, como: “vizinho mais próximo”, “vizinho natural”, “inverso de uma distância elevado a uma potência”, “Kriging”, “curvatura mínima”, “regressão poligonal”, etc (BOTELHO et al., 2005).

Para Franke (1982), o algoritmo de interpolação chamado vizinho mais próximo (VMP) corresponde ao método mais simples de interpolação e tem como principal característica assegurar que o valor interpolado seja um dos valores originais. Este interpolador não gera novos valores para variável Z e é indicado para se trabalhar com dados qualitativos. O método do vizinho mais próximo determina o valor de um ponto levando em consideração os valores mais próximos do ponto considerado. Este método é empregado em casos nos quais os dados cobrem quase toda a área e apresenta apenas alguns valores perdidos, sendo efetivo para preencher os espaços vazios nos dados.

O método do inverso da distância (ID) assim como o inverso da distância ao quadrado (IQD) estão relacionados à mesma técnica de interpolação, porém a diferença entre eles está relacionada ao expoente ao qual a distância é submetida. A potência é utilizada para atenuar a influência dos pontos distantes. Este processo de interpolação é baseado no pressuposto de existência de correlação espacial positiva. O modelo baseia-se na dependência espacial, isto é, supõe que quanto mais próximo estiver um ponto do outro, maior será a correlação entre seus valores. Dessa forma, atribui maior peso para as observações mais próximas do que para as mais distantes. Assim, o modelo ID consiste em multiplicarem-se os valores das observações pelo inverso das suas respectivas distâncias ao ponto de referência para a interpolação dos valores (CAMARGO et al., 2004). Souza

(2002) afirmou que o algoritmo inverso de uma distância é que melhor representa a superfície do solo para a geração do modelo digital do terreno (MDT).

A krigagem, um dos métodos geoestatísticos de interpolação, apresenta propriedades ótimas de estimação em dados esparsos, pois leva em consideração as características espaciais de autocorrelação de variáveis regionalizadas bem como utiliza distâncias ponderadas e estimação por médias móveis. O que diferencia a krigagem dos outros métodos de interpolação é a estimação de uma matriz espacial que determina os pesos atribuídos às diferentes amostras, o tratamento da redundância dos dados, a vizinhança a ser considerada no procedimento inferencial e o erro associado ao valor estimado. Além disso, a krigagem também fornece estimadores com propriedades de não tendenciosidade e eficiência (DRUCK et al., 2004).

Outra diferença entre a krigagem e outros métodos de inferência é a maneira como os pesos são atribuídos às diferentes amostras. No caso da interpolação por média simples, por exemplo, os pesos são todos iguais a $1/N$ (N = número de amostras); na interpolação baseada no inverso do quadrado das distâncias, os pesos são definidos como o inverso do quadrado da distância que separa o valor interpolado dos valores observados. Na krigagem, o procedimento é semelhante ao da interpolação por média móvel ponderada, exceto que, aqui, os pesos são determinados a partir de uma análise espacial, baseada no semivariograma experimental (CAMARGO et al., 2007).

III.2.5 Unidades de manejo

Em trabalhos com mapeamento da produtividade das culturas ao longo do tempo, percebe-se que as mesmas, em geral, apresentam locais com produtividades temporalmente estáveis, ou seja, existem subáreas bastante produtivas ou de baixa produtividade ao longo dos anos (FRAISSE et al. 2001; MOLIN, 2002; BROCK et al., 2005). Esta estabilidade espaço-temporal pode ser devido a vários fatores como as más condições de solo e relevo (SCHEPERS et al., 2004).

Regiões que dentro do talhão possuem características semelhantes e necessitam de mesma quantidade de insumo resultam no mesmo potencial produtivo e são denominadas de unidades de manejo (SCHEPERS et al., 2004). Diferentemente da abordagem em grades regulares, as unidades de manejo podem ser tratadas com subáreas dentro do talhão, nas quais, nas intervenções, leva-se em consideração a homogeneidade em termos de manejo.

Unidades de manejo podem ser definidas como sub-regiões que apresentam uniformidade quanto às principais características que afetam a produtividade e permitem que, dentro delas, as práticas agronômicas possam ser uniformizadas. A definição de unidades de manejo torna mais fácil a aplicação das técnicas de agricultura de precisão,

uma vez que pode empregar os mesmos sistemas utilizados na agricultura convencional no manejo das culturas (FRANCELINO JUNIOR, 2008).

A identificação de unidades de manejo dentro do campo com base na variabilidade dos fatores que limitam a produção pode ser realizada com o auxílio de técnicas de sensoriamento remoto. Thomasson et al. (2003) descreveram a possibilidade de observar, durante o desenvolvimento da cultura, variações no vigor das plantas de forma diferenciada dentro da área, as quais estavam associadas a vários fatores de estresses que influenciaram na produtividade.

Para Broos et al. (1999), unidades com as mesmas características podem ser diferenciadas com base nos mapas de produtividade e topográficos, de tal forma que, as análises de solo possam ser reduzidas. Entretanto, não pode ser usado um único mapa de produtividade para indicar diferentes unidades de manejo. Para distinguir tais unidades, é necessário examinar não somente a variabilidade espacial, mas também a temporal da produtividade da cultura ou das propriedades analisadas.

Blackmore (2000) definiu classes para unidade de manejo a partir do cruzamento de um mapa de tendência da variabilidade com um mapa de estabilidade temporal. Luchiari et al. (2000) mostraram que a divisão de uma área em subáreas homogêneas, denominadas unidades de manejo, é eficiente para definir a dinâmica de uma lavoura e o uso sustentável do solo, com aplicação diferenciada de insumos. Para Rodrigues; Zimback (2002), a definição de unidades de manejo é uma alternativa para se viabilizar economicamente a AP, a qual funciona como unidade de operação para aplicação localizada de insumos e como indicador para amostragem do solo e da cultura.

III.2.5.1 Técnicas de definição de unidades de manejo

Xiang et al. (2007) realizaram a seguinte divisão entre técnicas de definição de unidades: 1) a partir de métodos empíricos, que usam frequência de distribuição da produtividade e conhecimento especializado para dividir o talhão, geralmente ao dividir o talhão em três ou quatro partes; 2) e por meio de métodos de análise de agrupamento com o uso de algoritmos como K-means e Fuzzy C-means.

As técnicas empíricas apresentadas por Swindell (1997) (produtividade normalizada) e por Larscheid; Blackmore (1996) (produtividade padronizada) fazem uso somente de dados de produtividade da cultura para definição de unidades de manejo e partem do pressuposto de que esse dado corresponde à resposta da cultura. Como a produtividade pode ser facilmente influenciada por fatores climáticos, essas metodologias visam remover a influência temporal de cada safra para posteriormente realizar a interpretação dos dados.

III.2.5.2 Métodos empíricos

O uso da metodologia apresentada por Swindell (1997), Molin (2002) permitiu que fossem definidas as unidades de manejo a partir de mapas de produtividade, a fim de que fossem avaliadas duas lavouras (uma no Estado de São Paulo e outra no do Paraná), de acordo com três classes de produtividade (alta, média e baixa) e duas classes de consistência temporal (com e sem). Os autores retiraram a influência temporal dos dados de produtividade e realizaram a técnica de normalização (Equação 1) para o cálculo do coeficiente de variação (CV) entre os conjuntos de dados utilizados (Equação 2). Foi realizada a reclassificação com as classes de manejo, definidas na Tabela 1.

$$PN_{ij} = \frac{P_{ij}}{\bar{P}_j} \times 100 \quad (1)$$

Em que,

PN_{ij} – Produtividade normalizada no ponto i no ano j ;

P_{ij} - Produtividade original no ponto i no ano j ;

\bar{P}_j – Produtividade média para o ano j .

$$CV_i = \frac{S_i}{\bar{P}_i} \quad (2)$$

Em que,

CV_i - Coeficiente de variação da produtividade no ponto i ;

S_i – Desvio padrão da produtividade para o ponto i em relação a todos os mapas normalizados utilizados;

\bar{P}_i – Produtividade média para o ponto i .

Tabela 1 Classificação (quatro classes) de unidades de manejo de acordo com a produtividade normalizada e o coeficiente de variação

Classes	Descrição	Produtividade Normalizada	Coeficiente de Variação
1	Alta e consistente	>1,05	≤ 30%
2	Média e consistente	0,95 – 1,05	≤ 30%
3	Baixa e consistente	< 0,95	≤ 30%
4	Inconsistente	-	> 30%

Fonte: MOLIN, (2002).

Milani et al. (2006) utilizaram o método de normalização padronizada, apresentado por Larscheid; Blackmore (1996) e utilizado por Blackmore (2000), na definição de unidades de manejo de acordo com os dados de produtividade da soja, ao se dividir o talhão em quatro sub-regiões (Tabela 2). Foram utilizados, além do valor da produtividade, a média geral e o desvio padrão (Equação 3).

Tabela 2 Classificação de unidades de manejo de acordo com a produtividade padronizada e o coeficiente de variação

Classes	Produtividade Padronizada	Coeficiente de Variação
1	< 33º percentil	≤30%
2	33º ≤PP≤ 67º	≤30%
3	> 67º percentil	≤30%
4	-	> 30%

Fonte: MILANI et al.,(2006).

$$ZV_{ij} = \frac{P_{ij} - P_j}{S_j} \quad (3)$$

Em que,

ZV_{ij} - produtividade padronizada no ponto i e no ano j ;

P_{ij} – Produtividade no ponto i no ano j ;

P_j - Produtividade média no ano j ;

S_j - Desvio padrão da produtividade no ano j .

Neste método, o cálculo do coeficiente de variação (Equação 2) é realizado em função dos conjuntos gerados a partir da produtividade padronizada equivalente (Equação 4) devido à impossibilidade de se calcular o coeficiente de variação dos dados normalizados pelo método proposto, de acordo com a média zero.

$$ZVe_{ij} = ZV_{ij} \times \bar{S}_t + \bar{P}_t \quad (4)$$

Em que,

ZVe_{ij} - corresponde à produtividade padronizada equivalente no ponto i , no ano j ;

ZV_{ij} - produtividade padronizada no ponto i e no ano j ;

\bar{S}_t – média dos desvios padrão nos t anos;

\bar{P}_t - média das observações médias dos t anos

III.2.6 Avaliação de unidades de manejo

Xiang et al. (2007) apontaram que com o aumento da quantidade de unidades de manejo, a variância relativa diminuiu até um momento em que tende a se estabilizar. Esse fato pode ser utilizado para determinar o número mínimo de unidades de manejo, utilizadas e para realizar testes de significância sobre as diferenças entre unidades de manejo utilizando a Eficiência Relativa – ER (Equação 5), assim, se as unidades de manejo forem determinadas de forma correta, apresentam $ER > 1$.

$$ER = \frac{S_{AREA}^2}{S_{MZ}^2} \quad (5)$$

Visando facilitar o entendimento e a avaliação de cada sub-região, Dobermann et al., (2003) elaboraram gráficos de Box-Plot para a comparação das unidades de manejo geradas por diferentes técnicas. Os gráficos de Box-Plot foram úteis para avaliar a distribuição dos dados entre unidades de manejo bem como para identificar onde houve alterações de dados com diferentes técnicas de definição.

III.3 MATERIAL E MÉTODOS

III.3.1 Caracterização da área experimental

O experimento foi realizado em um pomar comercial localizado nas coordenadas geográficas 25°23'22" de latitude Sul, 52°34'15" de longitude Oeste e altitude média de 750 metros, no município de Nova Laranjeiras – PR, em uma área de 1,24 ha. O solo da área é um Latossolo Vermelho Distroférico Típico (EMBRAPA, 2006) com 630 g kg⁻¹ de argila, 170 g kg⁻¹ de silte e 200 g kg⁻¹ de areia, segundo análise granulométrica realizada pela Cooperativa Central de Pesquisa Agrícola – COODETEC. O clima é do tipo Subtropical Úmido Mesotérmico (Cfb), com precipitação média anual de 1.900 mm, verões quentes com tendência de concentração de chuvas, geadas pouco frequentes, sem estação seca definida. O município apresenta temperatura média de 20° C e a umidade relativa média do ar de 70% (CAVIGLIONE et al., 2000).

O pomar foi implantado no ano de 2000, em uma área anteriormente cultivada com milho, soja, aveia e sorgo, em sistema plantio direto. As mudas são provenientes da região de Mafra-SC, da Fruticultura Brongiel. Os porta-enxertos são da variedade pera dura (Kieffer), no qual foram enxertadas a variedade Pera d'água. O espaçamento foi de 8,0 m entre linhas e 10,0 m entre plantas totalizando 146 pereiras. Na implantação, as covas foram preparadas com fósforo, calcário e adubo orgânico.

O *grid* amostral foi realizado em malha com espaçamento regular de 30 m, com georreferenciamento por GPS topográfico modelo Trimble Geo Explorer 3, datum WGS-84. A localização dos pontos de amostragem seguiu o procedimento denominado de amostragem sistemática estratificada. Foram selecionados 36 pontos (Figura 02), sendo 18 gerados a partir da grade (*grid*) amostral e 18 pontos coincidentes com a primeira planta à direita (sentido leste-oeste).

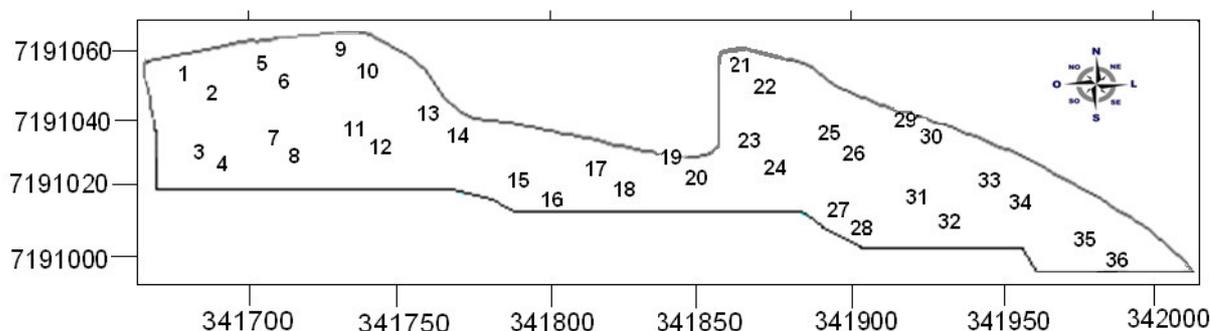


Figura 02 Localização dos pontos de amostragem (AC).

Nos anos de 2007 e 2008, foi feita adubação uniforme em toda a área em função da necessidade do solo. Em 2009 não foi feita adubação. Já em 2010 foram selecionadas 36

árvores que receberam adubação localizada (agricultura de precisão- AP), além das 36 já pré-selecionadas que haviam recebido adubação convencional (média- AC) (Figura 03).

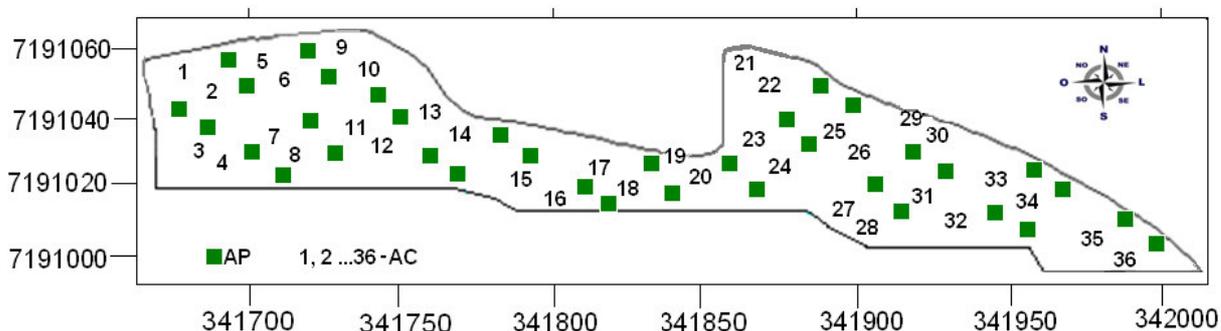


Figura 03 Localização dos pontos de amostragem (AP e AC).

III.3.2 Avaliação da produtividade

Para avaliar a variabilidade espacial e temporal da produtividade, foram analisados dados de colheita dos anos de 2007 a 2011. Em cada colheita foi realizada a pesagem de todos os frutos colhidos em cada pereira e a produtividade total foi obtida pela soma das colheitas individuais das plantas.

III.3.3 Análise exploratória e estatística descritiva

Na análise exploratória dos dados, foram calculadas as medidas de posição (média e mediana), medidas de dispersão (variância, desvio padrão e amplitude interquartis) e medidas de forma da distribuição (coeficiente de variação, coeficiente de assimetria e coeficiente de curtose), visando identificar e avaliar se os dados possuem homogeneidade e normalidade. A normalidade dos dados foi verificada pelos testes de Anderson- Darling e Kolmogorov-Smirnov, a 5 % de probabilidade. Foram considerados com distribuição de probabilidade normal os dados que apresentaram normalidade em, pelo menos, um dos testes. Os pontos discrepantes foram verificados por gráficos de boxplot. O coeficiente de variação foi classificado como baixo com faixa de 0 a 10%, médio de 10 a 20%, alto de 20 a 30% e muito alto com valores superiores a 30 % (PIMENTEL GOMES; GARCIA, 2002).

III.3.4 Análise geoestatística e mapas temáticos

Os dados originais de cada variável foram analisados por meio da geoestatística. Os parâmetros dos modelos de semivariogramas, ajustados para as produtividades em estudo, foram utilizados para estimar os valores dessas variáveis em locais não amostrados por meio do interpolador geoestatístico krigagem. Os valores dos mapas de contorno de cada variável de cada ano foram então normalizados e padronizados e isso possibilitou a comparação de diferentes anos bem como a geração de um mapa da média.

O índice de dependência espacial (IDE), que é a proporção em porcentagem do efeito pepita (C_0) em relação ao patamar ($C_0 + C$), foi calculado usando a Equação 6 (TRANGMAR et al. 1985). Cambardella et al. (1994) propuseram os intervalos apresentados na Tabela 3 para avaliar o IDE.

$$IDE = \left(\frac{C_0}{C_0 + C} \right) \times 100 \quad (6)$$

Tabela 3 Intervalos para avaliar o Índice de dependência espacial (IDE)

IDE (%)	Intervalos
Forte	≤25
Moderada	25 a 75
Fraca	≥75

Fonte: Cambardella et al. (1994).

III.3.5 Definição de unidades de manejo

Foram realizadas a normalização (Equações 1 e 2) e a padronização dos dados (Equações 3 e 4) a fim de definirem-se unidades de gerenciamento diferenciado com base na produtividade histórica dentro do talhão avaliado. Com os valores de produtividade normalizada e padronizada equivalente, para cada safra, foi calculado o coeficiente de variação ($CV = \text{desvio padrão}/\text{média}$) de cada ponto amostral, que representa a variabilidade temporal da produtividade. Com valores de CV de cada ponto georreferenciado, foi feito um mapa para visualizar essa variação e possibilitar uma análise temporal dentro do talhão, fato que é imprescindível para determinar uma unidade de gerenciamento diferenciado.

III.3.6 Geração de Unidades de Manejo

A partir dos dados de produtividade normalizada e produtividade padronizada equivalente e também os dados de CV foram classificados de acordo com as Tabelas 1 (produtividade normalizada) e 2 (produtividade padronizada). Com os dados classificados, foram geradas as unidade de manejo através da interpolação pelo método do vizinho mais próximo (*the nearest neighbor*). Esse método de interpolação determina o valor de um ponto levando em consideração os valores mais próximos dele e é empregado nos casos em que os dados cobrem quase toda a área, sendo efetivo para preencher os espaços vazios nos dados. Os dados interpolados têm sempre o valor de um dos dados amostrais.

III.3.7 Avaliação de unidades de manejo

A avaliação de unidades de manejo foi realizada por meio da análise de eficiência relativa (ER, Equação 5) e pelo teste de comparação de médias (Tukey, 5% de probabilidade). Para facilitar a interpretação dos resultados, os gráficos de Box-Plot foram gerados.

III.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

III.4.1 Análise Estatística Descritiva

Os coeficientes de variação (CV) da produtividade do pomar de peras (Tabela 4) apresentaram-se entre 38% (2009 AC) e 199 % (2008 AC), considerados muito alto e caracterizam a heterocedasticidade dos dados. Para o ano de 2011 o sistema AP apresentou CV menor (49 %) comparado ao sistema AC (60 %), o que era esperado devido à adubação localizada que, entre outros objetivos, procura diminuir a variabilidade da produtividade. Balastreire (2001), em um estudo do mapeamento da produtividade da cultura do café, também encontrou alto CV para a produtividade. Todos os anos avaliados apresentaram uma distribuição assimétrica positiva com curva de distribuição platicúrtica para os anos de 2007 AC, 2008 AC, 2009 AC e 2011 AC, leptocúrtica, para os anos de 2010 AC e 2011 AP. Foi encontrada distribuição normal de probabilidade para os dados de produtividade apenas para os anos de 2010 e 2011.

Tabela 4 Resultados da análise estatística descritiva para os dados de produtividade (kg ha^{-1}) do pomar de peras, para os anos de 2007 a 2011, Nova Laranjeiras - PR

Ano	Min.	Média	Mediana	Max.	DP	CV(%)	Assim.	Curt.	Normal
2007 AC	57	693	494	2.337	538	77,6 (ma)	1,56 (b)	2,20 (B)	Não
2008 AC	0	502	259	5.392	1.002	199,4 (ma)	4,24 (b)	18,60 (B)	Não
2009 AC	1.626	5.443	5.006	10.738	2.067	38,0 (ma)	0,84 (b)	0,37 (B)	Não
2010 AC	765	3.032	3.026	6.085	1.375	45,4 (ma)	0,30 (b)	-0,36 (C)	Sim
2011 AP	207	2.625	2.605	5.271	1.282	48,9 (ma)	0,36 (b)	-0,24 (C)	Sim
2011 AC	333	2.548	2.328	6.440	1.523	59,8 (ma)	0,97 (b)	0,53 (B)	Sim

*Teste de normalidade Anderson-Darling e Kolmogorov-Smirnov. Coeficientes de variação (CV) - muito altos (ma); Desvio padrão (DP); Assimetria - distribuição simétrica (a), assimetria positiva (b), assimetria negativa (c); Curtose - mesocúrtica (A), platicúrtica (B), leptocúrtica (C).

O ano de 2009 apresentou maior produtividade (5.443 kg ha^{-1}) e o ano de 2008 a menor (502 kg ha^{-1}). O ano de 2011 apresentou uma produtividade média de 2.625 kg ha^{-1} sob o sistema AP e 2548 kg ha^{-1} sob o sistema AC. O sistema AP apresentou um pequeno acréscimo nos valores de produtividade (3%) em relação ao sistema AC. A avaliação temporal da produtividade mostrou uma grande flutuação. Essa variação pode ser ocasionada por vários fatores, dentre os quais o clima, o manejo do solo e planta, pragas e doenças, que podem ter ocorrido de forma conjunta ou isolada. Por conseguinte, há uma variabilidade da produtividade em função do tempo, confirmada pelos altos CVs encontrados. Nos gráficos boxplot, foram observados três pontos discrepantes para o ano de 2007, quatro para 2008 e um para 2009 (Figura 4). Os anos de 2010 e 2011 não apresentaram pontos discrepantes. Entretanto, como foi confirmado não haver erro de medição, os pontos discrepantes foram mantidos.

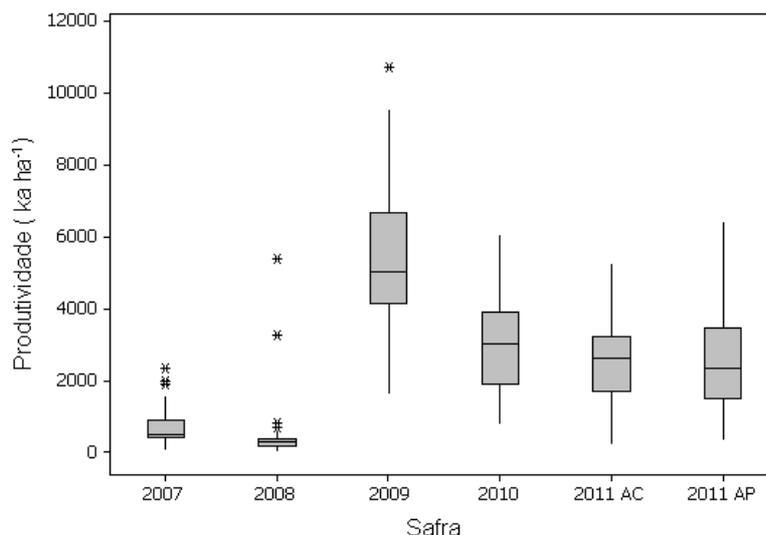


Figura 4 Box-Plot para os dados de produtividade em pomar de peras (2007 a 2011), Nova Laranjeiras – PR.

III.4.1 Análise geoestatística

Os resultados da análise geoestatística da produtividade (Tabela 5) mostraram que, para todos os anos, o modelo exponencial foi o que melhor se ajustou aos dados, com exceção para o ano de 2007, que se ajustou ao modelo gaussiano. O maior alcance foi encontrado para o ano de 2010, sob o sistema AC (101 m) e o menor alcance para o ano de 2011, sob o sistema AC (44 m). A produtividade apresentou dependência espacial moderada para todos os anos analisados, com exceção do sistema AC, em 2011, que apresentou fraca dependência espacial. Leal (2002) avaliou a produtividade de café e Biffi (2006) comparou os atributos químicos e a produção de maçã. Esses autores também encontraram dependência moderada para a produtividade.

Tabela 5 Modelos e parâmetros estimados dos semivariogramas experimentais para a produtividade (kg ha^{-1}) em pomar de peras, Nova Laranjeiras – PR

Ano/sistema	Modelos	C_0	C_0+C_1	C_1	a (m)	IDE(%)
2007 AC	Gaussiano	0,175	0,273	0,098	45,22	64 Mo
2008 AC	Exponencial	0,605	1,123	0,518	87,78	54 Mo
2009 AC	Exponencial	1,40	4,15	2,75	61,10	34 Mo
2010 AC	Exponencial	0,87	2,39	1,52	100,94	36 Mo
2011 AP	Exponencial	0,99	1,97	0,98	77,03	50 Mo
2011 AC	Exponencial	1,76	2,06	0,30	44,10	85 Fr

C_0 = Efeito Pepita; C_1 = Sill; C_0+C_1 = Patamar; a = Alcance; IDE – Índice de dependência espacial: fraca (Fr), moderada (Mo)

III.4.2 Mapas temáticos

A utilização dos dados de produtividade normalizada (PN) e produtividade padronizada (PP) permitiram a construção dos mapas de contorno, apresentados na Figura 5.

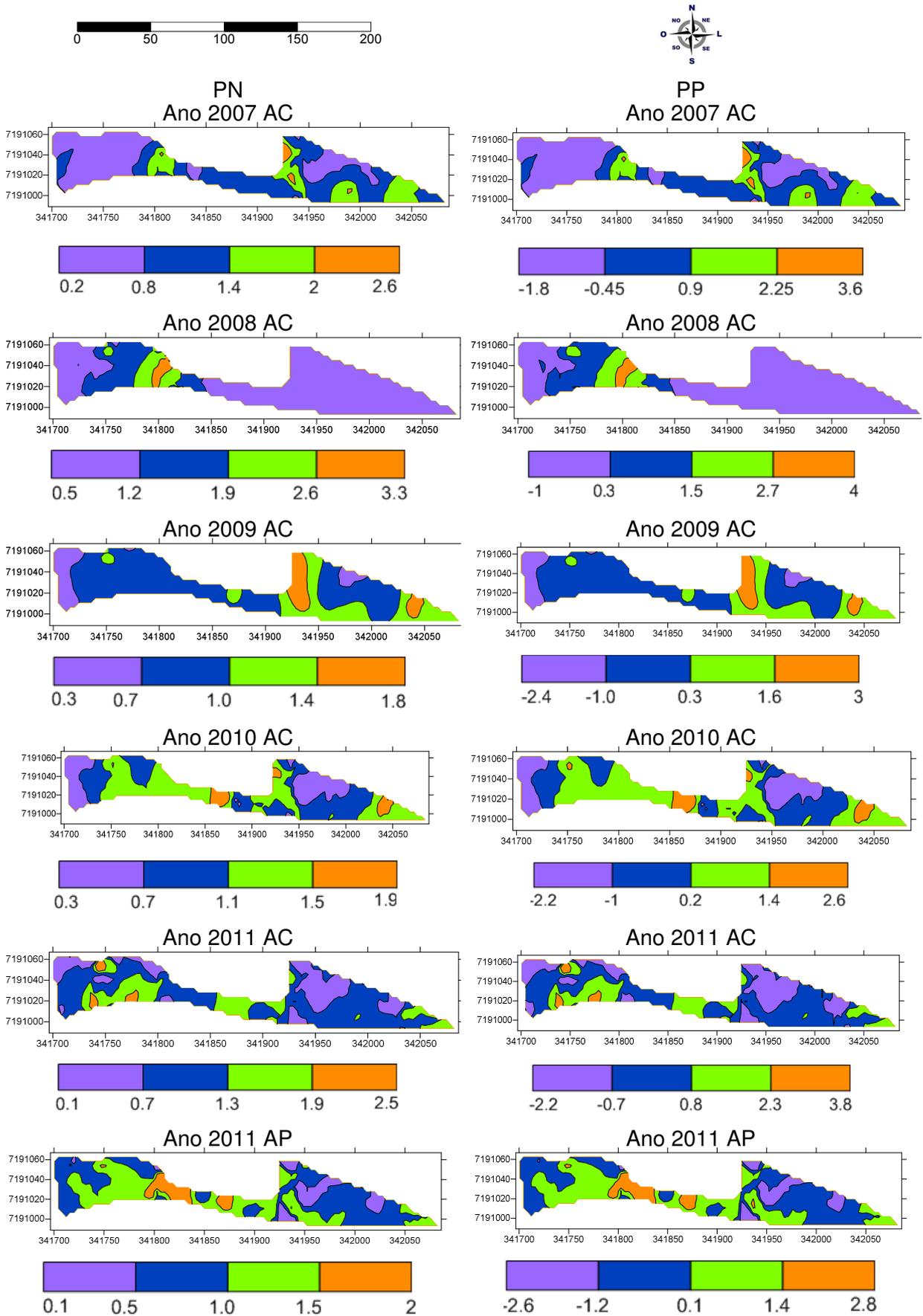


Figura 05 Mapas de contorno da produtividade normalizada e padronizada para as safras de 2007 a 2011, em pomar de peras, Nova Laranjeiras – PR.

Os mapas de produtividade PN e PP estão dispostos lado a lado de forma que as duas metodologias possam ser comparadas ano a ano. É possível observar similaridade entre os mapas para as duas metodologias. O motivo é que um método de cálculo da produtividade é uma transformação linear do outro.

Após o processo de normalização aplicado aos dados das safras de 2007 a 2011, foi possível elaborar o mapa com a produtividade média normalizada (PN) e padronizada (PP) (Figura 6). Novamente, observam-se as semelhanças entre os mapas de contorno.

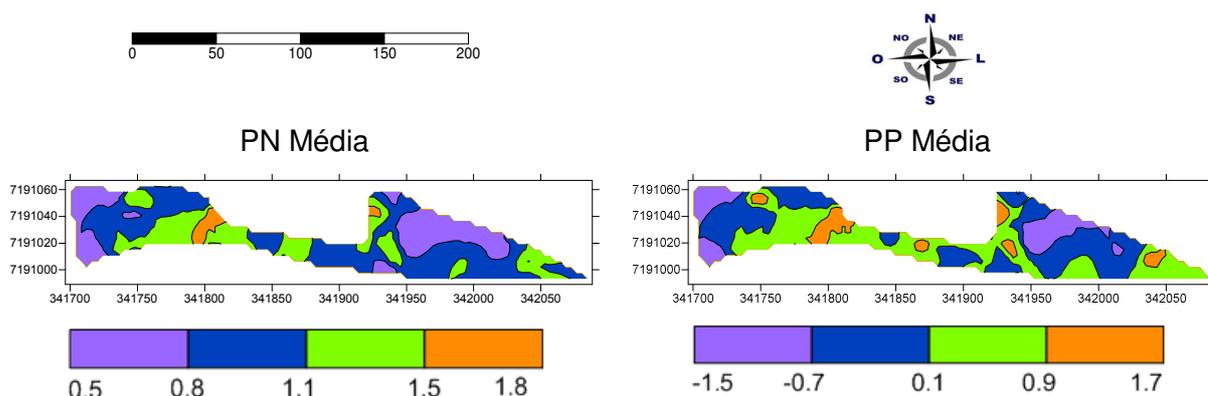


Figura 06 Mapa de contorno da produtividade média normalizada e padronizada em pomar de peras, Nova Laranjeiras – PR.

O coeficiente de variação da produtividade foi dividido em duas partes (menor e maior que 30 %) conforme o especificado nas Tabelas 1 e 2 (Figura 7).

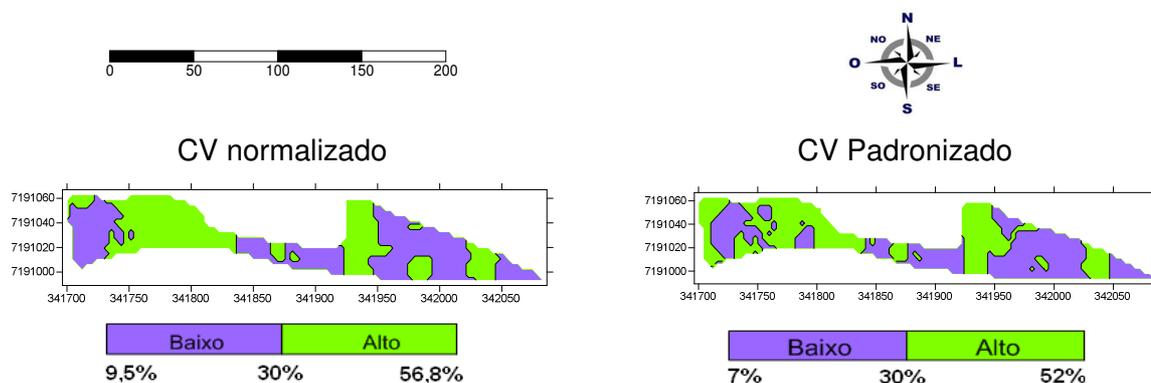


Figura 07 Mapa de contorno do coeficiente de variação da produtividade normalizada e padronizada equivalente em pomar de peras, Nova Laranjeiras – PR.

Os mapas de contorno do CV demonstraram a variabilidade temporal da produtividade. Pode-se verificar que existe uma distribuição simétrica das regiões com CV elevado e baixo para os dados normalizados de produtividade.

Para a produtividade normalizada, as unidades de manejo (Figura 08) mostraram que 50 % da área experimental (Tabela 6) encontram-se na classe 4 (inconsistente), ou

seja, outros fatores, como o manejo do solo e da planta, podem ter afetado a produtividade da região.

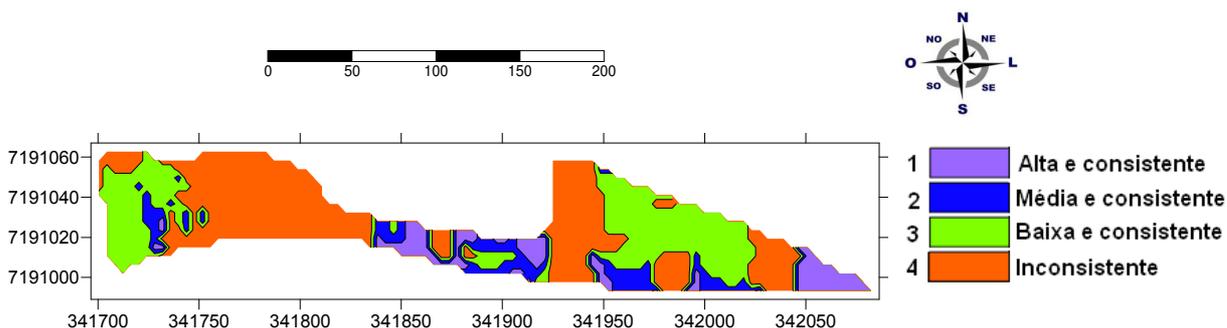


Figura 08 Mapa da unidade de manejo, normalizada para a área estudada com 4 classes de unidade em pomar de peras, Nova Laranjeiras – PR.

Tabela 6 Percentual de área ocupada em cada classe de classificação do mapa de contorno das unidades de manejo para a produtividade normalizada

Classes	Descrição	PN	CV	Percentual de área ocupada
1	Alta e consistente	$>1,05$	$\leq 30\%$	12,5%
2	Média e consistente	$0,95 - 1,05$	$\leq 30\%$	9,8%
3	Baixa e consistente	$< 0,95$	$\leq 30\%$	28,1%
4	Inconsistente	-	$> 30\%$	49,6%

A classe 1 representa o local que sistematicamente apresenta produtividade acima da média e que deve ter preferências na adubação e tratos culturais. A classe 3 representa os locais que sistematicamente apresenta produtividade abaixo da média e cujas razões devem ser investigadas. A partir dessa informação, é necessário realizar um estudo mais aprofundado para averiguar quais os fatores que agem positiva e negativamente na lavoura, para determinar uma estratégia de ação.

É possível observar que as unidades de manejo para a produtividade padronizada (Figura 9) ficaram muito subdivididas, portanto, há uma pequena variação nas áreas de acordo com cada classe (Tabela 7).

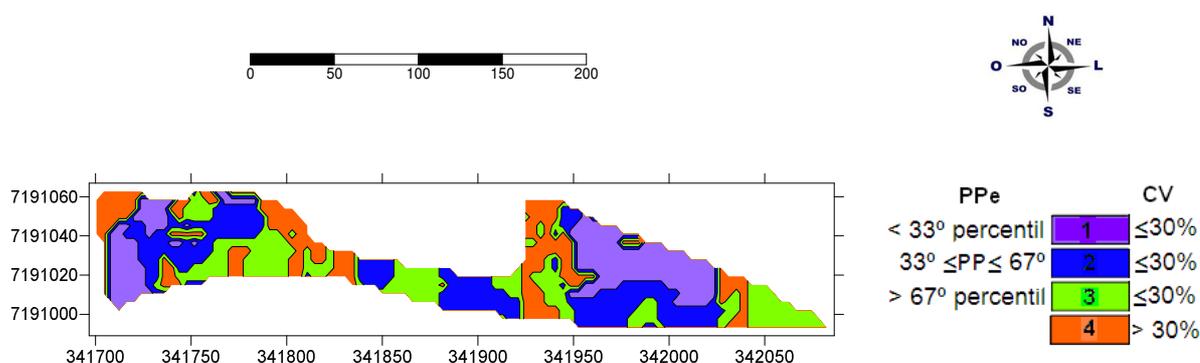


Figura 09 Mapa da unidade de manejo padronizada da área estudada com 4 classes de unidade em pomar de peras, Nova Laranjeiras – PR.

Tabela 7 Percentual de área ocupada em cada classe do mapa de contorno das unidades de manejo para a produtividade padronizada

Classes	PPe	CV	Percentual de área ocupada
1	< 33º percentil	≤ 30%	21,8%
2	33º ≤ PP ≤ 67º	≤ 30%	28%
3	> 67º percentil	≤ 30%	24,7%
4	-	> 30%	25,5%

Neste contexto, a metodologia de padronização dos dados não apresentou resultado satisfatório, pois torna inviável o manejo do pomar em unidades diferenciadas.

III.4.3 Avaliação das Unidades de Manejo

As unidades de manejo foram analisadas por meio da estatística descritiva (Tabelas 8 e 9) e as médias comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. A análise de variância (ANOVA) mostrou que as produtividades das pereiras nas unidades de manejo geradas pelo método de normalização não diferem entre si. O coeficiente de eficiência relativa demonstrou que a divisão entre as unidades de manejo foi válida para todos os anos, pois $ER > 1$ para todos os casos. O CV apresentou-se elevado para todas as classes e anos, com exceção do ano de 2009, quando as classes 1 e 2 foram consideradas média e baixa, respectivamente. O provável motivo da não existência de diferença significativa entre as produtividades por unidade de manejo é o reduzido número de casos e CV alto.

Tabela 8 Estatística descritiva e eficiência relativa dos dados de produtividade normalizada, separados por unidade de manejo em pomar de peras, Nova Laranjeiras – PR

ANOS	U. M.	N	Mínimo	Média	Mediana	Máximo	D. P.	C. V.	Variância	Var. Total	Ef. Rel.
2007	1	2	474	833 a*	833	1193	508	61,01	258430	263557	1,09
	2	3	195	413 a*	349	693	255	61,84	65081		
	3	9	422,4	626,6 a*	543,9	896,5	194,8	31,09	37954,7		
	4	22	56,9	746 a*	494	2237	657	88,06	431875		
2008	1	2	272,1	371,5 a*	3741,5	470,9	140,6	37,85	19770,7	791469	1,23
	2	3	110,9	276 a*	351,3	365,8	143,2	51,87	20497,0		
	3	9	33	278,7 a*	248,6	797,2	212,3	76,17	45065,9		
	4	22	0	626 a*	255	5392	1249	199,70	1561140		
2009	1	2	5261	6031 a*	6031	6801	1088	18,05	1184630	3255844	1,31
	2	3	3880	4275 a*	4433	4511	344	8,05	118276		
	3	9	3137	4425 a*	4306	6208	899	20,31	807828		
	4	22	1626	5965 a*	5439	10738	2405	40,32	5784626		
2010	1	2	1843	2748 a*	2748	3654	1281	46,61	1640820	1827392	1,03
	2	3	2598	3355 a*	3725	3741	656	19,54	429699		
	3	9	984	2603 a*	2965	4153	1232	47,32	1517755		
	4	22	765	3189 a*	3026	6085	1525	47,83	2325987		
2011AP	1	2	2135	2504 a*	2504	2873	522	20,83	272064	1629624	1,00
	2	3	1125	3329 a*	3674	5188	2054	61,69	4217388		
	3	9	1168	2471 a*	2555	3964	869	35,15	754591		
	4	22	207	2602 a*	2575	5271	1399	53,75	1956194		
2011AC	1	1	3258,8	3258,8 a*	3258,8	3258,8	-	-	-	2025456	1,14
	2	5	1459	3029 a*	2435	6440	1981	65,41	3925398		
	3	10	866	2084 a*	1942	3864	850	40,78	722198		
	4	20	333	2625 a*	2328	6287	1703	64,86	2898849		

*Tukey 5% de probabilidade; D.P. – Desvio Padrão; C. V. – Coeficiente de Variação; Ef. Rel. – Eficiência Relativa; Var. Total – Soma das variâncias das unidades de manejo, considerando o percentual de área.

O teste de Tukey (5 % de probabilidade) para as unidades de manejo, padronizadas em todos os períodos avaliados, não apresentou diferenças significativas entre as médias avaliadas. O coeficiente de eficiência relativa demonstrou que a divisão entre as unidades de manejo não se apresentou válida para os anos de 2009 e 2011, sob o sistema AC, pois $ER < 1$. O CV apresentou-se alto e muito alto para todas as classes e anos. Novamente aqui, o provável motivo da não existência de diferença significativa entre as médias de produtividade por unidade de manejo é o reduzido número de casos e CV alto.

Tabela 9 Estatística descritiva e eficiência relativa dos dados de produtividade padronizada separados por unidade de manejo em pomar de peras, Nova Laranjeiras – PR

ANOS	U. M.	N	Mínimo	Média	Mediana	Máximo	D. P.	C. V.	Variância	Var. Total	Ef. Rel.
2007	1	8	56,9	305 a*	381,3	478,7	184	60,27	33752.0	258147.2	1,12
	2	12	195	924 a*	789	2337	604	65,37	365142		
	3	10	288	736 a*	509	1976	516	70,02	265873		
	4	6	216	678 a*	432	1576	570	84,12	325015		
2008	1	8	111	637 a*	309	3241	1059	166,18	1121164	893904.4	1,09
	2	12	50,4	652 a*	217	5392	1497	229,68	2239527		
	3	10	0	306 a*	253,6	797,2	239	78,14	57261.6		
	4	6	174,6	311 a*	276,6	662,5	180	57,96	32468.6		
2009	1	8	162,6	4669 a*	4886	7708	1813	38,84	3287803	4346468	0,98
	2	12	3603	6256 a*	5285	9544	2257	36,08	5094494		
	3	10	2593	4769 a*	4329	7593	1410	29,56	1987054		
	4	6	3344	5972 a*	5113	10738	2591	43,39	6715556		
2010	1	8	984	2802 a*	2791	5087	1495	53,36	2236189	1739563	1,08
	2	12	765	3599 a*	3733	6085	1360	37,80	1850174		
	3	10	1035	2267 a*	1872	3991	1033	45,57	1067090		
	4	6	2059	3477 a*	3260	5939	1358	39,06	1844917		
2011AP	1	8	1285	2684 a*	2531	4809	1192	44,43	1421509	1467245	1,12
	2	12	638	2930 a*	3066	5271	1743	59,48	3037128		
	3	10	207	2141 a*	2173	3964	1055	49,25	1112353		
	4	6	2209	2740 a*	2764	3120	355	12,97	126310		
2011AC	1	8	333	2844 a*	2048	6440	2036	71,57	4144614	2393416	0,96
	2	9	1515	2911 a*	2892	4765	991	34,04	982338		
	3	10	747	1984 a*	1922	3864	963	48,52	926661		
	4	9	753	2550 a*	1699	6287	1966	77,11	3866471		

* Tukey 5% de probabilidade; D. P. – Desvio Padrão; C. V. – Coeficiente de Variação; Ef. Rel. – Eficiência Relativa; Var. Total – Soma das variâncias das unidades de manejo, considerando o percentual de área.

O gráfico de Box-Plot (Figura 10) representa a distribuição do conjunto de dados por unidade de manejo para cada ano. No ano de 2007, a classe 4, caracterizada por ser inconsistente, apresentou um ponto discrepante acima do limite superior. O ano de 2008 apresentou um ponto discrepante acima do limite superior na classe 3 (baixa e consistente) e dois pontos acima do limite superior na classe 4. Em todos os anos avaliados, a classe 1 mostrou-se a mais simétrica.

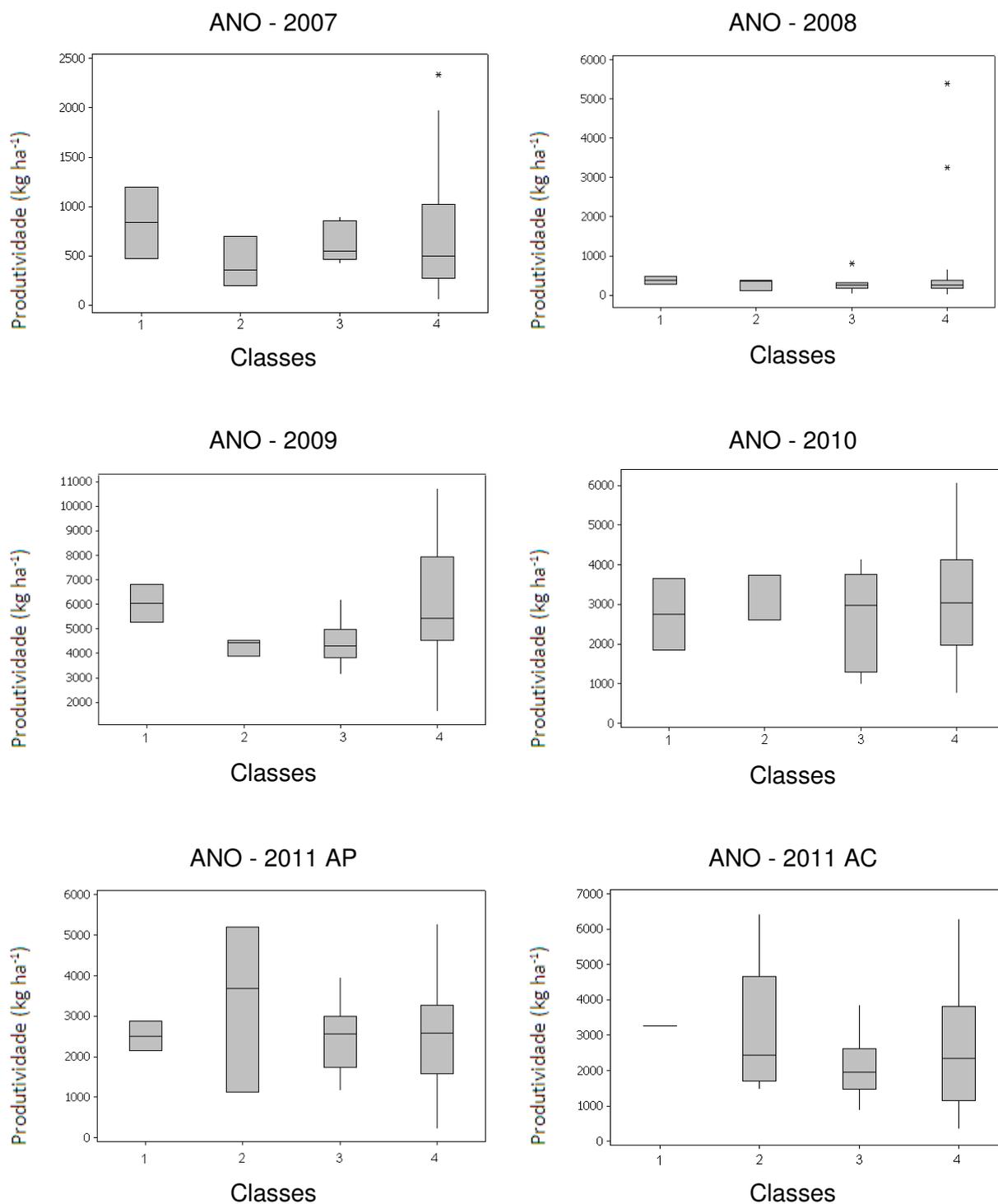


Figura 10 Gráfico Box-Plot separado por unidade de manejo para os dados de produtividade normalizada em pomar de peras, Nova Laranjeiras – PR.

Para os dados padronizados de produtividade, os gráficos de Box-Plot (Figura 11) mostraram que para o ano de 2007, a classe 2 apresentou dois pontos discrepantes acima do limite superior, e a classe 3 apresentou um ponto acima do limite superior. Porém, em 2008, foi observado um ponto discrepante acima do limite superior para as classes 1 e 2, e em 2010, a classe 2 apresentou um ponto discrepante acima do limite superior e outro abaixo do limite inferior. O ano de 2011, sob o sistema AP, mostrou melhor simetria na

distribuição do conjunto de dados, o que deve estar relacionado à adubação localizada na área.

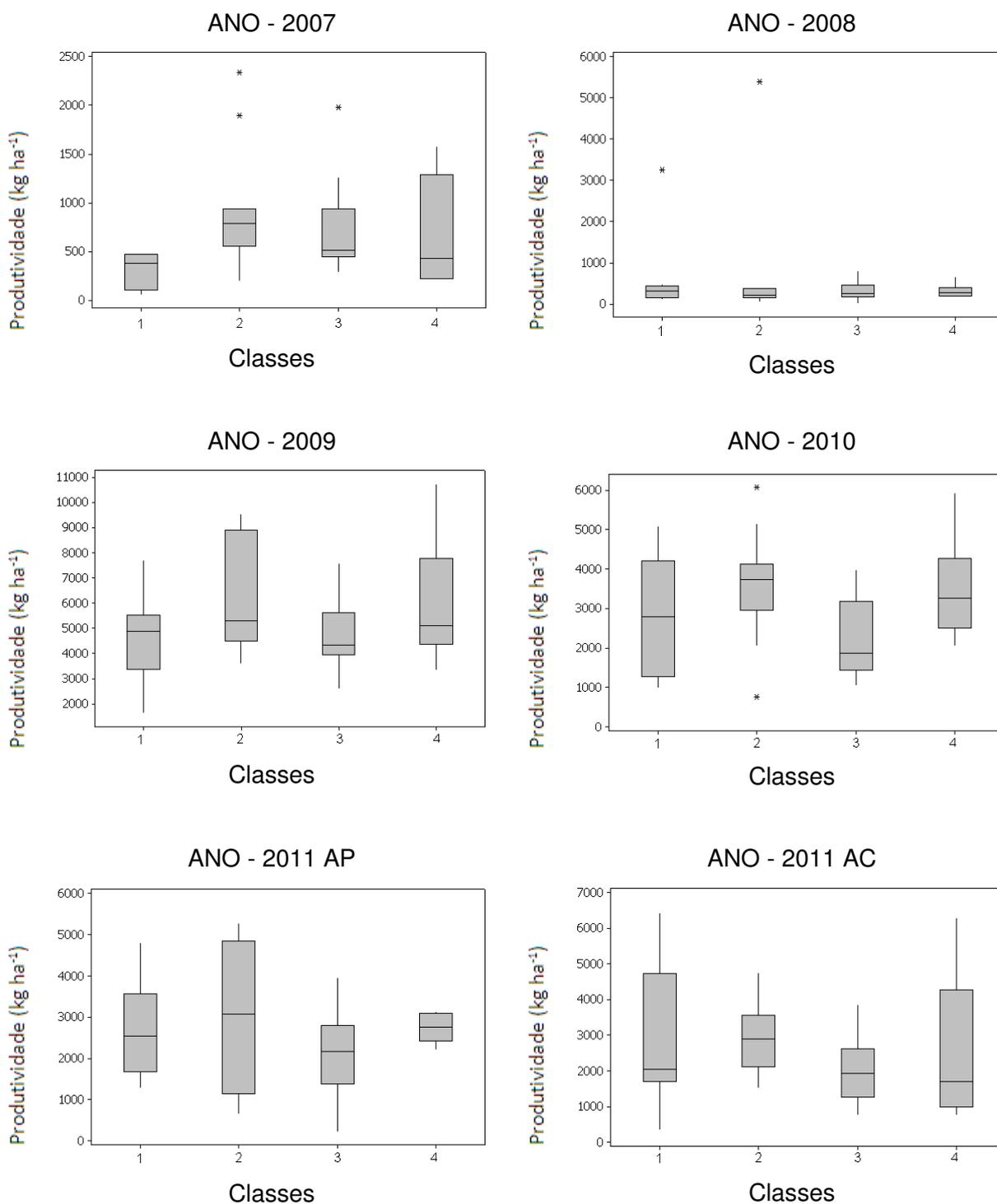


Figura 11 Gráfico Box-Plot separado por unidade de manejo para os dados de produtividade padronizada em pomar de peras, Nova Laranjeiras – PR.

III.5 CONCLUSÕES

- A produtividade apresentou dependência espacial moderada para todos os anos analisados, com exceção do sistema de adubação convencional (AC) em 2011, que apresentou fraca dependência espacial.
- A metodologia de geração de unidade de manejo (UM) que utilizou a produtividade normalizada e foi mais adequada quando comparada à produtividade padronizada, por proporcionar uma distribuição das UMs mais apropriada ao manejo da área.

III.6 REFERÊNCIAS

Agência Estadual de Notícias. 2008. Disponível em: www.paranavaionline.com.br/noticias/economia/cultivo_de_frutas_esta_ampliando_renda_n_os_municipios_do_parana. Acesso em 07/04/2010.

ARZENO, J. L. **Avaliação física de diferentes manejos de solo em um latossolo Roxo-distrófico**. 1990. 259p. Tese (Doutorado). Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – Piracicaba USP, 1990.

AVELLAR, G.; FRANÇA, G. E.; OLIVEIRA, A. C.; MANTOVANI, E. C. Uso de SIG's no Delineamento de Zonas de Manejo para Uso Agrícola. In: 2o SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE AGRICULTURA DE PRECISÃO, Viçosa, MG, Brasil, **Anais...**, 2002.

BALASTREIRE, L. A.; AMARAL, J. R.; ESQUERDO, J. C. D. M.; RODRIGUES, A. **Mapeamento da produtividade de uma cultura de laranja**. GPS Global Artigos. 1999. Disponível em: <<http://www.gpsglobal.com.br>>. Acesso em 22 set. 2004.

BALASTREIRE, L. A. Mapeamento de Atributos de Solos e Plantas: Mapeamento da Produtividade de uma Cultura de Laranja. In: LUIZ ANTONIO BALASTREIRE. (Org.). **Os Avanços da Agricultura de Precisão no Brasil no Período de 1999-2001**. PIRACICABA: L.A. BALASTREIRE-ISBN8590062716, v. 1, p. 1-353, 2002.

BIFFI, L. J.; RAFAELI NETO, S. L.; BECEGATO, V. A. Interação espacial entre atributos de produção de maçã. In: IV **Simpósio Regional de Geoprocessamento e Sensoriamento remoto, 2008**, Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2008.

BIFFI, L. J.; RAFAELI NETO, S. L. Comportamento espacial de variáveis agronômicas da maçã 'Fuji' durante dois anos de observações no planalto serrano de Santa Catarina. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 30, n. 4. p. 975-980. 2008.

BIFFI, L. J. **Mapeamento e análise espacial de variáveis de produção de maçã conduzida sobre pomar comercial na região de São Joaquim – SC**. 2006. 106 p. Dissertação (Mestrado) – Centro de Ciências Agroveterinárias / UDESC. 2006.

BLACKMORE, S. The interpretation of trends from multiple yield maps. **Computers and electronics in agriculture**, Orlando, v.26, n.1, p.37-51, 2000.

BOTELHO, M. F.; SILVA, C. R.; SCHOENINGER, E. R.; CENTENO, J. A. S. Comparação dos resultados de interpoladores “Vizinho mais próximo” e “Inverso de uma distância” no cálculo de volume a partir de dados do laser scanner. **Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Goiânia, Brasil, 16-21 abril 2005, INPE, p. 731-736.

BRAGA, R. **Viticultura de precisão - um caso particular de agricultura de precisão - variabilidade** espaço-temporal. Inovação e Tecnologia na Formação Agrícola. Disponível em: <http://vitiprecisao.agrinov.wikispaces.net/2>. Acesso em 07/01/2010.

BROCK, A.; BROUDER, S. M.; BLUMHOFF, G.; HOFMANN, B. S. Defining yield-based management zones for corn-soybean rotation. **Agronomy Journal**, Madison, v.97, p. 1115-1128, 2005.

BROOS, B.; MISSOTTEN, B.; REYBROUCK, S. de; BAERDEMAEKER, J. Mapping and interpretation of sugar yield differences. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 4, St. Paul. **Proceedings...** Madison: American Society of Agronomy. Part A, p.171-81, 1999.

CAMARGO, E. C. G.; FUCKS, S. D.; CÂMARA, G. Análise de Superfícies por Geoestatística Linear In: DRUCK, S.; CARVALHO, M. S.; CÂMARA, G.; MONTEIRO, A. V. M. **Análise Espacial de Dados Geográficos**. Brasília, EMBRAPA, 2004 (ISBN: 85-7383-260-6).

CAMARGO, E. C. G.; MONTEIRO, A. M. V.; FELGUEIRAS, C. A.; FUKS, S. D.; **Integração de geoestatística e sistemas de informação geográfica: uma necessidade**. Disponível em: http://www.dpi.inpe.br/geopro/trabalhos/gisbrasil99/geoest_gis/ Acesso em: 28 de setembro de 2007.

CAMBARDELLA, C. A.; MOORMAN, T. B.; NOVAK, J. M.; PARKIN, T. B.; KARLEN, D. L.; TURCO, R. F.; KONOPKA, A. E. Field-scale variability of soil properties in Central Iowa soils. **Soil Science Society of America Journal**, v.58, p. 1501-1511, 1994.

CAMELATTO, D.; NACHTIGALL, G. R.; ARRUDA, J. J. P.; HERTER, F. G. Efeitos de flutuações de temperatura, horas de frio hiberna e reguladores de crescimento no abortamento de gemas florais de pereira. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v.22, n.2, p.111-117, 2000.

CAPELLI, N. L. **Agricultura de precisão – novas tecnologias para o processo produtivo**. (2000) Disponível em: <<http://www.cria.org.br/gip/gipap/capelli.htm>>. Acesso em: 08 de dezembro 2005.

CAVIGLIONE, J. H.; KIIHL, L. R. B.; CARAMORI, P. H.; OLIVEIRA, D. **Cartas climáticas do Paraná**. Londrina: IAPAR, 2000.

COELHO, A. M. Agricultura de precisão: manejo da variabilidade espacial e temporal dos solos e culturas. In: **Tópicos em Ciência do Solo**, Viçosa, v.3, p. 249-290, jul. 2003.

CREMONINI, L. C. M.; MOLIN, J. P. Acurácia de mapas altimétricos obtidos por monitores de produtividade. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE AGRICULTURA DE PRECISÃO, 2. 2002, Viçosa. **Anais...** Viçosa: SIAP, 2002.

CRESSIE, N. A. C. **Statistics for Spatial Data**, New York: John Wiley & Sons, 1993. 900 p.

DIGGLE, P. J.; RIBEIRO JÚNIOR, P. J. **Model-based geostatistics**. Springer Series: Hardcover, 2007. 232p.

DOBERMANN, A.; PING, J. L.; ADAMCHUK, V. I.; SIMBAHAN. G. C.; FERGUSON, R. B. Classification of crop yield variability in irrigated production fields. **Agronomy Journal**, v. 95, p. 1105-1120, 2003.

DRUCK, S.; CARVALHO, M. S.; CÂMARA, G.; MONTEIRO, A. M. V. **Análise espacial de dados geográficos**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados; 2004. 190 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. **Sistema Brasileiro de classificação de solos**. Brasília: Embrapa Produção de Informação, 1999. 412 p.

FARIAS, P. R. S.; NOCITI, L. A. S.; BARBOSA, J. C.; PERECIN, D. Agricultura de precisão: mapeamento da produtividade em pomares cítricos usando geoestatística. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 25, n. 2, p. 235-241, 2003.

FRAISSE, C. W.; SUDDUTH, K. A.; KITCHEN, N. R. Delineation site-specific management zone by unsupervised classification of topographic attributes and soil electrical conductivity. **Transaction of the ASAE**, St. Joseph, v. 44, n. 1, p. 155-166, 2001.

FRANCO, A. A. N.; RIBEIRO, D. P.; CERQUEIRA, E. S. A.; MENEZES, M. A.; LOPES, P. S.; ROCHA, G. B. M. Variabilidade espacial da produção de cachos e do ph do solo da videira benitaka. **XX Congresso Brasileiro de Fruticultura 54th Annual Meeting of the Interamerican Society for Tropical Horticulture** 12 a 17 de Outubro de 2008 - Centro de Convenções – Vitória/ES.

FRANKE, R. Scattered Data Interpolation: Test of Some Methods. **Mathematics Of Computations**, Providence, v. 33, n. 157, p. 181-200, 1982.

HERTER, F. G.; VERÍSSIMO, V.; CAMELATTO, D.; GARDIN, J. P.; TREVISAN, R. Abortamento de gemas florais de pereira no Brasil. In: **Perspectivas da fruticultura de clima temperado na região subtropical: estratégias e tecnologias para a sustentabilidade da fruticultura de baixo impacto ambiental**, 2001, Florianópolis. **Anais...** p.106.

JOHANN, J. A.; URIBE-OPAZO, M. A.; SOUZA, E. G.; ROCHA, J. V. Variabilidade espacial dos atributos físicos do solo e da produtividade em um Latossolo Bruno distrófico da região de Cascavel, PR. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 8, n. 2-3, p. 212-219, 2004.

KONOPATZKI, M. R. S. ; SOUZA, E. G.; SUSZEK, G; SANTOS, D.; BAZZI, C. L. Análise temporal da variabilidade espacial da produtividade em um pomar de peras. In: Universidad Nacional de Rosario. (Org.). **Avances en Ingeniería Rural 2007-2009**. Rosario: Universidad Nacional de Rosario, 2009, v. 1, p. 882-889.

LANDIM, P. M. B. **Análise estatística de dados geológicos**. São Paulo: UNESP, 1998. 226 p.

LARSCHEID G.; BLACKMORE, B. S. Interactions between farm managers and information systems with respect to yield mapping. In: **3rd International Conference on Precision Agriculture. ASA, CSSA, SSSA, ASAE**, p.1153-1163, 1996.

LEAL, J. C. G. **Mapeamento da produtividade na colheita mecanizada do café**. 2002. 74 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.

LIMA, R. C.; DE MELLO, L. M. M.; CARVALHO, M. D. P. E.; LIMA, C. G. D. R.; DE MELLO, A. M. Aspectos lineares e espaciais da correlação entre a produtividade de forragem de milho e a porosidade do solo sob plantio direto. **Engenharia Agrícola**. Jaboticabal, v. 29, n. 1, p. 40-51, 2009.

LOPES, P. R. C.; OLIVEIRA, I. V. de M. **Produção de frutas de clima temperado no semiárido brasileiro**. Disponível em: <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/859903/1/PauloRoberto.pdf>. Acesso em: 12 de agosto de 2011.

LUCHIARI JUNIOR, A.; SHANAHAN, J.; FRANCIS, D.; SCHLEMMER, M.; SCHEPERS, J.; LIEBIG, M.; SCHEPERS, A.; PAYTON, S. Strategies for establishing management zones for site specific nutrient management. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 5., 2000, Bloomington. **Proceedings**. Bloomington: ASA, CSSA, SSSA, 2000.

MANZIONE, R. L., RODRIGUES, J. B. T.; ZIMBACK, C. R. L. Análise Espacial Multivariada Aplicada na Definição de Zonas de Manejo da Acidez do Solo. In: 2^o SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE AGRICULTURA DE PRECISÃO, Viçosa, MG, Brasil, **Anais...**, 2002.

MILANI, L.; SOUZA E. G.; URIBE-OPAZO, M. A.; GABRIEL FILHO, A.; JOHANN, J. A.; PEREIRA J. O. Unidades de manejo a partir de dados de produtividade. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 28, n. 4, p. 591-598, 2006.

MOLIN, J. P.; GIMENEZ, L. M.; PAULETTI, V.; SCHMIDHALTER, U.; HAMMER, J. Mensuração da condutividade elétrica do solo por indução e sua correlação com fatores de produção. **Revista Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 25, n. 2, p. 420- 426, 2005.

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

MOLIN, J. P. **Agricultura de Precisão: O gerenciamento da variabilidade**. Piracicaba, SP, 2001. 83 p.

MOLIN, J. P. Agricultura de precisão: fundamentos e estado atual da arte. In: CÂMARA, G. M. **Soja: tecnologia da Produção II**. Piracicaba: ESALQ, Departamento de Produção Vegetal, p. 423-437, 2000.

NAKASU, B. H. In: **Pera produção**. Embrapa Informação Tecnológica. Brasília, DF, p. 9, 2003.

ORTIZ, J. L. **Geoprocessamento e agricultura de precisão**. 2004. Disponível em: <www.gpsglobal.com.br> Acesso em 10 de maio de 2007.

PERRY, E. M.; PIERCE, F. J.; DEZZANI, R. J.; SEAVERT, C. F. Spatial variation in tree characteristics and yield in a pear orchard. Springer Science+Business Media, LLC 2009. **Precision Agriculture**, v. 11, p. 42-60. 2010.

PIMENTEL GOMES, F.; GARCIA, C. H. **Estatística aplicada a experimentos agrônômicos e florestais**: exposição com exemplos e orientações pra uso de aplicativos. Piracicaba: Fealq, 2002. 309p.

QUEIROZ, D. M.; PINTO, F. A. C.; ZANDONADI, R. S.; EMERICH, I. N.; SENA JUNIOR, D.G. Uso de técnicas de agricultura de precisão para a cafeicultura de montanha. In: ZAMBOLIN L. (Ed.) **Efeitos da irrigação sobre a qualidade e produtividade do café**. Viçosa, MG. p. 77-108, 2004.

QUEIROZ, D. M.; DIAS, G. P.; MANTOVANI, E. C. Agricultura de precisão na produção de grãos. In: BORÉM, A.; GIÚDICE, M. P.; QUEIROZ, D. M.; MANTOVANI, E. C.; FERREIRA, L. R.; VALLE, F. X. R.; GOMIDE, L. R. (Eds). **Agricultura de precisão**. Viçosa: UFV. 2000. p. 1-41.

RIBEIRO JÚNIOR, P. J. **Métodos geoestatísticos no estudo da variabilidade espacial de parâmetros do solo**. 1995. 99f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 1995.

ROCHA, A. C. B. **A Geoestatística Aplicada à Avaliação e Caracterização de Reservatórios Petrolíferos**. 2005, p.84. Dissertação (Mestrado em Matemática). Programa de Pós-Graduação em Matemática. Universidade Federal de Campina Grande. Centro de Ciências e Tecnologia. 2005.

RODRIGUES, S.; SOUZA, E. G.; NÓBREGA, L. H. P.; URIBE-OPAZO, M. A.; BAZZI, Claudio L.; KONOPATZKI, M. R. S; SUSZEK, G. Spatial and temporal variability of weeds incidence in pear trees orchard. In: **Frutic Chile 2009 - 8th Fruit, Nut, and Vegetable Production Engineering Symposium**, 2009, Concepción. Proceedings of the 8th Fruit, Nut, and Vegetable Production Engineering Symposium, v. 1. p. 524-531. 2009.

RODRIGUES JUNIOR, F. A. **Geração de Zonas de Manejo para cafeicultura usando sensor SPAD e análise foliar**. 2008, 76p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola). Universidade Federal de Viçosa. Viçosa - Minas Gerais, 2008.

RODRIGUES, J. B. T.; ZIMBACK, C. R. L.; MANZIONE, R. L. Análise e Classificação de Mapas de Produtividade e de Atributos de Solo na Delimitação de Zonas de Manejo. In: 2o SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE AGRICULTURA DE PRECISÃO, Viçosa, MG, Brasil, **Anais...**, 2002.

RODRIGUES, J. B. T.; ZIMBACK, C. R. L. Delimitação de zonas de manejo através da análise e classificação de mapas de produtividade de milho e soja. **Energia Na Agricultura**, Botucatu, v. 17, n. 1, p. 44-61, 2002.

ROLAS. Rede Oficial de Laboratórios de Análise de Solo e de Tecido Vegetal do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina. **Manual de adubação e calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. Comissão de Química e Fertilidade do Solo. 10. ed. Porto Alegre, 2004.

SANTI, A. L.; AMADO, T. J. C.; DELLA FLORA, L. P.; SMANIOTTO, R. F. F. Agricultura de Precisão. É chegada a hora da integração do conhecimento. **Revista Plantio Direto**, Aldeia Norte Editora, Passo Fundo, RS. edição 109, janeiro/fevereiro de 2009.

SATO, G. S.; ASSUMPÇÃO, R. **Cultivo da pera no Brasil e no estado de São Paulo**. Informações Econômicas, São Paulo, v. 33, n. 7, 2003.

SEELAN, S. K.; LAGUETE, S.; CASADY, G. M.; SEIELSTAD, G. A. **Remote sensing applications for precision agriculture: A learning community approach**. Remote sensing of Environment, n. 88, p. 157-169, 2003.

SOUZA, E. G.; BAZZI, C. L.; STIEHL, D. Índice de suavidade de mapas temáticos. In: Universidad Nacional de Rosario. (Org.). **Avances en Ingeniería Rural 2007-2009**. Rosario: Universidad Nacional de Rosario, v. 1, p. 830-834, 2009.

SOUZA, E. C. B **Análises temporais de alta precisão utilizando GPS para avaliação das variações volumétricas ocorridas no ISTMO da Ilha do Mel**. 149p. 2002. Dissertação (Mestrado). Curso de pós-graduação em Ciências Geodésicas, UFPR, 2002.

SUSZEK, G.; SOUZA, E. G.; NÓBREGA, L. H. P.; KONOPATZKI, M. R. S.; BAZZI, C.L. Validação cruzada para avaliação do comportamento espacial do nitrogênio, potássio, cálcio e concentração de sólidos solúveis em pomar de citros. In: XXXVIII Congresso brasileiro de engenharia agrícola, 2009, Juazeiro/Petrolina. **Anais: XXXVIII Congresso brasileiro de engenharia agrícola**, v. 1, p. 1-4. 2009.

SCHEPERS, A. R.; SHANAHAN, J. F.; LIEBIG, M. A.; SCHEPERS, J. S.; JOHNSON, S. H.; LUCHIARI JR, A. Appropriateness of management zones for characterizing spatial variability of soil properties and irrigated corn yields across years. **Agronomy Journal**, Madison, v. 96, p. 195-203, 2004.

SWINDELL, J. **Mapping the spatial variability in the yield potential of arable land through GIS analysis of sequential yield maps**. In: 1st European Conference on Precision Agriculture. BIOS Scientific. p. 827-834. Warwick – UK. 1997.

SWINTON, S. M.; LOWENERG-DEBOER, J. Evaluating the profitability of site-specific farming. **Journal of Production Agriculture**, Madison, v. 11, n. 4, p. 439-446, 1998.

THOMASSON, J. A., J. WOOTEN, S. GOGINENI, R. SUI. Multitemporal remote sensing for predicting cotton yield. In: BELTWIDE COTTON CONFERENCE, 2003, Nashville. **Proceedings...** Memphis: National Cotton Council, p. 604-24, 2003.

TRANGMAR, B. B.; YOST, R. S.; WADE, M. K.; UEHARA, G. Applications of geostatistics to spatial studies of soil properties. **Advances in Agronomy**, v. 38, n. 1, p. 45-94, 1985.

XIANG, L. Delineation and scale effect of precision agriculture management zones using yield monitor data over four years. **Agriculture Sciences**, Maryland, v. 6, n. 2, p. 180-188, 2007.

WEBSTER, R.; OLIVER, M. A. **Statistical Methods in soil and land resource survey**. Oxford University Press. New York. 1990.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A falta de experiência em pesquisas de agricultura de precisão (AP) em culturas perenes trouxe dificuldades não previstas na execução deste projeto. O ineditismo inerente à pesquisa apresentou toda sorte de dificuldades, entre elas, a adaptação de metodologias e técnicas já existentes para a condução deste trabalho em pomar de peras. A confrontação dos resultados alcançados é um exemplo, haja vista existirem poucas pesquisas de AP em peras, na literatura.

A partir dos resultados obtidos, pode-se inferir que outros parâmetros devem ser investigados para ratificação desses. Uma das questões diz respeito à fisiologia da planta, assunto pouco abrangido no contexto deste trabalho, mas de grande influência na produtividade. Questões como polinização, podas, quebra de dormência e porta-enxerto são significativas no processo produtivo de plantas perenes. Também como proposta de estudos futuros, sugere-se avaliar o teor de nutrientes exportados pelo fruto.

É possível afirmar que o padrão da variabilidade presente na área de produção não se repete mesmo em pequenas subáreas. Portanto, cada situação representa um problema de manejo novo e desafiador. Novas pesquisas devem ser realizadas com enfoque no manejo da variabilidade dos fatores de produção.

O Estado do Paraná possui todas as condições necessárias para se tornar um grande produtor de frutas. No entanto, para isso, é necessário o aprofundamento em projetos e pesquisas que tragam subsídios ao produtor para a inserção de tal atividade em sua propriedade.

CONCLUSÕES GERAIS

De acordo com as condições em que este trabalho foi conduzido, a partir dos resultados obtidos, pode-se concluir que:

- A variabilidade da produtividade dentro do pomar foi considerada muito elevada, portanto, pode se caracterizar uma grande heterogeneidade;
- A produtividade apresentou correlação linear muito fraca e fraca com todos os atributos físicos e químicos do solo e químicos da planta bem como correlação linear e não linear moderada com o comprimento do fruto;
- Todas as variáveis estudadas apresentaram estrutura de dependência espacial, com exceção da macroporosidade, porosidade total (0-20 cm) e densidade do fruto, o que permite a aplicação localizada de fertilizantes;
- A metodologia de geração de unidade de manejo (UM) utilizando produtividade normalizada foi mais adequada por proporcionar uma distribuição das UMs mais apropriada ao manejo da área.