

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS**  
Programa de Pós-Graduação em Sistemas de Produção  
Agrícola Familiar



**Tese**

**Variabilidade espacial e temporal de atributos agronômicos  
em pomar de pessegueiro**

**Viviane Santos Silva Terra**

Pelotas, 2012

Viviane Santos Silva Terra

**Variabilidade espacial e temporal de atributos agronômicos  
em pomar de pessegueiro**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Sistemas de Produção Agrícola Familiar da Universidade Federal de Pelotas, como requisito parcial à obtenção do título de Doutora em Agronomia.

Orientador: Prof. Dr. Luís Carlos Timm - UFPel

Co-orientador: Pesq. Dr. Carlos Reisser Júnior-Embrapa Clima Temperado

Pelotas, 2012

**Dados de catalogação na fonte:**  
( Marlene Cravo Castillo – CRB-10/744 )

T323v Terra, Viviane Santos Silva

Variabilidade espacial e temporal de atributos  
agronômicos em pomar de pessegueiro / Viviane  
Santos Silva Terra ; orientador Luís Carlos Timm ;  
co-orientador Carlos Reisser Júnior - Pelotas, 2012.-  
103f. ; il.- Tese ( Doutorado) –Programa de Pós-  
Graduação em Sistemas de Produção Agrícola  
Familiar. Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel .  
Universidade Federal de Pelotas. Pelotas, 2012.

1.Prunus persica 2.Análise multivariada  
3.Análise geoestatística 4.Atributos físico-hídricos do

**Banca examinadora:**

Prof. Dr. Luís Carlos Timm - UFPel

Prof. Dr. Flávio Gilberto Herter - UFPel

Prof. Dr. Marcelo Peske Hartwig - IFsul

Pesq. Dr. José Maria Alba Filippini - Embrapa Clima Temperado

Aos meus pais Vanderlei e Marly (in memoriam)

**Dedico**

## **Agradecimentos**

À Deus, que em sua infinita bondade deu-me saúde para levar avante meus projetos.

Ao Programa de Pós-Graduação em Sistemas de Produção Agrícola Familiar da Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas.

À Embrapa Clima Temperado, pelo uso da infra-estrutura na condução dos trabalhos.

À CAPES pelo suporte através da concessão de bolsa.

Ao Prof. Dr. Luís Carlos Timm (orientador) e ao Pesq. Dr. Carlos Reisser Júnior (co-orientador), pela oportunidade, confiança, incentivo, amizade e paciência.

Ao Pesq. Msc. Ricardo Valgas, pela orientação, incentivo e amizade.

Ao Pesq. Dr. Ricardo Inamasu, coordenador da Rede de Pesquisa e Desenvolvimento em Agricultura de Precisão da Embrapa - Macroprograma 1, pelas oportunidades durante o desenvolvimento do trabalho.

Ao produtor Marcus Fiss, pela concessão da área experimental.

Aos Pesquisadores Msc. José Francisco Pereira, Msc. Flávio Luis Carvalho, Dr. José Maria Alba Filippini pela amizade e confiança.

À Pesq. Dr<sup>a</sup>. Célia Grego da Embrapa Monitoramento por Satélite, pela orientação com a geoestatística e amizade.

Aos colegas do Laboratório de Agrometeorologia da Embrapa Clima Temperado, Dr. Silvio, Dr. Ivan, Dr. Santiago, Matheus, Fabiano, Henrique, Lauricio, Andersson, Gabriel e a Carmem pela paciência, ajuda e amizade.

Aos funcionários do Laboratório de Física do Solo e também aos Motoristas da Embrapa Clima Temperado, pela colaboração e amizade.

Aos funcionários da gráfica da Embrapa Clima Temperado João Carlos, Claudio e Elton, pelo carinho e amizade.

Aos meus “Amigos Especiais” Denise Duarte e Édson Kaster, pela colaboração, amizade, carinho e constante incentivo.

À Fabia, Lúcia, Daiane, Samira, Denise Martins, Leandro e Rogério, pela amizade e apoio.

Ao Lúcio, pelo amor, dedicação, paciência e constante incentivo.

A todos, aqui citados ou não, que contribuíram de alguma forma, direta ou indiretamente, para realização deste trabalho.

## RESUMO

TERRA, V.S.S. **Variabilidade espacial e temporal de atributos agronômicos em pomar de pessegueiro.** 2012, 103p. Tese (Doutorado em Agronomia), Universidade Federal de Pelotas, Pelotas-RS.

A fruticultura é um importante componente do agronegócio brasileiro assumindo destaque na economia do estado do Rio Grande do Sul (RS). O município de Pelotas, localizado no sul do RS, é responsável por 90% da produção de pêssego, possuindo condições adequadas de clima e solo para a sua produção. Um dos principais problemas enfrentados pelos produtores de frutas é o manejo do pomar, que tem sido realizado de forma homogênea, sem considerar a variabilidade espacial e temporal dos atributos do solo, da planta e do clima dentro do pomar. Desta forma, alguns aspectos merecem atenção dos pesquisadores, dentre os quais, pode-se destacar o conhecimento do ambiente físico no qual o pessegueiro se desenvolve. Este trabalho teve como objetivos avaliar a relação entre os atributos físico-hídricos do solo e da planta por meio da análise de correlação canônica, determinar a estrutura de correlação espacial e temporal dos atributos físico-hídricos do solo, da planta de pessegueiro e do clima, por meio da técnica de geoestatística. O trabalho foi conduzido em uma área experimental, localizada no município do Morro Redondo-RS, cultivada com a cultivar de pêssego Esmeralda com 18 linhas, totalizando 1.450 plantas, onde foi estabelecida uma malha experimental composta por 101 plantas. A 0,50m do lado direito da cada planta, foram abertas trincheiras para a coleta de amostras deformadas e indeformadas de solo para determinação dos atributos físico-hídricos, nas profundidades de 0,00-0,10m e de 0,10-0,20m: teores de areia, silte e argila, densidade do solo, porosidade total, macro e microporosidade do solo e umidade volumétrica. Também foram avaliados os seguintes atributos da planta nos anos de 2010 e 2011: diâmetro do tronco, tamanho do fruto/planta, número total de frutos/planta, massa fresca dos frutos, firmeza de polpa, teor de brux e produtividade. Os atributos do clima temperatura do ar e umidade relativa do ar também foram avaliados dentro do pomar. Todos os conjuntos de dados foram submetidos a análise exploratória por meio da estatística descritiva. A análise de correlação canônica foi aplicada para analisar as inter-relações entre as variáveis do solo e da planta, enquanto que, a geoestatística foi aplicada para avaliar a estrutura de correlação espacial e temporal de todos os dados bem como relação entre eles. Resultados mostram que a análise de correlação canônica permitiu identificar as variáveis do solo argila e microporosidade como as mais fortemente correlacionadas com a produtividade do pessegueiro e que a análise geoestatística permitiu delimitar as zonas homogêneas dos atributos do solo, da planta e do clima bem como inferir visualmente sobre as inter-relações espaciais entre as variáveis. A associação dos mapas das variáveis do solo, da planta e do clima indica que os futuros manejos diferenciados de práticas agrícolas deverão se basear na distribuição espacial das variáveis no pomar de pessegueiro visto que isto possibilitará a racionalização da aplicação de insumos e de água e a preservação dos recursos naturais na propriedade.

Palavras-chave: *Prunus* pérsica, análise multivariada, atributos físico-hídricos do solo, atributos da planta, atributos do clima, análise geoestatística

## ABSTRACT

TERRA, V.S.S. **Spatial and temporal variability of agronomic attributes in peach orchard**. 2012, 99p. Thesis (Ph.D. in Agronomy), Universidade Federal de Pelotas, Pelotas-RS.

The fruitculture is an important component of Brazilian agribusiness assuming prominence in the economy of the state of Rio Grande do Sul (RS). The municipality of Pelotas, located in the south part of RS state, is responsible for 90% of peach production having adequate conditions of climate and soil for its production. One of the main problems faced by fruit farmers is the management of the peach orchard, which has been homogeneously managed, without considering the spatial and temporal variability of soil, plant and climate attributes in the peach orchard. Therefore, some aspects deserve attention from researchers, among them we can highlight the knowledge of the physical environment in which the peach tree grows. This work had as objectives: i. to evaluate the relationship between soil hydric-physical and crop attributes through the canonical correlation analysis, ii. to determine the spatial and temporal structures of soil hydric-physical, crop and climate attributes, applying geostatistics analysis. The work was conducted in an experimental area, located in the city of Morro Redondo-RS, cultivated with 18 line peach crops, cv. Esmeralda, totaling 1,450 plants. In this area was established a experimental grid consisted of 101 experimental peach trees. At a distance of 0.50m to the right side of each crop tree, trenches were opened to collect disturbed and undisturbed soil samples to determine the following soil hydric-physical attributes, in the 0.00-0.10m and 0.10-0.20m soil layers: sand, silt and clay contents, soil bulk density, soil total porosity, soil macro- and micro-porosities, and volumetric soil water content. We also evaluated the following peach crop attributes in the years of 2010 and 2011: trunk diameter, size of the fruit/plant, total number of fruits/plant, fresh mass of fruits, fruit firmness, brix content and crop productivity. The attributes of climate air temperature and relative humidity were also evaluated in the peach orchard. All data sets were submitted to descriptive statistical analysis. The correlation between soil and crop attributes was evaluated by canonical correlation analysis. The spatial and temporal variability structures of all data sets were evaluated by geostatistics as well as the relationship between them. Results show that the canonical correlation analysis identified the highest correlation coefficients of soil micro-porosity and clay content variables and peach productivity, and that the geostatistical analysis allowed establishing homogeneous management zones of soil, crop and climate attributes as well as to infer, visually, spatial inter-relationships between variables. The association of soil, crop and climate maps indicates that future differentiated managements of agricultural practices on the peach orchard should be based on the spatial distribution of these variables aiming rational water and fertilizer applications to preserve natural resources in the agricultural farmers.

Keywords: *Prunus persica*, multivariate analysis, soil hydric-physical properties, crop attributes, climate attributes, geostatistical analysis.

## Lista de Figuras

### Revisão de literatura e Metodologia geral

Figura 1 Semivariogramas experimental e teórico com os seus parâmetros.....	23
Figura 2 Mapa do Estado do Rio Grande do Sul com a localização do município de Morro Redondo.....	30
Figura 3 Imagem aérea da área experimental obtida pelo programa computacional Google Earth (2010).....	30
Figura 4 Localização das curvas de nível na área experimental.....	31
Figura 5 Localização dos pontos cotados nas linhas de planta na área experimental.....	31
Figura 6 Imagem aérea do pomar ilustrando a malha experimental e as 101 plantas selecionadas.....	32

### Capítulo 2

Figura 1 Mapas de isolinhas dos atributos areia, argila e silte ( $\text{g kg}^{-1}$ ) e da densidade do solo ( $\text{g cm}^{-3}$ ) em uma área cultivada com pessegueiro, nas camadas de 0,00-0,10m e 0,10-0,20m.....	61
Figura 2 Mapas de isolinhas dos atributos porosidade total (%), macroporosidade (%), microporosidade (%) e umidade volumétrica (%) nas camadas de 0,00-0,10m e 0,10-0,20m, e da profundidade do horizonte "A" (cm) em uma área cultivada com pessegueiro.....	62
Figura 3 Mapas de isolinhas dos atributos peso médio do fruto/planta (kg), diâmetro do tronco (cm), número de frutos/planta e tamanho do fruto/planta em um pomar de pessegueiro para os anos de 2010 e 2011.....	65
Figura 4 Mapas de isolinhas dos atributos firmeza de polpa (Lb), teor de brix ( $^{\circ}$ ) e produtividade ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) nos anos de 2010 e 2011 em um pomar de pessegueiro.....	66

### Capítulo 3

Figura 1 Estações automáticas para coleta de dados de temperatura e umidade relativa do ar no pomar de pessegueiro. (a) estação modelo Squitter próxima ao pomar. (b e c) estação móvel acoplada ao trator.....	70
Figura 2 Valores de umidade relativa do ar e valores das diferenças de U.R. entre a estação fixa e a móvel, para os períodos analisados.....	73
Figura 3 Valores de temperatura do ar e valores das diferenças de Temp. entre a estação fixa e a móvel, para os períodos analisados.....	74

Figura 4 Mapas de distribuição espacial das diferenças entre os dados de temperatura (DIF Temp., °C) e umidade relativa do ar (DIF U.R., %) coletados na estação fixa e na estação acoplada ao trator no dia 10/08/2010, para o período da manhã e da tarde.....

## Lista de Tabelas

### Capítulo 1

Tabela 1 Identificação das variáveis em cada grupo.....	40
Tabela 2 Parâmetros da estatística descritiva para os atributos da planta nos anos de 2010 e 2011.....	42
Tabela 3 Parâmetros da estatística descritiva para os atributos físico-hídricos do solo.....	43
Tabela 4 Coeficientes de correlações canônicas (r) e pares canônicos entre o grupo das variáveis físico-hídricas do solo (grupo 1) e o grupo da planta (grupo 2) no ano de 2010.....	44
Tabela 5 Coeficientes de correlações canônicas (r) e pares canônicos entre o grupo das variáveis físico-hídricas do solo (grupo 1) e o grupo da planta (grupo 2) no ano de 2011.....	46
Tabela 6 Análise dos índices dos grupos por meio das cargas canônicas (loadings) e cargas canônicas cruzadas (cross-loadings) para os anos de 2010 e 2011.....	48

### Capítulo 2

Tabela 1 Parâmetros da estatística descritiva para os atributos físico-hídricos do solo.....	56
Tabela 2 Parâmetros da estatística descritiva para os atributos da planta nos anos de 2010 e 2011.....	57
Tabela 3 Modelos teóricos de semivariogramas e respectivos parâmetros de ajustes dos atributos físico-hídricos do solo nas camadas de 0,00-0,10m e de 0,10-0,20m, grau de dependência espacial (GD) e respectiva classe de acordo com Zimback (2001).....	59
Tabela 4 Parâmetros da análise semivariográfica dos atributos da planta nos anos de 2010 e 2011.....	63

### Capítulo 3

Tabela 1 Resultados da estatística descritiva aplicada aos dados de temperatura (Temp., °C) e umidade relativa do ar (U.R., %) em área de pessegueiro no dia 10/08/2010.....	72
Tabela 2 Modelos matemáticos dos semivariogramas e respectivos parâmetros de ajustes para as diferenças dos valores de temperatura (DIF Temp, °C) e de umidade relativa do ar (DIF U.R., %) no dia 10/08/2010, período da manhã (7:00h as 9:00h) e da tarde (13:00h as 15:00h).....	74

## Sumário

<b>Resumo</b> .....	6
<b>Abstract</b> .....	7
Lista de Figuras.....	8
Lista de Tabelas.....	10
<b>Sumário</b> .....	11
<b>1 Introdução geral</b> .....	13
1.1 Objetivo geral.....	14
1.1.1 Objetivos específicos.....	15
1.2 Hipóteses.....	15
<b>2 Revisão de literatura</b> .....	16
2.1 Características gerais do pessegueiro.....	16
2.2 Agricultura de precisão.....	17
2.3 Variabilidade espacial e temporal dos atributos físico-hídricos do solo.	18
2.4 Variabilidade espacial e temporal dos atributos da planta.....	20
2.5 Variabilidade espacial e temporal dos atributos do clima.....	20
2.6 Geoestatística.....	21
2.6.1 Semivariograma.....	22
2.6.2 Modelos matemáticos de semivariogramas.....	24
2.6.3 Krigagem.....	25
2.7 Análise de correlação canônica.....	25
<b>3 Metodologia geral</b> .....	29
3.1 Localização da área experimental.....	29
3.2 Mapeamento e georreferenciamento da área experimental.....	30
3.3 Descrição do pomar de pessegueiro.....	31
3.4 Descrição da área experimental.....	32
3.5 Determinação dos atributos físico-hídricos do solo.....	32
3.6 Determinação dos atributos da planta.....	33
3.7 Estatística descritiva e análise de correlação canônica .....	34
3.8 Análise geoestatística.....	34
<b>4 Capítulo 1</b> Aplicação da análise de correlação canônica entre os atributos físico-hídrico do solo e da planta em um pomar de pessegueiro.....	36

4.1 Introdução.....	36
4.2 Material e métodos.....	38
4.3 Resultados e discussão.....	41
4.3.1 Estatística descritiva dos atributos da planta e dos atributos físico-hídricos do solo.....	41
4.3.2 Avaliação das correlações canônicas entre os grupos dos atributos.....	43
4.4 Conclusões.....	50
<b>5 Capítulo 2</b> Estrutura de variabilidade espacial e temporal dos atributos físico-hídricos do solo e da planta em um pomar de pessegueiro.....	51
5.1 Introdução.....	51
5.2 Material e métodos.....	53
5.3 Resultados e discussão.....	55
5.3.1 Variabilidade espacial dos atributos físico-hídricos do solo.....	55
5.3.2 Variabilidade espacial e temporal dos atributos da planta.....	63
5.4 Conclusões.....	67
<b>6 Capítulo 3</b> Estrutura de variabilidade espacial e temporal da temperatura e umidade relativa do ar em um pomar de pessegueiro.....	68
6.1 Introdução.....	68
6.2 Material e métodos.....	70
6.3 Resultados e discussão.....	72
6.4 Conclusões.....	77
<b>Discussão geral</b> .....	78
<b>Conclusões gerais</b> .....	80
<b>Referências</b> .....	81
<b>Apêndice</b> .....	87

## 1 Introdução geral

A fruticultura é um importante componente do agronegócio brasileiro assumindo destaque na economia do estado do Rio do Grande do Sul (RS). Os pomares que geram renda nas pequenas, médias e grandes propriedades, além de originarem empregos diretos e indiretos, também diversificam a economia do RS.

O Estado é o primeiro produtor nacional de uva, pêssego, figo, pêra, nectarina e kiwi, e possui expressiva participação no mercado de ameixa, maçã, morango, caqui, banana e abacaxi (EMATER, 2005). A cultura do pessegueiro se destaca, dentre as fruteiras de clima temperado, pelo fato de ser de alta rentabilidade e também uma alternativa para geração de renda e emprego (NAKASU, 2003).

A região de Pelotas no Sul do RS possui condições adequadas de clima e solo para o desenvolvimento da cultura do pêssego, porém existe a necessidade de pesquisas com inovações tecnológicas que visem o aumento da produtividade e da qualidade da sua produção (HERTER et al., 2003).

Um dos principais problemas enfrentados pelos produtores de frutas é o manejo do pomar, que tem sido, na maioria das vezes, realizado de forma homogênea, sem considerar a variabilidade espacial dentro da área e a existência de áreas específicas (ESSER, 2002). A delimitação de áreas homogêneas permitirá um manejo adequado, de acordo com a necessidade de cada local, de forma precisa em cada ponto, melhorando assim a qualidade do fruto e aumentando a produtividade do pomar (SORT, 2005).

Desta forma, alguns aspectos merecem atenção da pesquisa, dentre os quais, pode-se destacar o conhecimento do ambiente físico no qual o pessegueiro se desenvolve. Neste sentido, o estudo da variabilidade espacial e temporal dos atributos do solo, da planta e do clima poderá conduzir a técnicas de manejo mais apropriadas, buscando a racionalização do uso da água, a aplicação de fertilizantes e corretivos e a preservação dos recursos naturais disponíveis.

Nesse contexto, a agricultura de precisão (AP) apresenta-se com o objetivo de aplicar os insumos no local exato, no momento oportuno e na quantidade necessária às necessidades das plantas, buscando um aumento na sua produtividade. Desta forma, o estudo da variabilidade espacial e temporal, bem como das interações e influências dos inúmeros fatores relacionados com a produtividade da cultura, têm-se mostrado um grande desafio para os pesquisadores.

A geoestatística, baseada na Teoria das Variáveis Regionalizadas, é uma ferramenta muito utilizada na AP, em que o valor de uma determinada variável, em uma posição no campo, depende da sua localização. Ela tem sido aplicada para determinar a variabilidade espacial e temporal dos atributos do sistema solo-planta-atmosfera, por meio do semivariograma e do interpolador geoestatístico denominado de krigagem. Por isso, a identificação da estrutura de variabilidade espacial e temporal dos atributos do solo, da planta e do clima, o seu respectivo mapeamento na área de interesse e o estudo da possível relação existente entre eles, é o primeiro passo para a determinação do melhor manejo a ser adotado.

O presente trabalho foi dividido em três capítulos, quais sejam: i) Aplicação da análise de correlação canônica entre os atributos físico-hídricos do solo e da planta em um pomar de pessegueiro; ii) Estrutura de variabilidade espacial e temporal dos atributos físico-hídricos do solo e da planta em um pomar de pessegueiro; e iii) Estrutura de variabilidade espacial e temporal da temperatura e umidade relativa do ar em um pomar de pessegueiro.

## **1.1 Objetivo geral**

Avaliar a relação entre os atributos físico-hídricos do solo e os atributos da planta por meio da análise de correlação canônica, determinar a estrutura de correlação espacial e temporal dos atributos físico-hídricos do solo e da planta, e determinar a estrutura de variabilidade espacial e temporal da temperatura e umidade relativa do ar por meio da técnica de geoestatística, visando possibilitar manejos diferenciados no pomar de pessegueiro.

### **1.1.1 Objetivos específicos**

- Avaliar a correlação entre os atributos físico-hídricos do solo e os atributos da planta usando a técnica estatística de correlações canônicas;
- Identificar e mapear os diferentes padrões de comportamento espacial e temporal dos atributos físico-hídricos do solo usando técnicas geoestatísticas;
- Identificar e mapear os diferentes padrões de comportamento espacial e temporal dos atributos da planta usando técnicas geoestatísticas;
- Identificar e mapear os diferentes padrões de comportamento espacial e temporal dos atributos do clima usando técnicas geoestatísticas;
- Associar os mapas dos atributos físico-hídricos do solo e da planta visando manejos diferenciados de práticas agrícolas baseado na estrutura de variabilidade espacial desses atributos.

### **1.2 Hipóteses**

i) A geoestatística pode ser usada para avaliar a estrutura de variabilidade espacial e temporal dos atributos físico-hídricos do solo, da planta e do clima, gerando mapas para delimitar áreas homogêneas e, a partir daí, associá-los bem como para inferir sobre estratégias de novas amostragens em campo.

ii) O estudo da variabilidade espacial permite a identificação de subáreas para fins de tomada de decisão no manejo diferenciado de práticas agrícolas em um pomar de pessegueiro e poderá possibilitar a economia de fertilizantes, de água, de energia e aumento da produtividade do pessegueiro.

## 2 Revisão de literatura

Nesta revisão de literatura, será apresentada uma revisão geral para os três capítulos que compõem a tese. Sendo dividida em itens, servindo de suporte para o desenvolvimento das técnicas apresentadas. No item 2.1, será apresentada as características gerais do pessegueiro. No item 2.2, serão apresentados os conceitos de Agricultura de Precisão e sua aplicação. Nos itens 2.3, 2.4 e 2.5, serão apresentadas a importância da variabilidade espacial e temporal para os atributos físico-hídricos do solo, da planta e do clima. No item 2.6, será apresentado o conceito de geoestatística, incluindo os semivariogramas e seus modelos matemáticos, e a técnica de interpolação por krigagem. No item 2.7, será apresentada a análise de correlação canônica abordando, os seus aspectos metodológicos e suas aplicações.

### 2.1 Características gerais do pessegueiro

No Brasil, o pessegueiro foi introduzido em 1532, por Martin Afonso de Souza, através de mudas trazidas da Ilha da Madeira e plantadas na Ilha de São Vicente, a primeira cidade do Brasil, localizada em São Paulo. É considerada uma espécie nativa da China, com referências na literatura chinesa de 20 séculos a.C (SACHES; CAMPOS, 1998).

O pessegueiro pertence à família Rosácea, subfamília Prunoidea, gênero *Prunus* (L.) e subgênero *Amydalus*, sendo que as cultivares comerciais pertencem à espécie *Prunus persica* (L.) Batsch.

Segundo a FAO (2011), China, Itália, Estados Unidos e Espanha foram os principais países produtores de pêssigo e nectarina no ano de 2009, produzindo cerca de 14,2 milhões de toneladas. No ano de 2009, o Brasil produziu 216.236 toneladas de pêssigos, numa área de 19.043ha (IBGE, 2011).

O estado do Rio Grande do Sul é o maior produtor de pêssego do Brasil, tanto em produção como em área plantada, com um total produzido no período de 2001-2005 situado entre 109 e 123 mil toneladas, mantendo-se com cerca de 50% da produção nacional de pêssegos, que, no mesmo período, situou-se na faixa entre 218 mil e 235,8 mil toneladas. Sua produtividade média é de  $7,35t\ ha^{-1}$ , e a nacional é de  $9,51t\ ha^{-1}$ . A produção destina-se tanto para indústria como para o consumo “*in natura*”, mas o estado é considerado tipicamente produtor de frutos para industrialização (IBGE, 2011).

A região de Pelotas, localizada no sul do Rio Grande do Sul, é responsável por 90% da produção de pêssego do estado. Dentre os municípios que pertencem a região de Pelotas, o de Morro Redondo, em 2009, produziu 5.100 toneladas em uma área de 750ha (IBGE, 2011), refletindo desta maneira a importância do pêssego para a economia local.

## 2.2 Agricultura de Precisão

Com o passar dos anos as atividades agrícolas tem se tornado cada vez mais competitivas, exigindo do agricultor maior nível de especialização e capacidade de gerenciamento de sua propriedade. Para o sucesso dessa atividade é importante à obtenção de informações sobre os fatores que interagem com a lavoura ou pomares e o desenvolvimento de novas tecnologias que possam minimizar as perdas de produtividade. Nesse contexto, surge o conceito de Agricultura de Precisão (AP) que utiliza um conjunto de tecnologias que possibilitam o gerenciamento das culturas, levando em consideração a variabilidade espacial e temporal, visando à otimização da produção agrícola e a minimização do impacto ambiental.

Para Dellamea (2008), a AP já era praticada nos primórdios da agricultura quando predominava uma agricultura familiar explorada em pequenas áreas, não podendo ser considerada uma tecnologia nova. Nesse período, devido ao trabalho manual que era desempenhado, também era possível aos agricultores conhecerem a sua lavoura em cada local específico, podendo observar as diferenças entre os atributos do solo e os seus efeitos no desenvolvimento e na produtividade das culturas.

No Brasil, as primeiras pesquisas aplicando AP ocorreram na segunda metade da década de 90, com a chegada dos equipamentos de GPS (Global

Positioning System), programas computacionais e dispositivos voltados à obtenção de dados georeferenciados. A AP é uma tecnologia que engloba aspectos da variabilidade dos solos, do clima, da diversidade das culturas, de desempenho de máquinas agrícolas e de insumos. Com base nesses aspectos, Pierce e Nowak (1999) adotaram a seguinte definição: “Agricultura de Precisão é a aplicação de princípios e tecnologias para manejar a variabilidade espacial e temporal, associada com todos os aspectos da produção agrícola, com o objetivo de aumentar a rentabilidade na agricultura e a qualidade ambiental”. De acordo com Manzatto et al. (1999), a idéia principal da AP é aplicar os insumos no local correto, no momento adequado e em quantidades necessárias para áreas cada vez menores e mais homogêneas.

Existem poucos estudos utilizando o conceito da AP em pequenas áreas, principalmente na produção de frutas, como meio de suporte ao produtor para minimizar custos, conhecer as diferentes zonas de manejo e aumentar a produtividade. Porém, a filosofia da AP pode ser adotada em qualquer tamanho de área, pois em pomares de pequeno porte também existe variabilidade (TERRA et al., 2011). Neste contexto, a fruticultura possui um potencial para adoção da Agricultura de Precisão. Dentre as fruteiras, mais especificamente para o pessegueiro, poucos trabalhos têm sido realizados com enfoque de manejo cultural baseado na aplicação da AP, visando o aumento da sua produtividade, redução de custos e minimização dos impactos ambientais.

### **2.3 Variabilidade espacial e temporal dos atributos físico-hídricos do solo**

Um dos principais fatores que deve ser levado em consideração no planejamento da produção agrícola é a condição inicial do solo. Numa paisagem natural, o solo apresenta grande variabilidade dos seus atributos, no sentido horizontal e vertical, resultante da interação dos fatores que atuaram na sua formação.

Andrade et al. (2005) enfatizam que desde o início do século XX, a variabilidade do solo, e conseqüentemente dos seus atributos, tem preocupado pesquisadores pelo fato dela apresentar alterações nos resultados de pesquisa relacionados a produtividade, mesmo o solo sendo considerado homogêneo em parcelas experimentais. A partir da década de 70, pesquisas sobre variabilidade

especial dos atributos do solo tomaram novo impulso, podendo-se citar os trabalhos de Vieira et al. (1981), Nielsen et al. (1983), Reichardt et al. (1986), Silva (1988), Dourado Neto (1989), entre outros. Esses autores evidenciam a importância do estudo da variabilidade dos atributos do solo, de várias classes de solos e em diferentes ecossistemas, no intuito de buscar um melhor entendimento das relações no sistema solo-planta-atmosfera. Para Coelho Filho et al. (2001), a caracterização da variabilidade do solo é essencial para um melhor entendimento das inter-relações entre os atributos do solo e fatores ambientais.

A variabilidade espacial e temporal dos atributos do solo está relacionada a fatores como: clima, tempo, relevo, ação de organismos, variação do material de origem nos processos de formação do solo e efeitos de técnicas de manejo (CÔRREA et al., 2009). O conhecimento da variabilidade é de extrema importância no que diz respeito às propriedades que influenciam na armazenagem de água no solo, tais como: profundidade do solo, capacidade de infiltração de água, topografia, fertilidade e clima da região (GONÇALVES et al., 2001). Li et al. (2002) mencionam que a qualidade estrutural dos solos tem sido associada às condições favoráveis ao crescimento do sistema radicular, aeração, infiltração e movimento da água no seu perfil. Coelho Filho et al. (2001) destacam que a água é considerada a principal variável que interfere no crescimento vegetal, sendo muito importante sua manutenção em níveis não limitantes ao longo do ciclo produtivo da cultura, seja por meio de técnicas de conservação da água no solo ou pelo fornecimento de água por irrigação.

Até pouco tempo, pesquisadores da área agrônômica estudavam a variabilidade dos atributos do solo por meio da estatística clássica, a qual pressupõe que as observações de um dado atributo são independentes entre si, desconsiderando sua localização na área (REICHARDT; TIMM, 2012). Sendo assim, os autores mencionaram que os experimentos eram conduzidos para minimizar o impacto da variabilidade espacial, não levando em conta o fato de que as observações podem ser espacialmente dependentes.

## **2.4 Variabilidade espacial e temporal dos atributos da planta**

O avanço tecnológico na fruticultura tem mostrado a importância do estudo da variabilidade espacial e temporal dos fatores que afetam a produtividade das culturas, buscando com isso otimizar o aproveitamento dos recursos naturais e diminuir os custos de produção. Segundo Acock e Pachepsky (1997), existem alguns fatores climáticos que podem afetar a produtividade das culturas, tais como: o vento, a temperatura do ar, a radiação solar e a precipitação. Como a planta do pessegueiro está sujeita aos fatores acima citados, a sua produtividade também pode ser influenciada pela variabilidade desses fatores.

A água é considerada um dos principais fatores que afeta o rendimento das culturas, onde um pequeno desequilíbrio no seu fluxo, no interior da planta, pode causar estresse hídrico e mau funcionamento de inúmeros processos celulares, principalmente no crescimento do pessegueiro. Portanto, a produtividade das culturas, limitada pela disponibilidade de água no solo e pela alta demanda evaporativa, depende da quantidade disponível deste recurso e da eficiência do seu uso (TAIZ; ZEIGER, 2004). Sendo assim, quanto maior for a extensão da camada de um mesmo tipo de solo explorada pelo sistema radicular das plantas, maior será a lâmina de água disponível para o consumo. Por outro lado, a demanda atmosférica também exerce papel de fundamental importância no estado hídrico da cultura. A falta ou excesso de água é frequente fator de diminuição da produtividade e, por isso, seu manejo é essencial para a maximização da produtividade agrícola (RAMOS, 2002). Segundo Farias et al. (2003), a produtividade varia espacialmente e determinar essa variação torna-se um fator que deve ser estudado por meio de técnicas como, por exemplo, a geoestatística, que possibilita a elaboração de mapas, delimitando áreas que necessitem de um manejo diferenciado.

## **2.5 Variabilidade espacial e temporal dos atributos do clima**

O Brasil com sua grande extensão territorial possui heterogeneidade climática, dos tipos de solos e da topografia que favorecem ou desfavorecem ao desenvolvimento de determinadas culturas. No estado do Rio Grande do Sul, a economia é basicamente alicerçada na agricultura, sendo voltada para culturas

adaptadas as características climáticas de cada região baseando-se em zoneamentos agroclimáticos.

Os elementos do clima e do tempo afetam diretamente o crescimento e o desenvolvimento das plantas sobre diferentes formas e nas diversas fases do ciclo da cultura, podendo ocasionar prejuízos na sua produtividade. Por isso, a agricultura atual exige que se conheça o comportamento dessas variáveis em uma determinada região para que se possa realizar o planejamento e a implantação de uma atividade agrícola (PEREIRA et al., 1997).

A temperatura do ar é um dos fatores que exerce influência sobre vários aspectos na produtividade vegetal, principalmente no crescimento e desenvolvimento das plantas. A tolerância aos níveis de temperatura varia de acordo com a espécie, variedade e o ciclo da cultura. Pode-se dizer também que a umidade relativa do ar é um dos elementos importantes para a produtividade da cultura (PEREIRA et al., 2002). A umidade relativa e a temperatura do ar estão relacionadas ao consumo de água pelas plantas, visto que fazem parte das equações de cálculo da evapotranspiração potencial de determinada região. Para Pereira et al. (1997), a evapotranspiração é controlada pela demanda atmosférica e pelo fornecimento de água do solo às plantas, sendo esse dependente do local e da época do ano. Ramos et al. (2011) mencionam que o conhecimento das condições climáticas e sua variação ao longo do ciclo da cultura são importantes para a tomada de decisão e consequente intervenção, com objetivo de aumentar o seu rendimento.

## **2.6 Geoestatística**

A geoestatística e a estatística clássica diferem entre si na forma de estudar a variabilidade das variáveis de interesse. Entretanto, a aplicação de uma complementa a da outra (REICHARDT; TIMM, 2012). Para a aplicação da estatística clássica, a pressuposição de independência entre as observações adjacentes de uma variável aleatória deve ser atendida. A aplicação da geoestatística, por sua vez, permite identificar até que distância as observações adjacentes de uma dada variável são espacialmente correlacionadas entre si.

A geoestatística surgiu na África do Sul, quando o Engenheiro de Minas D.G. Krige, em 1951, trabalhando com dados de concentração de ouro, concluiu que não conseguia encontrar sentido nas variâncias se não levasse em consideração a

distância entre as amostras (FARIAS et al., 2003). Matheron (1963), baseado nas observações de Krige, desenvolveu uma teoria, a qual chamou de Teoria das Variáveis Regionalizadas, que contém os fundamentos da Geoestatística.

Uma dada variável regionalizada  $Z(x_i)$ , para qualquer posição  $x_i$  dentro da área “S”, pode ser considerada como sendo a realização do conjunto de variáveis aleatórias  $Z(x_i)$ . Esse conjunto de variáveis é chamado de função aleatória,  $Z(x_i)$  (JOURNEL; HUIJBREGTS, 1978). Quando o objetivo do estudo for estimar valores para os locais não amostrados, existe a necessidade de se introduzir uma condição restritiva com a finalidade de tornar a variável regionalizada estacionária estatisticamente. A variável regionalizada é considerada estacionária se os momentos estatísticos (média e variância) da variável aleatória  $Z(x_i+h)$  forem os mesmos para qualquer vetor  $h$ . De acordo com o número  $k$  de momentos estatísticos que são constantes, a variável é chamada de estacionária de ordem  $K$  (VIEIRA, 2000).

Existem, principalmente, duas hipóteses a serem verificadas para uma função aleatória  $Z(x_i)$ , sendo que pelo menos uma delas deve ser satisfeita antes de se fazer qualquer aplicação da geoestatística. São elas: hipótese de estacionaridade de ordem 2 e hipótese intrínseca. A hipótese de estacionaridade de ordem 2 implica na existência de uma variância finita dos valores medidos. Esta hipótese pode não ser satisfeita para alguns atributos que possuam uma capacidade infinita de dispersão. Por isso, a hipótese intrínseca é a mais utilizada por ser menos restritiva e, portanto, a mais fácil de ser satisfeita. Essa hipótese requer a existência de estacionaridade do semivariograma, sem nenhuma restrição quanto à existência de variância finita.

De acordo com Reichardt e Timm (2012), quando o objetivo for de analisar a variabilidade dos dados ao longo de uma transeção (uma dimensão), o espaçamento  $h$  é um escalar, sendo caracterizado somente pelo seu módulo. Por outro lado, quando for de analisar em uma malha regular ou irregular (em duas dimensões)  $h$  é um vetor, sendo caracterizado pelo seu módulo, direção e sentido.

### 2.6.1 Semivariograma

O semivariograma é considerado um medidor da dependência espacial entre as observações de uma dada variável (VIEIRA et al., 1983). Pode ser estimado pela seguinte equação:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2 \quad (1)$$

onde:  $\gamma(h)$  é a estimativa da semivariância experimental;  $N(h)$  = número de pares de observações  $Z(x_i)$  e  $Z(x_i+h)$  separados por uma distância  $h$ . Analisando a Equação 1, pode-se verificar que quanto mais próximos estiverem os pontos amostrados, maior será a semelhança entre eles e, portanto, menor a estimativa da semivariância. Quanto mais distantes estiverem os pontos amostrados, menor será a semelhança e, conseqüentemente, maior a sua estimativa. A Fig. 1 ilustra um semivariograma típico com seus parâmetros, os quais são descritos a seguir:

i) Efeito Pepita ( $C_0$ ) ou *Nugget Effect*: à medida que o valor de  $h$  tende para zero,  $\gamma(h)$  se aproxima de um valor positivo chamado  $C_0$ , que revela a descontinuidade do semivariograma para as distâncias menores do que a menor distância entre os pontos de coleta das amostras.

ii) Patamar ( $C_0+C$ ) ou *Sill*: à medida que  $h$  aumenta, a semivariância  $\gamma(h)$  também aumenta até um valor máximo, no qual se estabiliza. Considera-se que, a partir deste ponto, não exista mais dependência espacial entre as observações da variável em estudo.

iii) Variância Estrutural ( $C$ ): representa o valor da semivariância entre o efeito pepita e o patamar.

iv) Alcance ( $a$ ) ou *Range*: é a distância na qual  $\gamma(h)$  atinge o patamar, indicando a distância limite da faixa de dependência espacial. Observações da variável separadas por distâncias superiores a indicada pelo alcance, são consideradas independentes entre si.

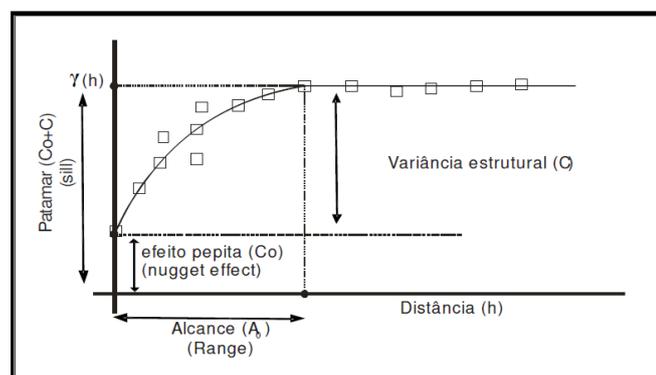


Figura 1- Semivariogramas experimental e teórico com os seus parâmetros.

Calculada a semivariância, deve-se realizar o ajuste de um modelo matemático, uma vez que todos os cálculos da geoestatística dependem do modelo matemático ajustado ao semivariograma experimental (VIEIRA et al., 1981). A escolha inadequada do modelo matemático levará a um mapa temático não representativo da variabilidade da variável na área em questão.

### 2.6.2 Modelos matemáticos de semivariogramas

Entre os modelos disponíveis, existem aqueles com patamar e sem patamar. A escolha do modelo irá depender do comportamento de  $\gamma(h)$  em função da distância  $h$ . Vieira (2000) salienta que para estudos de variáveis de interesse agrônomo, tais como solo e planta, os principais modelos matemáticos ajustados aos semivariogramas experimentais são os com patamar do tipo esférico, exponencial e gaussiano. As equações matemáticas que representam esses modelos matemáticos são:

i) Modelo esférico:

$$\gamma(h) = C_0 + C \left[ \frac{3}{2} \left( \frac{h}{a} \right) - \frac{1}{2} \left( \frac{h}{a} \right)^3 \right] \quad 0 < h < a \quad (2)$$

$$\gamma(h) = C_0 + C \quad h > a$$

ii) Modelo exponencial:

$$\gamma(h) = C_0 + C \left[ 1 - \exp\left(-3 \frac{h}{a}\right) \right] \quad 0 < h < d \quad (3)$$

onde:  $d$  é a máxima distância na qual o semivariograma é definido. O alcance ( $a$ ) é determinado visualmente como sendo a distância após a qual o semivariograma se estabiliza. Já os parâmetros  $C_0$  e  $C$  para os modelos exponencial e gaussiano são determinados da mesma maneira que para o modelo esférico.

iii) Modelo gaussiano:

$$\gamma(h) = C_0 + C \left[ 1 - \exp \left( -3 \left( \frac{h}{a} \right)^2 \right) \right] \quad 0 < h < d \quad (4)$$

Uma maneira eficiente de expressar a dependência espacial com apenas um parâmetro é usando o grau de dependência espacial (GD), que é a razão entre a variância estrutural (C) e o patamar (C+C<sub>0</sub>), e é calculado pela equação:

$$GD = \left( \frac{C}{C+C_0} \right) * 100 \quad (5)$$

que, segundo Zimback (2001), pode ser utilizado para classificar o grau de dependência espacial em baixo se GD<25%; moderado para 25%<GD<75% e alto para GD>75%.

### 2.6.3 Krigagem

O semivariograma é uma ferramenta básica de suporte para a técnica de krigagem, que é um método de interpolação geoestatística que estima os valores da variável para locais não amostrados, expressando os resultados em forma de mapas de isolinhas ou de superfície tridimensional. Para Vieira (2000), a krigagem apresenta, entre outras vantagens, uma maior precisão e fidelidade aos dados originais, possibilitando estabelecer um mapa da área experimental para a variável que se pretende estudar. Segundo o mesmo autor, a krigagem é o melhor estimador por que produz menor variância do erro.

### 2.7 Análise de correlação canônica

O grande desafio dos estudos sobre a produtividade do pessegueiro é com relação à aplicação de metodologias para a avaliação da inter-relação existente entre os grupos de variáveis com a produtividade. Alguns métodos de análise univariada são normalmente empregados para identificar diferenças entre os atributos estudados. Contudo, estas análises avaliam somente uma variável

resposta de cada vez, podendo não ser, em muitas situações, eficientes quando se visa identificar um grupo de variáveis que melhor discrimina a produtividade da cultura ou outra variável qualquer de interesse. Desta forma, uma análise univariada não seria adequada para avaliar as inter-relações entre dois grupos de variáveis representados por um número maior de caracteres de importância agrônômica.

Daí surge a necessidade de recorrer a técnicas de análise multivariada. Dentre essas técnicas, pode-se citar a análise de correlação canônica que é uma técnica estatística multivariada que permite examinar a estrutura da relação existente entre dois grupos (SANTOS et al., 1994). Para Morrison (1978), o princípio básico da correlação canônica é desenvolver uma combinação linear em cada um dos grupos de variáveis (X e Y) de modo que a correlação entre os dois grupos seja maximizada. Mingoti (2005) menciona que as combinações lineares construídas são chamadas de variáveis canônicas, enquanto que a correlação entre elas é chamada de correlação canônica que mede, basicamente, o grau de associação existente entre os dois conjuntos de variáveis. Nessa análise não existe distinção entre variável dependente e independente, existindo somente dois grupos de variáveis em que se busca a máxima correlação entre ambos. É uma técnica muito utilizada em estudos exploratórios que dispõem de um grande número de variáveis (MORRISON, 1978).

Segundo Mingoti (2005), definimos o primeiro par de variáveis canônicas como sendo o par contendo as combinações lineares:

$$U_1 = a_1'X \quad e \quad V_1 = b_1'Y \quad (6)$$

onde:  $a_1$  e  $b_1$  são vetores de constantes de dimensões  $p \times 1$  e  $q \times 1$ , respectivamente, escolhidos de modo que a correlação entre as variáveis  $U_1$  e  $V_1$  seja máxima e tais que essas novas duas variáveis tenham variância iguais a 1, isto é,

$$\text{Var}(U_1) = \text{Var}(V_1) = 1 \quad (7)$$

O segundo par de variáveis canônicas é definido como sendo o par que contém as combinações lineares:

$$U_2 = a_2'X \quad e \quad V_2 = b_2'Y \quad (8)$$

onde:  $a_2$  e  $b_2$  são vetores constantes de dimensões  $px1$  e  $qx1$ , respectivamente, escolhidos de modo que a correlação entre as variáveis  $U_2$  e  $V_2$  seja maximizada no conjunto das combinações lineares de  $X$  e  $Y$  e que são não correlacionadas com o primeiro par de variáveis canônicas  $U_1$  e  $V_1$ . Além disso,  $a_2$  e  $b_2$  são tais que,

$$\text{Var}(U_2) = \text{Var}(V_2) = 1 \quad (9)$$

De um modo geral, o  $k$ -ésimo par de variáveis canônicas é definido como sendo o par contendo as combinações lineares  $U_k$  e  $V_k$  tais que:

$$U_k = a_k'X \quad e \quad V_k = b_k'Y \quad (10)$$

onde:  $a_k$  e  $b_k$  são vetores de constantes de dimensões  $px1$  e  $qx1$ , respectivamente, e escolhidos de modo que a correlação entre as variáveis  $U_k$  e  $V_k$  seja maximizada no conjunto das combinações lineares de  $X$  e  $Y$  que têm variâncias iguais a 1 e que são não correlacionadas com as  $(k-1)$  primeiras variáveis canônicas. A correlação entre as variáveis  $U_k$  e  $V_k$  é chamada de correlação canônica,  $k= 1, 2, \dots, \min(p,q)$ .

Os vetores  $a_k$  e  $b_k$  podem ser encontrados a partir da solução do seguinte sistema de equações:

$$(\Sigma_{xy}\Sigma_{yy}^{-1}\Sigma_{yx} - \lambda_k\Sigma_{xx})a_k = 0 \quad (11)$$

$$(\Sigma_{yx}\Sigma_{xx}^{-1}\Sigma_{xy} - \lambda_k\Sigma_{yy})b_k = 0 \quad (12)$$

onde  $\lambda_k$  satisfaz as seguintes equações características:

$$|\Sigma_{xy}\Sigma_{yy}^{-1}\Sigma_{yx} - \lambda_k\Sigma_{xx}| = 0 \quad (13)$$

$$\left| \Sigma_{yx} \Sigma_{xx}^{-1} \Sigma_{xy} - \lambda_k \Sigma_{yy} \right| = 0 \quad (14)$$

ou seja,  $\lambda_k$  é o  $k$ -ésimo maior autovalor da matriz  $(\Sigma_{xx}^{-1} \Sigma_{xy} \Sigma_{yy}^{-1} \Sigma_{yx})$  ou, equivalentemente, da matriz  $\Sigma_{yy}^{-1} \Sigma_{yx} \Sigma_{xx}^{-1} \Sigma_{xy}$ .

A correlação canônica é a correlação em valor absoluto entre  $U_k$  e  $V_k$  e é igual a  $\sqrt{\lambda_k}$ , isto é,

$$\rho_k^{*2} = \lambda_k = (\text{corr}(U_k, V_k))^2 = \frac{(a_k \Sigma_{xy} b_k)^2}{(a_k \Sigma_{xx} a_k)(b_k \Sigma_{yy} b_k)} \quad (15)$$

As variáveis canônicas também podem ser construídas para as variáveis padronizadas, isto é, por meio da análise das matrizes de correlações das variáveis originais que estão nos vetores  $X$  e  $Y$ . Para tanto basta considerar as respectivas matrizes de correlações populacionais (MINGOTI, 2005).

### **3 Metodologia Geral**

O projeto de pesquisa “Variabilidade espacial e temporal de atributos agronômicos em pomar de pessegueiro”, faz parte do projeto “Caracterização, manejo e monitoramento de atributos do solo e da planta em sistemas de produção de plantas perenes e semiperenes”, identificado como projeto componente 4 do Macroprograma 1 da Rede de Pesquisa e Desenvolvimento em Agricultura de Precisão da Embrapa. A rede conta com Unidades de Pesquisa da Embrapa e Instituições Federais de Ensino e se propõe a estabelecer conceitos de AP focada na sustentabilidade do sistema produtivo de culturas anuais, perenes e semiperenes (INAMASU et al., 2011).

#### **3.1 Localização da área experimental**

O presente estudo foi realizado no município de Morro Redondo-RS (Fig. 2), em um pomar de pessegueiro (Fig. 3) nos anos de 2010 e 2011. A coordenada geográfica da área experimental é 31°31'55.30" de latitude sul e 52°35'37.87" de longitude oeste. O clima da região, de acordo com a classificação climática de Köppen, é do tipo "Cfa", ou seja, temperado úmido com verões quentes. A região possui temperatura e precipitação média anual de 18°C e 1.509,2mm, respectivamente, e umidade relativa média do ar de 78,8%. O solo na área experimental foi classificado como Argissolo Bruno-Acinzentado (EMBRAPA, 2006).



Figura 2 - Mapa do Estado do Rio Grande do Sul com a localização do município de Morro Redondo.



Figura 3 - Imagem aérea da área experimental obtida pelo programa computacional Google Earth (2010).

### 3.2 Mapeamento e georreferenciamento da área experimental

Inicialmente foi realizado o levantamento plani-altimétrico do terreno por meio de uma estação total automática (marca Sokkia, modelo SET630RK-33). Para tal procedimento, foi selecionado um ponto no início, no meio e no final de cada linha de plantas para determinação e locação das curvas de nível (Fig. 4).

A localização das plantas foi determinada com base nos pontos cotados em cada linha (Fig. 5). Todas as plantas foram georreferenciadas por meio de um GPS de navegação, modelo GPSmap 76CSx.

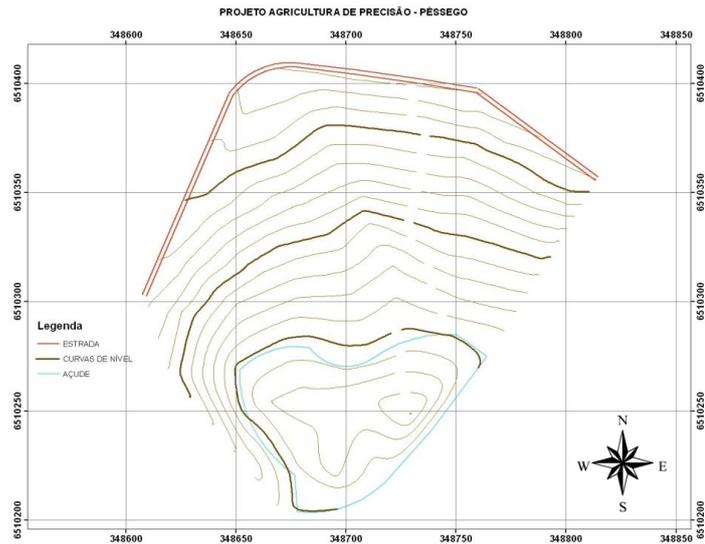


Figura 4 - Localização das curvas de nível na área experimental.

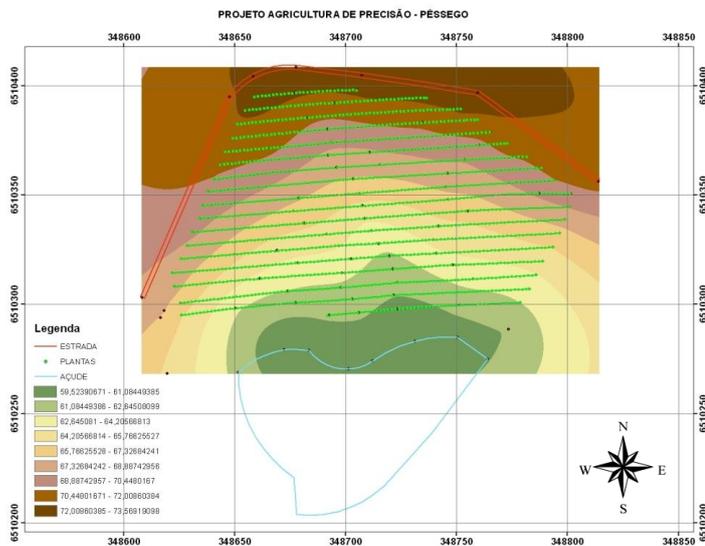


Figura 5 - Localização dos pontos cotados nas linhas de planta na área experimental.

### 3.3 Descrição do pomar de pessegueiro

O pomar de pessegueiro avaliado é da cultivar Esmeralda que possuía 3 anos de idade no início do estudo. As práticas culturais realizadas no pomar foram: poda, raleio, manejo fitossanitário, capina, dentre outras. As linhas e entrelinhas das plantas permaneceram cultivadas com aveia até o mês de setembro de 2010, como uma forma de proteção para o solo. É importante salientar que todos os tratamentos culturais foram realizados pelo próprio produtor não havendo interferência da equipe do projeto de pesquisa.

### 3.4 Descrição da área experimental

A área experimental possui aproximadamente 1,8ha, sendo composta por 18 linhas, num total de 1.450 plantas, com espaçamento entre plantas de 1,5m e entre linhas de 6,0m. Para o estabelecimento da malha experimental foram selecionadas, aleatoriamente, 102 plantas, na qual uma encontrava-se morta, totalizando 101 plantas (Fig. 6).

As 101 plantas foram identificadas nas linhas do pomar por meio de uma placa plástica, com a linha em que a planta se encontrava (identificada pelas letras A a R) e o número da planta. A primeira linha (linha A) teve como ponto de referência o açude localizado ao lado da área experimental (Fig. 6).



Figura 6 - Imagem aérea do pomar ilustrando a malha experimental e as 101 plantas selecionadas (0 identificação da planta morta).

### 3.5 Determinação dos atributos físico-hídricos do solo

Em Julho de 2010 foram coletadas amostras de solo, nas camadas de 0,00-0,10m e 0,10-0,20m, com estrutura deformada e preservada em uma trincheira aberta ao lado de cada uma das 101 plantas. As amostras foram identificadas, embaladas e levadas ao Laboratório de Física do Solo da Embrapa Clima Temperado (Pelotas-RS) para serem determinados os seguintes atributos físico-hídricos do solo: os percentuais de areia, silte e argila, determinados pelo Método da Pipeta (GEE; OR, 2002); a densidade do solo, determinada pelo Método do Anel

Volumétrico, conforme metodologia descrita em Grossman e Reinsch (2002); para as determinações da porosidade total, macroporosidade e microporosidade, as amostras de solo foram saturadas em água e equilibradas a tensão de 6KPa, utilizando uma mesa de tensão adaptada de Kiehl (1979); e a profundidade do Horizonte “A” foi determinada com o auxílio de um trado.

### **3.6 Determinação dos atributos da planta**

As determinações dos atributos das 101 plantas de pessegueiro foram realizadas nos anos de 2010 e 2011. Os principais atributos analisados foram:

i) diâmetro do tronco (DT): medições realizadas a 10cm acima do ponto de enxertia, com o auxílio de uma fita métrica no final do ciclo da cultura;

ii) tamanho do fruto por planta (TFP): após o raleio por parte do produtor, foram selecionados aleatoriamente 5 frutos por planta no ano de 2010 (total de 505 frutos) e 10 frutos por planta no ano de 2011 (total de 1010 frutos). As medições do diâmetro sutural foram realizadas com o auxílio de um paquímetro digital, a cada 7 dias até o primeiro dia de colheita. A partir dos dados de TFP em 2011 foi calculada uma média do tamanho dos frutos.

iii) número de frutos por planta (NFP): os frutos colhidos foram colocados dentro de caixas plásticas devidamente identificadas. Foram realizadas as contagens de todos os frutos das plantas selecionadas em cada colheita.

iv) peso médio de fruto por planta (PMFP): em cada colheita as caixas plásticas contendo os frutos de cada planta foram pesadas em uma balança digital;

v) firmeza de polpa (F): durante cada colheita foi selecionado um fruto por planta onde foi medida a firmeza utilizando um penetrômetro manual com ponteira de 8mm;

vi) teor de brix (B): foi utilizado o mesmo fruto da determinação da firmeza de polpa. Sendo extraído o suco do fruto para a determinação do teor de brix medido por meio de um refratômetro manual;

vii) produtividade (P): todos os frutos das plantas selecionadas foram pesados em balança digital sempre que os frutos atingiam a maturação. No ano de 2010 foram 3 colheitas e no de 2011 foram 5 colheitas.

### 3.7 Estatística descritiva e análise de correlação canônica

Foi utilizado o software estatístico SAS (SCHLOTZHAVER; LITTELL, 1997) para a análise descritiva dos atributos físico-hídricos do solo e para os atributos da planta, nos anos de 2010 e 2011 e para os atributos do clima no dia 10/08/2010. Foram calculadas as medidas de posição (média e mediana), de dispersão (desvio padrão, variância e coeficiente de variação) e da forma da dispersão (simetria e curtose) de cada conjunto de dados.

A dispersão dos dados em torno da média, em cada conjunto de dados, foi calculada por meio do coeficiente de variação (CV) e classificada segundo Wilding e Drees (1983) como: baixa para  $CV \leq 15\%$ ; moderada para  $15\% < CV \leq 35\%$ ; e alta para  $CV > 35\%$ . Para testar a hipótese de normalidade da distribuição dos dados em cada conjunto, realizou-se o Teste de Shapiro e Wilk (1965) a 5% de probabilidade.

Para a avaliação da possível inter-relação entre os grupos de variáveis do solo e da planta foi aplicada a análise de correlação canônica, utilizando o software R (R CORE TEAM, 2012).

### 3.8 Análise geoestatística

Para a análise geoestatística foi utilizado o pacote GEOEST descrito em Vieira et al. (2002), que permite calcular os semivariogramas experimental e teórico, com o ajuste dos respectivos parâmetros, bem como a elaboração dos mapas temáticos de cada um dos atributos estudados por meio da krigagem. A manipulação e a visualização espacial dos mapas foram realizadas utilizando o software SURFER (GOLDEN SOFTWARE, 1999).

Na análise semivariográfica foram efetuadas, quando necessário, a retirada de tendência de comportamento do atributo. Para isto, foi ajustada uma função poligonal aos dados e calculados os resíduos, ou seja, a diferença entre os valores estimados de semivariância pelo modelo matemático e os estimados pelo semivariograma experimental. Todos os modelos de semivariograma foram submetidos à validação pelo método “*Jack-Knifing*”. Nesta técnica cada um dos valores medidos é interpolado como se não fosse conhecido durante o cálculo, podendo assim estudar os erros de estimativa e escolher o modelo que apresentou a melhor aproximação dos valores estimados (VIEIRA et al., 2002).

Para cada modelo ajustado de semivariograma foi calculada a relação entre a variância estrutural e o patamar ( $C/C_0+C$ ), segundo metodologia descrita por Zimback (2001).

## **4 Capítulo 1- Aplicação da análise de correlação canônica entre os atributos físico-hídricos do solo e da planta em um pomar de pessegueiro**

### **4.1 Introdução**

A região de Pelotas-RS é responsável pela grande produção de frutíferas de Clima Temperado, pois possui condições de clima e solo para a produção de pêsego, porém existe a necessidade de pesquisas com inovações tecnológicas que visem à qualidade do fruto e o aumento da produtividade (NAKASU, 2003; HERTER et al., 2003).

A qualidade do pêsego é resultado da interação de vários fatores, nos quais se destacam a topografia local, o solo, a água, o clima e as práticas de manejo adotadas na produção (HERTER et al., 2003). Um dos principais fatores que deve ser levado em consideração no planejamento da instalação de um pomar é a condição inicial do solo, a qual pode ser verificada por meio da análise dos seus atributos físicos e químicos.

Para Li et al. (2002), a qualidade estrutural dos solos tem sido associada às condições favoráveis ao crescimento do sistema radicular, aeração, infiltração e movimento da água no seu perfil. Tais autores mencionam que solos com problemas estruturais podem dificultar a penetração das raízes e, conseqüentemente, limitar a adequada absorção dos nutrientes e da água disponível, influenciando no desenvolvimento e na produtividade das culturas.

Dentre as variáveis que interferem no crescimento vegetal, a água pode ser considerada a principal, sendo importante a sua manutenção em níveis não limitantes ao longo do ciclo produtivo da cultura, seja por meio de técnicas de conservação da água no solo ou pelo fornecimento de água por irrigação (COELHO FILHO et al., 2001). No entanto, é difícil definir a contribuição exata de cada fator sobre a produtividade, devido à complexidade de suas inter-relações.

A análise de correlação canônica é uma técnica estatística multivariada que permite examinar a inter-relação existente entre dois grupos de variáveis (X,Y), isto é, avalia a existência e a intensidade de associação entre os grupos, mediante combinações lineares entre as variáveis que os constituem. Neste sentido, esta técnica pode ser mais apropriada para avaliar as relações de caracteres primários e secundários da produtividade e/ou caracteres fisiológicos e agronômicos de uma dada cultura (SANTOS et al., 1994; COIMBRA et al., 2004; SILVA et al., 2007).

Tavares et al. (1999) utilizaram a correlação canônica para estudar as relações entre os principais fatores de produção em pimentão (peso e número de frutos) e os caracteres do fruto. Coimbra et al. (2000) estudaram as relações entre os componentes primários e secundários do rendimento de grãos no feijão. Em mamoeiro, Schmildt et al. (2011) estudaram a relação entre as características vegetativas e a capacidade de formação de brotos pós poda por meio da análise de correlação canônica. Entretanto, existe uma carência de trabalhos em que o relacionamento entre os atributos da planta de pessegueiro e do solo tenha sido avaliado por meio desta ferramenta, fundamentando este trabalho.

Desta forma, o presente estudo teve como objetivo avaliar as relações existentes entre os atributos físico-hídricos do solo e da planta de pessegueiro nos anos de 2010 e 2011, em um pomar localizado no município de Morro Redondo-RS, por meio da técnica multivariada de correlação canônica.

## 4.2 Material e métodos

O estudo foi realizado em um pomar de pessegueiro durante os anos de 2010 e 2011, localizado no município de Morro Redondo-RS. As coordenadas geográficas, os dados climáticos, os atributos da planta e os atributos físico-hídricos do solo estão descritos no item 3.1 (Metodologia geral).

Os atributos físico-hídricos do solo foram identificados da seguinte forma: camada de 0,00-0,10m - ARE1 (areia), SIL1 (silte), ARG1 (argila), DS1 (densidade do solo), MA1 (macroporosidade), MI1 (microporosidade), PT1 (porosidade total) e UV1 (umidade volumétrica); e na camada de 0,10-0,20m - ARE2, SIL2, ARG2, DS2, MA2, MI2, PT2, UV2. Também foi medida a profundidade do horizonte "A" (PHA) em cada ponto da malha experimental.

As determinações dos atributos das 101 plantas de pessegueiro foram realizadas nos anos de 2010 e 2011 e sendo identificadas da seguinte forma: ano de 2010 - DT10 (diâmetro do tronco), TFP10 (tamanho do fruto por planta), NFP10 (número total de frutos por planta), PMFP10 (massa fresca dos frutos), F10 (firmeza de polpa), B10 (teor de brix) e P10 (produtividade); e ano de 2011: DT11, TFP11, NFP11, PMFP11, F11, B11 e P11.

Foi utilizado o software estatístico SAS (SCHLOTZHAVER; LITTELL, 1997) para a análise descritiva de todos os atributos avaliados. O coeficiente de variação (CV) foi classificado, segundo Wilding e Drees (1983), como:  $CV \leq 15\%$ ;  $15\% < CV \leq 35\%$ ;  $CV > 35\%$ , como baixo, médio e alto, respectivamente. Para testar a hipótese de normalidade da distribuição dos dados em cada conjunto, aplicou-se o teste de Shapiro e Wilk (1965) a 5% de probabilidade.

A análise de correlação canônica foi aplicada para examinar a inter-relação existente entre o grupo de variáveis físico-hídricas do solo e o grupo de variáveis da planta, utilizando o software R (R CORE TEAM, 2012). Na análise de correlação canônica foram considerados 17 atributos físico-hídricos do solo em 2010,

denotados como  $X'$  ( $x_1, x_2, x_3, \dots, x_{17}$ ) e 7 atributos da planta em cada ano (2010 e 2011), denotados como  $Y'$  ( $y_1, y_2, y_3, \dots, Y_7$ ).

As combinações lineares  $X_1 = a_1x_1 + \dots + a_px_p$  e  $Y_1 = b_1y_1 + \dots + b_qy_q$  e os valores  $a' = [a_1 \dots a_p]$  e  $b' = [b_1 \dots b_q]$  são os vetores dos pesos das características correspondentes aos grupos 1 e 2, respectivamente. A primeira correlação canônica corresponde à equação 1.

$$r_1 = \frac{\text{cov}(X_1, Y_1)}{\sqrt{\text{var}(X_1)\text{var}(Y_1)}} \quad (1)$$

a qual maximiza a relação entre as funções  $X_1$  e  $Y_1$ , que representam o primeiro par canônico, sendo:  $\text{cov}(X_1, Y_1) = a'S_{12}b$ ;  $\text{var}(X_1) = a'S_{11}a$ ;  $\text{var}(Y_1) = b'S_{22}b$ ;  $S_{11}$  = matriz  $p \times p$  de covariâncias dos caracteres do grupo 1;  $S_{22}$  = matriz  $q \times q$  de covariância dos caracteres do grupo 2;  $S_{12}$  = matriz  $q \times q$  de covariâncias entre os caracteres dos grupos 1 e 2.

Sendo  $R_{11}$ ,  $R_{22}$  e  $R_{12}$  as matrizes de correlações amostrais, a primeira correlação canônica ( $r_1$ ), correspondente ao primeiro par canônico, é a raiz quadrada do primeiro autovalor ( $r_1 = \sqrt{\lambda_1}$ ), solução da equação  $|R_{11}R_{22}^{-1}R_{12} - \lambda R_{11}|$ .

Os coeficientes de ponderação dos pares canônicos são conhecidos como autovetores e estão associados aos respectivos autovalores. Para o teste de significância para cada correlação canônica foi utilizado o teste qui-quadrado ( $\chi^2$ ), equação 2.

$$\chi^2 = -[n - 0,5(p + q + 3)] \ln \left[ \prod_{i=1}^s (1 - r_i^2) \right] \quad (2)$$

onde:  $n$  = número de observações;  $p$  = número de variáveis do grupo  $X$  (independentes);  $q$  = número de variáveis do grupo  $Y$  (dependentes),  $r_i^2$  = quadrado da correlação canônica da equação a ser testada.

Além da determinação dos pares canônicos também foram testadas as cargas canônicas e as cargas canônicas cruzadas, esta última sendo a mais utilizada pelos principais pacotes estatísticos. Essas cargas compreendem a correlação entre cada variável (dependente ou independente) e o índice do seu

respectivo grupo. A identificação das variáveis pertencentes a cada grupo é apresentada na tab. 1.

Tabela 1 - Identificação das variáveis em cada grupo

Variáveis			
X (solo-físico-		Y (planta)	
X <sub>1</sub> - PHA	X <sub>10</sub> - MA1	Y <sub>1</sub> - PMFP10	Y <sub>1</sub> - PMFP11
X <sub>2</sub> - ARG1	X <sub>11</sub> - MI1	Y <sub>2</sub> - DT10	Y <sub>2</sub> - DT11
X <sub>3</sub> - ARE1	X <sub>12</sub> - PT1	Y <sub>3</sub> - NFP10	Y <sub>3</sub> - NFP11
X <sub>4</sub> - SIL1	X <sub>13</sub> - MA2	Y <sub>4</sub> - TFP10	Y <sub>4</sub> - TFP11
X <sub>5</sub> - ARG2	X <sub>14</sub> - MI2	Y <sub>5</sub> - F10	Y <sub>5</sub> - F11
X <sub>6</sub> - ARE2	X <sub>15</sub> - PT2	Y <sub>6</sub> - B10	Y <sub>6</sub> - B11
X <sub>7</sub> - SIL2	X <sub>16</sub> - UV1	Y <sub>7</sub> - P10	Y <sub>7</sub> - P11
X <sub>8</sub> - DS1	X <sub>17</sub> - UV2		
X <sub>9</sub> - DS2			

Variáveis do solo: 1=camada de 0,00-0,10m e 2=camada de 0,10-0,20m; variáveis da planta: 10=ano de 2010 e 11=ano de 2011, PHA=profundidade do horizonte A (cm), ARG=argila ( $\text{g kg}^{-1}$ ), ARE=areia ( $\text{g kg}^{-1}$ ), SIL=silte ( $\text{g kg}^{-1}$ ), DS=densidade do solo ( $\text{g cm}^{-3}$ ), MA=macroporosidade (%), MI=microporosidade (%), PT=porosidade total (%), PMFP=peso médio de fruto por planta (kg), DT=diâmetro do tronco (cm), NFP=número de frutos por planta, TFP=tamanho do fruto por planta (cm), F=firmeza de polpa (Lb), B=teor de brix (%) e P=produtividade (kg).

## 4.3 Resultados e discussão

### 4.3.1 Estatística descritiva dos atributos da planta e dos atributos físico-hídricos do solo

A tab. 2 apresenta as estatísticas descritivas para os dados referentes aos atributos da planta, nos anos de 2010 e 2011. Pode-se observar que, para ambos os anos, os valores da média e mediana das variáveis PMFP, DT, TFP, F, B e P são próximas. Entretanto, este comportamento não pode ser verificado para variável NFP. Também observa-se na tab. 2 que a dispersão dos dados em torno da média, expressa, pelo coeficiente de variação (CV), foi baixa ( $CV \leq 15\%$ ) para as variáveis PMFP, DT, TFP, F e B para os anos de 2010 e 2011, de acordo com a classificação proposta por Wilding & Drees (1983). As variáveis NFP e P apresentaram uma dispersão classificada como moderada ( $15\% < CV \leq 35\%$ ), no ano de 2011. Já os valores do CV foram altos ( $CV > 35\%$ ) para NFP ( $CV = 54,6\%$ ) e P ( $CV = 55,7\%$ ) para o ano de 2010.

A variabilidade dos dados de NFP e P pode ser atribuída a ocorrência de vento de elevada velocidade ( $72,4 \text{ Km h}^{-1}$ ) na área experimental na data de 31 de outubro de 2010, o qual causou uma grande queda de frutos e com isso uma heterogeneidade na distribuição do número de frutos por planta ao longo do pomar. Balastreire (2001) e Konopatzki (2008) também verificaram alta variabilidade na produtividade na cultura do café e da pereira, indicada pelos altos valores do coeficiente de variação.

As distribuições de NFP e P não seguiram a tendência de normalidade no ano de 2010, pelo teste de Shapiro e Wilk ( $p \leq 0,05$ ), entretanto, para o ano de 2011 elas apresentaram tendência de normalidade (tab. 2). Para as outras variáveis não ocorreu alteração quanto a sua distribuição, apresentando a mesma tendência nos dois anos.

Tabela 2 - Parâmetros da estatística descritiva para os atributos da planta nos anos de 2010 e 2011

Variáveis	Unidade	Média	Mediana	DP	CV	C <sub>s</sub>	C <sub>k</sub>	SW <sub>(p-valor)</sub>
<b>2010</b>								
PMFP10	kg	0,11	0,11	0,014	13,6	-0,44	0,78	>0,100 <sup>(N)</sup>
DT10	cm	7,13	7,26	0,748	10,5	-0,04	-0,52	>0,100 <sup>(N)</sup>
NFP10	*	57,53	54,00	31,398	54,6	0,40	-0,76	0,025 <sup>(NN)</sup>
TFP10	cm	57,54	57,42	2,941	5,1	-0,19	-0,11	>0,100 <sup>(N)</sup>
F10	Lb	7,19	7,20	0,978	13,6	0,22	0,29	>0,100 <sup>(N)</sup>
B10	%	13,08	13,15	1,124	8,6	0,10	0,62	>0,100 <sup>(N)</sup>
P10	kg	6,41	5,86	3,566	55,7	0,53	-0,33	0,034 <sup>(NN)</sup>
<b>2011</b>								
PMFP11	kg	0,11	0,11	0,009	8,3	0,29	-0,19	>0,100 <sup>(N)</sup>
DT11	cm	8,38	8,28	1,111	13,3	-0,43	0,80	>0,100 <sup>(N)</sup>
NFP11	*	180,54	178,00	48,341	26,8	-0,01	-0,11	>0,100 <sup>(N)</sup>
TFP11	cm	50,40	50,35	2,667	5,3	0,55	0,80	0,080 <sup>(N)</sup>
F11	Lb	7,85	7,84	0,995	12,7	0,03	0,74	>0,100 <sup>(N)</sup>
B11	%	12,46	12,47	0,964	7,7	0,01	0,07	>0,100 <sup>(N)</sup>
P11	kg	20,11	20,12	5,327	26,5	-0,17	-0,39	>0,100 <sup>(N)</sup>

PMFP=peso médio de fruto por planta, DT=diâmetro do tronco, NFP=número de frutos por planta, TFP=tamanho do fruto por planta, F=firmeza de polpa, B=teor de brix, P=produtividade, 10=ano de 2010, 11=ano de 2011, \*=não possui unidade, DP=desvio padrão; CV=coeficiente de variação (%), C<sub>s</sub>=coeficiente de assimetria, C<sub>k</sub>=coeficiente de curtose, SW=Teste Shapiro e Wilk, significativo a 5%, N=segue a distribuição normal, NN=não segue a distribuição normal.

Na tab. 3 são apresentados os valores da estatística descritiva para os dados referentes aos atributos físico-hídricos do solo, camadas de 0,00-0,10m e 0,10-0,20m. Observa-se que, em ambas as camadas, os valores da média e mediana das variáveis DS e PT são próximos. Verifica-se ainda na tab. 3 que a dispersão dos dados em torno da média foi baixa ( $CV \leq 15\%$ ) para as variáveis DS, MI, PT e UV nas duas camadas, e para ARE na camada de 0,10-0,20m. No entanto, as distribuições das variáveis SIL, ARG e MA (em ambas as camadas), ARE (camada de 0,00-0,10m) e PHA foram classificadas como moderada (WILDING; DREES, 1983).

As distribuições das variáveis DS, MA e PT em ambas as camadas, UV (0,00-0,10m) e SIL (0,10-0,20m) seguiram a tendência de normalidade pelo teste de Shapiro e Wilk ( $p \leq 0,05$ ). As distribuições de ARE, ARG e MI, nas duas camadas, SIL (0,00-0,10m), UV (0,10-0,20m) e PHA não apresentaram tendência de normalidade dos dados (tab. 3). Nos Apêndices A e B encontram-se os histogramas e os gráficos de dispersão do teste de normalidade pelo método de Shapiro e Wilk de cada atributo estudado.

Tabela 3 – Parâmetros da estatística descritiva para os atributos físico-hídricos do solo

Variáveis	Unidade	Média	Mediana	DP	CV	C <sub>s</sub>	C <sub>k</sub>	SW (p-valor)
<b>Profundidade 0,00-0,10 m</b>								
ARE1	g kg <sup>-1</sup>	582	607	87,953	15,1	-0,65	-0,38	<0,010 <sup>(NN)</sup>
ARG1	g kg <sup>-1</sup>	204	194	52,082	25,4	0,84	0,19	<0,010 <sup>(NN)</sup>
SIL1	g kg <sup>-1</sup>	214	200	48,618	22,7	0,66	-0,26	<0,010 <sup>(NN)</sup>
UV1	%	21,33	20,92	95,279	14	0,38	-0,49	>0,100 <sup>(N)</sup>
DS1	g cm <sup>-3</sup>	1,21	1,21	0,063	4,9	-0,25	0,83	0,077 <sup>(N)</sup>
MA1	%	19,33	19,67	4,230	21,9	-0,28	-0,07	>0,100 <sup>(N)</sup>
MI1	%	26,07	25,50	3,490	13,4	0,60	-0,31	<0,010 <sup>(NN)</sup>
PT1	%	45,40	45,20	2,773	6,1	0,18	-0,08	>0,100 <sup>(N)</sup>
<b>Profundidade 0,10-0,20 m</b>								
ARE2	g kg <sup>-1</sup>	581	606	85,788	14,7	-0,62	-0,52	<0,010 <sup>(NN)</sup>
ARG2	g kg <sup>-1</sup>	210	200	53,652	25,5	0,55	-0,36	0,022 <sup>(NN)</sup>
SIL2	g kg <sup>-1</sup>	209	208	47,075	22,5	0,38	-0,31	>0,100 <sup>(N)</sup>
UV2	%	21,38	20,95	97,852	14,0	0,58	-0,32	<0,010 <sup>(NN)</sup>
DS2	g cm <sup>-3</sup>	1,24	1,23	0,084	6,8	0,27	-0,18	>0,100 <sup>(N)</sup>
MA2	%	17,04	16,74	4,435	26,0	-0,09	-0,42	>0,100 <sup>(N)</sup>
MI2	%	26,65	26,05	3,608	13,5	0,57	-0,20	0,026 <sup>(NN)</sup>
PT2	%	43,69	43,46	3,589	8,2	0,25	0,09	>0,100 <sup>(N)</sup>
PHA	cm	38,90	40,00	6,877	17,7	0,18	1,05	0,037 <sup>(NN)</sup>

ARE=areia, SIL=silte, ARG=argila, UV=umidade volumétrica, DS=densidade do solo, MA=macroporosidade, MI=microporosidade, PT=porosidade total, 1=camada de 0,00-0,10m, 2=camada de 0,10-0,20m, PHA=profundidade do horizonte A, DP=desvio padrão; CV=coeficiente de variação (%), C<sub>s</sub>=coeficiente de assimetria, C<sub>k</sub>=coeficiente de curtose, SW=Teste Shapiro e Wilk, significativo a 5%, N=segue a distribuição normal, NN=não segue a distribuição normal.

#### 4.3.2 Avaliação das correlações canônicas entre os grupos dos atributos

Na avaliação das correlações canônicas, algumas análises não são recomendadas caso ocorra a presença de multicolinearidade entre as variáveis, pois os resultados obtidos são considerados pouco confiáveis e induzem a conclusões equivocadas (CRUZ et al., 2004; RIGÃO et al., 2009). Tal situação foi observada entre as variáveis MI, MA e PT, no ano de 2010. Para avaliar corretamente esses casos, foram considerados dois métodos de análise: o primeiro levando em conta os coeficientes dos pares canônicos (tabs. 4 e 5) e o segundo avaliando as cargas canônicas e as cargas canônicas cruzadas (tab. 6).

Na tab. 4 são apresentados os resultados referentes aos coeficientes de correlações canônicas entre o grupo das variáveis físico-hídricas do solo (grupo 1) e o grupo das variáveis da planta (grupo 2), no ano de 2010. O grupo 1 possui 17

variáveis e o grupo 2 é composto por 7 variáveis, possibilitando assim, formar ao todo 7 pares canônicos. Observa-se que o primeiro par canônico apresentou coeficiente de correlação  $r$  igual a 0,613, sendo significativo pelo teste qui-quadrado ( $p$ -valor= 0,000014). O segundo par canônico também apresentou correlação significativa ( $r= 0,585$ ), com um  $p$ -valor de 0,025.

Tabela 4 - Coeficientes de correlações canônicas ( $r$ ) e pares canônicos entre o grupo das variáveis físico-hídricas do solo (grupo 1) e o grupo da planta (grupo 2) no ano de 2010

Variáveis	Pares canônicos						
	1º	2º	3º	4º	5º	6º	7º
<b>Grupo 1 (solo)</b>							
<b>Profundidade 0,00-0,10 m</b>							
ARE1	12,760	1,575	11,654	22,508	65,070	-1,895	-13,103
ARG1	7,457	1,593	6,872	13,360	39,222	-0,096	-8,653
SIL1	7,653	1,365	5,449	12,942	36,341	-1,399	-7,867
UV1	0,928	2,178	0,501	-0,361	1,445	1,019	0,294
DS1	-0,245	0,329	0,004	0,177	0,470	0,292	-0,059
MA1	-130,139	205,792	-230,968	-30,344	-32,020	-18,650	837,098
MI1	-108,123	167,334	-190,152	-25,075	-29,183	-15,355	689,914
PT1	84,685	-135,497	151,322	19,597	21,021	12,126	-548,948
<b>Profundidade 0,10-0,20 m</b>							
ARE2	0,364	-0,707	1,499	-0,122	2,582	-5,239	2,155
ARG2	-0,387	-0,630	0,968	-0,993	1,557	-4,849	2,177
SIL2	-0,547	-0,811	0,430	-1,077	1,428	-2,758	1,878
UV2	-0,222	-0,411	0,245	-0,014	0,221	0,732	0,376
DS2	-0,184	0,085	0,105	-0,495	0,329	0,295	-0,142
MA2	-1,798	4,822	0,004	1,414	0,251	0,110	0,632
MI2	-0,537	4,708	-0,006	2,451	0,251	-0,793	0,960
PT2	1,758	-3,478	-0,016	-1,647	-0,070	-0,415	-0,704
PHA	-0,326	-0,059	0,007	0,052	0,407	0,077	-0,288
<b>Grupo 2 (planta)</b>							
PMFP10	1,209	-0,634	-0,206	-0,702	0,335	-0,232	-0,027
DT10	-0,544	-0,065	0,448	-0,744	0,107	-0,449	-0,179
NFP10	0,929	-1,792	-2,459	-3,228	0,674	-1,064	1,558
TFP10	-0,490	-0,529	-0,447	-0,057	0,219	0,512	-0,466
F10	-0,014	-0,461	-0,431	0,482	-0,498	-0,443	-0,335
B10	-0,108	-0,337	0,445	0,533	0,748	-0,345	-0,136
P10	-1,131	1,240	2,908	3,343	-1,186	1,023	-0,964
$r$	0,613*	0,585*	0,550	0,543	0,464	0,334	0,189
$\chi^2$	176,910	135,170					
$p$ -valor	0,000014	0,025					

ARE=areia, SIL=silte, ARG=argila, DS=densidade do solo, MA=macroporosidade, MI=microporosidade, PT=porosidade total, UV=umidade volumétrica, 1=profundidade de 0,00-0,10m, 2=profundidade de 0,10-0,20m, PHA=profundidade do horizonte A, PMFP=peso médio de fruto por planta, DT=diâmetro do tronco, NFP=número de frutos por planta, TFP=tamanho do fruto por planta, F=firmeza de polpa, B=teor de brix, P=produtividade, 10=ano de 2010; \*=significativo a 5% pelo teste do qui-quadrado;  $\chi^2$ =qui-quadrado calculado.

Também pode ser constatado na tab. 4 que, em ambos os pares, as variáveis MA, MI e PT são correlacionadas de forma direta entre si, pois a MI foi obtida por diferença entre a MA e PT, em ambas as camadas. Diante dessa situação, a interpretação e análise dos coeficientes do primeiro e segundo par canônico podem levar a um entendimento equivocado, pois as variáveis que realmente são importantes não podem ser identificadas facilmente. É preciso, então, aplicar a análise das cargas canônicas que permite identificar de forma clara e objetiva a contribuição de cada variável, tanto para o seu grupo quanto para o outro.

Na tab. 5 são apresentados os coeficientes de correlações canônicas entre o grupo de variáveis do solo e o grupo da planta, no ano de 2011. Observa-se que somente o primeiro par canônico foi significativo pelo teste qui-quadrado ( $p$ -valor= 0,0078), apresentando uma correlação ( $r= 0,615$ ) ligeiramente superior ao ano de 2010 ( $r= 0,613$ ).

O problema de multicolinearidade em 2010 entre as variáveis macroporosidade (MA), microporosidade (MI) e porosidade total (PT) também foi observado na análise dos dados de 2011, constatado pelos altos valores dos coeficientes do primeiro par canônico em relação aos demais. Assim, optou-se em adotar o mesmo critério de análise das cargas canônicas para o ano de 2011.

Tabela 5 - Coeficientes de correlações canônicas (r) e pares canônicos entre o grupo das variáveis físico-hídricas do solo (grupo 1) e o grupo da planta (grupo 2) no ano de 2011

Variáveis	Pares canônicos						
	1º	2º	3º	4º	5º	6º	7º
<b>Grupo 1 (solo)</b>							
<b>Profundidade 0,00-0,10 m</b>							
ARE1	10,655	-104,056	34,212	91,891	17,277	16,692	44,825
ARG1	7,007	-61,632	22,518	52,810	10,076	9,517	25,003
SIL1	7,043	-57,375	20,046	50,534	9,387	9,438	23,951
UV1	0,380	0,059	-0,855	0,008	-2,167	0,969	0,037
DS1	0,045	0,149	-0,170	0,061	-0,564	-0,709	0,452
MA1	224,720	-40,252	-79,483	477,519	-513,581	227,450	-403,561
MI1	184,474	-32,448	-63,703	394,978	-421,699	187,569	-332,439
PT1	-147,732	26,269	52,391	-313,298	336,848	-149,662	265,214
<b>Profundidade 0,10-0,20 m</b>							
ARE2	-0,799	-1,436	-1,151	-1,173	0,947	1,423	-1,672
ARG2	-1,734	-0,964	-2,370	0,330	0,013	0,984	0,556
SIL2	-1,435	-1,143	-2,276	-0,567	-0,216	0,169	0,354
UV2	0,334	1,466	-1,288	0,234	0,328	0,518	-0,075
DS2	0,072	0,683	-0,675	-0,504	0,000	1,139	0,294
MA2	1,103	-1,426	-1,719	0,022	-1,978	3,072	-0,754
MI2	0,987	-2,807	-1,372	-0,029	-1,241	1,792	-1,861
PT2	-1,027	1,056	0,957	-0,435	1,935	-2,028	0,225
PHA	-0,071	0,472	0,125	-0,117	-0,019	-0,395	-0,110
<b>Grupo 2 (planta)</b>							
PMFP11	-0,627	-0,039	0,523	-0,052	0,827	0,090	-2,476
DT11	-0,323	-0,253	-0,176	-0,559	0,493	0,787	0,604
NFP11	0,787	1,185	1,822	-1,013	3,952	1,457	-6,434
TFP11	0,101	0,422	-0,517	0,535	0,649	0,348	0,382
F11	0,164	-0,150	0,230	0,677	-0,421	0,618	0,209
B11	-0,130	-0,874	-0,047	0,296	0,605	-0,366	0,368
P11	-0,886	-0,928	-1,033	1,592	-3,632	-2,041	6,658
r	0,615*	0,547 <sup>n.s.</sup>	0,473	0,436	0,396	0,305	0,227
$\chi^2$	143.21	101.08					
p-valor	0,0078	0,590					

ARE=areia, SIL=silte, ARG=argila, DS=densidade do solo, MA=macroporosidade, MI=microporosidade, PT=porosidade total, UV=umidade volumétrica, 1=profundidade de 0,00-0,10m, 2=profundidade de 0,10-0,20m, PHA=profundidade do horizonte A, PMFP=peso médio de fruto por planta, DT=diâmetro do tronco, NFP=número de frutos por planta, TFP=tamanho do fruto por planta, F=firmeza de polpa, B=teor de brix, P=produtividade, 10=ano de 2010, n.s=não significativo a 5% pelo teste do qui-quadrado; \*=significativo a 5% pelo teste do qui-quadrado;  $\chi^2$ =qui-quadrado calculado.

Na análise de correlações canônicas buscou-se verificar as relações existentes entre o grupo de variáveis do solo, em cada uma das camadas, e o grupo de variáveis da planta para o ano de 2010 e de 2011. Devido à ocorrência de vento de elevada velocidade no ano de 2010 na área experimental, já citado anteriormente, acredita-se que os resultados das correlações entre as variáveis dos dois grupos não represente o esperado para este ano. Desta forma, optou-se por analisar e discutir os resultados referentes às correlações entre os atributos físico-

hídricos do solo, em cada uma das camadas, e da planta somente para o ano de 2011.

Analisando na tab. 6 as cargas canônicas (aqui denominadas de loadings) para o ano de 2011, que indicam a contribuição de cada variável para o seu próprio grupo, pode ser verificado que no grupo solo a variável argila (ARG), relacionada à textura do solo, apresentou os maiores valores do coeficiente de correlação (-0,6277 na camada de 0,00-0,10m e -0,6517 na de 0,10-0,20m) com as demais variáveis pertencentes a este grupo. Também pode ser constatado que essa variável, em ambas as camadas, possui o sinal oposto do coeficiente de carga canônica em relação à areia, densidade do solo e macroporosidade, fato este já esperado. Por outro lado, os sinais dos coeficientes de cargas canônicas da umidade volumétrica, porosidade total e microporosidade são iguais ao da variável argila, em ambas as camadas, corroborando com o esperado.

Tabela 6 - Análise dos índices dos grupos por meio das cargas canônicas (loadings) e cargas canônicas cruzadas (cross-loadings) para os anos de 2010 e 2011

Variáveis	2010				2011	
	1º Par canônico		2º Par canônico		1º Par canônico	
	Loadings	Cross	Loadings	Cross	Loadings	Cross
Solo	XX	XY	XX	XY	XX	XY
<b>Profundidade 0,00-0,10 m</b>						
ARE1	-0,086	-0,053	-0,617	-0,362	0,538	0,331
ARG1	-0,058	-0,035	0,648	0,380	-0,628	-0,386
SIL1	0,220	0,135	0,423	0,248	-0,299	-0,184
UV1	0,298	0,183	0,446	0,261	-0,738	-0,454
DS1	-0,143	-0,088	-0,032	-0,018	0,322	0,198
MA1	-0,150	-0,092	-0,420	-0,246	0,325	0,200
MI1	0,098	0,060	0,468	0,274	-0,713	-0,439
PT1	-0,105	-0,064	-0,051	-0,030	-0,402	-0,248
<b>Profundidade 0,10-0,20 m</b>						
ARE2	-0,067	-0,041	-0,592	-0,347	0,624	0,384
ARG2	0,006	0,004	0,575	0,337	-0,652	-0,401
SIL2	0,089	0,054	0,402	0,236	-0,466	-0,287
UV2	0,251	0,154	0,468	0,274	-0,600	-0,369
DS2	-0,331	-0,203	0,026	0,015	0,335	0,206
MA2	-0,031	-0,019	-0,310	-0,182	0,078	0,048
MI2	0,190	0,116	0,586	0,343	-0,565	-0,348
PT2	0,305	0,187	0,069	0,040	-0,433	-0,266
PHA	-0,316	-0,194	-0,214	-0,125	-0,060	-0,037
Planta	YY	YX	YY	YX	YY	YX
PMFP	0,638	0,391	-0,352	-0,206	-0,909	-0,560
DT	-0,293	-0,180	-0,021	-0,012	-0,612	-0,377
NFP	-0,151	-0,093	-0,605	-0,354	-0,088	-0,054
TFP	-0,262	-0,161	-0,534	-0,313	-0,205	-0,126
F	-0,011	-0,006	-0,188	-0,110	0,192	0,118
B	-0,132	-0,081	-0,228	-0,133	0,373	0,229
P	-0,059	-0,036	-0,608	-0,356	-0,382	-0,235

ARE=areia, SIL=silte, ARG=argila, DS=densidade do solo, MA=macroporosidade, MI=microporosidade, PT=porosidade total, UV=umidade volumétrica, 1=profundidade de 0,00-0,10m, 2=profundidade de 0,10-0,20m, PHA=profundidade do horizonte A, PMFP=peso médio de fruto por planta, DT=diâmetro do tronco, NFP=número de frutos por planta, TFP=tamanho do fruto por planta, F=firmeza de polpa, B=teor de brix, P=produtividade, loadings=cargas canônicas e cross=cargas canônicas cruzadas.

Da tab. 6 nota-se que dentre às variáveis ligadas a estrutura do solo (densidade do solo, macroporosidade, microporosidade e porosidade total), a variável microporosidade (MI) foi a que apresentou os maiores valores do coeficiente de correlação (-0,7132 e -0,5653 nas camadas de 0,00-0,10m e 0,10-0,20m, respectivamente), com as demais variáveis pertencentes ao grupo solo.

No grupo da planta, a variável peso médio do fruto por planta (PMFP) foi a que apresentou o maior coeficiente de carga canônica (-0,9094) para o ano de 2011.

Também pode ser observado na tab. 6 que o peso médio do fruto por planta (PMFP) possui correlação no mesmo sentido com as variáveis, diâmetro do tronco (DT), número de frutos por planta (NFP), tamanho do fruto por plantas (TFP) e produtividade (P).

Na tab. 6 são apresentados também os valores dos coeficientes de cargas canônicas cruzadas (aqui denominados de cross-loadings) entre o grupo das variáveis físico-hídricas do solo, em ambas as camadas, e o da planta, para o ano de 2011. Dentre as variáveis relacionadas com a textura do solo, a variável argila (ARG) foi a que apresentou os maiores coeficientes de carga canônica cruzada (-0,3863 e -0,4011 nas camadas de 0,00-0,10m e 0,10-0,20m, respectivamente) com as variáveis do grupo da planta.

Conforme mencionado anteriormente, a variável argila (ARG) também se destacou na correlação com o seu próprio grupo. Dentre as variáveis ligadas a estrutura do solo, a variável microporosidade (MI) apresentou os maiores valores do coeficiente de carga canônica cruzada (-0,4390 na camada de 0,00-0,10m e -0,3479 na camada de 0,10-0,20m) com as pertencentes ao grupo da planta, sugerindo que a microporosidade do solo, que está diretamente relacionada ao armazenamento de água no solo (REICHARDT; TIMM, 2012), influenciou o comportamento das variáveis da planta neste estudo.

Os valores dos coeficientes de carga canônica cruzada entre a variável umidade volumétrica (UV) (-0,4542 na camada de 0,00-0,10m e -0,3690 na camada de 0,10-0,20m) e o grupo de variáveis da planta evidencia o fato de que a umidade volumétrica do solo é uma variável que integra fatores relacionados a sua textura (argila) e estrutura (microporosidade). Dentre as variáveis do grupo da planta (tab. 6), a análise canônica também permite verificar que as variáveis brix (B) e firmeza (F) estão relacionadas na direção oposta às demais variáveis da planta e que o maior valor do coeficiente de carga canônica da variável produtividade (P) no ano de 2011 (= -0,3824) reflete, dentro do grupo das variáveis da planta, os maiores valores dos outros coeficientes das variáveis ligadas a produção do pessegueiro (peso médio do fruto por plantas, diâmetro do tronco e tamanho do fruto por planta).

#### 4.4 Conclusões

- A variável peso médio do fruto por planta (PMFP) é a que apresenta os maiores valores de correlação dentro do grupo da planta para os dois anos avaliados.

- As variáveis físico-hídricas do solo argila e microporosidade são as que apresentam maiores valores de correlação dentro do seu próprio grupo (grupo solo).

- As variáveis argila e microporosidade foram as que apresentaram o maior coeficiente de carga canônica cruzada com os atributos da planta nas camadas de solo avaliadas.

## **5 Capítulo 2- Estrutura de variabilidade espacial e temporal dos atributos físico-hídricos do solo e da planta em um pomar de pessegueiro**

### **5.1 Introdução**

Na agricultura tradicional as análises dos experimentos de campo partem do princípio de que todas as observações tomadas em posições adjacentes (plantas ou parcelas vizinhas) não são correlacionadas. Tais análises consideram as variáveis como aleatórias e independentes entre si, ou seja, não exercem influência umas sobre as outras. Entretanto, observações de uma dada variável podem apresentar certo grau de dependência espacial, não atendendo um dos pressupostos básicos da Estatística Clássica, i.e., independência entre as observações. Desta forma, ferramentas estatísticas que levem em consideração a dependência espacial e/ou temporal dos atributos do solo e da planta têm sido aplicadas no intuito de buscar um melhor entendimento da variabilidade dos mesmos e um melhor planejamento dos experimentos agrônômicos. Dentre essas ferramentas, Reichardt e Timm (2012) destacam a geoestatística e a análise de séries temporais/espaciais que têm sido amplamente aplicadas na área agrônômica.

Vieira (2000) menciona que a variabilidade espacial do solo sempre existiu e deve ser considerada toda vez que for realizada a amostragem de campo, pois pode indicar locais que necessitem de tratamento diferenciado quanto ao manejo. Em vista disso, o mesmo autor comenta que o estudo sobre a variabilidade do ambiente físico, no qual as plantas se desenvolvem tornou-se uma preocupação dos pesquisadores desde o início do século XX.

O pessegueiro é uma cultura de importância econômica e social para a metade sul do Estado do Rio Grande do Sul, devido ao fato de que proporciona o sustento de famílias de produtores rurais e gera empregos de forma direta e indireta na região. Entretanto, Esser (2002) destaca que, na maioria das vezes, o pomar de pessegueiro é conduzido de forma homogênea sem considerar a variabilidade dos

atributos do solo que, por sua vez, poderão influenciar na variabilidade dos atributos da planta. Levando em consideração a variabilidade dos atributos, os produtores poderão racionalizar o uso da água e de insumos agrícolas e minimizar o impacto ambiental. Corá e Marques Junior (1998) afirmaram que conhecer e modelar a variabilidade espacial dos atributos do solo, da planta e de outros parâmetros que possam estar correlacionados com a produtividade, é uma das etapas para se estabelecer um processo de gerenciamento localizado. Por isso, a determinação da estrutura de variabilidade, seja espacial ou temporal, dos atributos do solo e da planta bem como da relação entre eles são essenciais para identificar quais as variáveis do solo contribuem para a produtividade do pomar (JAKOB, 1999).

Para o estudo da variabilidade dos atributos do solo (ou da planta) o primeiro passo seria a realização da amostragem do solo em forma de “malha”, pois esse método tem demonstrado ser o mais eficiente para avaliar a variabilidade, sendo muito utilizado na Agricultura de Precisão (AP) (FRIDGEN et al., 2000). A AP baseia-se no princípio da aplicação localizada de insumos em função dos níveis de nutrientes disponíveis no solo ou de acordo com o nível de extração, buscando assim a diminuição da aplicação de fertilizantes, corretivos e a racionalização do uso da água. Fundamentada neste princípio, a geoestatística assume grande relevância, pois permite determinar a variabilidade espacial e temporal dos atributos do solo e da planta, o que é fundamental para o entendimento de suas inter-relações.

O presente estudo foi desenvolvido com o objetivo de avaliar a variabilidade espacial e temporal dos atributos físico-hídricos do solo e da planta em um pomar de pessegueiro, no município de Morro Redondo-RS, por meio da análise geoestatística, bem como associar os seus mapas de distribuição espacial.

## 5.2 Material e métodos

O trabalho foi conduzido durante os anos de 2010 e 2011 em um pomar de pessegueiro, localizado no município de Morro Redondo-RS. As coordenadas geográficas, os dados climáticos e as metodologias utilizadas para as determinações dos atributos físico-hídricos do solo e da planta encontram-se no item 3.1 (Metodologia geral). A área experimental, conforme descrito anteriormente, possui aproximadamente 1,8ha, sendo composta por 18 linhas de planta, totalizando 1.450. Deste total, foram selecionadas aleatoriamente 101 plantas para a formação da malha experimental, conforme pode ser visto na Fig. 6 do item 3.4 (Metodologia geral).

Os atributos físico-hídricos do solo e da planta utilizados neste estudo foram identificados da seguinte forma: i) atributos físico-hídricos do solo: na camada de 0,00-0,10m - ARE1 (areia), SIL1 (silte), ARG1 (argila), DS1 (densidade do solo), MA1 (macroporosidade), MI1 (microporosidade), UV1 (umidade volumétrica) e PT1 (porosidade total); e na camada de 0,10-0,20m - ARE2, SIL2, ARG2, DS2, MA2, MI2, PT2, UV2 e PHA (profundidade do horizonte "A"); ii) atributos da planta: DT (diâmetro do tronco), TFP (tamanho do fruto por planta), NFP (número total de frutos por planta), PMFP (massa fresca dos frutos), F (firmeza de polpa), B (teor de brix) e P (produtividade) nos anos de 2010 e 2011.

Foi utilizado o software estatístico SAS (SCHLOTZHAVER; LITTELL, 1997) para a análise descritiva de todos os atributos avaliados. O coeficiente de variação (CV) foi classificado, segundo Wilding e Drees (1983), como:  $CV \leq 15\%$ ;  $15\% < CV \leq 35\%$ ;  $CV > 35\%$ , como baixo, médio e alto, respectivamente. Para testar a hipótese de normalidade da distribuição dos dados em cada conjunto, aplicou-se o teste de Shapiro e Wilk (1965) ao nível de 5% de probabilidade. A identificação dos pontos discrepantes (*outliers*) foi realizada por meio de gráficos em caixa (*box plot*) (CONCEIÇÃO et al., 2007). Identificado os valores discrepantes, efetuou-se a substituição desses valores pelo valor médio dos circunvizinhos contidos na malha

experimental. A análise geoestatística foi aplicada a todos os atributos avaliados utilizando o pacote GEOEST (VIEIRA et al., 2002), calculando os semivariogramas experimental e teóricos e os respectivos parâmetros de ajustes. Quando necessário, também foi efetuada a retirada de tendência das variáveis. Logo após, identificada a estrutura de dependência espacial por meio do semivariograma, foram construídos os mapas de isolinhas dos atributos avaliados aplicando a krigagem. Para a manipulação e visualização dos mapas de cada atributo estudado foi utilizado o software SURFER (GOLDEN SOFTWARE, 1999).

Todos os modelos de semivariograma foram submetidos à validação pelo método “Jack-Knifing” (VIEIRA et al., 2002). O grau de dependência espacial (GD) foi classificado segundo Zimback (2001), como:  $GD \leq 25\%$ ;  $25\% < GD \leq 75\%$  e  $GD > 75\%$ , em baixo, moderado e alto, respectivamente.

## 5.3 Resultados e discussão

### 5.3.1 Variabilidade espacial dos atributos físico-hídricos do solo

A tab. 1 apresenta os valores da estatística descritiva para os dados referentes aos atributos físico-hídricos do solo nas camadas de 0,00-0,10m e 0,10-0,20m. Observa-se que em ambas as camadas, os valores da média e mediana das variáveis DS e PT são próximos. A dispersão dos dados em torno da média foi considerada baixa ( $CV \leq 15\%$ ) para as variáveis DS, MI e PT nas duas camadas, e para ARE na camada de 0,10-0,20m. No entanto, as distribuições das variáveis SIL, ARG e MA (em ambas as camadas), ARE (camada de 0,00-0,10m) e PHA foram classificadas como moderada (tab. 1) (WILDING; DREES 1983). As distribuições das variáveis DS, MA e PT em ambas as camadas, e SIL (0,10-0,20m) seguiram a tendência de normalidade pelo teste de Shapiro e Wilk ( $p \leq 0,05$ ) (tab. 1). As distribuições de ARE, ARG e MI, nas duas camadas, SIL (0,00-0,10m) e PHA não apresentaram tendência de normalidade dos dados.

Tabela 1- Parâmetros da estatística descritiva para os atributos físico-hídrico do solo

Variáveis	Unidade	Média	Mediana	DP	CV	C <sub>s</sub>	C <sub>k</sub>	SW (p-valor)
<b>Profundidade 0,00-0,10 m</b>								
ARE1	g kg <sup>-1</sup>	582	607	87,953	15,1	-0,65	-0,38	<0,010 <sup>(NN)</sup>
ARG1	g kg <sup>-1</sup>	204	194	52,082	25,4	0,84	0,19	<0,010 <sup>(NN)</sup>
SIL1	g kg <sup>-1</sup>	214	200	48,618	22,7	0,66	-0,26	<0,010 <sup>(NN)</sup>
UV1	%	21,33	20,92	95,279	14	0,38	-0,49	>0,100 <sup>(N)</sup>
DS1	g cm <sup>-3</sup>	1,21	1,21	0,063	4,9	-0,25	0,83	0,077 <sup>(N)</sup>
MA1	%	19,33	19,67	4,230	21,9	-0,28	-0,07	>0,100 <sup>(N)</sup>
MI1	%	26,07	25,50	3,490	13,4	0,60	-0,31	<0,010 <sup>(NN)</sup>
PT1	%	45,40	45,20	2,773	6,1	0,18	-0,08	>0,100 <sup>(N)</sup>
<b>Profundidade 0,10-0,20 m</b>								
ARE2	g kg <sup>-1</sup>	581	606	85,788	14,7	-0,62	-0,52	<0,010 <sup>(NN)</sup>
ARG2	g kg <sup>-1</sup>	210	200	53,652	25,5	0,55	-0,36	0,022 <sup>(NN)</sup>
SIL2	g kg <sup>-1</sup>	209	208	47,075	22,5	0,38	-0,31	>0,100 <sup>(N)</sup>
UV2	%	21,38	20,95	97,852	14,0	0,58	-0,32	<0,010 <sup>(NN)</sup>
DS2	g cm <sup>-3</sup>	1,24	1,23	0,084	6,8	0,27	-0,18	>0,100 <sup>(N)</sup>
MA2	%	17,04	16,74	4,435	26,0	-0,09	-0,42	>0,100 <sup>(N)</sup>
MI2	%	26,65	26,05	3,608	13,5	0,57	-0,20	0,026 <sup>(NN)</sup>
PT2	%	43,69	43,46	3,589	8,2	0,25	0,09	>0,100 <sup>(N)</sup>
PHA	cm	38,90	40,00	6,877	17,7	0,18	1,05	0,037 <sup>(NN)</sup>

ARE=areia, SIL=silte, ARG=argila, DS=densidade do solo, MA=macroporosidade, MI=microporosidade, PT=porosidade total, 1=camada de 0,00-0,10m, 2=camada de 0,10-0,20m, PHA=profundidade do horizonte A, DP=desvio padrão, CV=coeficiente de variação (%), C<sub>s</sub>=coeficiente de assimetria, C<sub>k</sub>=coeficiente de curtose, SW=Teste Shapiro e Wilk, significativo a 5%, N=segue a distribuição normal, NN=não segue a distribuição normal.

A tab. 2 apresenta as estatísticas descritivas para os dados referentes aos atributos da planta, nos anos de 2010 e 2011. Pode-se observar que, para ambos os anos, os valores da média e mediana das variáveis PMFP, DT, TFP, F, B e P são próximas. Entretanto, este comportamento não pode ser verificado para a variável NFP. A dispersão dos dados em torno da média, expressa pelo coeficiente de variação (CV), foi baixa ( $CV \leq 15\%$ ) para as variáveis PMFP, DT, TFP, B e F para os anos de 2010 e 2011, de acordo com a classificação proposta por Wilding e Drees (1983). As variáveis NFP e P apresentaram uma dispersão classificada como moderada ( $15\% < CV \leq 35\%$ ) no ano de 2011. Já os valores do CV foram altos ( $CV > 35\%$ ) para NFP ( $CV = 54,6\%$ ) e P ( $CV = 55,7\%$ ) para o ano de 2010 (tab. 2). Essa diminuição na variabilidade dos dados de NFP e P pode ser atribuída a ocorrência de vento de elevada velocidade ( $72,4 \text{ Km h}^{-1}$ ) na área experimental na data de 31 de outubro de 2010, o qual causou uma grande queda de frutos e com isso uma heterogeneidade na distribuição do número de frutos por planta ao longo do pomar.

Balastreire (2001) e Konopatzki (2008) também verificaram alta variabilidade da produtividade para a cultura do café e da pereira, mostrado pelo alto coeficiente de variação. As distribuições de NFP e P não seguiram a tendência de normalidade no ano de 2010 pelo teste de Shapiro e Wilk ( $p \leq 0,05$ ), entretanto, para o ano de 2011 elas apresentaram tendência de normalidade (tab. 2). Para as outras variáveis não ocorreu alteração quanto a sua distribuição, apresentando a mesma tendência nos dois anos.

Tabela 2 - Parâmetros da estatística descritiva para os atributos da planta nos anos de 2010 e 2011

Variáveis	Unidade	Média	Mediana	DP	CV	C <sub>s</sub>	C <sub>k</sub>	SW <sub>(p-valor)</sub>
<b>2010</b>								
PMFP10	kg	0,11	0,11	0,014	13,6	-0,44	0,78	>0,100 <sup>(N)</sup>
DT10	cm	7,13	7,26	0,748	10,5	-0,04	-0,52	>0,100 <sup>(N)</sup>
NFP10	*	57,53	54,00	31,398	54,6	0,40	-0,76	0,025 <sup>(NN)</sup>
TFP10	cm	57,54	57,42	2,941	5,1	-0,19	-0,11	>0,100 <sup>(N)</sup>
F10	Lb	7,19	7,20	0,978	13,6	0,22	0,29	>0,100 <sup>(N)</sup>
B10	%	13,08	13,15	1,124	8,6	0,10	0,62	>0,100 <sup>(N)</sup>
P10	kg	6,41	5,86	3,566	55,7	0,53	-0,33	0,034 <sup>(NN)</sup>
<b>2011</b>								
PMFP11	kg	0,11	0,11	0,009	8,3	0,29	-0,19	>0,100 <sup>(N)</sup>
DT11	cm	8,38	8,28	1,111	13,3	-0,43	0,80	>0,100 <sup>(N)</sup>
NFP11	*	180,54	178,00	48,341	26,8	-0,01	-0,11	>0,100 <sup>(N)</sup>
TFP11	cm	50,40	50,35	2,667	5,3	0,55	0,80	0,080 <sup>(N)</sup>
F11	Lb	7,85	7,84	0,995	12,7	0,03	0,74	>0,100 <sup>(N)</sup>
B11	%	12,46	12,47	0,964	7,7	0,01	0,07	>0,100 <sup>(N)</sup>
P11	kg	20,11	20,12	5,327	26,5	-0,17	-0,39	>0,100 <sup>(N)</sup>

PMFP=peso médio de fruto por planta, DT=diâmetro do tronco, NFP=número de frutos por planta, TFP=tamanho do fruto por planta, F=firmeza de polpa, B=teor de brix, P=produtividade, 10=ano de 2010, 11=ano de 2011, \*=não possui unidade, DP=desvio padrão, CV=coeficiente de variação (%), C<sub>s</sub>=coeficiente de assimetria, C<sub>k</sub>=coeficiente de curtose, SW=Teste Shapiro e Wilk, significativo a 5%, N=segue a distribuição normal, NN=não segue a distribuição normal.

Na tab. 3 são apresentados os modelos matemáticos dos semivariogramas e respectivos parâmetros de ajustes para os atributos físico-hídricos do solo avaliados nas camadas de 0,00-0,10m e de 0,10-0,20m. Pode-se observar que, em ambas as camadas, as variáveis UV e PT ajustaram-se ao modelo exponencial e as variáveis SIL e MA ao modelo esférico e gaussiano, respectivamente. O modelo exponencial ajustou-se também as variáveis ARG e MI na camada de 0,00-0,10m e ARE e DS na de 0,10-0,20m. Este modelo também se ajustou melhor ao semivariograma

experimental da variável PHA. Os semivariogramas das variáveis ARG e MI (0,10-0,20m) e ARE (0,00-0,10m) ajustaram-se ao esférico, enquanto que o da variável DS, na camada de 0,00-0,10m, ao modelo gaussiano (tab. 3). McBratney e Webster (1986) citam que os modelos esféricos e exponenciais são os modelos mais, frequentemente, ajustados aos atributos do solo. Carvalho et al. (2003), Cavalcante et al. (2004) corroboram com a afirmação de McBratney e Webster (1986) de que nos trabalhos direcionados aos atributos físico-hídricos do solo, esses modelos são os que melhor se ajustam as variáveis. Analisando a tab. 3 observa-se que ocorreu a retirada de tendência das variáveis ARE, ARG, UV e MI, em ambas as camadas avaliadas. O grau de dependência espacial (GD), de acordo com a classificação proposta por Zimback (2001), indica que as variáveis ARG, SIL, DS, MA e PT, em ambas as camadas, MI (0,10-0,20m) e PHA apresentaram GD classificado como moderado ( $25\% < GD \leq 75\%$ ), corroborando com os resultados dos trabalhos de Souza et al. (1997), Salviano et al. (1998) e Takeda (2000). Os valores de GD foram altos ( $GD > 75\%$ ) para ARE e UV (em ambas as camadas) e MI na camada de 0,00-0,10m (tab. 3).

Nota-se ainda na tab. 3 que a variável UV foi a que apresentou o maior grau de dependência espacial (GD), ou seja, 91,38% e 85,95% nas camadas de 0,00-0,10m e 0,10-0,20m, respectivamente. Essas variações no grau de dependência espacial dos atributos físico-hídricos do solo podem ser influenciadas pelos fatores intrínsecos (fatores de formação do solo, material de origem, relevo, clima e organismos) e pelos fatores extrínsecos que, normalmente, são ligados as práticas de manejo do solo (adubação, aração, gradagem, calagem, etc...).

Tabela 3 - Modelos teóricos de semivariogramas e respectivos parâmetros de ajustes dos atributos físico-hídricos do solo nas camadas de 0,00-0,10m e de 0,10-0,20m, grau de dependência espacial (GD) e respectiva classe de acordo com Zimback (2001)

Variável	Unidade	Modelo	C <sub>0</sub>	C	a	GD	Classe
<b>Profundidade 0,00-0,10 m</b>							
ARE1 <sub>(r)</sub>	g kg <sup>-1</sup>	Esf.	353,72	3658,32	32,40	91,18	Alto
ARG1 <sub>(r)</sub>	g kg <sup>-1</sup>	Exp.	559,15	909,96	76,37	61,81	Moderado
SIL1 <sub>(r)</sub>	g kg <sup>-1</sup>	Esf.	480	950	35	66,43	Moderado
UV1 <sub>(r)</sub>	%	Exp.	0,50	5,30	35	91,38	Alto
DS1	g cm <sup>-3</sup>	Gaus.	0,0027	0,0016	118	37,21	Moderado
MA1	%	Gaus.	9	14	99	60,87	Moderado
MI1 <sub>(r)</sub>	%	Exp.	1,54	5,85	37,69	79,21	Alto
PT1	%	Exp.	3	4,60	34	60,53	Moderado
PHA	cm	Exp.	19,64	29,70	97,07	60,20	Moderado
<b>Profundidade 0,10-0,20 m</b>							
ARE2 <sub>(r)</sub>	g kg <sup>-1</sup>	Exp.	630,29	3232,32	50,71	83,68	Alto
ARG2 <sub>(r)</sub>	g kg <sup>-1</sup>	Esf.	459,07	639,54	29,67	58,21	Moderado
SIL2 <sub>(r)</sub>	g kg <sup>-1</sup>	Esf.	550	840	43	60,43	Moderado
UV2 <sub>(r)</sub>	%	Exp.	0,82	5,02	36,99	85,95	Alto
DS2	g cm <sup>-3</sup>	Exp.	0,004	0,003	50	45,21	Moderado
MA2	%	Gaus.	12	11	95	47,83	Moderado
MI2 <sub>(r)</sub>	%	Esf.	4,75	3,26	86,30	40,68	Moderado
PT2	%	Exp.	3,70	8	35	68,38	Moderado

C<sub>0</sub>=efeito pepita, C=variância estruturada, a=alcance (m), GD=grau de dependência espacial (%), Esf=esférico, Exp=exponencial, Gaus=gaussiano, r=resíduo, areia (ARE), argila (ARG), silte (SIL), umidade volumétrica (UV), densidade do solo (DS), macroporosidade (MA), microporosidade (MI), porosidade total (PT), 1=camada de 0,00-0,10m, 2=camada de 0,10-0,20m e a profundidade do horizonte "A" (PHA).

As Figs. 1 e 2 apresentam os mapas de distribuição espacial dos atributos físico-hídricos do solo na área experimental para ambas as camadas avaliadas. A Fig. 1 mostra que as maiores concentrações de areia são na parte oeste da área experimental em ambas as camadas avaliadas. O contrário ocorrendo com a distribuição espacial dos teores de argila. Também pode ser observado que a distribuição espacial dos valores de densidade do solo na camada de 0,10-0,20m é mais heterogênea quando comparada a sua distribuição na camada superficial. Este fato pode estar relacionado às operações de aração e gradagem que tendem a homogeneizar a distribuição dos atributos do solo e que, provavelmente, na área experimental foram realizadas na camada superficial do solo. Ainda na Fig. 1, verifica-se que os mapas de densidade do solo indicam que mais de 80% da área

cultivada com pessegueiro apresenta valores de DS superiores a  $1,20\text{g cm}^{-3}$ . Para Kiehl (1979), a densidade do solo é considerada ideal quando os seus níveis variam entre  $1,0\text{g cm}^{-3}$  a  $1,2\text{g cm}^{-3}$ . Altos valores de DS podem influenciar diretamente no crescimento das raízes e, conseqüentemente, influenciar na produtividade da planta. Cabe ressaltar que isso não significa que os valores de DS encontrados no estudo sejam considerados restritivos ao desenvolvimento radicular.

A Fig. 2 apresenta os mapas de isolinhas das variáveis porosidade total, macroporosidade, microporosidade e umidade volumétrica, para ambas as camadas avaliadas, e da profundidade do horizonte A. Os valores de porosidade total variaram entre 35% a 51% na área experimental, sendo os maiores valores encontrados na parte sul e leste da área experimental onde foram obtidas as maiores concentrações de argila (Fig. 1). Observa-se também na Fig. 2 que o mapa da variável porosidade total e da macroporosidade são semelhantes entre si, em ambas as camadas, do ponto de vista de distribuição espacial dos dados e que eles possuem distribuição espacial oposta aos valores de densidade do solo na camada de 0,10-0,20m (Fig. 1), ou seja, regiões que apresentam os maiores valores de DS possuem os menores valores de PT e MA. A Fig. 2 também mostra que o mapa de umidade volumétrica segue os mapas de argila e microporosidade, sendo estas variáveis diretamente relacionadas a fenômenos de retenção de água no solo (REICHARDT; TIMM, 2012). A profundidade do horizonte "A" na área experimental variou entre 22cm e 58cm (Fig. 2). Entretanto, valores entre 22cm e 40cm foram predominantes na área experimental, podendo ser considerado um solo raso e adequado para o desenvolvimento das raízes do pessegueiro que encontram-se distribuídas em grande quantidade nesta faixa de profundidade.

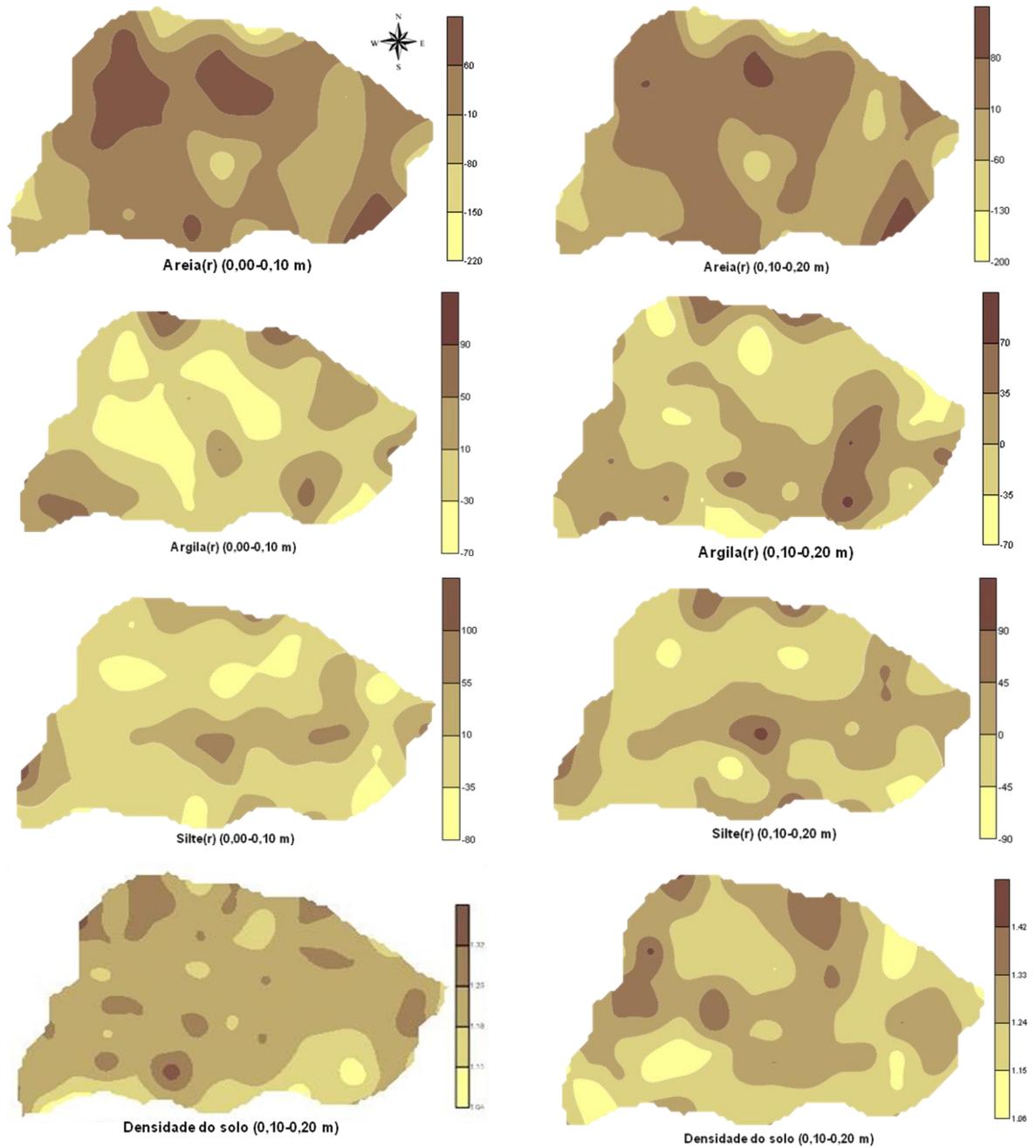


Figura 1- Mapas de isolinhas dos atributos areia, argila e silte ( $\text{g kg}^{-1}$ ) e da densidade do solo ( $\text{g cm}^{-3}$ ) em uma área cultivada com pessegueiro, nas camadas de 0,00-0,10m e 0,10-0,20m.

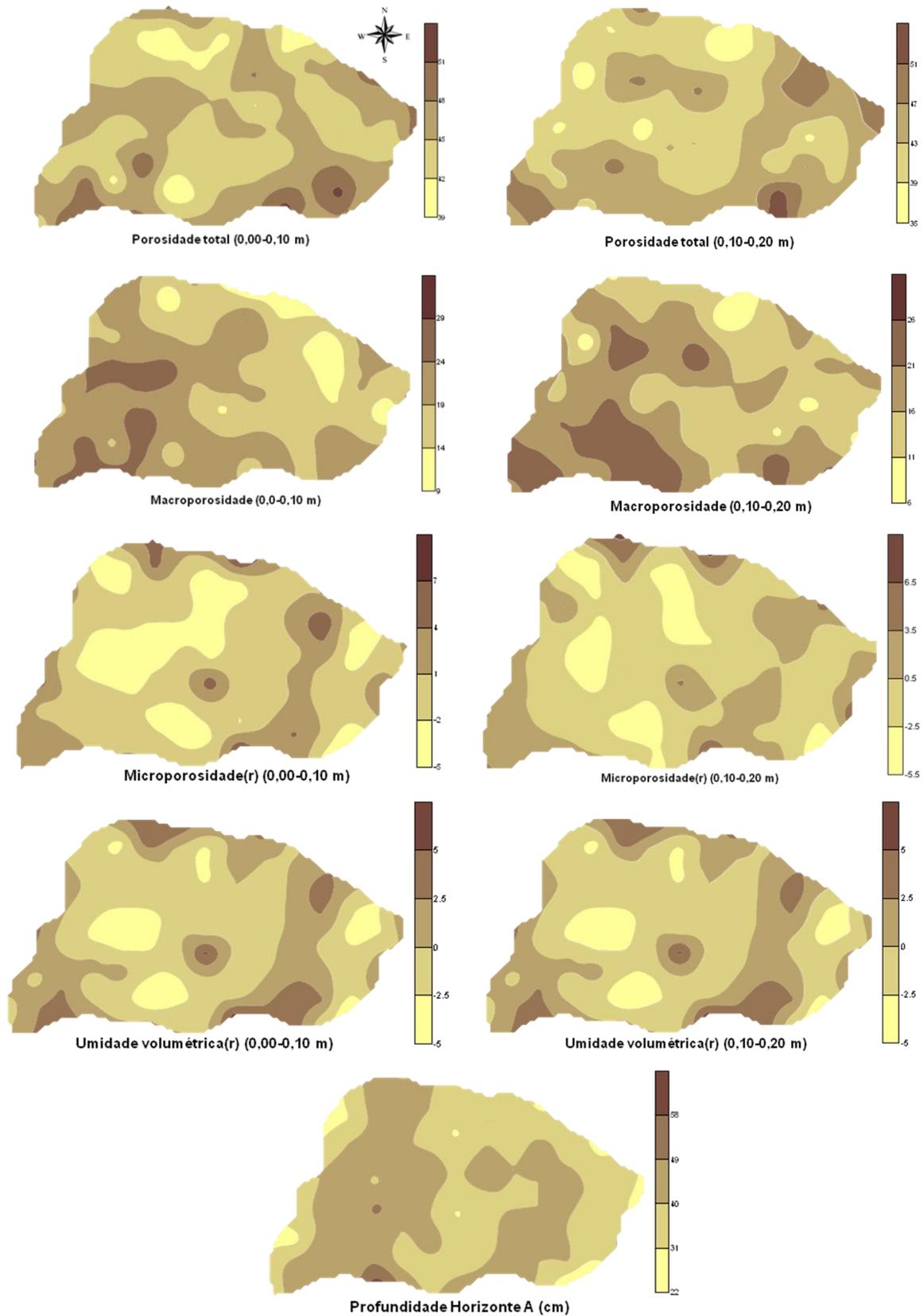


Figura 2- Mapas de isolinhas dos atributos porosidade total (%), macroporosidade (%), microporosidade (%) e umidade volumétrica (%), nas camadas de 0,00-0,10m e 0,10-0,20m, e da profundidade do horizonte "A" (cm) em uma área cultivada com pessegueiro.

### 5.3.2 Variabilidade espacial e temporal dos atributos da planta

Na tab. 4 são apresentados os modelos matemáticos ajustados aos semivariogramas experimentais e os respectivos parâmetros de ajustes para os atributos da planta de pessegueiro avaliados nos anos de 2010 e 2011. Analisando a tab. 4 observa-se que somente o semivariograma teórico da variável tamanho do fruto por planta (modelo esférico) no ano de 2010 foi diferente do modelo exponencial que foi o ajustado para as demais variáveis. A faixa de dependência espacial (a) variou de 30m (TFP em 2010) a 65,7m (NFP em 2011), enquanto que o GD foi classificado como moderado para todas as variáveis avaliadas em ambos os anos (tab. 4).

Tabela 4 - Parâmetros da análise semivariográfica dos atributos da planta nos anos de 2010 e 2011

Variável	Modelo	C <sub>0</sub>	C	a	GD	Classe
<b>2010</b>						
PMFP10	Exp.	0,0001	0,00014	40	58,10	Moderado
DT10	Exp.	0,28	0,32	43	53,33	Moderado
NFP10	Exp.	380	610	48	61,60	Moderado
TFP10	Esf.	3,70	4,60	30	55,42	Moderado
F10	Exp.	0,4	0,47	42,00	54,02	Moderado
B10	Exp.	1,36	0,67	59	33,10	Moderado
P10	Exp.	3,30	9,60	40	74,42	Moderado
<b>2011</b>						
PMFP11 <sub>(r)</sub>	Exp.	0,00003	0,00005	50,01	57,91	Moderado
DT11	Exp.	0,80	0,45	44	36	Moderado
NFP11	Exp.	1350,46	1145,87	65,69	45,90	Moderado
TFP11	Exp.	5	2,5	55	33,33	Moderado
F11	Exp.	0,40	0,56	54	58,33	Moderado
B11	Exp.	0,43	0,49	54	53,26	Moderado
P11	Exp.	10,01	19,59	37,55	66,17	Moderado

C<sub>0</sub>=efeito pepita, C=variância estruturada, a=alcance (m), GD=grau de dependência espacial (%), Esf=esférico, Exp=exponencial, Gaus=gaussiano, r=resíduo, PMFP=peso médio fruto/planta (kg), DT=diâmetro do tronco (cm); NFP=número de fruto/planta, TFP=tamanho do fruto/planta (cm), F=firmeza de polpa (Lb), B=teor de brix (°) e P=produtividade (kg).

Nas Figs. 3 e 4 são apresentados os mapas de distribuição espacial dos atributos da planta nos anos de 2010 e 2011. Como esperado, os mapas de distribuição espacial dos atributos NFP e P são similares já que no cálculo da produtividade o número de frutos por planta é levado em consideração. Analisando a Fig. 4 verifica-se que as zonas de maior produtividade do pessegueiro ocorreram na

parte norte da área experimental no ano de 2011, visto que no ano de 2010 a presença de um vento de elevada velocidade mudou a distribuição espacial dos valores de maiores produtividade para o centro da área, região mais protegida do pomar (Fig. 4). A associação dos mapas apresentados nas Figs. 1, 2 e 4 confirmam os resultados da análise de correlação canônica, que indicaram que as variáveis argila e microporosidade, para ambas as camadas de solo estudadas, foram as que apresentaram os maiores valores de correlação canônica dentro do grupo das variáveis do solo e entre o grupo das variáveis do solo e da planta. O mesmo fato pode ser observado a partir da associação do mapa da variável umidade volumétrica (Fig. 2) com o da produtividade do pessegueiro em 2011 (Fig. 4), já que a umidade volumétrica atua como integrador das variáveis físico-hídricas do solo. Estas informações poderão nortear o produtor com relação a aplicação de práticas diferenciadas no pomar com relação a aplicação de fertilizantes, de água e nutrientes no solo, dentre outras.

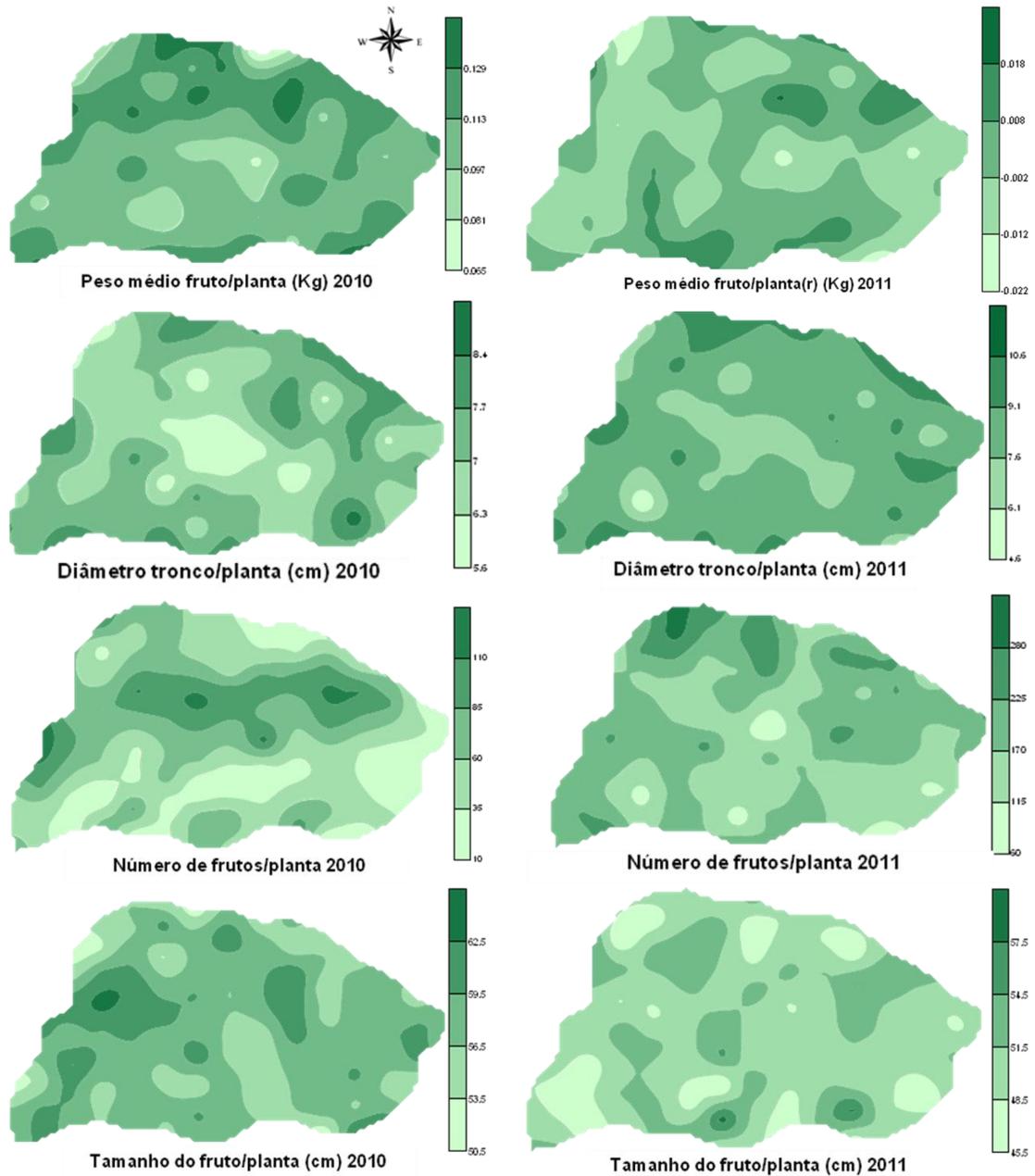


Figura 3 - Mapas de isolinhas dos atributos peso médio do fruto/planta (kg), diâmetro do tronco (cm), número de frutos/planta e tamanho do fruto/planta em um pomar de pessegueiro para os anos de 2010 e 2011.

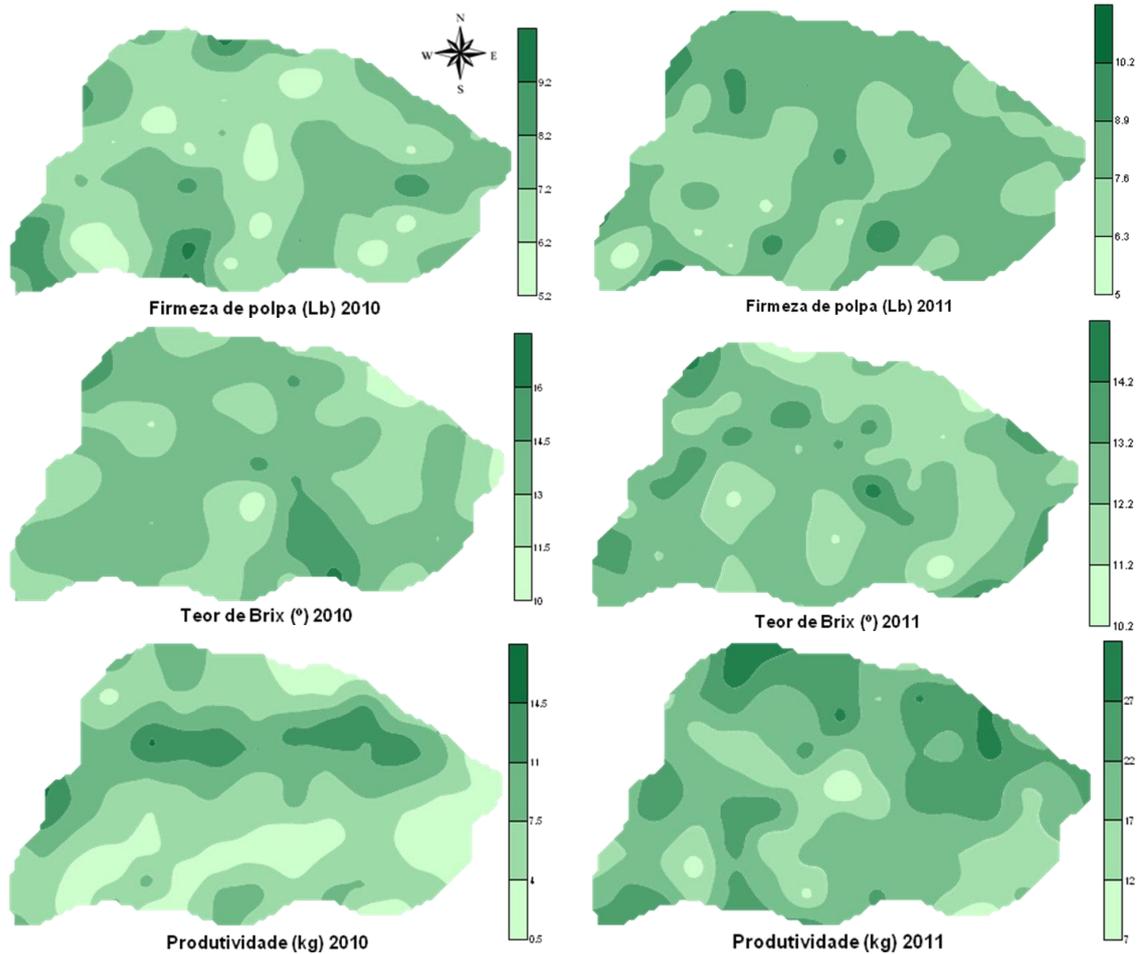


Figura 4 - Mapas de isolinhas dos atributos firmeza de polpa (Lb), teor de brix (°) e produtividade ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) nos anos de 2010 e 2011 em um pomar de pessegueiro.

Também pode ser constatado que, dentre as variáveis ligadas a planta, o mapa de distribuição espacial da produtividade do pessegueiro em 2010 e 2011 (Fig. 4) seguiu o mapa de distribuição da variável número de frutos/planta (Fig. 3) em ambos os anos. O tamanho dos frutos/planta (Fig. 3), que também é uma variável componente da produtividade, se distribuiu sem um padrão espacial definido, fato este observado nos dois anos. A Fig. 3 ainda mostra que o tamanho dos frutos foi maior no ano de 2010, devido ao menor número de frutos/planta no ano de 2010.

Os modelos ajustados aos semivariogramas dos atributos físico-hídricos e dos atributos da planta encontram-se no Apêndice C.

## 5.4 Conclusões

- O modelo teórico de semivariograma exponencial é o que melhor descreve a estrutura de variabilidade espacial das variáveis físico-hídricas do solo e das variáveis da planta.

- Dentre as variáveis físico-hídricas do solo, a areia e a umidade volumétrica são as que apresentam maior grau de dependência espacial.

- As variáveis da planta estudadas apresentam a mesma classe de dependência espacial.

- A produtividade do pessegueiro é mais influenciada pelas características do solo como a argila e a microporosidade, as quais são relacionadas ao armazenamento e retenção de água no solo.

## **6 Capítulo 3- Estrutura de variabilidade espacial e temporal da temperatura e umidade relativa do ar em um pomar de pessegueiro**

### **6.1 Introdução**

A agricultura é a atividade econômica mais dependente das condições climáticas, pois o impacto do clima na qualidade e na produtividade final dos cultivos é amplamente reconhecido. Estudos referentes a problemas causados pelas variáveis climáticas na agricultura exige uma demanda de ferramentas objetivas que combinem as informações sobre o comportamento do tempo e do clima, com o conhecimento quantitativo das relações entre as variáveis climáticas e o seu impacto sobre os diferentes cultivos (MONTEIRO, 2009).

Os elementos do clima e tempo afetam diretamente o crescimento, o desenvolvimento e a produtividade das culturas nas diversas fases do seu ciclo. Também influenciam no desenvolvimento de microorganismos, insetos e fungos, favorecendo ou não a ocorrência de pragas e doenças. Petr (1991) e Fageria (1992) destacam que, aproximadamente, 80% da variabilidade da produção agrícola no mundo deve-se as condições meteorológicas durante o ciclo da cultura. Para Pereira et al. (2002) muitas práticas agrícolas de campo, como o preparo do solo, a semeadura, a adubação, a irrigação e a colheita, dentre outras, dependem das condições do tempo para que possam ser realizadas de forma eficiente. Essas condições podem afetar o consumo de água pelas plantas, visto que elas influenciam nos componentes do balanço de água no solo. As principais variáveis que afetam o crescimento e o desenvolvimento das culturas são a precipitação, temperatura, umidade relativa do ar, velocidade e a direção do vento (PEREIRA et al., 2002). A temperatura e a umidade relativa juntamente com a radiação solar e o vento são as variáveis mais influentes na evapotranspiração das culturas. A variabilidade destes fatores dentro das áreas agrícolas pode diferenciar o consumo

de água pelas plantas em um mesmo pomar, o que determinaria a aplicação de água de forma diferenciada.

No estado do Rio Grande do Sul existe uma carência de estudos referentes a variabilidade espacial e temporal das variáveis climáticas, principalmente sobre a temperatura e umidade relativa do ar em pequenas áreas. Pereira et al. (2002) enfatizam que a temperatura do ar afeta diretamente as plantas no momento da respiração, da transpiração, no repouso vegetativo, na duração das fases fenológicas, na indução do florescimento e na sua produtividade. Juntamente com a temperatura, a umidade relativa do ar é outra variável que atua de diversas formas sobre as culturas, afetando, inclusive, o poder evaporante do ar e a transpiração das plantas (SENTELHAS, 2004). A maior parte dos trabalhos de variabilidade espacial e temporal envolvendo ambas as variáveis vem sendo desenvolvidos em escala a nível regional, justificando desta forma a sua avaliação em pequenas áreas com o intuito de entender o comportamento destas variáveis e sua influência no ambiente físico, na qual a cultura se desenvolve. Desta forma, o presente estudo teve como objetivo avaliar a variabilidade espacial e temporal da temperatura e umidade relativa do ar, em um pomar de pessegueiro, no município de Morro Redondo-RS, por meio da técnica de geoestatística.

## 6.2 Material e Métodos

O presente estudo foi realizado no ano de 2010 em um pomar de pessegueiro localizado no município de Morro Redondo-RS. O clima da região, segundo a classificação de Köppen, é “Cfa”, ou seja, temperado úmido com verões quentes. A região possui temperatura e precipitação média anual de 18°C e 1.509,2mm, respectivamente, apresentando uma umidade relativa média do ar de 78,8%. A localização e descrição da área experimental, do tipo de solo e descrição do pomar de pessegueiro, dentre outras informações, encontram-se na Metodologia geral (item 3).

As variáveis temperatura e umidade relativa do ar foram coletadas no dia 10/08/2010 (período de repouso vegetativo) em dois períodos (manhã: 07:00h as 09:00h; tarde: 13:00h as 15:00h). Para tal, foram utilizadas 2 estações automáticas, modelo Squitter, sendo uma fixa próxima ao pomar (Fig. 1a) e a outra móvel acoplada em um trator (Figs. 1b e 1c).



Figura 1- Estações automáticas para coleta de dados de temperatura e umidade relativa do ar no pomar de pessegueiro: (a) estação modelo Squitter próxima ao pomar; (b e c) estação móvel acoplada ao trator.

As duas estações foram sintonizadas no mesmo horário e programadas para registrarem as medidas da temperatura e umidade relativa do ar a cada minuto. O levantamento dos dados com a estação móvel foi realizado entre as linhas de

pessegueiro, sendo estipulado um tempo zero (inicial) na primeira planta (Fig. 1c). Logo após, o trator deslocava-se lentamente e a cada minuto era registrado o horário e a planta em que a estação móvel se localizava. Visando eliminar as variações das medidas com o tempo, realizou-se a espacialização da diferença de leitura entre as duas estações (fixa e móvel) ao longo do pomar.

A análise descritiva dos dados de temperatura e umidade relativa do ar foi realizada por meio do software estatístico SAS (SCHLOTZHAVER; LITTELL, 1997), calculando as medidas de posição (média e mediana), de dispersão (coeficiente de variação) e de formato da distribuição de cada variável (coeficientes de assimetria e de curtose). O coeficiente de variação (CV) foi classificado segundo Wilding e Drees (1983) como:  $CV \leq 15\%$ ;  $15\% < CV \leq 35\%$ ;  $CV > 35\%$ , como baixo, médio e alto, respectivamente.

A análise geoestatística foi aplicada as variáveis das diferenças entre estações, utilizando o pacote GEOEST (VIEIRA et al., 2002), calculando os semivariogramas experimental e teóricos e os respectivos parâmetros de ajustes. Quando necessário, também foi efetuada a retirada de tendência dos valores dos atributos. Identificada a estrutura de dependência espacial por meio do semivariograma, foram construídos os mapas de isolinhas das variáveis aplicando a interpolação geoestatística por krigagem. Para a manipulação e visualização dos mapas de cada atributo estudado foi utilizado o software SURFER (GOLDEN SOFTWARE, 1999). Todos os modelos de semivariograma foram submetidos à validação pelo método "Jack-Knifing" (VIEIRA et al., 2002). O grau de dependência espacial (GD) foi determinado segundo Zimback (2001), classificado como:  $GD \leq 25\%$ ;  $25\% < GD \leq 75\%$  e  $GD > 75\%$ , em baixo, moderado e alto, respectivamente.

### 6.3 Resultados e discussão

Na tab. 1 são apresentados os resultados da análise descritiva aplicada aos conjuntos de dados de temperatura (Temp.) e umidade relativa do ar (U.R.). Analisando a tabela verifica-se que a variabilidade dos dados de temperatura e umidade relativa em torno da média, expressa pelo CV (%), é maior no período da manhã quando comparada com o período da tarde.

De acordo com a classificação proposta por Wilding e Drees (1983), a distribuição dos dados de U.R. coletados na estação fixa e no trator apresentou baixa variabilidade ( $CV \leq 15\%$ ) no período da manhã. No período da tarde a distribuição das variáveis apresentou baixa variabilidade (tab. 1). Já a distribuição dos dados de temperatura coletados, tanto na estação fixa como na estação acoplada ao trator, apresentou alta variabilidade ( $CV > 35\%$ ) no período da manhã. Landim (1998) comenta que o coeficiente de variação de uma determinada variável fornece uma medida relativa de precisão do experimento, sendo importante na avaliação da dispersão dos dados.

Tabela 1 - Resultados da estatística descritiva aplicada aos dados de temperatura (Temp., °C) e umidade relativa do ar (U.R., %) em área de pessegueiro no dia 10/08/2010

Estações	Variáveis	Média	Mediana	CV	$C_s$	$C_k$	Máximo	Mínimo
<b>Manhã</b>								
EMA_Fixa	U.R.	74,5	78,8	15	-0,88	-0,77	87,7	53
	Temp.	6,1	5,0	56	0,59	-1,13	12,26	1,86
EMA_Trator	U.R.	73,7	76,6	12	-0,47	-1,02	88	55,9
	Temp.	5,4	4,8	48	0,34	-1,23	9,85	1,59
<b>Tarde</b>								
EMA_Fixa	U.R.	39,8	39,6	5	0,48	-0,09	45	35,40
	Temp.	15,8	15,8	2	0,41	-0,44	16,39	15,21
EMA_Trator	U.R.	40,6	40,5	5	-0,21	-0,33	44,80	35,30
	Temp.	17,0	16,4	2	0,61	-0,08	18,12	16,39

EMA=Estação Meteorológica Automática, EMA\_Fixa=estação meteorológica instalada no pomar de pessegueiro e EMA\_Trator=estação meteorológica acoplada ao trator.

Ainda na tab. 1 pode-se constatar que a variável umidade relativa do ar apresentou uma distribuição assimétrica negativa no período da manhã para os dados coletados na estação fixa e na móvel, corroborando os comportamentos da média e da mediana. Já a distribuição dos dados de temperatura foi assimétrica positiva em ambos os casos durante o período da manhã. No período da tarde houve um comportamento inverso em termos de assimetria para os dados de umidade relativa, entretanto, a assimetria positiva permaneceu para os dados de temperatura. Quanto ao achatamento das distribuições, os coeficientes de curtose foram negativos em todas as situações analisadas classificando as distribuições como platicúrticas (LANDIM, 1998).

A Fig. 2 apresenta os valores de umidade relativa do ar e os valores das diferenças de U.R. entre a estação fixa e a móvel, para os períodos analisados. Em função dos dois horários analisados ao longo do dia, no período das 7:00h as 9:00h a U.R. variou, aproximadamente, de 90% a 50%. Essa variação foi maior do que no período da tarde, onde a umidade relativa do ar ficou em torno de 40% (Fig. 2). Também pode ser verificado que a flutuação ponto a ponto das diferenças entre U.R. foi maior no período da manhã quando comparado ao período da tarde, onde há uma tendência de homogeneização das diferenças.

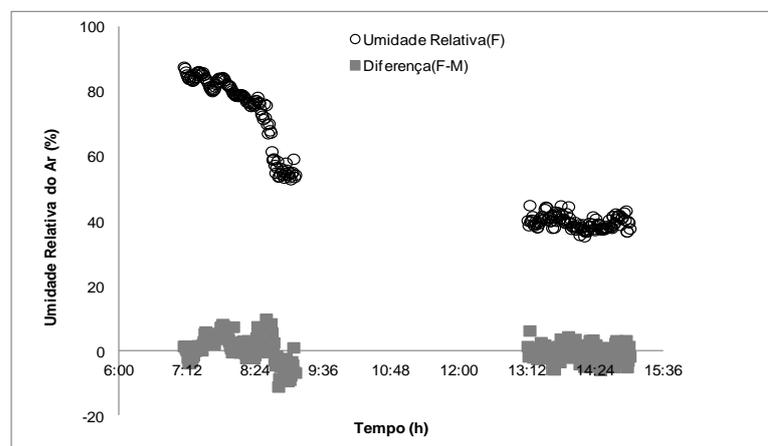


Figura 2 - Valores de umidade relativa do ar e valores das diferenças de U.R. entre a estação fixa e a móvel, para os períodos analisados.

Na Fig. 3 mostra os valores de temperatura do ar e os valores das diferenças de temperatura entre a estação fixa e a móvel, para os períodos analisados. Analisando os dados de temperatura do ar verifica-se que no período da manhã (das 7:00h as 9:00h) os valores medidos variaram de 2°C a 12°C. Isso comprova que a

temperatura tem tendência de evolução inversa a umidade relativa do ar (Fig. 2), desde que o ar não esteja saturado de vapor d'água. No período da tarde, como a medida foi realizada num horário estável de radiação solar e com a estabilidade da temperatura a variação foi considerada mínima. Também pode ser observado que os valores das diferenças seguiram o comportamento dos valores de temperatura, tanto no período da manhã como no período da tarde.

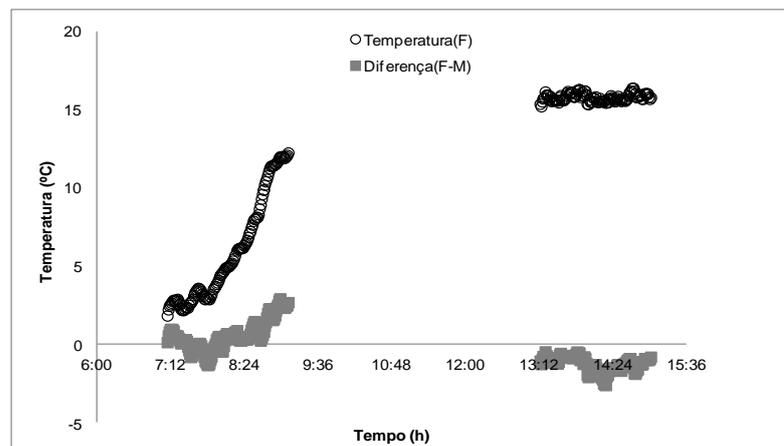


Figura 3 - Valores de temperatura do ar e valores das diferenças de Temp. entre a estação fixa e a móvel, para os períodos analisados.

Na tab. 2 são apresentados os modelos matemáticos ajustados aos semivariogramas experimentais e respectivos parâmetros de ajustes para as diferenças dos valores de temperatura e de umidade relativa do ar no dia 10/08/2010, nos dois períodos avaliados.

Tabela 2 - Modelos matemáticos dos semivariogramas e respectivos parâmetros de ajustes para as diferenças dos valores de temperatura (DIF Temp., °C) e de umidade relativa do ar (DIF U.R., %) no dia 10/08/2010, período da manhã (7:00h as 9:00h) e da tarde (13:00h as 15:00h)

Período	Variáveis	Modelo	$C_0$	C	a	GD	Classe
Manhã	DIF Temp.	Esf.	0,015	1,32	97,5	98,88	Alto
	DIF U.R.	Exp.	2	13	29	86,67	Alto
Tarde	DIF Temp.	Exp.	0,012	0,27	57	95,74	Alto
	DIF U.R.	Exp.	3,4	3,5	50	50,72	Moderado

$C_0$ =efeito pepita, C=variância estruturada, a=alcance (m), GD=grau de dependência espacial (%), Esf=esférico, Exp=exponencial, Gaus=gaussiano.

No período da manhã o modelo exponencial foi o ajustado para a DIF U.R. e o esférico para a DIF Temp. (tab. 2), enquanto que para o período da tarde o modelo exponencial foi o que melhor descreveu o semivariograma de ambas as variáveis.

Pode-se observar que a faixa de dependência espacial (alcance  $a$ ) encontrada para a variável DIF Temp. foi de 97,5m e 57,0m no período da manhã e da tarde, respectivamente, ou seja, houve uma tendência das diferenças entre as observações adjacentes de temperatura do ar se distribuir mais aleatoriamente no período da tarde, fato este não esperado já que baseado na análise da tab. 1 verifica-se que o valor do CV foi menor neste período. O contrário foi observado para a variável DIF U.R., em que o alcance aumentou de 29,0m (manhã) para 50,0m (tarde). Da tab. 2 ainda pode ser constatado que o grau de dependência (GD) permaneceu alto ( $GD > 75\%$ ) (Zimback, 2001) para as variáveis analisadas em ambos os períodos avaliados.

Na Fig. 4 são apresentados os mapas de distribuição espacial das diferenças entre os dados de temperatura (DIF Temp.) e umidade relativa do ar (DIF U.R.) coletados na estação fixa e na estação acoplada ao trator no dia 10/08/2010, para o período da manhã e da tarde.

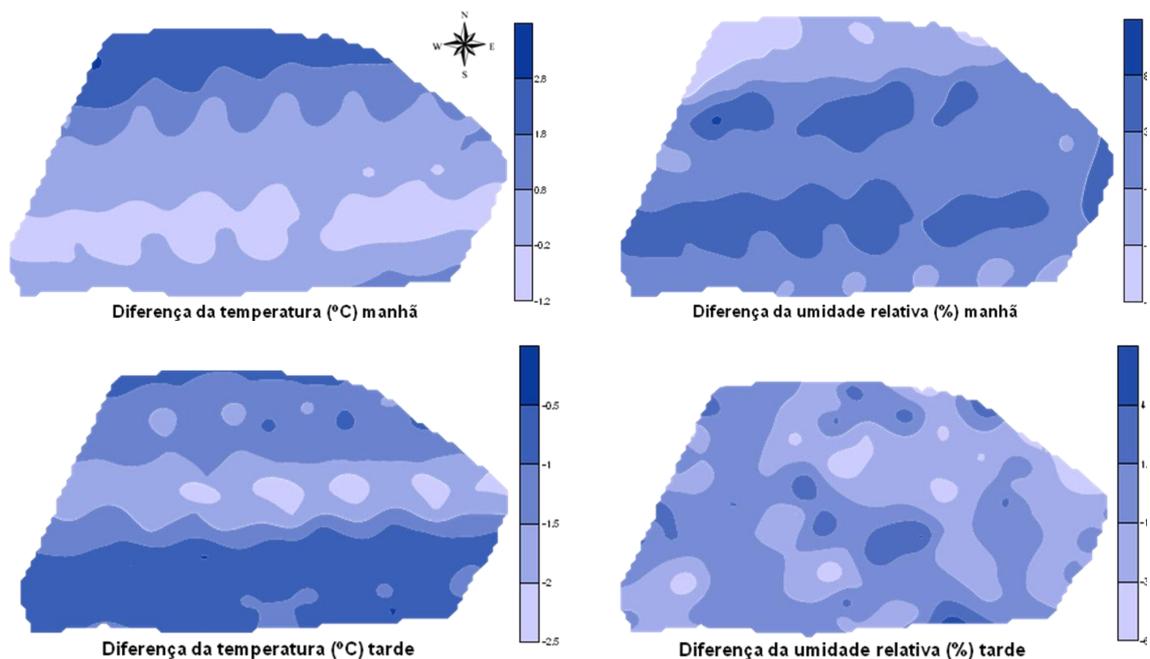


Figura 4 - Mapas de distribuição espacial das diferenças entre os dados de temperatura (DIF Temp., °C) e umidade relativa do ar (DIF U.R., %) coletados na estação fixa e na estação acoplada ao trator no dia 10/08/2010, para o período da manhã e da tarde.

A Fig. 4 mostra que a variação das diferenças de temperatura do ar entre a estação fixa e a móvel no período da manhã foi de  $-1,2^{\circ}\text{C}$  a  $2,8^{\circ}\text{C}$  e no período da tarde de  $-2,5^{\circ}\text{C}$  a  $-0,5^{\circ}\text{C}$ . Também pode ser notado que, aparentemente, existe certa

relação entre o mapa das DIF U.R. no período da tarde e a produtividade do pessegueiro no ano de 2011 (Capítulo 2, Fig. 4), indicando que na parte leste onde as DIF U.R. são menores, maiores são os valores de produtividade. O inverso pode ser observado em relação a DIF Temp. com a produtividade.

A análise conjunta dos dados de temperatura, umidade relativa e radiação solar refletem as variações de evapotranspiração do pessegueiro dentro do pomar. Estas variações existem e podem estar influenciando na condição hídrica das plantas o que indicaria um manejo diferenciado da irrigação na área experimental.

## 6.4 Conclusões

- O modelo teórico de semivariograma exponencial é o que melhor descreve a estrutura de variabilidade das diferenças de temperatura e de umidade relativa do ar no período da manhã e da tarde.

- A metodologia adotada apresenta coerência com a variação normal das variáveis climáticas, necessitando de uma análise cientificamente embasada.

## Discussão geral

As inter-relações entre as variáveis que compõem o Sistema Solo-Planta-Atmosfera são complexas e variáveis com relação ao espaço e ao tempo, o que dificulta a análise do sistema como um todo. Por isso, na maioria dos trabalhos científicos tem-se observado a análise compartimentada de cada variável ou de um conjunto de variáveis que compõem cada sistema. Além disso, estas inter-relações são regidas por leis físicas, responsáveis pela transferência de energia de um ponto para o outro dentro do sistema ou entre os sistemas.

Neste trabalho procurou-se identificar as inter-relações das variáveis do sistema solo (variáveis físico-hídricas) com as variáveis do sistema planta por meio de uma análise ainda pouco explorada na área agrônômica, denominada de análise de correlação canônica. Trata-se de uma técnica multivariada em que as inter-relações entre variáveis são analisadas dentro do próprio sistema e entre sistemas. Acredita-se que seja uma primeira tentativa de identificar qual(is) variável(is) do sistema solo são mais importantes na produtividade do pessegueiro, tratando as inter-relações de forma conjunta e não isoladas.

Também se procurou identificar a variabilidade espacial e temporal das variáveis do solo e da planta dentro da área experimental, buscando identificar e determinar a estrutura de dependência espacial de cada variável por meio de ferramentas geoestatísticas, que com o passar dos anos vem ganhando destaque na área de ciências agrárias. Estas ferramentas, embora não sejam consideradas novas, possuem um grande potencial a ser explorado, principalmente, quando se trabalha com o conceito de Agricultura de Precisão. Por exemplo, a partir da visualização dos mapas poderão ser adotados manejos diferenciados de práticas agrícolas na propriedade rural, seja ela pequena, média ou grande.

Avaliar a relação existente entre os atributos físico-hídricos do solo e os atributos da planta por meio da análise de correlação canônica, determinar a estrutura de correlação espacial e temporal dos atributos físico-hídricos do solo, da

planta e do clima (temperatura e umidade relativa do ar) por meio da técnica de geoestatística, visando possibilitar manejos diferenciados no pomar de pessegueiro.

### **Conclusões gerais**

A análise de correlação canônica permitiu identificar as variáveis do solo argila e microporosidade como as mais fortemente correlacionadas com a produtividade do pessegueiro.

A análise geoestatística permitiu delimitar as zonas homogêneas dos atributos do solo, da planta e do clima bem como inferir visualmente sobre as inter-relações espaciais das variáveis do sistema solo-planta-atmosfera.

A associação dos mapas das variáveis do solo, da planta e do clima indica que os futuros manejos diferenciados de práticas agrícolas deverão se basear na distribuição espacial das variáveis no pomar de pessegueiro visto que isto possibilitará a racionalização da aplicação de insumos e de água e a preservação dos recursos naturais na propriedade.

## Referências

ACOCK, B.; PACHEPSKY, Y. **Holes in precision farming: mechanistic crop models**. In: Precision Agriculture. Madison: American Society of Agronomy; Soil Science Society of America, 1997. p.397-404.

ANDRADE, A.R.S. de.; GUERRINI, I.A.; GARCIA, C.J.B.; KATEZ, I.; GUERRA, H.O.C. Variabilidade espacial da densidade do solo sob manejo da irrigação. **Ciência Agrotec.**, v.29, n.2, p.322-329, 2005.

ASSOCIAÇÃO RIOGRANDENSE E EMPREENDIMENTOS DE ASSISTÊNCIA TÉCNICA E EXTENSÃO RURAL- EMATER. Disponível em: <http://www.emater.tche.br>. Acesso em 20 jul 2005.

BALASTREIRE, L.A. Agricultura de precisão; mapeamento da produtividade de uma cultura de café. In: XXX CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 2001, Foz do Iguaçu. **Anais...** Jaboticabal: SBEA, 2001.

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**, v.27, n.4, p.695-703, 2003.

CAVALCANTE, E.G.S.; ALVES, M.C.; SOUZA, Z.M. de.; PEREIRA, G.T. Variabilidade espacial de atributos químicos do solo sob diferentes usos e manejos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.31, n.37, p.10-18, 2004.

COELHO FILHO, M.A.; COELHO, R.D.; GONÇALVES, A.C.A. Variabilidade espacial de variáveis físico-hídricas do solo em um pomar de lima ácida Tahiti, irrigado por microaspersão. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** v.5, n.2, p.239-246, 2001.

COIMBRA, J.L.M.; GUIDOLIN, A.F.; ALMEIDA, M.L. de.; SANGOI, L.; ENDER, M.; JÚNIOR MEROTTO, A. Análise de trilha dos componentes do rendimento de grãos em genótipos de canola. **Ciência Rural**, v.34, n.5, p.1421-1428, 2004.

COIMBRA, J.L.M.; GUIDOLIN, A.F.; CARVALHO, F.I.F. de.; AZEVEDO, R. de. Correlações canônicas: II - análise do rendimento de grãos de feijão e seus componentes. **Ciência Rural**, v.30, n.1, p.31-35, 2000.

CONCEIÇÃO, G.M.S.; ALENCAR, A.P.; ALENCAR, G.P. Noções básicas de estatística, 2007. Disponível em: [http://portal.saude.gov.br/portal/arquivos/pdf/apostila\\_estatistica.pdf](http://portal.saude.gov.br/portal/arquivos/pdf/apostila_estatistica.pdf) Acesso em: 23 abr. 2012.

CORÁ, J.E.; MARQUES JÚNIOR, J. Atributos do solo para agricultura de precisão. In: XXVII Simpósio de mecanização e agricultura de precisão, 1998, Poços de Caldas. **Anais...** CONBEA, 1998. p.31-70.

CÔRREA, A.N.; TAVARES, M.H.F.; URIBE-OPAZO, M.A. Variabilidade espacial de atributos físicos do solo e seus efeitos sobre a produtividade do trigo. **Revista Ciências Agrárias**, v.30, n.1, p.81-94, 2009.

CRUZ, C.D.; REGAZZI, A.J.; CARNEIRO, P.C.S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. 3.ed. Editora: UFV, 2004. 480p.

DELLAMEA, R.B.C. **Eficiência da adubação a taxa variável em áreas manejadas com agricultura de precisão no Rio Grande do Sul**. 2008, 162f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo)- Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

DOURADO NETO, D. **Variabilidade espacial das alturas de chuva e irrigação e potenciais da solução do solo**. 1989, 180f. Dissertação (Mestrado em Agronomia)- Escola Superior de agricultura "Luiz Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba.

EMATER – Associação Riograndense e Empreendimentos de Assistência Técnica e Extensão Rural. Disponível em: <<http://www.emater.tche.br>> Acesso em: 20 jul. 2005.

EMBRAPA CENTRO NACIONAL DE PESQUISA DE SOLOS. **Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos**. 2.ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306p.

ESSER, A.A. **Aplicaciones de la viticultura de precisión em Chile**. 2002, 26f. Trabajo de finalización del curso (Graduación em Agronomia)- Pontificia Universidad Católica de Chile, Santiago.

FAGERIA, N.K. **Maximizing crop yields**. 1.ed. New York: Marcel Dekker. 1992. 274p.

FAO. Disponível em: <<http://faostat.fao.org>> Acesso em: 11 out. 2011.

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

FRIDGEN, J.J.; FRAISSE, C.W.; KITCHEN, N.R.; SUDDUTH, K.A. Delineation and analysis of site-specific management. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON GEOSPATIAL INFORMATION IN AGRICULTURE AND FORESTRY, 2. 2000, Lake Buena Vista. **Proceedings**...Florida, 2000. p.10-12.

GEE, G.W.; OR, D. The Solid Phase: Particle-Size Analysis. In: DANE, J.H.; TOPP, G.C. (Ed.) **Methods of Soil Analysis Part 4. Physical Methods**. Madison: American Society of Agronomy; Soil Science Society of America, 2002. p. 255-293.

GONÇALVES, A.C. A.; FOLEGATTI, M.V.; VIANA, J.D. Análises exploratória e geoestatística da variabilidade de propriedades físicas de um Argissolo Vermelho. **Acta Sci.** v.23, p.1149-1157, 2001.

GROSSMAN, R.B.; REINSCH, T.G. The Solid Phase: Bulk Density and Linear Extensibility. In: DANE, J.H.; TOPP, G.C. (Ed.) **Methods of Soil Analysis Part 4. Physical Methods**. Madison: American Society of Agronomy; Soil Science Society of America, 2002. p. 201-228.

HERTER, F.G.; SACKS, S.; CARVALHO, F.L.C.; FLORES, C.A. Condições de clima e solo para instalação do pomar. In: RASEIRA, M.C.B.; CENTELLAS-QUEZADA, A. (eds). **Pêssego**. Produção. Brasília: EMBRAPA Informação Tecnológica, 2003. p.36-40.

IBGE. **Produção agrícola municipal: Culturas temporárias e permanentes**. 32.ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2011. 101p.

INAKASU, R.Y.; NAIME, J.M. de.; RESENDE, A.V. de.; BASSOI, L.H.; BERNARDI, A.C.C. de. **Agricultura de precisão: um novo olhar**. 1.ed. São Carlos: Embrapa instrumentação, 2011. 334p.

JAKOB, A.A.E. **Estudo da correlação entre mapas de variabilidade de propriedades do solo e mapas de produtividade para fins de agricultura de precisão**. 1999. 145f. Dissertação (Mestrado-FEAGRI)- Universidade Estadual de Campinas, SP.

JOURNEL, A.G.; HUIJBREGTS, C.J. **Mining geostatistics**. London: Academic Press, 1978. 600p.

KIEHL, E.J. **Manual de edafologia: relações solo-planta**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1979. 264p.

KONOPATZKI, M.R.S. **Variabilidade espacial da produtividade de frutos de pereiras e atributos químicos do solo**. 2008. 86f. Dissertação (Mestrado)- Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel.

KRIGE, D.G. **A statistical approach to some basic evaluation problems on the Witwatersrand**. Chemistry Metallurgy Mining Society South African, Witwatersrand, v. 52, n.6, p.119-139, 1951.

LANDIM, P.M.B. **Análise Estatística de Dados Geológicos**. São Paulo: UNESP, 1998. 226p.

LI, H.; LASCANO, R.J.; BOOKER, J.; WILSON, L.T.; BRONSON, K.F.; SEGARRA, E. State-space description of heterogeneity: water and nitrogen use in cotton. **Soil Science Society of America Journal**, v.66, n.2, p.585-595, 2002.

MADAIL, J.C.M.; REICHERT, L.J.; DOSSA, D. **Análise da rentabilidade dos sistemas empresarial e familiar de produção de pêssegos no Sul do Rio Grande do Sul**. Pelotas: EMBRAPA Clima Temperado, 2002. 43p. (Embrapa Clima Temperado. Documentos, 86).

MANZATTO, C.V.; BHERING, S.B.; SIMÕES, M. Agricultura de precisão: propostas e ações da Embrapa solos. EMBRAPA Solos, 1999. Disponível em:

<<http://www.cnps.embrapa.br/search/pesqs/proj01/proj01.html>> Acesso em: 10 Jul. 2011.

MATHERON, G. **Principals of geostatistics. Economic Geology**. n.58, p.1246–66, 1963.

MINGOTI, S.A. **Análise de dados através de métodos de estatística multivariada: uma abordagem aplicada**. 1.ed. Belo Horizonte. Editora: UFMG, 2005. 297p.

MORRISON, D.F. **Multivariate statistical methods**. 2.ed. Tokyo: McGraw, 1978. 415p.

MONTEIRO, B.A. **Agrometeorologia dos cultivos: o fator meteorológico na produção agrícola**. 1.ed. Brasília: INMET, 2009. 530p.

MCBRATNEY, A.B.; WEBSTER, R. Choosing functions for semi-variograms of soil properties and fitting them to sampling estimates. **Soil Science**, Baltimore. v.37, n.3, p.617-639, 1986.

NAKASU, B. Introdução. In: RASEIRA, M.C.B.; CENTELLAS-QUEZADA, A. (eds). **Pêssego**. Produção. Brasília: EMBRAPA Informação Tecnológica, 2003. 9p.

NIELSEN, D.R.; BIGGAR, J.W.; ERH, H.T. Spatial variability of soil water properties. **Hilgardia**, v.42, n.7, p.21-59, 1983.

PEREIRA, A.R.; ANGELOCCI, L.R.; SENTELHAS, P.C. **Agrometeorologia: fundamentos e aplicações práticas**. Guaíba: Agropecuária, 2002. 478p.

PEREIRA, A.R.; VILLA NOVA, N.A.; SEDIYAMA, G.C. **Evapotranspiração**. Piracicaba: Fealq, 1997. 183p.

PETR, J. **Weather and yield**. Amsterdam: Elsevier. 1991. 288p.

PIERCE, F.J.; NOWAK, P. Aspects of precision agriculture. **Adv. Agronomy**, v.67, p.1-85, 1999.

R CORE TEAM. R: A language and environment for statistical computing. R version 2.15.1. Viena: R Foundation for Statistical Computing, 2012.

RAMOS, A. **Análise do desenvolvimento vegetativo e produtividade da palmeira popunha (*Bactris gasipaes* Kunth) sob níveis de irrigação e adubação nitrogenada**. 2002. 126f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

RAMOS, C.M.C.; SILVA, A.F.; SARTORI, A.A.C.; ZIMBACK, C.R.L.; BASSOI, L.H. Modelagem da variação horária da temperatura do ar em Petrolina, PE, e Botucatu, SP. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.15, n.9, p.959-965, 2011.

REICHARDT, K.; TIMM, L.C. **Solo, planta e atmosfera: conceitos, processos e aplicações**. São Paulo: Manole, 2012. 497p.

REICHARDT, K.; VIEIRA, S.R.; LIBARDI, P.L. Variabilidade espacial de solos e experimentação de campo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.10, n.1, p.1-6, 1986.

RIGÃO, M.H.; STORCK, L.; BISOGNIN, D.A.; LOPES, S.J. Correlação canônica entre caracteres de tubérculos para seleção precoce de clones de batata. **Ciência Rural**, v.39, n.8, p.2347-2553, 2009.

SACHES, S.; CAMPOS, A.D. O pessegueiro In: MEDEIROS, C. A. B., RASEIRA, M. C. B. **A cultura do pessegueiro**. Brasília: Embrapa, 1998. p.13-19.

SALVIANO, A.A.C.; VIEIRA, S.R.; SPAROVEK, G. variabilidade espacial de atributos do solo e de *Crotalaria juncea* (L) em área severamente erodida. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.22, p.115-122, 1998.

SANTOS, C.A.F.; CAVALCANTI, J.; PAINI, J.N.; CRUZ, C.D. Correlações canônicas entre componentes primários e secundários da produção de grãos em guandu (*Cajanus cajan* (L.) MILLSP). **Revista Ceres**, v.41, n.236, p.459-464, 1994.

SENTELHAS, P.C. **Duração do período de molhamento foliar: aspectos operacionais da sua medida, variabilidade espacial em diferentes culturas e sua estimativa a partir do modelo de Penman-Monteith**. 2004. 161f. Tese (Doutorado)- Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiróz", Universidade de São Paulo, Piracicaba.

SILVA, J.W. da.; SOARES, L.; FERREIRA, P.V.; SILVA, P.P.da.; SILVA, M.J.C.da. Correlações canônicas de características agroindustriais em cana-de-açúcar. **Acta Scientiarum**. Agronomy, v.29, n.3, p.345-349, 2007.

SILVA, A. P. da. **Variabilidade espacial de atributos físicos do solo**. 1988. 98f. Tese (Doutorado em Solos)- Escola Superior de agricultura "Luiz Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba.

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, p.367-372, 1997.

SORT, X.; UBALDE, J.M. Aspectos de viticultura de precfisión em La práctica de La fertilización razonada. ACE Revista de Enologia, Catalan, n.63, ene. 2005. Disponível em: <[http://www.acenologia.com/ciencia73\\_03.htm](http://www.acenologia.com/ciencia73_03.htm)> Acesso em: 14 maio 2011.

SURFER. **Release 7.0**. Contouring and 3D surface mapping for scientist`s engineers. User`s guide. New York: Golden Software, 1999. 619p.

SCHLOTZHAVER, S.D.; LITTELL, R.C. **SAS System for elementary statistical analysis**. 2.ed. Cary, 1997. 905p.

SCHMILDT, O.; SILVA, C.A.; FERREGUETE, G.A.; SCHMILDT, E.R.; CZEPAK, M.P. Correlação canônica entre caracteres vegetativos e de Capacidade de brotação em mamoeiro. **Enciclopédia Biosfera**, v.7, n.13, p.255-262, 2011.

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

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 3.ed. Porto Alegre: Artmed, 2004. 719p.

TAVARES, M.; MELO, A.M.T. de.; SCIVITTARO, W.B. Efeitos diretos e indiretos e correlações canônicas para caracteres relacionados com a produção de pimentão. **Bragantia**, v.58, n.1, p.41-47, 1999.

TAKEDA, E.Y. **Variabilidade especial de atributos físicos e químicos de uma associação de solos sob videira (Vitis vinifera-L) em Vitória Brasil (SP)**. 2000. 79f. Tese (Mestrado)- Universidade Estadual de São Paulo, Ilha Solteira.

TERRA, V.S.S.; REISSER JUNIOR, C.; TIMM, L.C.; CARVALHO, F.L.C.; PEREIRA, J.F.M. Correlação da variabilidade espacial entre a produtividade de um pomar de pêsegue e a densidade do solo para o município de Morro Redondo-RS. In: INAMASU, R.Y.; NAIME, J.M. de; RESENDE, A.V. de; BASSOI, L.H.; BERNARDI, A.C. de C. (Eds.) **Agricultura de precisão: um novo olhar**. 1.ed. São Carlos: Embrapa Instrumentação, 2011. p.217-221.

VIEIRA, S.R.; MILLETE, J.; TOPP, G.C.; REYNOLDS, W.D. Handbook for geoestatistical analysis of variability in soil and climate data. In: ALVAREZ, V.V.H.; SCHAEFER, C.E.G.R.; BARROS, N.F.; MELLO, J.W.V.; COSTA, J.M. (Eds.) **Tópicos em Ciência do Solo**. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v.2, p.1-45, 2002.

VIEIRA, S.R. Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ, A.V.H.; SCHAEFER, C.E.G.R (Eds.) **Tópicos em ciência do solo**. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v.1, p.1-54, 2000.

VIEIRA, S.R.; HATFIELD, J.L.; NIELSEN, D.R.; BIGGAR, J.W. Geostatistical theory and application to variability of some agronomical properties. **Hilgardia**, Berkeley, v.51, n.1, p.1-75, 1983.

VIEIRA, S.R.; NIELSEN, D.R.; BIGGAR, J.W. Spatial variability of field-measured infiltration rate. **Soil Science Society of American Journal**, v.45, n.3, p.1040-1048, 1981.

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

WILDING, L.P.; DREES, L.R. Spatial variability and pedology. In: WILDING, L.P.; SMECK, N.E.; HALL, G.F. (Eds.) **Pedogenesis and soil taxonomy: concepts and interactions**. New York: Elsevier, 1983. p.83-116.

## APÊNDICE

## Apêndice A

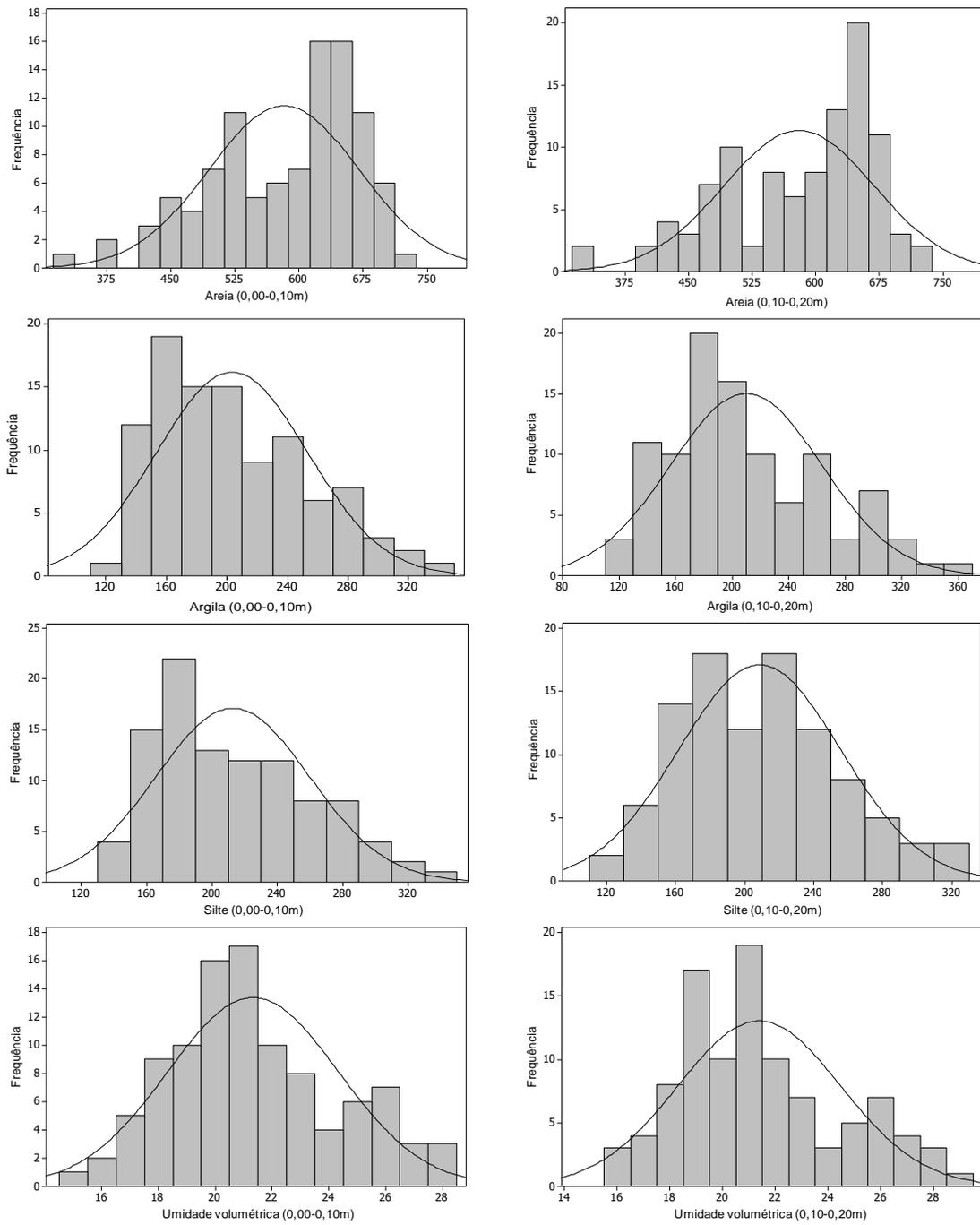


Figura 1 – Histogramas dos atributos areia, silte, argila ( $\text{g kg}^{-1}$ ) e umidade volumétrica (%) nas camadas de 0,00-0,10m e 0,10-0,20m.

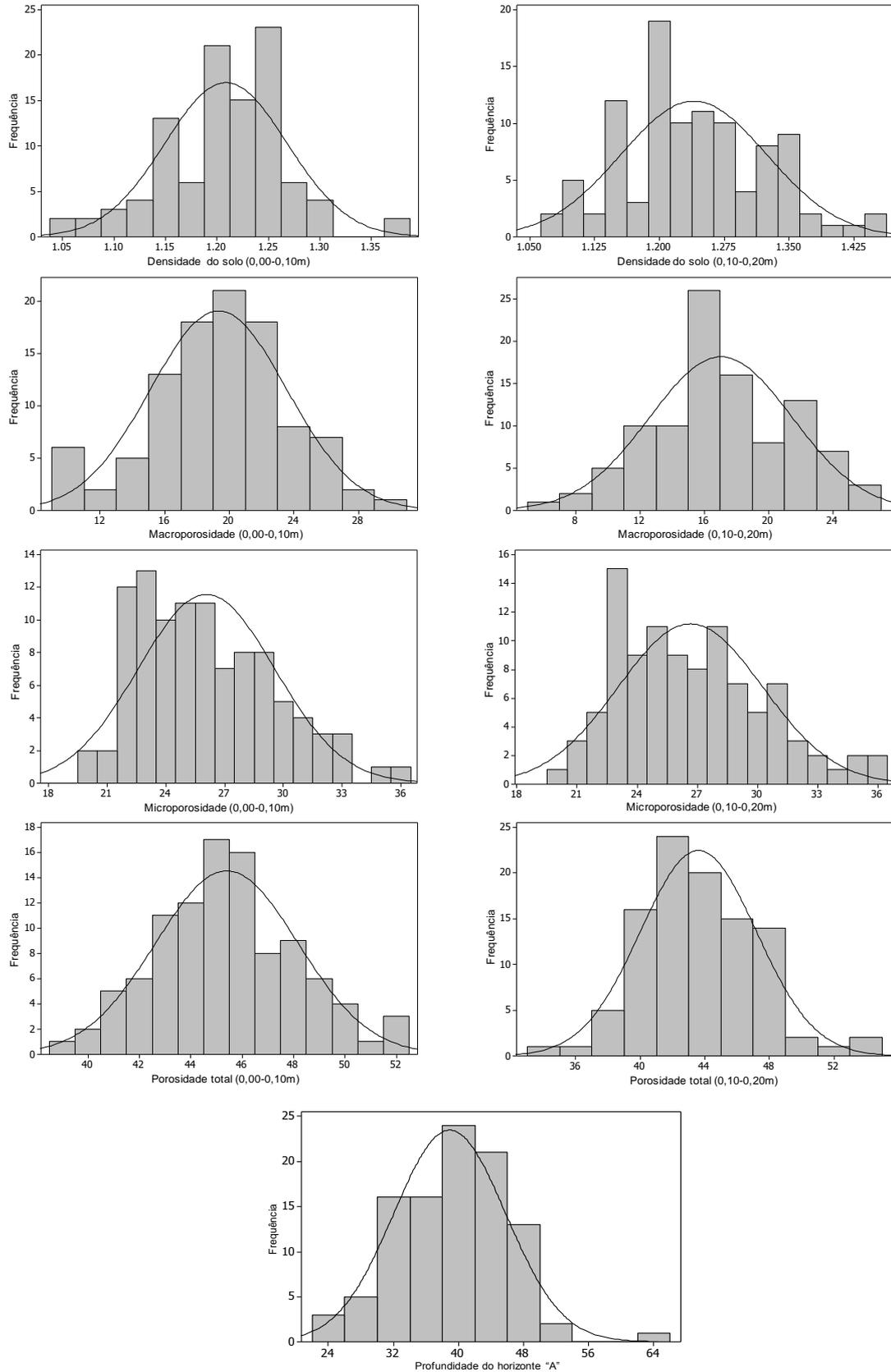


Figura 2 – Histogramas dos atributos densidade do solo ( $\text{g cm}^{-3}$ ), macroporosidade, microporosidade, porosidade total (%) nas camadas de 0,00-0,10m e 0,10-0,20m e profundidade do horizonte "A" (cm).

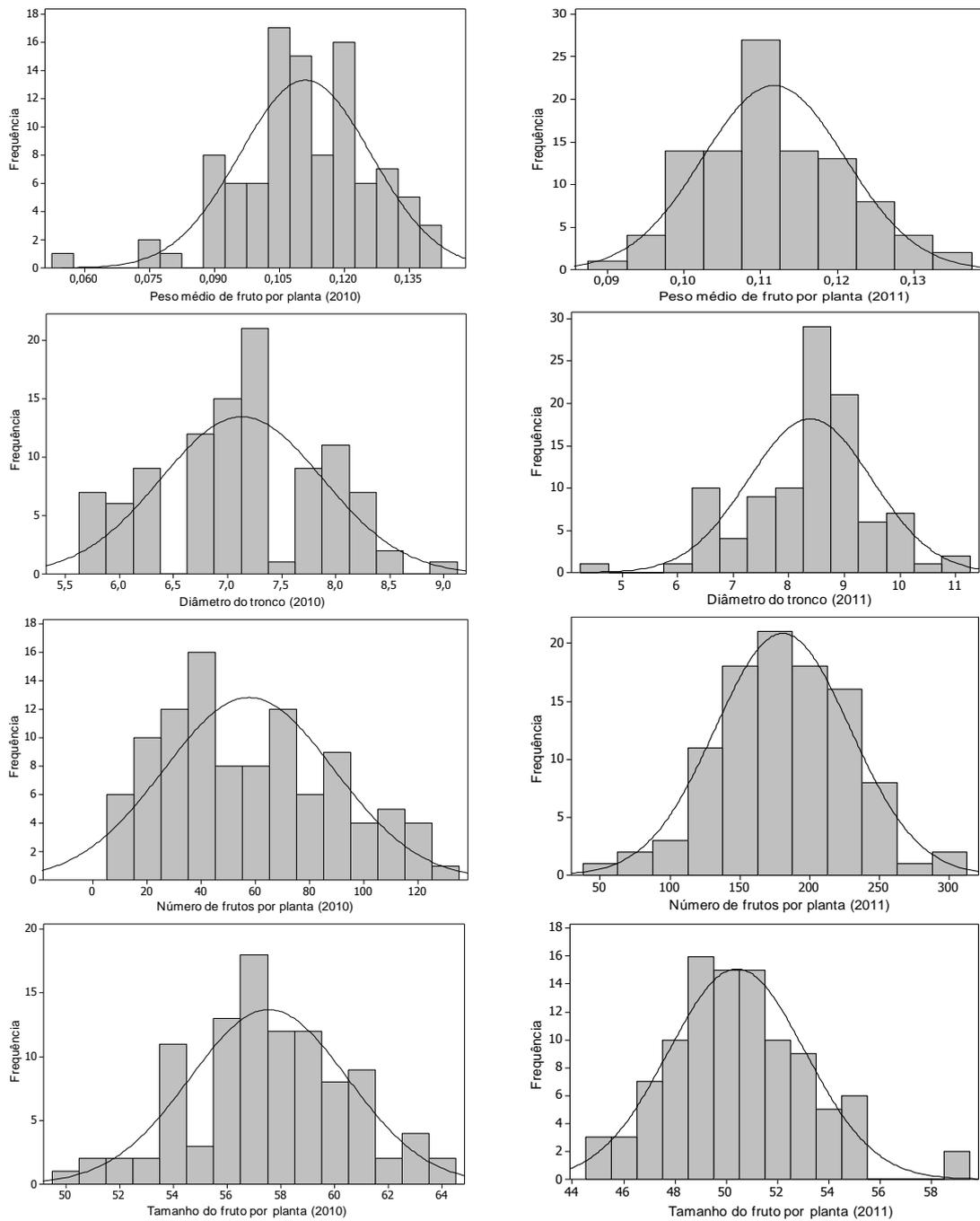


Figura 3 – Histogramas dos atributos peso médio de fruto por planta (kg), diâmetro do tronco (cm), número de frutos por planta e tamanho de frutos por planta (cm) para os anos de 2010 e 2011.

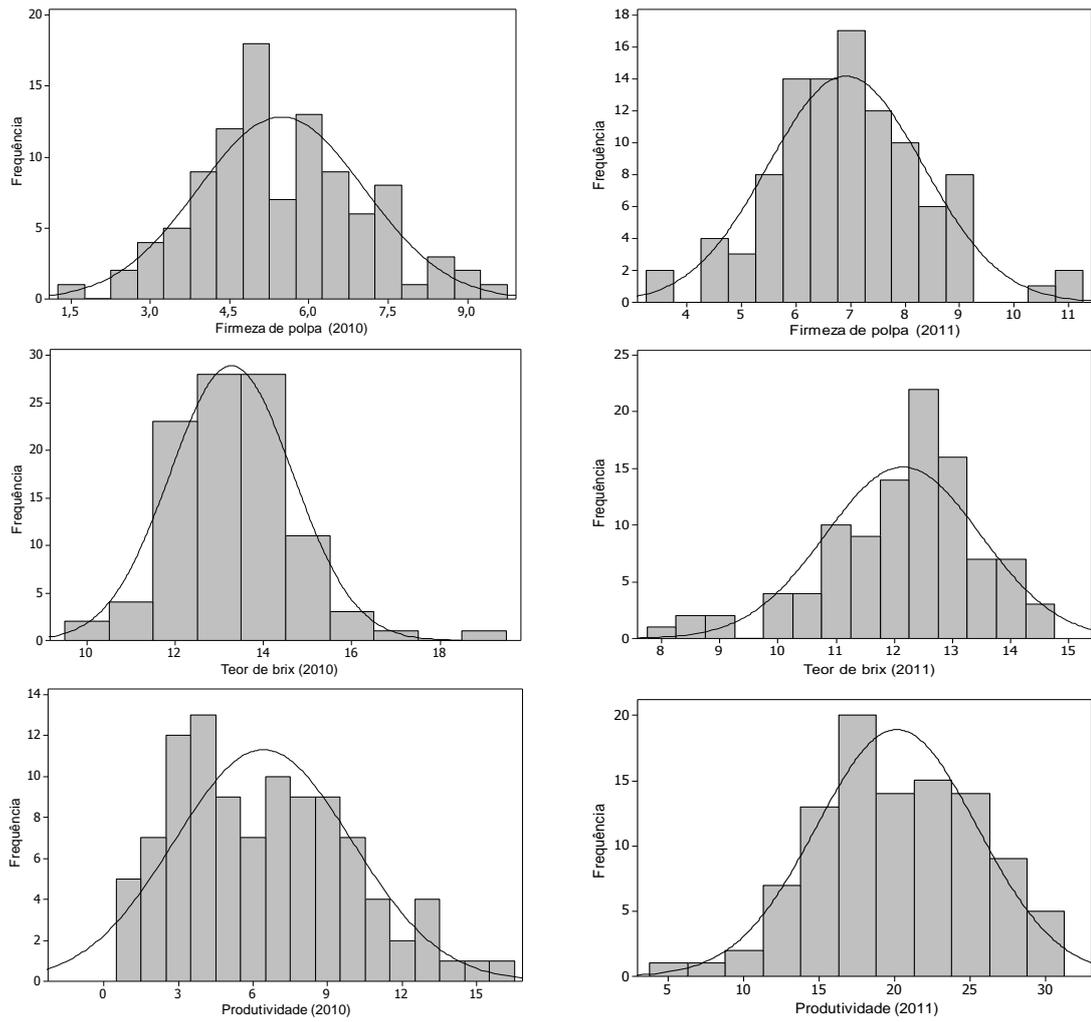


Figura 4 – Histogramas dos atributos firmeza de polpa (Lb), teor de brix (°) e produtividade (kg) para os anos de 2010 e 2011.

## Apêndice B

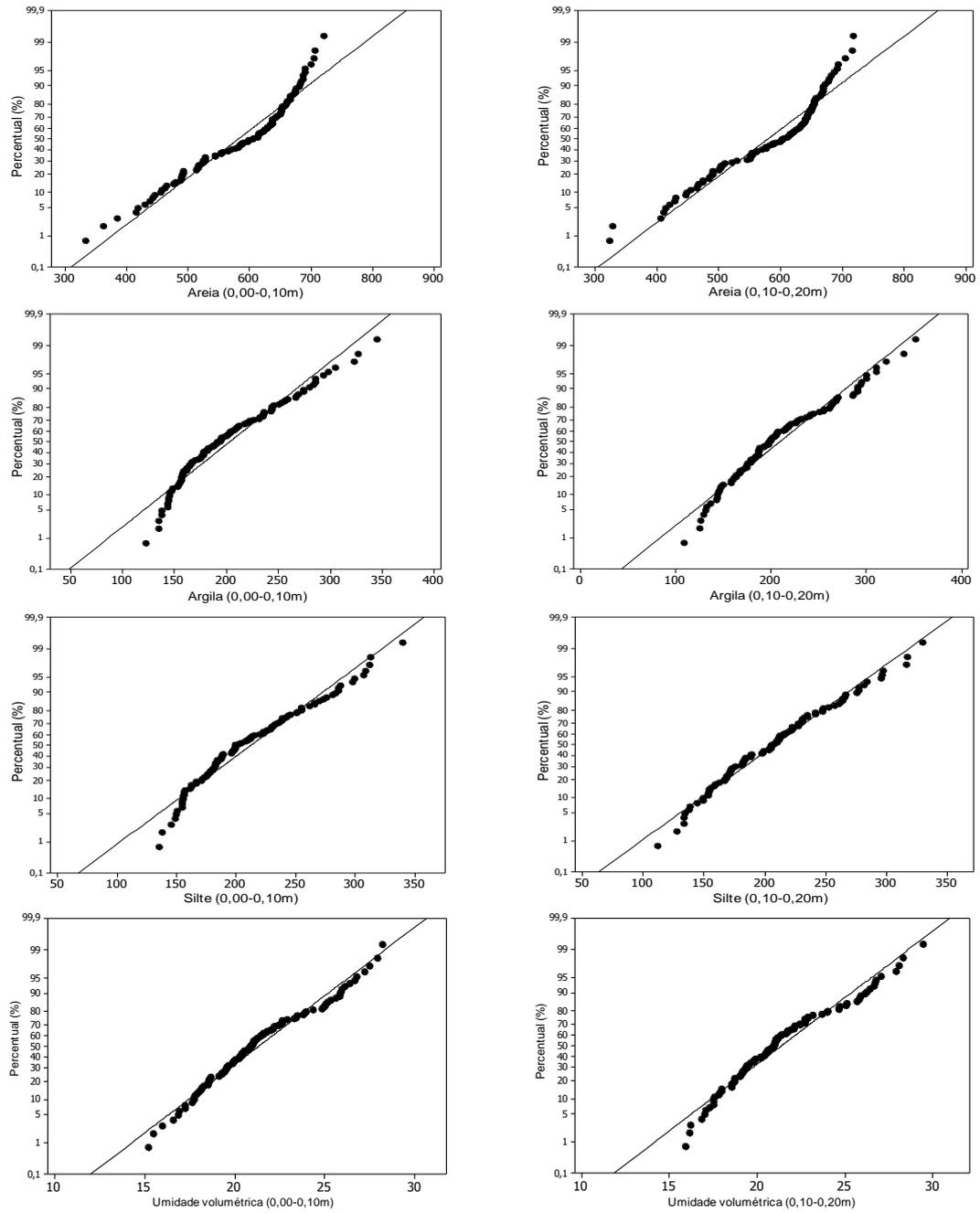


Figura 5 – Teste Shapiro e Wilk dos atributos areia, silte, argila ( $\text{g kg}^{-1}$ ) e umidade volumétrica (%) nas camadas de 0,00-0,10m e 0,10-0,20m.

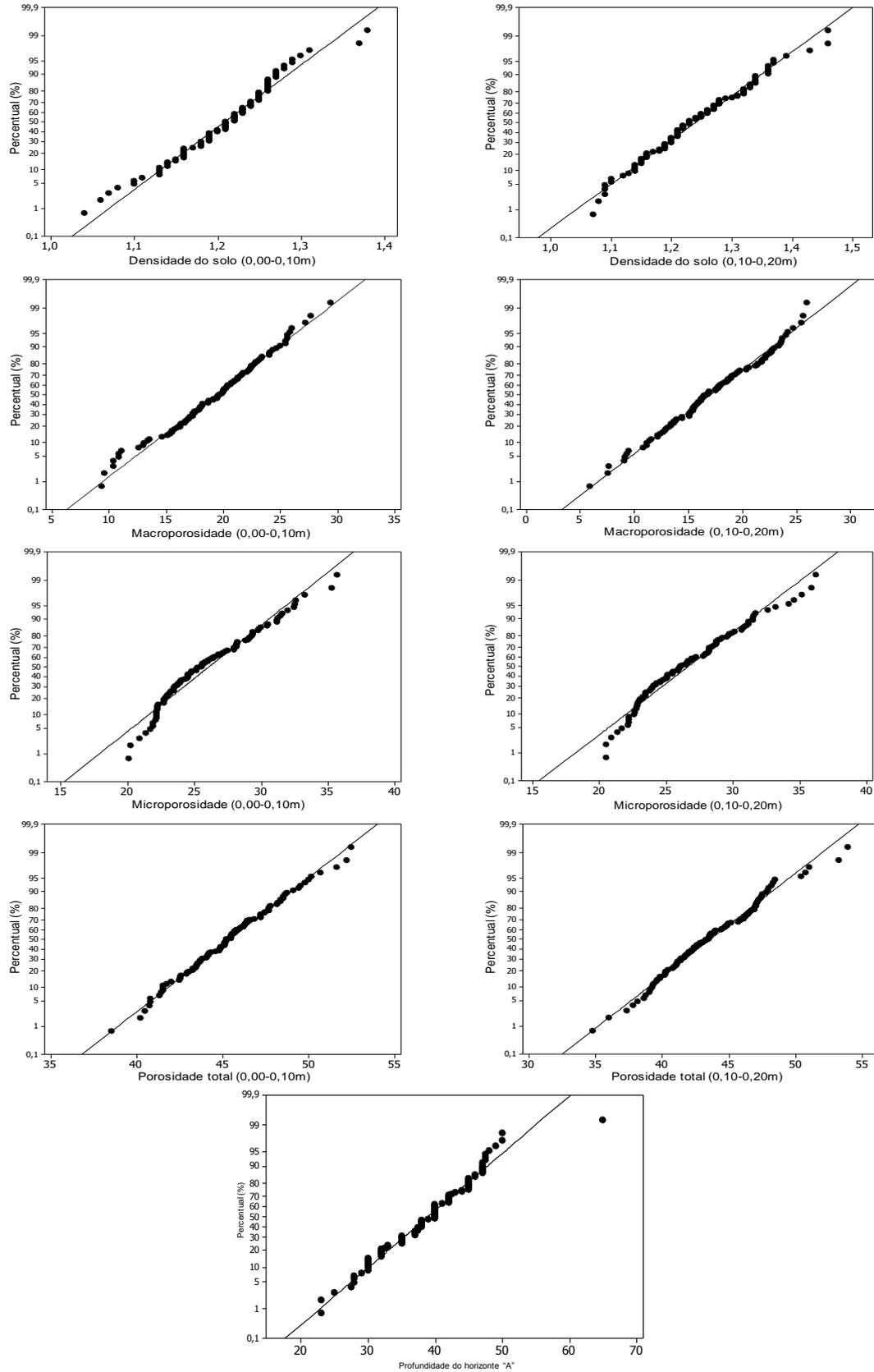


Figura 6 – Teste Shapiro e Wilk dos atributos densidade do solo ( $\text{g cm}^{-3}$ ), macroporosidade, microporosidade, porosidade total (%) nas camadas de 0,00-0,10m e 0,10-0,20m e profundidade do horizonte “A” (cm).

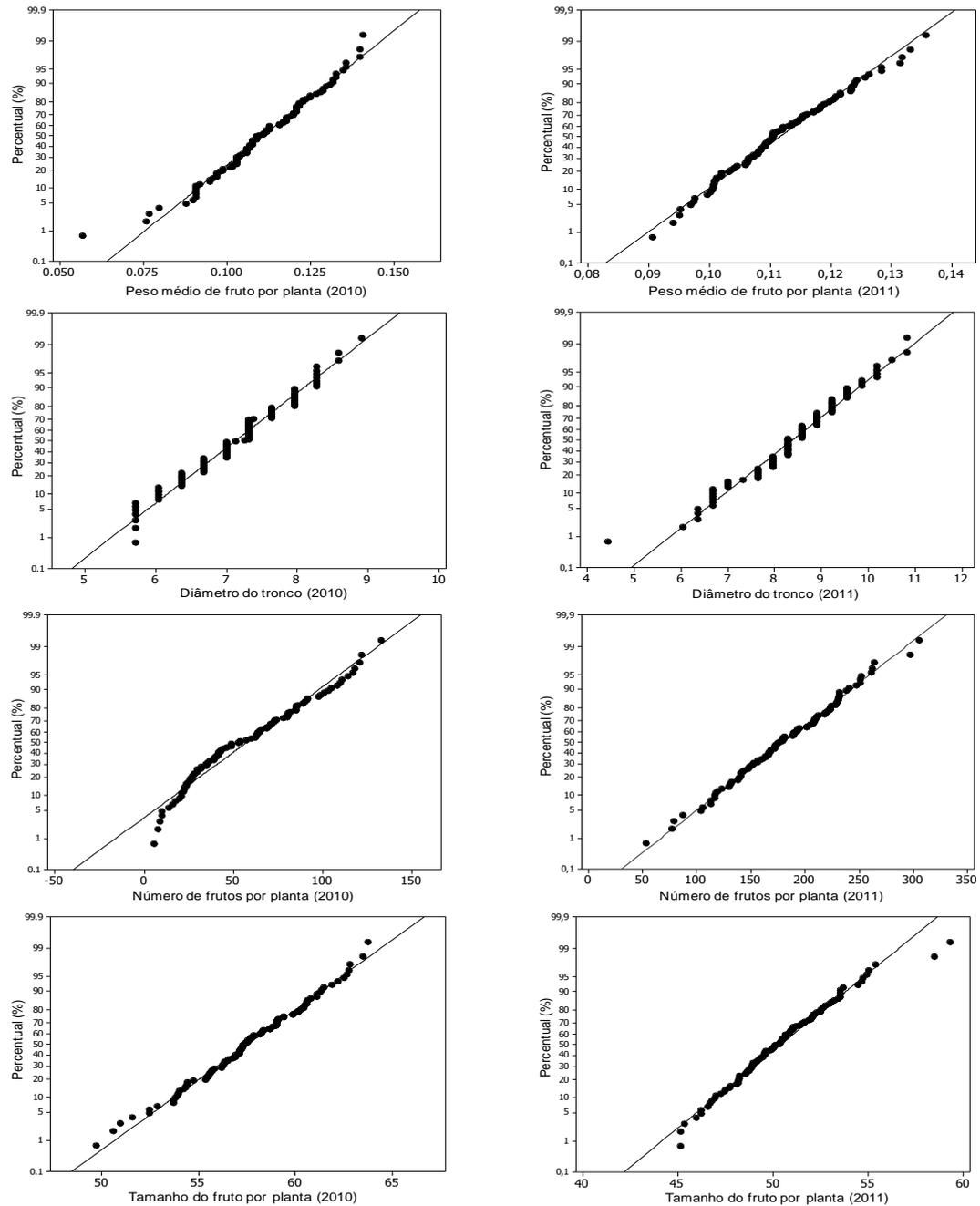


Figura 7 – Teste Shapiro e Wilk dos atributos peso médio de fruto por planta (kg), diâmetro do tronco (cm), número de frutos por planta e tamanho de frutos por planta (cm) para os anos de 2010 e 2011.

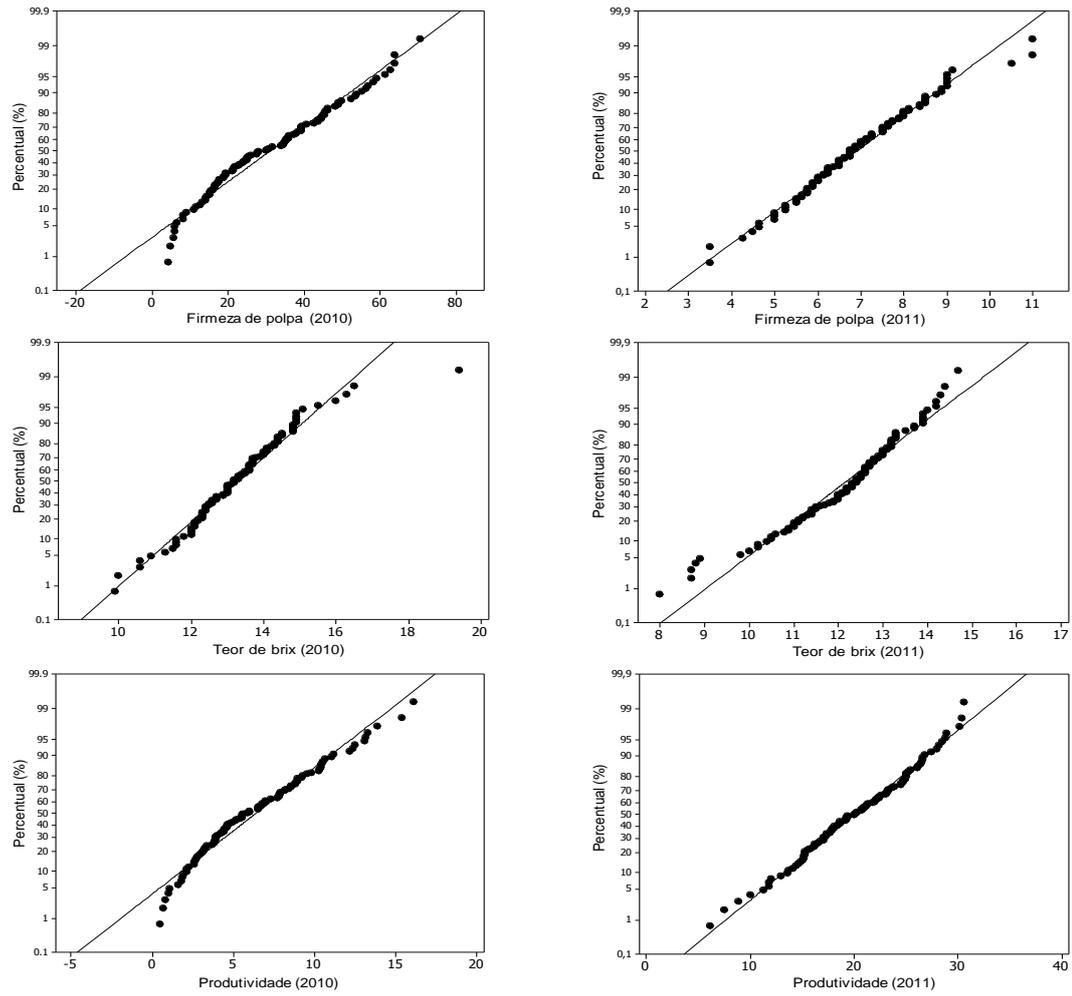


Figura 8 – Teste Shapiro e Wilk dos atributos firmeza de polpa (Lb), teor de brix ( $^{\circ}$ ) e produtividade (kg) para os anos de 2010 e 2011.

## Apêndice C

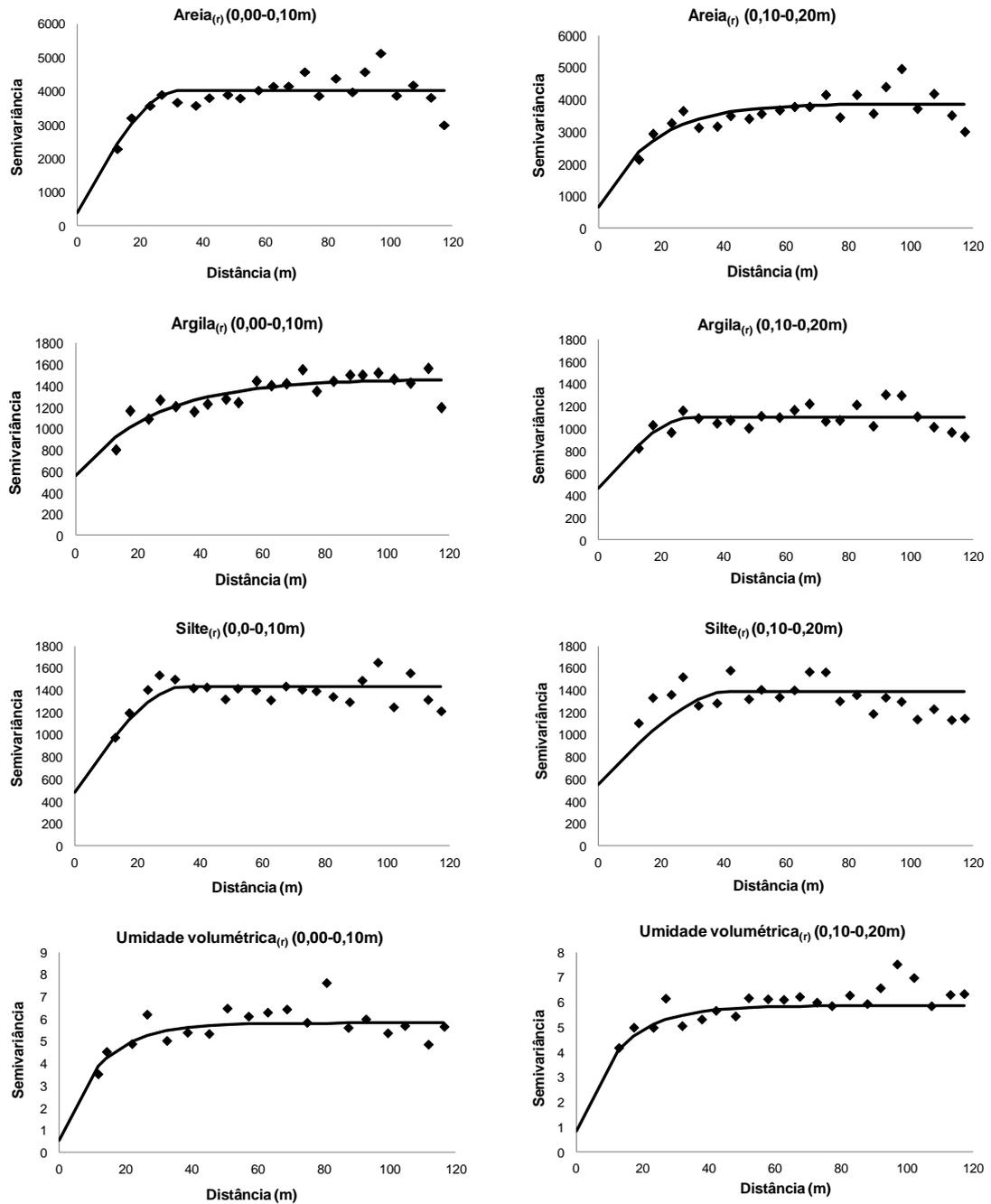


Figura 9 – Semivariogramas dos atributos areia, silte, argila ( $\text{g kg}^{-1}$ ) e umidade volumétrica (%) nas camadas de 0,00-0,10m e 0,10-0,20m,  $r$ =resíduo.

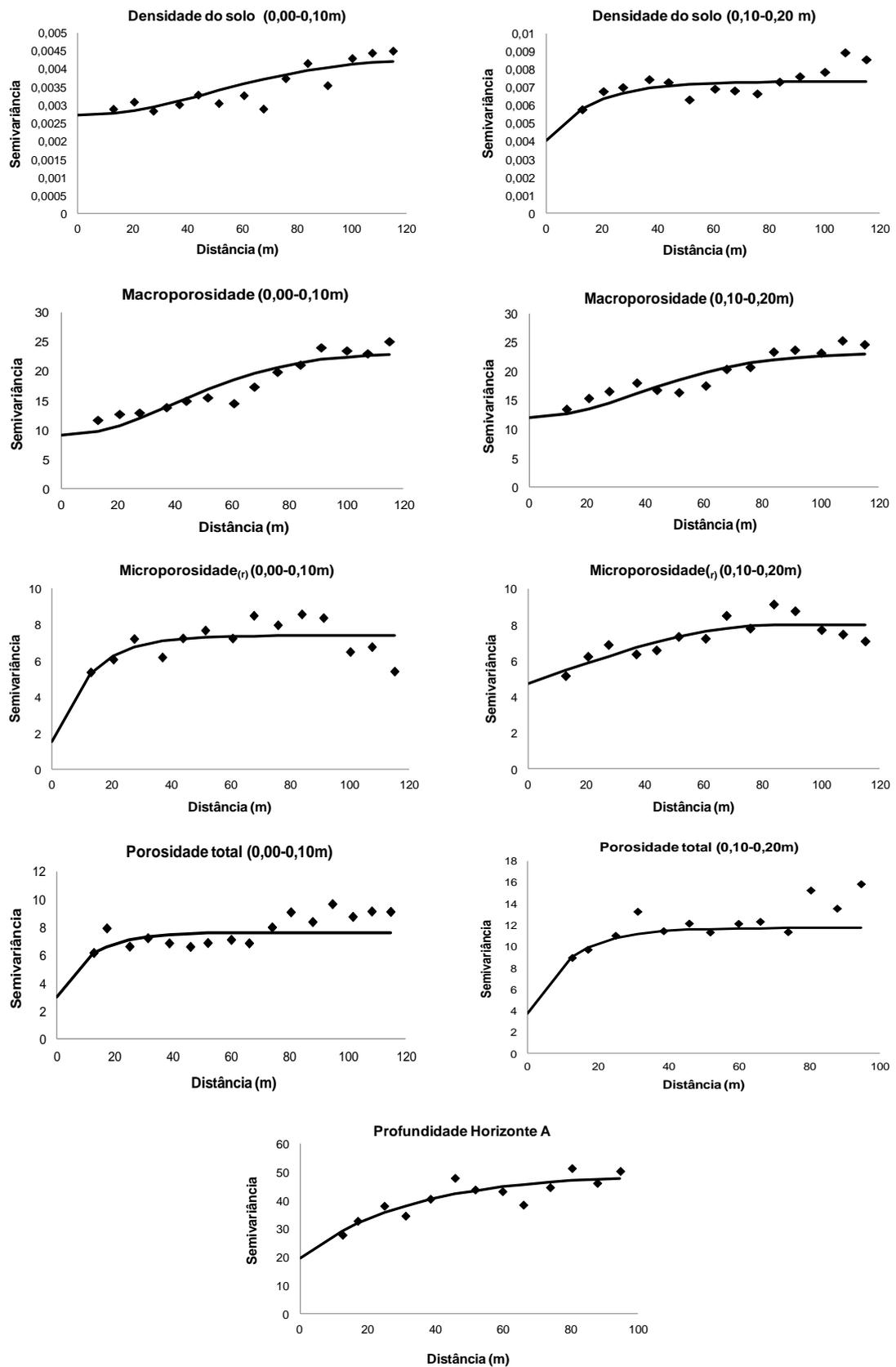


Figura 10 – Semivariogramas dos atributos densidade do solo ( $\text{g cm}^{-3}$ ), macroporosidade, microporosidade, porosidade total (%) nas camadas de 0,00-0,10m e 0,10-0,20m e profundidade do horizonte “A” (cm),  $r$ =resíduo.

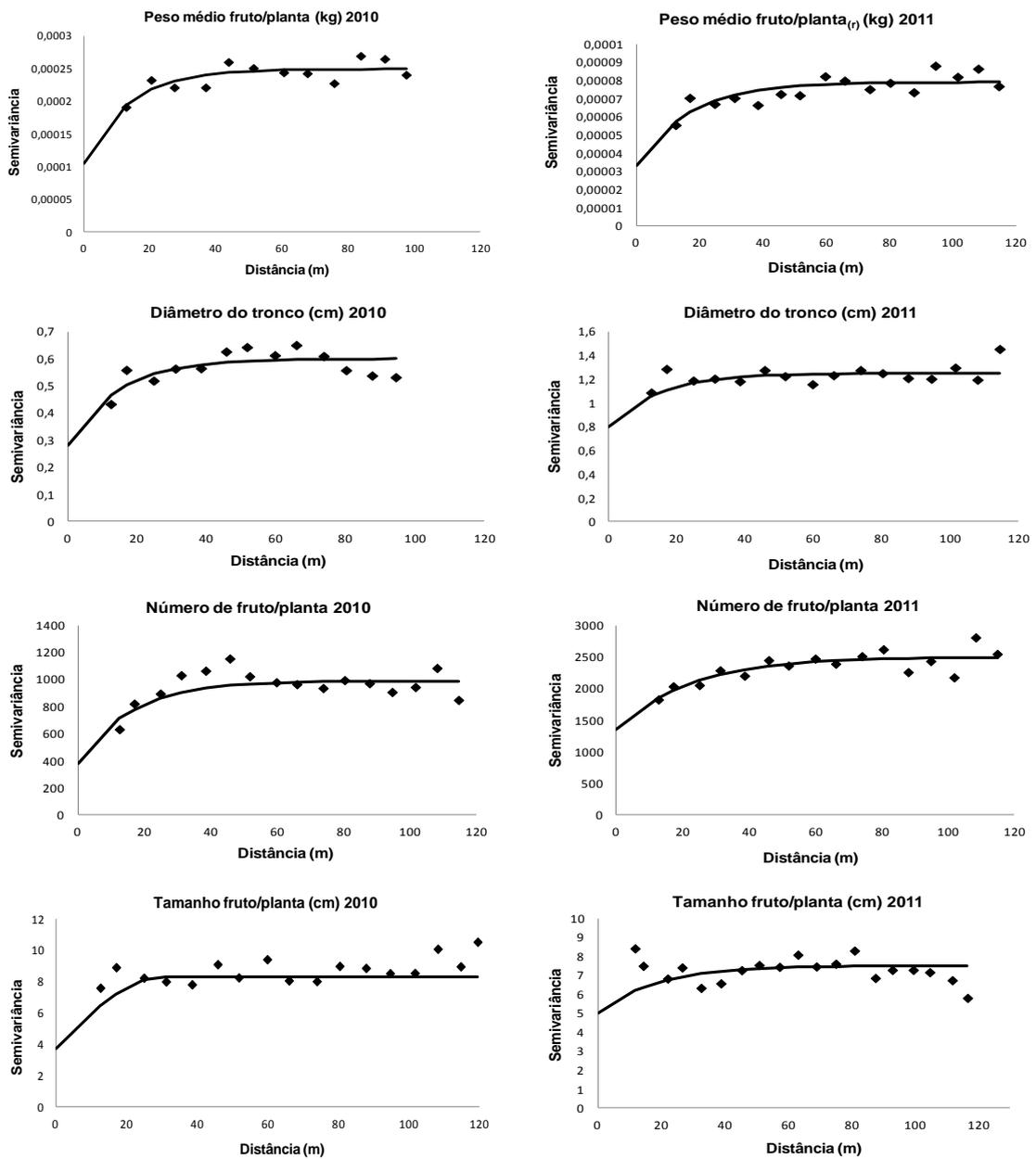


Figura 11 – Semivariogramas dos atributos peso médio de fruto por planta (kg), diâmetro do tronco (cm), número de frutos por planta e tamanho de frutos por planta (cm) para os anos de 2010 e 2011,  $r$ =resíduo.

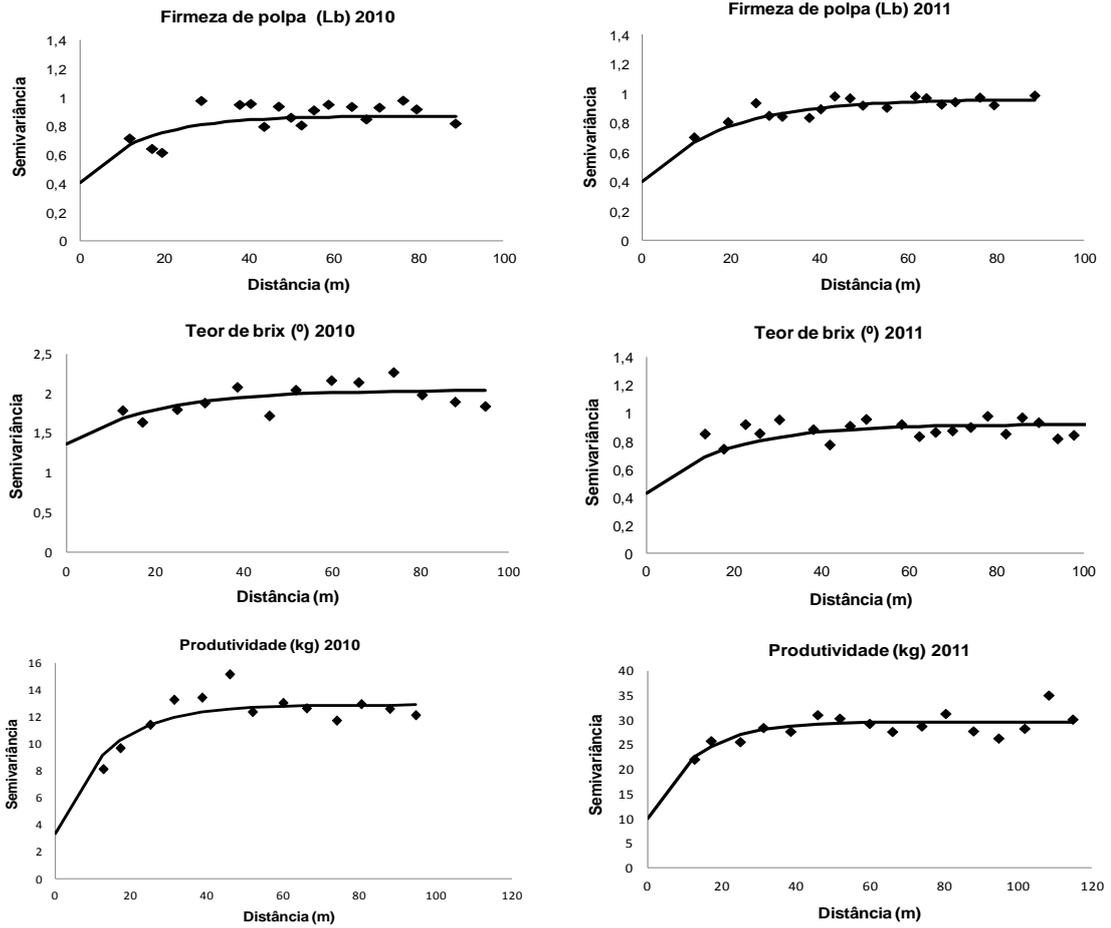


Figura 12 – Semivariogramas dos atributos firmeza de polpa (Lb), teor de brix (°) e produtividade (kg) para os anos de 2010 e 2011.