

**UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA – UDESC  
CENTRO DE CIÊNCIAS AGROVETRINÁRIAS – CAV  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
MESTRADO E DOUTORADO EM PRODUÇÃO VEGETAL**

**MÁRCIO EDUARDO BOEIRA BUENO**

**MAPEAMENTO DA VARIABILIDADE E ANÁLISE ESPACIAL DE  
ATRIBUTOS DE QUALIDADE FÍSICO-QUÍMICOS DOS FRUTOS EM PÓS-  
COLHEITA E ATRIBUTOS DE VIGOR DA PLANTA NAS VARIEDADES  
MAXI GALA E FUJI MOORE SOBRE POMAR COMERCIAL EM VACARIA  
/RS.**

**LAGES - SC**

**2013**

**MÁRCIO EDUARDO BOEIRA BUENO**

**MAPEAMENTO DA VARIABILIDADE E ANÁLISE ESPACIAL DE  
ATRIBUTOS DE QUALIDADE FÍSICO-QUÍMICOS DOS FRUTOS EM PÓS-  
COLHEITA E ATRIBUTOS DE VIGOR DA PLANTA NAS VARIEDADES  
MAXI GALA E FUJI MOORE SOBRE POMAR COMERCIAL EM VACARIA  
/RS.**

Dissertação apresentada ao Centro de Ciências Agroveterinárias da Universidade do Estado de Santa Catarina como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Produção Vegetal.

Orientador: Prof. Dr. Leo Rufato

Co-orientadora: Prof. Dra Aike A. Kretzschmar

**LAGES-SC**

**2013**

B928m

Bueno, Márcio Eduardo Boeira

Mapeamento da variabilidade e análise espacial de atributos de qualidade físico-químicos dos frutos em pós-colheita, e atributos de vigor da planta nas variedades maxi gala e fuji moore sobre pomar comercial em Vacaria/RS / Márcio Eduardo Boeira Bueno. – 2013

108 p. : il. ; 21 cm

Orientador: Leo Rufato

Bibliografia: p. 98-108

Dissertação (mestrado) – Universidade do Estado de Santa Catarina, Mestrado em Produção Vegetal, Lages, 2013.

1. *Malus domestica* BORKH. 2. Agricultura de precisão. 3. Geoestatística. 4. Krigagem. 4. Cokrigagem. I. Rufato, Leo. (Orientador). II. Universidade do Estado de Santa Catarina. Mestrado em Produção Vegetal. III. Título

CDD: 634.11 – 20.ed.

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Setorial do CAV/ UDESC

**MÁRCIO EDUARDO BOEIRA BUENO**

**MAPEAMENTO DA VARIABILIDADE E ANÁLISE ESPACIAL DE  
ATRIBUTOS DE QUALIDADE FÍSICO-QUÍMICOS DOS FRUTOS EM PÓS-  
COLHEITA E ATRIBUTOS DE VIGOR DA PLANTA NAS VARIEDADES  
MAXI GALA E FUJI MOORE SOBRE POMAR COMERCIAL EM VACARIA  
/RS.**

Dissertação apresentada ao Centro de Ciências Agroveterinárias da Universidade do Estado de Santa Catarina como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Produção Vegetal.

**BANCA EXAMINADORA:**

Orientador:

---

Dr. Leo Rufato  
CAV/UDESC

Co-orientadora:

---

Dra. Aike A. Kretzschmar  
CAV/UDESC

Membro:

---

Dr. Fabiano Simões  
CAV/UDESC

Membro:

---

Dr. Luciano Gebler  
EMBRAPA UVA E VINHO

**Lages, SC, 10/04/2013**

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus por estar presente e iluminando nossos caminhos, e ter me dado saúde, sabedoria, forças nos momentos difíceis e a possibilidade de expandir meus conhecimentos.

Aos meus pais, agradeço todo o apoio, incentivo, compreensão, credibilidade e paciência, por serem as pessoas que acreditaram e apostaram nas minhas escolhas.

A minha esposa, Lúcia, pelo companheirismo, compreensão e pelo presente que me deu neste final de ano, Eduarda e Lara.

Aos Professores Leo Rufato e Leonardo José Biffi pela orientação, atenção, dedicação e amizade ao longo desses anos.

Aos amigos Geraldine e Jardel pela amizade e o companheirismo, por terem dividido comigo momentos de sucesso e dificuldades.

A todo grupo da fruticultura pela amizade e disponibilidade para os trabalhos do dia a dia.

A empresa Rasip, que cedeu a área experimental e tornou possível a realização deste trabalho.

A CAPES pela bolsa e apoio financeiro para o desenvolvimento da pesquisa e realização do curso de Mestrado na Universidade do Estado de Santa Catarina.

À Universidade do Estado de Santa Catarina, aos funcionários e professores do Centro de Ciências Agroveterinárias que participaram de minha formação profissional e humana.

A todos que de alguma forma me ajudaram nesse período e colaboraram para conclusão do trabalho.

## RESUMO

BUENO, Márcio Eduardo Boeira. **MAPEAMENTO DA VARIABILIDADE E ANÁLISE ESPACIAL DE ATRIBUTOS DE QUALIDADE FÍSICO-QUÍMICOS DOS FRUTOS EM PÓS-COLHEITA E ATRIBUTOS DE VIGOR DA PLANTA NAS VARIEDADES MAXI GALA E FUJI MOORE SOBRE POMAR COMERCIAL EM VACARIA /RS.** 2013.108p. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal – Áreas: Ciências Agrárias e Agronomia)- Universidade de Santa Catarina. Programa de Pós-graduação em Ciências Agrárias, Lages, 2013.

O custo de produção da maçã vem aumentando ao longo dos anos, sendo que o preço de venda internacional e nacional da fruta está diminuindo. Diante desta perspectiva, existe a necessidade de uma melhor tecnificação por parte dos fruticultores. A Agricultura de precisão (AP) é uma ferramenta indispensável para agregar informações na tomada de decisão dos produtores. O presente trabalho teve como objetivo utilizar os conceitos de AP, para projetar mapas da qualidade de frutos, do manejo do vigor das plantas e mapas de produtividade regionalizada na cultura da macieira. O experimento foi conduzido em duas áreas de 0,90 e 1,44 ha de produção comercial das variedades Maxi Gala e Fuji Moore, respectivamente, na Fazenda São Paulino da empresa RASIP, em Vacaria – RS. Os atributos de qualidade físico-químicos dos frutos em pós-colheita avaliados foram: calibre médio dos frutos (CMF), firmeza de polpa (FP), número de sementes por fruto (NSF) e sólidos solúveis totais (SST). Os atributos de vigor das plantas avaliados foram: volume de copa (VC), diâmetro de caule (DC) e índice de fertilidade (IF). Avaliou-se também a produção (P). Foram coletadas 75 amostras para cada parâmetro mensurável em uma malha de 12x10m para variedade Maxi Gala e 16x12m para variedade Fuji Moore. Foi realizada análise estatística descritiva dos dados e a análise espacial através dos semivariogramas. De posse dos modelos ajustados na análise dos semivariogramas realizou-se a interpolação pelo método da krigagem. Após, foi realizada a correlação simples dos parâmetros e os que apresentaram forte correlação ( $\geq 0,50$ ) elaborou-se os semivariogramas cruzados e realizou-se a interpolação pelo método da cokrigagem. Todos os parâmetros mensuráveis dos atributos físico-químicos dos frutos em pós-colheita, atributos de vigor das plantas e produção das variedades Maxi Gala e Fuji Moore nas safras 2011 e 2012 apresentaram variabilidade espacial. A malha

de amostragem 12x10 m para a variedade Maxi Gala mostrou-se adequada, pois somente o parâmetro Número de Frutos por planta (NFP) na safra 2011 apresentou alcance inferior à malha. Já a malha de amostragem 16x12 m para a variedade Fuji Moore mostrou-se menos adequada para os parâmetros Número de Sementes por Fruto (NSF), Firmeza de polpa (FP) e Volume de Copa (VC), que apresentaram alcances inferiores à malha nas duas safras. Os mapas temáticos elaborados dos parâmetros avaliados permitiram a elaboração de unidades de manejo teóricas, visto não se encontrar recomendações de divisões de classes para as variedades estudadas. Os parâmetros Produção (P) *versus* Diâmetro de Caule (DC) apresentaram forte correlação na variedade Maxi Gala na safra 2011. Nas safras 2011 e 2012 os parâmetros Volume de Copa (VC) *versus* Diâmetro de Caule (DC) também apresentaram forte correlação. Desta forma na safra 2011 reduziu-se a coleta de 15 amostras da produção e na safra 2012 reduziu-se a coleta de 20 amostras do volume de copa, pelo método da cokrigagem. Para a variedade Fuji Moore os parâmetros Volume de Copa (VC) *versus* Diâmetro de Caule (DC) apresentaram forte correlação nas safras 2011 e 2012. Na safra 2011 os parâmetros apresentaram dependência com o mesmo número de amostras pelo método as cokrigagem. Já em 2012 não houve essa dependência.

**Palavras-chave:** *Malus domestica* BORKH. Agricultura de Precisão. Geoestatística. Krigagem. Cokrigagem.

## ABSTRACT

BUENO, Márcio Eduardo Boeira. **MAPPING OF SPATIAL VARIABILITY ANALYSIS AND QUALITY ATTRIBUTES OF PHYSICAL-CHEMICAL OF FRUITS IN POST-HARVEST AND ATTRIBUTES OF FORCE IN PLANT VARIETIES AND MAXI GALA FUJI MOORE ON ORCHARD IN COMMERCIAL VACARIA / RS.** 2013.108p. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal – Áreas: Ciências Agrárias e Agronomia)- Universidade de Santa Catarina. Programa de Pós-graduação em Ciências Agrárias, Lages, 2013.

The cost of apple production has been increasing over the years, and the selling price international and domestic fruit is decreasing. Given this perspective, there is a need for better technification by the fruit growers. The Precision Agriculture (PA) is an indispensable tool for aggregating information in decision-making producers. This study aimed to use the concepts of AP, to design maps of fruit quality, the management of plant vigor and yield maps regionalized in apple orchards. The experiment was conducted in two areas of 0.90 and 1.44 ha of commercial production of Gala and Fuji varieties Maxi Moore, respectively, at São Paulino company RASIP in Vacaria - RS. The quality attributes of the physical-chemical post-harvest fruit were evaluated: average fruit diameter (CMF), firmness (FP), number of seeds per fruit (NSF) and soluble solids (TSS). The attributes of plant vigor were: canopy volume (CV), stem diameter (DC) and fertility index (FI). We also evaluated the production (P). We collected 75 samples for each parameter measured in a grid of 12x10m to 16x12m variety Maxi Gala and Fuji variety to Moore. Analysis was performed using descriptive statistics and spatial analysis through the semivariogram. Possession of the adjusted models in the analysis of the semivariogram was held by the interpolation method of kriging. After, we performed a simple correlation of the parameters and those with strong correlation ( $\geq 0.50$ ) drew up the cross semivariogram and held by the interpolation method of cokriging. All measurable parameters of the physical and chemical attributes of the fruits in postharvest attributes of plant vigor and production of Gala and Fuji varieties Maxi Moore harvests in 2011 and 2012 showed spatial variability. The 12x10 m sampling grid for Maxi Gala variety was adequate, because only the parameter number of fruits per plant (NFP) in the 2011 range presented below the mesh. Already a 16x12 m sampling grid for the Fuji variety Moore was less suitable for the parameters number of seeds per fruit (NSF), pulp firmness (FP) and Cup



Volume (CV), which showed lower reaches in the mesh two crops. The thematic maps of these parameters allowed the development of theoretical management units, seen not meet recommendations of class divisions for the varieties studied. Production parameters (P) versus Diameter Stem (DC) showed a strong correlation in the variety in the 2011 Maxi Gala. In 2011 and 2012 vintages parameters Volume Cup (VC) versus Diameter Stem (DC) also showed a strong correlation. Thus in the 2011 reduced the collection of 15 samples of crop production and in 2012 was reduced to collecting 20 samples of canopy volume, the method of cokriging. For the Fuji variety Moore parameters Volume Cup (VC) versus Diameter Stem (DC) showed a strong correlation in the 2011 and 2012 vintages. In the 2011 parameters showed dependence with the same number of samples by the cokriging method. Already in 2012 there was no such dependence.

**Key-words:** *Malus domestica* BORKH. Precision Agriculture. Geostatistics. Kriging. Cokriging.

## LISTA DAS ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Semivariograma teórico. Fonte Correa (2007). .....	38
Figura 2 - Vista geral da propriedade, destacando a área amostrada setor 49. Fonte: Google earth 2013.....	44
Figura 3 - Malha de amostragem 12x10m com 75 pontos georreferenciados da variedade Maxi Gala nos anos de 2011 e 2012. ....	46
Figura 4 - Malha de amostragem 16x12m com 75 pontos georreferenciados da variedade Fuji Moore nos anos de 2011 e 2012. ....	46
Figura 5 - Base para coleta de coordenadas, Vacaria 2011. ....	47
Figura 6- GPS móvel (rover) para georreferenciar as plantas (amostras), Vacaria 2011. ....	48
Figura 7 - Medição do comprimento do ramo do ano para calcular o índice de fertilidade. Vacaria, 2011.....	51
Figura 8 - Régua utilizada para determinação da altura das plantas para cálculo do volume de copa. Vacaria 2011.....	52
Figura 9 - Mapa temático do calibre médio dos frutos (CMF) das safras 2011 e 2012. Vacaria, 2013. ....	63
Figura 10 - Mapa temático dos sólidos solúveis totais (SST) das safras 2011 e 2012. Vacaria, 2013. ....	63
Figura 11 - Mapa temático da firmeza de polpa (FP) das safras 2011 e 2012. Vacaria, 2013. ....	64
Figura 12 - Mapa temático do número de sementes por fruto (NSF) das safras 2011 e 2012. Vacaria, 2013.....	64
Figura 13 - Mapa temático da produção (P) da safra 2011. Vacaria, 2013. .	65
Figura 14 - Mapa temático do volume de copa (VC) das safras 2011e 2012. Vacaria, 2013 .....	65
Figura 15 - Mapa temático do diâmetro de caule (DC) das safras 2011e 2012. Vacaria, 2013. ....	66
Figura 16 - Mapa temático do índice de fertilidade (IF) das safras 2011e 2012. Vacaria, 2013. ....	66

Figura 17 - Semivariogramas produção (A), diâmetro de caule (B) e volume de copa (C) safra 2011. Vacaria, 2013. ....	69
Figura 18 - Semivariogramas volume de copa (A) e diâmetro de caule (B) safra 2012. Vacaria, 2013. ....	70
Figura 19 - Semivariogramas cruzados produção <i>versus</i> diâmetro de caule (A) e volume de copa <i>versus</i> diâmetro de caule (B) safra 2011. Vacaria, 2013. ....	71
Figura 20 – Mapa temático produção <i>versus</i> diâmetro de caule (A) e produção <i>versus</i> diâmetro de caule (B) com 5 amostras a menos, safra 2011. Vacaria, 2013. ....	73
Figura 21 - Mapa temático produção <i>versus</i> diâmetro de caule (A) com 10 amostras a menos e produção <i>versus</i> diâmetro de caule (B) com 15 amostras a menos, safra 2011. Vacaria, 2013. ....	73
Figura 22 - Semivariograma cruzado volume de copa <i>versus</i> diâmetro de caule safra 2012. Vacaria, 2013. ....	75
Figura 23 - Mapa temático volume de copa <i>versus</i> diâmetro de caule (A) e volume de copa <i>versus</i> diâmetro de caule (B) com 5 amostras a menos, safra 2012. Vacaria, 2013. ....	76
Figura 24 - Mapa temático volume de copa <i>versus</i> diâmetro de caule (A) com 10 amostras a menos e volume de copa <i>versus</i> diâmetro de caule (B) com 15 amostras a menos, safra 2012. Vacaria, 2013. ....	77
Figura 25 - Semivariograma cruzado e mapa temático volume de copa <i>versus</i> diâmetro de caule com 20 amostras a menos, safra 2012. Vacaria, 2013. ....	77
Figura 26 - Mapa temático do calibre médio dos frutos (CMF) das safras 2011 e 2012. Vacaria, 2013. ....	87
Figura 27 - Mapa temático dos sólidos solúveis totais (SST) das safras 2011 e 2012. Vacaria, 2013. ....	87
Figura 28 - Mapa temático do número de sementes por fruto (NSF) das safras 2011 e 2012. Vacaria, 2013. ....	88
Figura 29 - Mapa temático da firmeza de polpa (FP) das safras 2011 e 2012. Vacaria, 2013. ....	88

Figura 30 - Mapa temático da produção (P) das safras 2011 e 2012. Vacaria, 2013. ....	88
Figura 31 - Mapa temático do volume de copa (VC) das safras 2011 e 2012. Vacaria, 2013. ....	89
Figura 32 - Mapa temático do diâmetro de caule (DC) das safras 2011 e 2012. Vacaria, 2013. ....	89
Figura 33 - Mapa temático do índice de fertilidade (IF) das safras 2011 e 2012. Vacaria, 2013. ....	90
Figura 34 – Semivariogramas volume de copa (A) e diâmetro de caule (B) safra 2011. Vacaria, 2013. ....	92
Figura 35 - Semivariogramas volume de copa (A) e diâmetro de caule (B) safra 2012. Vacaria, 2013. ....	92
Figura 36 - Semivariograma cruzado volume de copa <i>versus</i> diâmetro de caule safra 2011. Vacaria, 2013. ....	93
Figura 37 - Mapa temático Volume de Copa <i>versus</i> Diâmetro de Caule (A) e Volume de Copa <i>versus</i> Diâmetro de Caule (B) com 5 amostras a menos, safra 2011. Vacaria, 2013. ....	94
Figura 38 - Semivariograma cruzado volume de copa <i>versus</i> diâmetro de caule safra 2012. Vacaria, 2013. ....	95

## LISTA DE TABELAS

- Tabela 1- Estatística descritiva dos atributos de qualidade físico-químicos dos frutos em pós-colheita, atributos de vigor das plantas e produção da variedade Maxi Gala nos anos de 2011. Vacaria, 2013. .... 57
- Tabela 2- Estatística descritiva dos atributos de qualidade físico-químicos dos frutos em pós-colheita, atributos de vigor das plantas e produção da variedade Maxi Gala nos anos de 2012. Vacaria, 2013. .... 58
- Tabela 3- Parâmetros dos semivariogramas ajustados das variáveis: sólidos solúveis totais (SST), número de frutos por planta (NFP), peso médio de frutos (PMF), calibre médio de frutos (CMF), número de sementes por fruto (NSF), firmeza de polpa (FP), produção (P) e produtividade estimada (PE) da variedade Maxi Gala, nos anos de 2011 e 2012. Vacaria, 2013. .... 60
- Tabela 4- Parâmetros dos semivariogramas ajustados das variáveis: volume de copa (VC), diâmetro de caule (DC) e índice de fertilidade da variedade Maxi Gala, nos anos de 2011 e 2012. Vacaria, 2013. 60
- Tabela 5- Limite dos intervalos de classe dos mapas temáticos da variedade Maxi Gala. Vacaria, 2013. .... 62
- Tabela 6- Coeficiente de correlação linear de Pearson (R) para altitude, atributos de qualidade físico-químicos dos frutos em pós-colheita, atributos de vigor da planta e produção, da variedade Maxi Gala, nos anos de 2011 e 2012. Vacaria, 2013. .... 68
- Tabela 7 - Parâmetros dos semivariogramas cruzados ajustados das variáveis: produção (P) *versus* diâmetro de caule (DC) com número diferente de amostras em produção (P) da variedade Maxi Gala, na safra 2011. Vacaria, 2013. .... 72
- Tabela 8- Parâmetros dos semivariogramas cruzados ajustados das variáveis: volume de copa (VC) *versus* diâmetro de caule (DC) com número diferente de amostras em volume de copa (VC) da variedade Maxi Gala, na safra 2012. Vacaria, 2013. .... 76

Tabela 9- Estatística descritiva dos atributos de qualidade físico-químicos dos frutos em pós-colheita, atributos de vigor das plantas e produção da variedade Fuji Moore nos anos de 2011. Vacaria, 2013. ....	81
Tabela 10- Estatística descritiva dos atributos de qualidade físico-químicos dos frutos em pós-colheita, atributos de vigor das plantas e produção da variedade Fuji Moore nos anos de 2012. Vacaria, 2013. ....	82
Tabela 11 - Parâmetros dos semivariogramas ajustados das variáveis: sólidos solúveis totais (SST), calibre médio de frutos (CMF), número de sementes por fruto (NSF), firmeza de polpa (FP) e produção (P) da variedade Fuji Moore, nos anos de 2011 e 2012. Vacaria, 2013.	83
Tabela 12- Parâmetros dos semivariogramas ajustados das variáveis: volume de copa (VC), diâmetro de caule (DC) e índice de fertilidade da variedade Fuji Moore, nos anos de 2011 e 2012. Vacaria, 2013.	84
Tabela 13- Limite dos intervalos de classe dos mapas temáticos da variedade Fuji Moore. Vacaria, 2013. ....	86
Tabela 14- Correlações entre altitude, atributos de qualidade físico-químicos dos frutos em pós-colheita, atributos de vigor da planta e produção, da variedade Fuji Moore, nos anos de 2011 e 2012. Vacaria, 2013. ....	91
Tabela 15- Parâmetros dos semivariogramas cruzados ajustados das variáveis: volume de copa (VC) versus diâmetro de caule (DC) com número diferente de amostras em volume de copa (VC) na variedade Fuji Moore na safra 2011. Vacaria, 2013. ....	94

## **LISTA DE ABREVIATURAS**

ABPM Associação Brasileira dos Produtores de Maçã

AP Agricultura de Precisão

APPCC Análise de Perigos e Pontos Críticos de Controle

As Coeficiente de Assimetria

BPA Boas Práticas Agrícolas

BPF Boas Práticas de Fabricação

CMF Calibre Médio dos Frutos

CV Coeficiente de Variação

DC Diâmetro de Caule

DP Desvio Padrão

EPAGRI Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina

ESF Modelo Esférico

EXP Modelo Exponencial

FP Firmeza de Polpa

GAUS Modelo Gaussiano

GPS Global Positioning System

IBGE Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IF Índice de Fertilidade

INPE Instituto Nacional de Pesquisa Espacial

K Coeficiente de Curtose

KS Teste de Kolmogorov-Smirnov

LIN Modelo Linear

MDE Modelo Digital de Elevação

NDVI Índice de Vegetação Diferenciada Normalizada

NFP Número de Frutos por Planta

NSF Número de sementes por Fruto

P Produção

PE Produtividade Estimada

PIM Produção Integrada de Maçã

PMF Peso Médio de Frutos

S/A Selective Availability

SIG Sistemas de Informações Geográficas

SSCM Site Specific Crop Management

SST Sólidos Solúveis Totais

VC Volume de Copa



## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>20</b>
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>23</b>
2.1 A CULTURA DA MACIEIRA .....	23
<b>2.1.1 Características botânica da macieira .....</b>	<b>23</b>
<b>2.1.2 Importância econômica .....</b>	<b>24</b>
2.2 AGRICULTURA DE PRECISÃO.....	25
2.3 AMOSTRAGEM GEORREFERENCIADA .....	27
2.4 SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA (SIG) E GERENCIAMENTO DE INFORMAÇÕES EM CULTURAS PERENES	28
2.5 GEORREFERENCIAMENTO .....	32
2.6 ANÁLISE ESPACIAL DA VARIABILIDADE .....	33
<b>2.6.1 Mapas temáticos .....</b>	<b>34</b>
<b>2.6.2 Geoestatística.....</b>	<b>35</b>
<b>2.6.2.1 Semivariograma .....</b>	<b>37</b>
<b>2.6.2.2 Krigagem.....</b>	<b>39</b>
<b>2.6.2.3 Cokrigagem .....</b>	<b>41</b>
<b>2.6.2.4 Semivariograma Cruzado .....</b>	<b>42</b>
<b>3 METODOLOGIA .....</b>	<b>44</b>
3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA .....	44
<b>3.1.1 Setor 49 .....</b>	<b>44</b>
3.2 AMOSTRAGEM.....	45
3.3 GEORREFERENCIAMENTO DAS AMOSTRAS.....	47
3.4 ATRIBUTOS AVALIADOS.....	48
<b>3.4.1 Atributos de Qualidade Físico-Químicos dos frutos em pós- colheita.....</b>	<b>48</b>
<b>3.4.1.1 Número de frutos por planta (NFP).....</b>	<b>48</b>

3.4.1.2	Peso médio de frutos por planta (PMF).....	49
3.4.1.3	Calibre médio de frutos por planta (CMF).....	49
3.4.1.4	Número de sementes por fruto (NSF).....	49
3.4.1.5	Firmeza de polpa (FP).....	49
3.4.1.6	Sólidos Solúveis Totais (SST).....	49
3.4.2	Atributos de vigor da Planta.....	50
3.4.2.1	Diâmetro de Caule (DC).....	50
3.4.2.2	Índice de Fertilidade (IF).....	50
3.4.2.3	Volume de Copa (VC).....	51
3.4.3	Produção por planta (P).....	52
3.5	DETERMINAÇÃO DAS UNIDADES DE MANEJO DO POMAR.....	52
3.6	ANÁLISE ESTATÍSTICA DESCRITIVA.....	53
3.7	ANÁLISE ESPACIAL.....	53
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	55
4.1	ANÁLISES SOBRE A VARIEDADE MAXI GALA NOS ANOS DE 2011 E 2012.....	55
4.1.1	Análise da estatística descritiva dos atributos físico-químicos em pós-colheita dos frutos, dos atributos de vigor da planta e produção.....	55
4.1.2	Análise espacial dos atributos físico-químicos dos frutos em pós-colheita, dos atributos de vigor da planta e produção.....	59
4.1.3	Mapas de classes ou temáticos.....	62
4.1.4	Correlação entre os atributos físico-químicos dos frutos em pós-colheita, atributos de vigor da planta e produção.....	66
4.1.5	Semivariogramas produção (P), diâmetro de caule (DC) e volume de copa (VC), safras 2011 e 2012.....	69

4.1.6 Análise do semivariograma cruzado produção (P) versus diâmetro de caule (DC) e volume de copa (VC) versus diâmetro de caule (DC) safra 2011 .....	71
4.1.7 Mapas temáticos do semivariograma cruzado produção (P) versus diâmetro de caule (DC) e volume de copa (VC) versus diâmetro de caule (DC) safra 2011 .....	72
4.1.8 Análise do variograma cruzado volume de copa (VC) versus diâmetro de caule (DC) safra 2012.....	74
4.1.9 Mapas temáticos do semivariograma cruzado volume de copa (VC) versus diâmetro de caule (DC) safra 2012.....	75
4.2 ANÁLISES SOBRE A VARIEDADE FUJI MOORE ANOS DE 2011 E 2012.....	79
4.2.1 Análise da estatística descritiva dos atributos físico-químicos dos frutos em pós-colheita, dos atributos de vigor da planta e produção .....	79
4.2.2 Análise espacial dos atributos físico-químicos dos frutos em pós-colheita, dos atributos de vigor da planta e produção.....	83
4.2.3 Mapas de classes ou temáticos .....	86
4.2.4 Correlação entre os atributos físico-químicos dos frutos em pós-colheita, atributos de vigor da planta e produção .....	90
4.2.5 Semivariogramas volume de copa (VC) e diâmetro de caule (DC), safras 2011 e 2012 .....	92
4.2.6 Análise do semivariograma cruzado volume de copa (VC) versus diâmetro de caule (DC) safra 2011 .....	93
4.2.7 Mapa temático do semivariograma cruzado volume de copa (VC) versus diâmetro de caule (DC) safra 2011 .....	94
4.2.8 Análise do variograma cruzado volume de copa (VC) versus diâmetro de caule (DC) safra 2012.....	95
5 CONCLUSÕES .....	96
6 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	98

## 1 INTRODUÇÃO

A produção brasileira de maçã expandiu-se significativamente nas últimas duas décadas, enquanto que em 1990 o Brasil ocupava a 19ª posição no *ranking* dos países produtores de maçã com 543.515 toneladas em 2010 figurava na 9ª posição com 1.339.000 toneladas (FAO, 2010).

Além da tradição de mais de 30 anos no cultivo comercial da fruta, fatores como a produção de variedades modernas, disponibilidade de terras, regiões com condições climáticas favoráveis, bem como, preocupações com produtividade, infraestrutura de embalagem e conservação, transformaram o Brasil em um grande produtor mundial (Bittencourt et. al., 2011).

Fioravanço (2009) destaca que a tecnologia foi um fator importante e decisivo para a competitividade da maçã brasileira no mercado externo, sendo que o aumento da produtividade e a melhoria da qualidade do produto estão fortemente relacionados com inovações tecnológicas e a sua adoção.

Para ABPM (2010), o diferencial da maçã brasileira no quesito “qualidade” é proveniente da soma das características das variedades plantadas (Gala e Fuji), que além da crocância e suculência devido às condições climáticas do sul do Brasil, tornam estas mais doces, coloridas e aromáticamente agradáveis.

Os investimentos dos fruticultores e embaladores em rígidos sistemas de qualidade de renome nacional e internacional como Produção Integrada de Maçã (PIM), Good Agricultural Practice (Global Gap), Boas Práticas Agrícolas (BPA), Boas Práticas de Fabricação (BPF), Análise dos Perigos e Pontos Críticos de Controle (APPCC) e outros, também foram importantes na garantia ao consumidor de um alimento seguro (ABPM, 2010).

Nas últimas décadas, a agricultura vem passando por uma histórica transformação tecnológica, representada pela mecanização de processos, pela utilização de insumos químicos, pelo sistema de semeadura direta, pela biotecnologia e, por fim, pela Agricultura de Precisão (SANTI, 2007).

A Agricultura de Precisão é um conjunto de tecnologias avançadas, que possibilita o gerenciamento localizado das culturas, com o objetivo de monitorar a variabilidade espacial das culturas, visando à otimização da produção agrícola, à minimização do impacto ambiental provocado pela utilização de insumos agrícolas, à preservação ambiental e à redução dos custos de produção (BALASTREIRE, 2002).

A gestão de sítios específicos nas unidades produtivas é uma abordagem recente, oriunda do conceito de Agricultura de Precisão (AP). A AP enfatiza que o manejo das lavouras pode ser melhor conduzido, se a variabilidade espacial da produtividade e dos fatores a ela relacionados forem conhecidos, tais fatores podem ser tratados localmente ou os sítios de produção podem ser divididas em unidades de gerenciamento diferenciado (MOLIN et al.,2005).

Hoje, na cultura da maçã esse novo contexto está inserido de forma incipiente sendo que a maioria dos pomares planejam seus manejos de forma homogênea não considerando as variabilidades e a existência de sítios específicos.

Uma possível justificativa para isso está no fato de que a determinação de algumas variáveis é cara e de difícil amostragem, e os resultados são a longo prazo, ao contrário dos grãos em que os resultados e o retorno do investimento são imediatos.

Desta forma pode-se ter variabilidade espacial em atributos de vigor da planta, em atributos de qualidade físico- químicos dos frutos em pós colheita e na produção na cultura da macieira.

Diante disso, a carência de estudos visando aplicar os conceitos de AP nesta cultura, seguindo as tendências de trabalhos executados principalmente em café, Silva et al. (2010) e laranja Balastreire et al. (2002), Farias et al. (2003), Parise (2004) Molin & Mascarin (2007) e Ortiz (2007), justifica o estudo exploratório visando o mapeamento da variabilidade e análise espacial dos atributos citados.

A primeira hipótese deste trabalho foi testar quais parâmetros mensuráveis dos atributos acima citados apresentavam variabilidade

espacial, representando esta através de mapas temáticos e criando unidades de manejos específicos para cada um.

A segunda hipótese foi testar a correlação destes parâmetros mensuráveis dos atributos citados entre si, para através das técnicas de cokrigagem melhorar a qualidade das informações e reduzir custos na coleta destes parâmetros.

O presente trabalho teve como objetivo utilizar os conceitos de Agricultura de Precisão, para projetar mapas de qualidade de frutos, de manejo do vigor das plantas e mapas de produtividade regionalizada na cultura da macieira. A exequibilidade desse manejo foi testada em um pomar comercial, destinado à produção de maçãs *in natura*, por meio da geração e da análise de mapas específicos dos atributos de vigor da planta, volume de copa (VC), diâmetro do caule (DC) e índice de fertilidade (IF). Dos atributos de qualidade físico-químicos dos frutos em pós-colheita: calibre médio dos frutos (CMF), firmeza de polpa (FP), número de sementes por fruto (NSF) e sólidos solutos totais (SST). E produção por planta (P). Os objetivos específicos do trabalho foram:

- Avaliar quais parâmetros mensuráveis dos atributos de vigor, qualidade físico-químicos dos frutos em pós-colheita e produção possuem variabilidade espacial;
- Gerar mapas temáticos da variabilidade espacial encontrada, propondo unidades de manejo;
- Avaliar os parâmetros mensuráveis dos atributos de vigor, qualidade físico-químicos dos frutos em pós-colheita e produção entre si, através da correlação simples;
- Avaliar através da cokrigagem quais parâmetros mensuráveis dos atributos podem ser considerados variáveis e quais covariáveis;

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 A CULTURA DA MACIEIRA

#### 2.1.1 Características botânica da macieira

A macieira é uma espécie de fruteira lenhosa, decídua, temperada que é muito adaptável a diferentes climas, podendo ser cultivada desde os trópicos até altas latitudes.

Pertence a família Rosaceae, que abrange aproximadamente 100 gêneros e um número maior que 2000 espécies em todo o mundo. Nessa família os fatores de distinção entre as subfamílias são a forma do receptáculo floral, o número, a posição relativa dos carpelos e o caráter dos frutos (EPAGRI, 2002).

Pomoideae é a subfamília que a macieira pertence, caracterizada por profundo receptáculo em forma de taça, onde as paredes inferiores se unem aos carpelos, que acabam se unindo entre si e contêm geralmente dois óvulos.

O fruto é um pomo, formado por um grande receptáculo carnudo entorno dos ovários. O endocarpo é coriáceo ou pétreo e possui uma semente. As plantas se caracterizam por árvores, com folhas alternadas, simples, caducas, estipuladas, peninérveas de bordos dentados e tomentosas no lado inferior. As flores são brancas ou rosas, inferovariadas, dispostas em inflorescência de umbela, pentâmera, actinomorfas, hermafroditas e caracterizadas por 5 a 2 carpelos. Possui cálice persistente e a corola caduca. Possuindo essa fórmula floral:  $K_5 ; C_5 ; A_{\text{muitos}} ; G_{(5-2)}$  (EPAGRI, 2002).

Em literatura encontram-se vários nomes científicos pelos quais a macieira já foi denominada, tais como: *Pyrus malus* Lineu, *Malus pumila* Miller, *Malus sylvestri* Miller, *Malus malus* Britton, *Malus communis* Poiret e *Malus domestica* Borkhausen, sendo o último proposto em 1803 e, conforme o Código Internacional de Nomenclatura Botânica, é a primeira denominação válida publicada para macieira cultivada, anulando todas as denominações publicadas a partir daquela data (EPAGRI, 2002).

### 2.1.2 Importância econômica

A produção mundial de maçã na safra 2010 foi de 70 milhões de toneladas (FAO, 2010). A mesma é caracterizada por um grande produtor, a China, e vários produtores menores. Segundo dados da Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (FAO), a China produziu mais de 35 milhões de toneladas de maçã em 2010, o que correspondeu a 50% da produção mundial naquele ano. Os Estados Unidos, segundo maior produtor, foram responsáveis por 6% do volume de maçã produzido em 2010. Na América do Sul os principais produtores são, nessa ordem, Chile, Argentina e Brasil, embora nenhum dos três tenha produzido mais de 2% do total mundial em 2010, sendo o Brasil 9º no *ranking* dos países produtores de maçã correspondendo a 1,8% da mundial.

O agronegócio da maçã localiza-se no Sul do Brasil, envolvendo seus três estados, notadamente nas regiões mais frias dos mesmos, destacando-se a região de Vacaria, no Rio Grande do Sul, São Joaquim e Fraiburgo, no Estado de Santa Catarina, e de Palmas, no Estado do Paraná. Atualmente, a cultura da macieira está expandindo-se para outras regiões, inclusive para regiões não tradicionais ao cultivo de frutas de clima temperado (PETRI, 2011).

Em uma área plantada de 38,07 mil ha, a produção brasileira de maçã foi de 1,33 milhão de toneladas na safra de 2010/2011 (IBGE, 2011). Observa-se que o Brasil, em 40 anos, passou de país importador à autossuficiência, sendo o ano de 1998 um marco importante, pois o Brasil passa ao status de país exportador. Nesta atividade, estão envolvidos mais de 3 mil produtores, gerando em torno de 150 mil empregos diretos e indiretos.

No Ranking dos 28 principais países produtores de maçã, em termos de competitividade internacional, levando em consideração a eficiência produtiva, infraestrutura, recursos financeiros e mercado, o Brasil está em 14º lugar no geral. Quanto a eficiência produtiva e infraestrutura, relacionadas as tecnologias utilizadas, o Brasil está na 7ª posição, o que



demonstra a evolução em termos de inovações tecnológicas introduzidas na cultura da macieira ( GOOD FRUIT GROWER, 2008).

O Rio Grande do Sul é o segundo maior Estado produtor de maçã do Brasil, atrás apenas de Santa Catarina. Na safra 2010/2011 o Rio Grande do Sul produziu 634.436 toneladas, ou seja, 47,38% da produção do país, estimada em 1.338.995 toneladas (IBGE, 2011).

A principal região produtora é a Nordeste Rio-Grandense. Nessa região, localizam-se os dez principais municípios produtores do estado. Entre esses, destacam-se, Vacaria com 260.000 t de produção na safra 2010/2011, Caxias do Sul com 108.800 t, Bom Jesus com 98.000 t, Muitos Capões com 64.000 t e Monte Alegre dos Campos com 12.500 t (IBGE, 2011). Também são integrantes desse grupo: São Francisco de Paula, São José dos Ausentes, Ipê, Lagoa Vermelha e Campestre da Serra.

A região Nordeste Rio-Grandense é responsável, na safra 2010/2011, por mais de 97% da área cultivada e 98% da produção do Estado, com um valor de 366.792 milhões de reais, 97% do valor da produção estadual (IBGE, 2011).

## 2.2 AGRICULTURA DE PRECISÃO

A agricultura de precisão envolve tecnologias de sistemas de posicionamento global (GPS), sistemas informatizados de coleta de dados e programas para tratamento e mapeamento de dados (SIG) (SILVA, 2005).

Segundo Molin (2005), a agricultura de precisão (AP) é um conjunto de tecnologias e procedimentos utilizados para otimizar sistemas de produção agrícolas, e é embasado principalmente no gerenciamento da variabilidade espacial da produção e dos fatores responsáveis por ela.

Wehelan & Mcbratney (2000) descrevem AP como a adaptação das práticas agronômicas às demandas do solo e da cultura de acordo com a sua variabilidade espacial. Os autores afirmam que uma das principais ferramentas para se alcançar tal objetivo é a técnica de aplicação localizada de insumos ou SSCM (Site-Specific Crop Management).

De maneira simplificada, Tschiedel & Ferreira (2002) explicam a AP como uma filosofia de manejo que considera a heterogeneidade existente num ambiente produtivo. “Os insumos são aplicados no local correto e na quantidade correta”. Os mesmos autores listam uma série de benefícios oriundos da adoção das técnicas de AP. Dentre elas, a redução de custos de produção, ganhos em produtividade e maior confiabilidade nas decisões de manejo.

De acordo com Goering (1992), a AP vem sendo utilizada não só pelas vantagens citadas anteriormente, mas também pelos benefícios ambientais devidos a diminuição dos excessos dos insumos liberados aos ecossistemas.

Segundo Dellamea (2008), a agricultura de precisão (AP) não é nova, ela é praticada desde os primórdios da agricultura, quando predominava uma agricultura familiar, explorada em pequenas áreas. Nesta época, devido ao trabalho manual na agricultura, era possível aos agricultores conhecer o desenvolvimento de sua lavoura, em cada sítio específico, e observar a variabilidade espacial das propriedades dos solos e seus efeitos, no desenvolvimento e na produção das culturas. Posteriormente, com a mecanização da agricultura, passou-se a manejar economicamente as culturas em grandes áreas, com a aplicação uniforme de insumos.

AP fundamenta-se na existência da variabilidade espacial dos fatores produtivos e, portanto, da própria quantidade produzida pela cultura. A representação gráfica da variabilidade espacial através de mapas é uma das ferramentas mais importantes para sua análise (BALASTREIRE et al., 1997).

Uma das tecnologias que contribuiu muito para AP começou a surgir em 1989, quando o Sistema de Posicionamento Global (GPS) se tornou disponível de forma limitada e foi testado como meio de localizar equipamentos agrícolas no campo (COLVIN et al, 1996).

A partir de então diversas aplicações para a agricultura foram desenvolvidas, dentre elas tem-se principalmente a taxa variada de

aplicação de insumos, mapeamento da produtividade e sistemas guia para tratores como “barras de luzes” e piloto automático.

No Brasil esse pacote tecnológico vem sendo utilizado principalmente em culturas altamente tecnificadas como culturas extensivas de grão, cana de açúcar e culturas perenes como café e laranja. A taxa variada de aplicação é, sobretudo, uma das técnicas mais utilizadas em sistemas que começam a implantar as técnicas da AP, isso porque normalmente apresenta resultados imediatos em relação à economia de insumos, o que viabiliza investimentos realizados em máquinas e equipamentos (MENEGATTI et.al., 2004).

Para o setor de culturas perenes, em especial as culturas lenhosas, praticamente não se encontra equipamentos adaptados para AP no Brasil (BIFFI, 2006).

### 2.3 AMOSTRAGEM GEORREFERENCIADA

A primeira etapa em qualquer estudo espacial é a definição do delineamento experimental, que envolve, entre outros procedimentos, a escolha da técnica de coleta de amostras e também da malha de amostragem. A malha de amostragem pode ser do tipo: aleatória, quando a distribuição dos pontos de coleta é casual; agregada ou agrupada, quando ocorrem grupos de pontos mais próximos entre si; e regular, quando os pontos estão regularmente espaçados (LANDIM et al., 2011).

Um requisito básico na amostragem para fins de análise de dependência espacial utilizando métodos geoestatísticos é que as observações, ou seja, que as amostras sejam referenciadas. Não é necessário utilizar coordenadas geográficas, mas algum tipo de referência deve existir (GUIMARÃES, 2004).

Guimarães (2004) cita que um tipo de amostragem bastante utilizada em geoestatística é a amostragem sistemática. Neste tipo de amostragem os pontos avaliados são obtidos de forma equidistantes, quer seja no

espaço ou no tempo, formando uma malha de pontos no caso bidimensional.

As amostragens em malhas adensadas fornecem uma clara visão da variabilidade espacial de uma variável regionalizada, porém, com custos mais elevados quando comparados com esquemas amostrais menos densos (VAN GROENIGEN et al., 1999). Portanto, é preciso aliar um número mínimo de pontos amostrados com uma máxima representação do local amostrado (mínima variância), otimizando o esquema de amostragem e barateando os custos (MONTANARI et al., 2005).

Uma das grandes dificuldades encontradas nos estudos de variabilidade espacial do solo tem sido a determinação do espaçamento ideal de amostragem, o que, em algumas situações, inviabiliza a adoção das técnicas da agricultura de precisão. Assim, o estudo dos aspectos da amostragem do solo, a fim de subsidiar definições sobre a utilização e recomendação destas técnicas em ambientes distintos, foi preocupação constante dos pesquisadores (WEBSTER e OLIVER, 1990; VAN GROENIGEN et al., 1999; LARK, 2000).

A estimativa do número adequado de amostras dos diversos atributos do solo, utilizando a geoestatística como ferramenta de decisão, já foi abordada em alguns estudos, visando minimizar os custos envolvidos, otimizando o processo de amostragem sem, no entanto, comprometer a sua confiabilidade (MCBRATNEY e WEBSTER, 1983; OLIVEIRA, 1991; SOUZA FILHO e OLIVEIRA, 1996; SOUZA et al., 1997; GONÇALVES et al., 1999).

Biffi (2006) optou por uma amostragem regular na linha de plantas tendo em vista que não foi encontrada em literatura qual seria o espaçamento ideal para análise espacial de colheita na cultura da maçã.

## 2.4 SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA (SIG) E O GERENCIAMENTO DE INFORMAÇÕES EM CULTURAS PERENES

Sistemas de informações geográficas (SIG) têm a capacidade de gerenciar dados geográficos, dados esses que descrevem entes do mundo

real pela sua posição, geometria, relacionamentos espaciais e atributos (BURROUGH, 1986).

Vários trabalhos de utilização de SIG na agricultura podem ser vistos em Ortiz (2004) e Assad & Sano (1998). Os autores descrevem trabalhos com produção de diferentes mapas como de colheita, fertilidade do solo, invasoras e aplicação de insumos.

Leal (2002), utilizou SIG (SSToolBox®) para a interpolação dos valores de produção de café colhido mecanicamente com pesagem automática no campo, com um sistema desenvolvido com células de carga. O trabalho mostrou que a produtividade média da área foi de 4.226 Kg.ha<sup>-1</sup>, mas a produtividade na área variou de 1.284 a 6.326 Kg.ha<sup>-1</sup>.

Os primeiros trabalhos realizados na fruticultura foram com a produção de mapas de colheitas de citrus (BALASTREIRE et al, 2011).

Na cultura da maçã na região Serrana de Santa Catarina, Rudorff et al. (2003), utilizaram SIG para auxiliar no gerenciamento de quadras na Fazenda Rio Verde, em Fraiburgo, SC.

Braga (1995) fez uso de SIG para gerenciar dados climáticos e fenológicos da cultura da maçã, com o intuito de fazer previsões das fenofases, rendimentos e safras. Segundo o autor, as previsões podem ser feitas com até 120 dias de antecedência do evento.

A utilização SIG para cálculo do Índice de Vegetação Diferenciada Normalizada (NDVI), através de Sensoriamento Remoto, também tem sido utilizada na definição de pontos de amostragens para monitoramento de rendimento e qualidade em pomar de maçã (BEST, 2004) e para zoneamento do manejo em viticultura.

Na viticultura permitiu demarcar zonas para manejo diferenciado em áreas, na busca de zonear áreas para produção de uvas para vinhos de qualidade dentro de um sítio de produção (PÉREZ-QUEZADA, 2005, SERENO, 2009).

As técnicas de geoprocessamento fornecem subsídios para a identificação e a correlação das variáveis que afetam a produtividade por meio da sobreposição, cruzamento e regressão em SIGs, de mapas digitais de relevo dos atributos do solo e da produtividade (KONOPATZKI, 2008).

O mapa da produtividade pode indicar localização de áreas críticas em termos de rentabilidade, enquanto os mapas de atributos do solo e do relevo, por meio dos seus respectivos modelos digitais de elevação (MDEs) podem auxiliar na identificação dos fatores que estão limitando a produtividade, informação fundamental para a tomada de decisões. Para tanto, há necessidade de utilização de modelos estatísticos capazes de predizerem a produtividade (ORTIZ, 2011).

Um dos primeiros trabalhos para o mapeamento da produtividade de laranja foi realizado por Whitney et al. (1999), seguido por Horrom (2000) e Miller & Whitney (1999). Os métodos mostraram-se adequados para as condições em que foram propostos, porém com limitações. No Brasil, Balastreire et al. (2002), Parise (2004) e Farias et al. (2003) também obtiveram mapas de produtividade utilizando técnicas diferenciadas e que exigiram adaptações e mudanças na prática da operação de colheita (MOLIN & MASCARIN, 2007).

A ausência de técnicas para a geração de mapas de produtividade em citros é uma das grandes dificuldades para a implantação da agricultura de precisão, desenvolveu-se e testou-se uma proposta de geração de dados para obtenção de mapas de produtividade à pesagem de uma população de sacolões ("big bag") para aferir a informação de massa. A estimativa de massa dos sacolões mostrou-se aceitável e o método válido para a coleta de dados e a geração do mapa de produtividade (MOLIN & MASCARIN, 2007).

Miranda et al. (2004) determinou a variabilidade espacial para vazão e pressão do sistema de irrigação, componentes de produção do melão, pH do solo e teores de P, K, Ca, Mg e Na. A dependência espacial da variabilidade observada para componentes de produção, vazão, pH e teores de P, K e Ca, possibilitou a interpolação por krigagem e a confecção

de mapas de contornos. Obtiveram-se coeficientes de variação entre 4,03% para pH e 134,65% para peso de frutos tipo exportação. A produção de frutos tipo exportação teve correlação negativa com a vazão e a distância até a entrada de água. Os teores de Mg influenciaram negativamente a produção de melão.

Biffi (2006) avaliou o comportamento espacial do peso de frutos por planta, número de frutos, peso médio de frutos por planta e diâmetro de caule em três áreas de produção, sendo uma avaliada em dois anos de observações em maçã. Classificou-se quantitativamente e qualitativamente as variáveis, indicando possibilidades de manejos localizados e diferenciados nas áreas.

Konopatzki (2008) mapeou a variabilidade espacial dos atributos químicos do solo (P, K, Cu, Zn, Fe, Mn, Ca, Mg, pH, C, saturação de bases) da planta (comprimento e diâmetro do fruto) e da produtividade de pereiras em uma área comercial produtora de peras. A produtividade das pereiras apresentou baixa correlação com os atributos analisados. Foram encontrados níveis muito baixos de dependência espacial (comprimento de frutos), baixo (P, comprimento de fruto), médio (Mg, pH, Cu, Zn, Fe), alto (Ca, K, saturação de bases e produtividade) e muito alto (Mn e C) segundo índice de variabilidade espacial proposto no trabalho.

Zardo (2009) aplicou a vitivinicultura de precisão, visando aprimorar a gestão e o manejo de áreas produtivas de uvas viníferas. Avaliou os atributos de solo : pH, SMP, Argila, Ca, Mg, Al, N, MO, K e P, e os atributos de planta : produtividade, ácido tartárico e potencial alcoólico. Dos atributos de solo estudados, os teores de fósforo, potássio, matéria orgânica e o alumínio apresentaram variabilidade espacial. Dos atributos de planta, os parâmetros enológicos não apresentaram variabilidade espacial significativa, enquanto que os parâmetros de produtividade apresentaram variabilidade moderada em ambas as safras amostradas.

Silva et al. (2010), relacionou a produtividade e a desfolha do cafeeiro, após a colheita manual, por metodologia de análise geoestatística. Após a interpolação por krigagem constatou-se que a colheita manual

desfolhou mais em locais de maior produtividade, apresentando redução da produtividade de café na lavoura no ano subsequente, pelo aumento da desfolha em plantas de maior produtividade.

## 2.5 GEORREFERENCIAMENTO

A localização precisa de pontos, na superfície terrestre, é determinada por sistemas de coordenadas geográficas ou planas, e pode ser gerada com o auxílio de um aparelho receptor de GPS (Global Positioning System) (KNOB, 2006).

Segundo Molin (2002), o surgimento do GPS, com a disponibilização de sinal para georreferenciamento pelo Departamento de Defesa Americano para uso civil, abriu novos horizontes para a agricultura.

Castro (2004) relata que o uso do GPS está sendo amplamente difundido para o acompanhamento da lavoura, como no mapeamento da produtividade, na amostragem de solos, na ocorrência de pragas, entre outros.

O GPS é um sistema de navegação orientado por satélites que foi desenvolvido pelo Departamento de Defesa dos Estados Unidos (DoD). Tal sistema teve como propósito, em sua concepção na década de 70, o uso exclusivamente militar. O primeiro satélite do sistema foi lançado em 1978 e considerado em capacidade operacional total em 1995 (LEICK, 2004), com uma constelação composta de 24 satélites que possibilitou uma cobertura total do globo terrestre. Os satélites estão distribuídos em seis órbitas de 55° de inclinação em relação ao plano do Equador. Essa disposição permite que em qualquer lugar no globo terrestre estejam disponíveis, no mínimo 4 satélites. Atualmente, a constelação é de 27 satélites com alguns funcionando de reserva. A altura da órbita dos satélites é de 20.200 km em relação à superfície terrestre e cada satélite possui um ciclo orbital de 12 horas.

O erro por disponibilidade seletiva S/A (Selective Availability) era a principal fonte de erro de posicionamento que, somados a outros erros de sinal, davam aos receptores acurácia de aproximadamente 60 a 100 metros.



Apesar do DoD ter eliminado a S/A em maio de 2000, os receptores possuem atualmente acurácias de 5 a 15 metros no modo C/A. Com outros sinais rastreados como C/A + L1 e C/A +L1+L2 essa acurácia pode chegar a menos de 0,5 m. Para amostragens em culturas perenes seriam os ideais pois o erro é baixo.

Para a agricultura de precisão, é primordial o dinamismo das informações georreferenciadas, pois são elas que subsidiam o sistema nas tomadas de decisões, sendo de grande interesse que essas informações sejam adquiridas com rapidez e eficiência (HASEGAWA et al., 2004).

## 2.6 ANÁLISE ESPACIAL DA VARIABILIDADE

Análise espacial é o estudo das propriedades e relacionamentos de um ou mais fenômenos, levando em consideração a localização espacial. Através da análise espacial é possível estimar propriedades e relacionamentos em locais não amostrados, tal que os fenômenos possam ser expressos na forma de mapas.

Usualmente, em AP, análise espacial é praticada a partir de um conjunto de amostras georreferenciadas, submetidos a tratamentos estatísticos e geoestatísticos, com a finalidade de se avaliar a grau de dependência espacial dos atributos medidos.

O estudo da dependência espacial de variáveis, relacionadas com a agricultura, é importante e necessário, para caracterizar a área por meio da geração de mapas temáticos, os quais facilitam a compreensão do comportamento e da ocorrência dessas variáveis, sendo possível uma interferência no processo de produção (DURIGON, 2007).

Dentro deste enfoque, Shiratsuchi et al. (2003) acrescentaram que o conhecimento da variabilidade espacial de uma área, seja ela do solo, de produtividade ou de outras variáveis, é um fator indispensável. O autor ainda complementa que o estudo da variabilidade espacial de uma área é uma das principais etapas da agricultura de precisão. Nesse caso, a geoestatística é usada como ferramenta auxiliar, visto que permite estabelecer um modelo de semivariograma, que melhor descreve a variabilidade espacial dos dados, para que possa ser usado no processo de interpolação.

É importante que o modelo ajustado represente a tendência da semivariância em relação a distância, sendo a krigagem o método de interpolação, que confere maior exatidão às estimativas obtidas (JOHANN et al., 2004).

### **2.6.1 Mapas temáticos**

Uma das maneiras mais utilizadas para representar a variabilidade espacial de uma área, seja ela nos parâmetros de produtividade, de qualidade ou nos parâmetros do solo, é por meio dos mapas temáticos.

Segundo Corá, Beraldo (2006), os mapas temáticos podem ser divididos em três tipos: mapas de condição, que demonstram a distribuição espacial dos parâmetros de qualidade, antes de qualquer intervenção, os mapas de recomendação, que apresentam as informações sobre as quantidades de insumos ou as práticas agrícolas em que cada local específico da área deve receber, e, por fim, o mapa do desempenho, que permite ao produtor avaliar como a área se encontra, após o manejo de cada sítio específico, caracterizando também o mapa de condição para um próximo ciclo.

Um mapa temático é formado por uma imagem, plotada em um eixo cartesiano, em que o eixo “Z” são as características ou os atributos em estudo, e os eixos “X” e “Y” são os representantes do espaço (longitude e latitude), representando assim a variabilidade espacial de determinado atributo no campo (DAINASE et al., 2004).

Os mapas que representam a variabilidade espacial são gerados a partir de um processo de amostragem, por meio de interpolação digital, permitindo a cobertura de toda a área, de modo que tanto para mapas de produtividade quanto para mapas de solos o mesmo processo ocorre (JOHANN et al., 2004).

Na sua construção, frequentemente, são utilizadas técnicas geoestatísticas. Essas técnicas tiveram sua origem na área de mineração (KRIGE, 1951) e estão fundamentadas na teoria das variáveis

regionalizadas, a qual considera a distribuição espacial das medidas, permitindo um raio de correlação espacial entre as amostras (KLEIN et al., 2007).

Ao interpretar um mapa, devem ser levadas em conta principalmente as causas consistentes de variabilidade, já que as variabilidades que não persistem no tempo permitem controle escasso ou nulo. As dificuldades consistem na identificação e na separação de cada uma das classes de variabilidade e na investigação das causas consistentes. Essas causas só podem ser compreendidas, quando do acompanhamento e da análise dos possíveis fatores que influenciam na variabilidade, durante safras seguidas (KITCHEN et al., 2005).

Neste mesmo contexto, Willis et al. (1999) relatam que os produtores que observam os mapas da propriedade estão olhando para padrões e tendências gerais, tais como área de produtividade alta ou baixa. E acrescentam que uma vez essas áreas identificadas pelo produtor, que está mais familiarizado com os solos e o histórico do campo, é possível que ele tente deduzir por que estas variações estão ocorrendo. Tal abordagem, relacionada com o conhecimento das características do solo e do histórico da área, permite ao agricultor formular a hipótese de um fator que esteja limitando a produtividade, para que, então, algumas ações possam ser tomadas, a fim de manejar as áreas de baixa produtividade de modo diferenciado, para obter um melhor rendimento destas áreas.

### **2.6.2 Geoestatística**

O uso da técnica de geoestatística possibilitou uma precisa descrição dos atributos de uma propriedade, como solo e produtividade, o que permite a definição de zonas específicas de manejo. A geoestatística é um tipo de estatística usada para representar a dependência espacial nas amostragens, tendo surgido na África do Sul, quando o Engenheiro de Minas D. G. Krige, em 1951, ao trabalhar com dados de concentração de ouro, concluiu que não conseguia encontrar sentidos nas variâncias, se não

levasse em consideração a distância entre as amostras (FARIAS et al., 2003). A partir daí, surgiu o conceito da geoestatística, que leva em consideração a localização geográfica e a dependência espacial.

Geoestatística se preocupa com o comportamento das chamadas variáveis regionalizadas e fundamentalmente pode se basear nos pressupostos seguintes (LANDIM et al., 2002):

- Ergodicidade: a esperança referente à média de todas as possíveis realizações da variável é igual à média de uma única realização dentro de certo domínio.
- Estacionariedade: na região em que se pretende fazer estimativas, o fenômeno é descrito como homogêneo dentro desse espaço.
- Hipótese Intrínseca: as diferenças entre valores apresentam fraco incremento, isto é, as diferenças são localmente estacionárias.

Baseado em Krige, Matheron (1963 , 1971) desenvolveu a teoria das variáveis regionalizadas que contém os fundamentos da geoestatística.

Uma variável regionalizada é uma função espacial numérica que varia de um local para outro com uma continuidade aparente e cuja variação não pode ser representada por uma função matemática simples (INPE, 2005). Essa continuidade ou autocorrelação pode ser medida através do semivariograma. O semivariograma é o gráfico que representa a semivariância dos dados ( $\gamma(h)$ ), e é estimada pela expressão abaixo:

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

onde:

$\gamma(h)$  é a semivariância;

$Z(x_i)$  e  $Z(x_i + h)$  são os pares de valores medidos separados por um vetor  $h$ ;

$N(h)$  é número de pares de valores medidos  $[Z(x_i) - Z(x_i + h)]$  separados por um vetor  $h$ ;

$Z$  é a variável em estudo.

### 2.6.2.1 Semivariograma

Segundo Vieira (2000), o semivariograma é a ferramenta mais adequada para medir a dependência espacial, quando as amostras forem coletadas em duas dimensões no campo.

Segundo Vendrusculo (2001), num gráfico do semivariograma, é possível identificar sua isotropia, ou seja, característica que é identificada, quando o semivariograma tem praticamente a mesma forma em qualquer direção do vetor  $h$ . Seu sentido contrário é chamado anisotropia, no qual, por meio de raios de busca, encontra-se variações graduais em uma direção e irregulares e rápidas em outras.

Analisando um semivariograma, um passo importante é a averiguação do seu comportamento em várias direções com o objetivo de determinar a máxima e a mínima continuidade da estrutura de variabilidade (GUIMARÃES, 2004). Em relação ao comportamento de um semivariograma ideal, Freitas (2000) relatou que a caracterização de um semivariograma é destacada pelos seguintes parâmetros:

- **Efeito Pepita** ( $C_0$ ) ou *Nugget Effect*: quando o semivariograma tende a zero e revela a descontinuidade do semivariograma para as distâncias entre amostras. Parte desta descontinuidade pode se dar também, devido a erros de medição, mas é impossível quantificar o que contribui mais, erros de medição ou variabilidade a uma escala menor do que aquela amostrada.
- **Alcance** ( $a$ ) ou *Range*: é a distância limitada da dependência espacial, ou seja, distância pela qual as amostras se encontram correlacionadas espacialmente.
- **Patamar** ( $C_0 + C$ ) ou *Sill*: corresponde ao alcance ( $a$ ), no gráfico do semivariograma. Considera-se que, a partir deste ponto, não exista mais dependência espacial entre as amostras. É aproximadamente igual à variância dos dados. O patamar também pode ser representado por  $(C_0+C)$ .
- **Contribuição** ( $C_1$ ): é a diferença entre o patamar e o efeito pepita.

Segundo Guimarães (2004), os principais modelos de semivariogramas utilizados na geoestatística são o modelo linear com

patamar, o modelo esférico, o modelo exponencial, o modelo gaussiano e os modelos sem patamares.

O modelo esférico é bastante utilizado na geoestatística e representa um fenômeno de transição. Neste modelo, a distância  $a$  corresponderá à distância de influência de cada amostra. A distância  $a$ , chamada de alcance, tende a se estabilizar por volta do patamar. Algumas situações, que não apresentam patamar definido, são consideradas de infinita capacidade de dispersão.

Para o semivariograma, é ajustado um modelo que proporciona a máxima correlação possível com os pontos plotados. Espera-se que medições localizadas mais próximas sejam mais parecidas entre si do que aquelas separadas por grandes distâncias. Dessa maneira, é de se esperar que  $\gamma(h)$  aumente com a distância  $h$  (VIEIRA, 2000). Na forma Gráfica, o semivariograma apresenta, em condições ideais, o seguinte comportamento (Figura1):

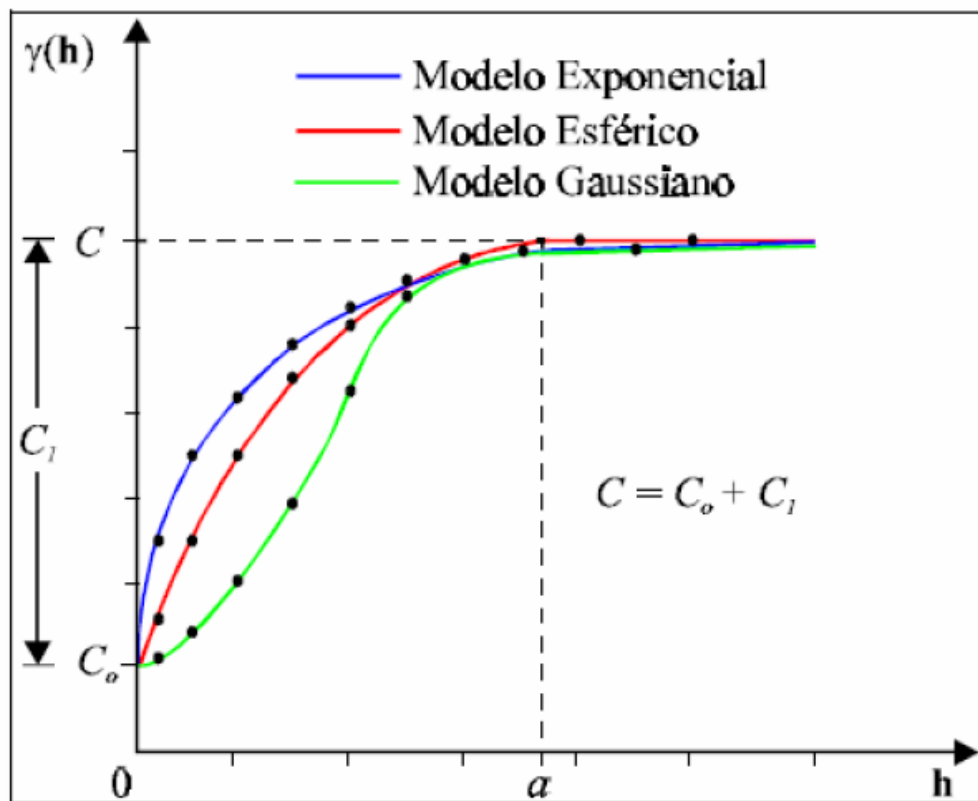


Figura 1 – Semivariograma teórico. Fonte Correa (2007).

Se o semivariograma for constante e igual ao patamar para qualquer valor de  $h$ , temos efeito pepita puro e, neste caso, temos a ausência total de dependência espacial, ou seja, se existir a dependência espacial, esta será manifestada à distancia ou em tempo menor do que o menor espaçamento entre amostras. Quanto ao grau de dependência espacial da variável, podemos classificá-la como (GUIMARÃES, 2004):

- Variável com forte dependência espacial: se o efeito pepita for menor ou igual a 25% do patamar

$$IDE = \left[ \frac{C_0}{C_0 + C} \leq 0,25 \right] \quad (2)$$

- Variável com moderada dependência espacial: se o efeito pepita representar entre 25% e 75% do patamar

$$IDE = \left[ 0,25 \leq \frac{C_0}{C_0 + C} \leq 0,75 \right] \quad (3)$$

- Variável com fraca dependência espacial: se a relação entre o efeito pepita e o patamar estiver entre 75% e 100%

$$IDE = \left[ 0,75 \leq \frac{C_0}{C_0 + C} \leq 1,00 \right] \quad (4)$$

- Variável independente espacialmente: se a relação entre o efeito pepita e o patamar for igual a 100%. Neste caso, temos o semivariograma, com efeito, pepita puro

$$IDE = \left[ \frac{C_0}{C_0 + C} = 1,00 \right] \quad (5)$$

### 2.6.2.2 Krigagem

A krigagem é o método de interpolação em geoestatística, sendo utilizado para a obtenção de mapas espaciais de parâmetros de solo e plantas. Na maioria das vezes, o interesse da análise estatística não se limita à obtenção de um modelo de dependência espacial, desejando

também prever valores em pontos não amostrados. O interesse pode ser em um ou mais pontos específicos da área ou obter uma malha de pontos interpolados que permitam visualizar o comportamento da variável na região através de um mapa de isolinhas ou de superfície (SILVA JUNIOR, 2001).

Conhecido o semivariograma da variável, e havendo dependência espacial entre as amostras, pode-se interpolar valores em qualquer posição no campo de estudo, sem tendência e com variância mínima (VIEIRA, 2000). Para se obter esse maior detalhamento da área em estudo é necessário a aplicação da krigagem (SILVA JUNIOR, 2001).

O nome Krigagem foi dado por Matheron (1963) em homenagem ao engenheiro de minas sul-africano Krige (VIEIRA, 2000). Segundo Salviano et. al.(1998), a krigagem é uma técnica usada na geoestatística com o objetivo de estimar valores de variáveis para locais onde as mesmas não foram medidas a partir de valores adjacentes interdependentes. O valor estimado da variável é dado pela equação:

$$Z^*(t_0) = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z(t_i) \quad (6)$$

em que :  $Z^*(t_0)$  é o valor estimado para local  $t_0$  não amostrado;  $Z(t_i)$  é o valor obtido por amostragem no campo; e  $\lambda_i$  é o peso associado ao valor medido na posição  $t_i$ .

De acordo com Ribeiro Junior (1995) e Camargo(1997), o processo de krigagem se diferencia dos outros métodos de interpolação pela forma de atribuição dos pesos, que são variáveis de acordo com a variabilidade espacial expressa pelo semivariograma.

Esse estimador nada mais é que uma média móvel ponderada. O que torna a krigagem um ótimo interpolador, então, é a maneira como os pesos são distribuídos (VIEIRA, 2000). Pontos próximos da posição a ser interpolada levam maiores pesos que os mais distantes, e ainda, as distâncias consideradas não são somente entre o ponto a ser previsto e os



vizinhos, mas também entre os vizinhos (SILVA JUNIOR, 2001). Com isso pode-se enfatizar que para uma distância, dados agrupados, terão menores pesos, quando comparados individualmente com os pontos isolados, pois estes trazem informações quase redundantes de uma mesma região (MEDEIROS, 2012).

Segundo Vieira (1997), para que o estimador seja ótimo, o mesmo não, pode ser tendencioso e deve ter variância mínima. Essas duas condições devem ser rigorosamente satisfeitas e, para tanto, são usadas como ponto de partida para a dedução das equações. A condição de não tendência significa que, em média, a diferença entre valores estimados e medidos para o mesmo ponto deve ser nula. A condição de variância mínima significa que, embora possam existir diferenças ponto por ponto entre o valor estimado e o medido, essas diferenças devem ser mínimas (VIEIRA, 2000).

### **2.6.2.3 Cokrigagem**

Existem alguns casos segundo Guimarães (2004), em que a determinação de variáveis é cara e de difícil amostragem, comprometendo assim o estudo da variabilidade espacial de tal variável. Para esses casos aplica-se o método chamado cokrigagem que se baseia nos parâmetros expressos por um variograma cruzado entre duas variáveis para a estimativa de novos valores em locais não amostrados.

A cokrigagem é, portanto um procedimento geoestatístico segundo o qual diversas variáveis regionalizadas podem ser estimadas em conjunto, com base na correlação espacial entre si. É uma extensão multivariada do método da krigagem, quando para cada local amostrado obtém-se um vetor de valores em lugar de um único valor (GUIMARÃES, 2004).

Segundo Landim et al. (2002), a aplicação da cokrigagem torna-se bastante evidente quando duas ou mais variáveis são amostradas nos mesmos locais dentro de um mesmo domínio espacial e apresentam significativo grau de correlação. Valores ausentes não se tornam

problemáticos, pois o método deve ser usado exatamente quando a variável primária apresenta-se sub-amostrada em relação às demais secundárias.

Quando as variáveis não têm correlação espacial, o sistema de cokrigagem não se aplica.

#### 2.6.2.4 Semivariograma Cruzado

Para alguns tipos de análises em que envolve mais de uma variável, onde a determinação de uma segunda variável é mais onerosa e ou de difícil amostragem, comprometendo o estudo da variabilidade espacial de determinada variável, aplica-se o método da cokrigagem que se baseia nos parâmetros expressos por um variograma cruzado entre duas variáveis para a estimativa de novos valores em locais não amostrados.

Os variogramas cruzados têm por objetivo descrever a variabilidade espacial e/ou temporal simultânea entre duas variáveis aleatórias, sendo que, uma delas, conhecida como secundária, deve ser de simples determinação, isto é, de fácil amostragem e/ou baixo custo de obtenção e apresentar uma alta correlação espacial com a variável de difícil determinação, conhecida como variável primária e sobre a qual se deseja estimar valores.

Considerar duas variáveis  $\{Z_1(t_{1i}), i=1, \dots, n_1\}$  e  $\{Z_2(t_{2j}), j=1, \dots, n_2\}$ , com as amostragens feitas no mesmo espaço (área ou tempo), mas que o número de amostras de  $Z_1$  seja superior ao número de amostras de  $Z_2$  ( $n_1 > n_2$ ). Assumindo que pelo menos a hipótese intrínseca está sendo atendida para cada variável individualmente e para a distribuição conjunta das variáveis, podemos definir os semivariogramas individuais e os semivariogramas cruzados como:

$$\gamma_{11}(h) = \frac{1}{2} E \{ Z_1(t_{1i} + h) - Z_1(t_{1i}) \}^2_B \quad (7)$$

e

$$\gamma_{22}(h) = \frac{1}{2} E \{ Z_2(t_{2j} + h) - Z_2(t_{2j}) \}^2_C \quad (8)$$

Conseqüentemente, o variograma cruzado entre estas variáveis será:

$$\gamma_{12}(h) = \gamma_{21}(h) = \frac{1}{2} E \{ [Z_1(t_{2i}+h) - Z_1(t_{1i})][Z_2(t_{2j}+h) - Z_2(t_{2j})] \}$$

D

(9)

Algumas exigências devem ser cumpridas para o cálculo do semivariograma cruzado:

- As informações existentes devem ser provenientes da mesma posição geográfica para ambas variáveis, ou seja, Z1 e Z2 devem ter a mesma posição geográfica;
- As variáveis em estudo Z1 e Z2 devem ser correlacionadas. A covariável utilizada deve apresentar uma boa correlação espacial com a variável primária a ser estimada;
- As variáveis Z1 e Z2 devem apresentar dependência espacial individualmente. Tanto a variável primária a ser estimada, quanto a covariável utilizada, devem apresentar um semivariograma experimental ajustado a um modelo teórico, e parâmetros bem definidos;
- Para que a cokrigagem seja aplicada, as variáveis Z1 e Z2 devem apresentar dependência espacial em conjunto, dependência esta expressa pelo variograma cruzado.

### 3 METODOLOGIA

#### 3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA

O experimento foi conduzido em uma área de produção comercial das variedades Maxi Gala e Fuji Moore da Fazenda São Paulino da empresa Randon Agrosilvopastoril S.A. (RASIP), em Vacaria – RS (Figura 2), situado a aproximadamente 962m de altitude, apresentando como coordenadas geográficas 28°31'17" de latitude sul e 50°49'17" de longitude oeste durante as safras 2010/11 e 2011/12. O solo da área é classificado como Latossolo Bruno Aluminoférrico típico (STRECK et.al., 2008).

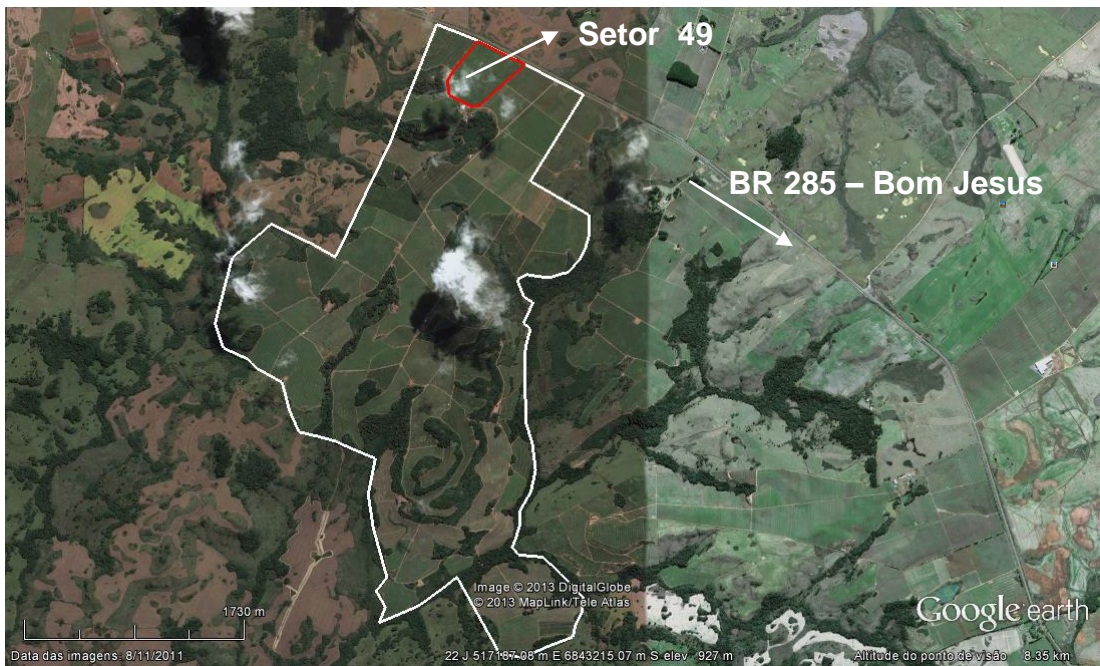


Figura 2 - Vista geral da propriedade, destacando a área amostrada setor 49. Fonte: Google earth 2013.

##### 3.1.1 Setor 49:

A área analisada foi o setor 49 (Figura 2), nomenclatura utilizada pela empresa para dividir a fazenda em diferentes setores conforme ano de plantio e manejo desejado. A mesma possui 10 ha, com 66% ocupada pela

variedade Maxi Gala e 34% com a variedade Fuji Moore, plantadas no ano de 2006, dispostas em quatro fileiras de Maxi Gala para duas fileiras de Fuji Moore. As variedades foram enxertadas sobre porta enxerto marubakaido com filtro de EM9, tendo em média 3,5m de altura. O espaçamento para a variedade Maxi Gala é de 4m entre linhas e 1m entre plantas e para a variedade Fuji Moore é de 4m entre linhas e 1,20m entre plantas.

### 3.2 AMOSTRAGEM:

Optou-se por uma amostragem regular na linha de plantas tendo em vista que não foi encontrada em literatura qual seria o espaçamento ideal para a análise espacial de atributos de qualidade físico-químicos dos frutos em pós-colheita, atributos de vigor de plantas e produção na cultura da macieira.

Na variedade Maxi Gala foi utilizada a amostragem na linha de 10m dividindo esse valor pelo espaçamento entre plantas que é de 1m obteve-se o valor de 10 plantas. Foram utilizadas 3 linhas ou 12m de espaçamento. Formou-se uma malha de 12mx10m, sendo que a área representada por cada planta amostrada foi de 120m<sup>2</sup>.

Na variedade Fuji Moore foi utilizada a amostragem na linha de 12m dividindo esse valor pelo espaçamento entre plantas que é de 1.2m obteve-se o valor de 10 plantas. Foram utilizadas 4 linhas ou 16m de espaçamento. Formou-se uma malha de 16mx12m, sendo que a área representada por cada planta amostrada foi de 192m<sup>2</sup>.

O número de plantas amostradas nas duas variedades foram de 75 plantas, representando 0,90 ha para Maxi Gala e 1,44 ha para Fuji Moore.

As plantas amostradas foram identificadas através de pintura e fita adesiva zebraada (Figura 2).

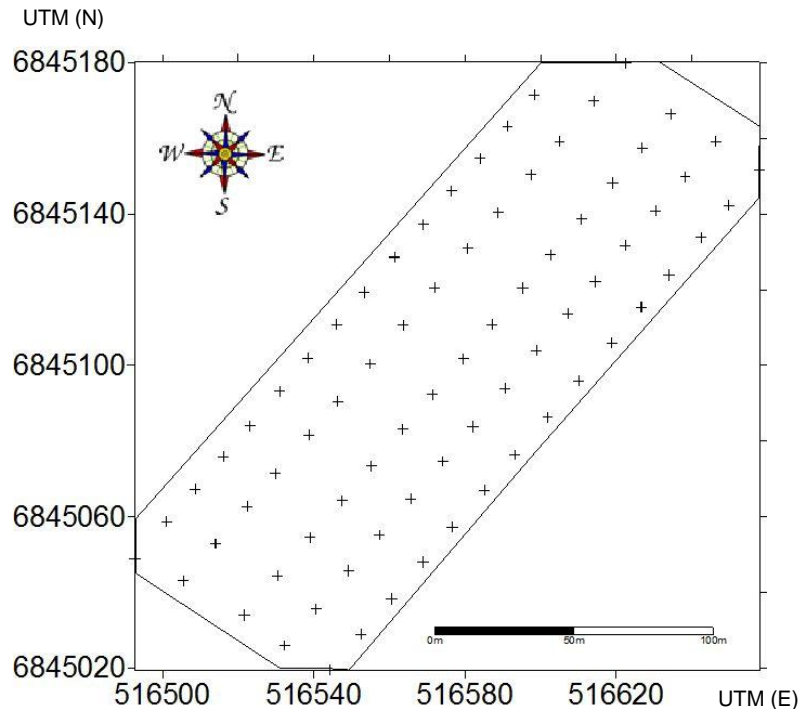


Figura 3 - Malha de amostragem 12x10m com 75 pontos georreferenciados da variedade Maxi Gala nos anos de 2011 e 2012.

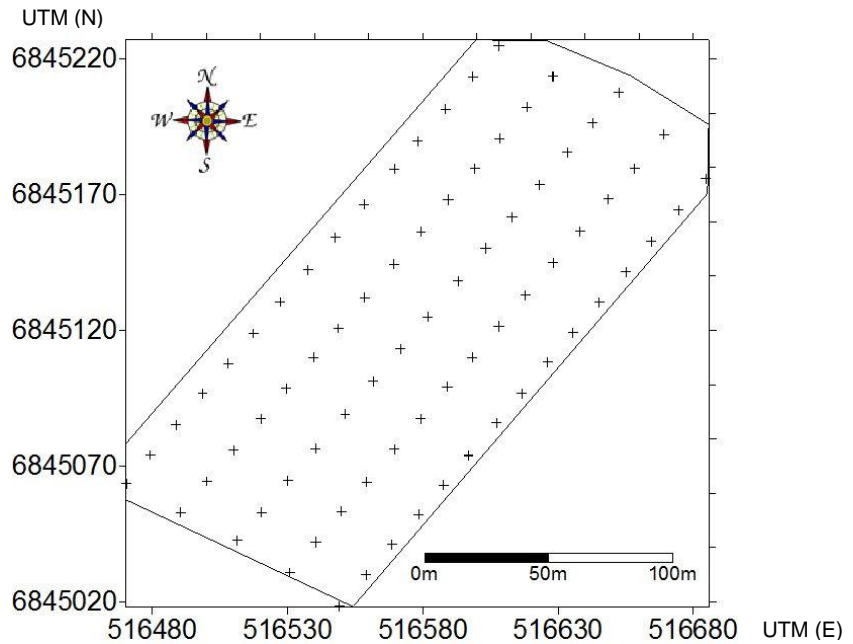


Figura 4 - Malha de amostragem 16x12m com 75 pontos georreferenciados da variedade Fuji Moore nos anos de 2011 e 2012.

### 3.3 GEORREFERENCIAMENTO DAS AMOSTRAS:

Utilizou-se para o georreferenciamento das plantas amostradas, um GNSS (Global Navigation Satellite Systems), marca Topcon (GPS Classe IV), modelo Hiper Lite+, com dupla frequência L1+L2 usando o sistema GPS (Americano) e o sistema GLONAS ( Russo) com acurácia inferior a 0,5m.

O método utilizado para o levantamento das plantas amostradas foi o Posicionamento Relativo Estático Rápido. Neste método mantém-se um receptor coletando dados na estação de referência (BASE), enquanto o outro receptor (ROVER) percorre as plantas marcadas como amostra a uma distância de 1,10m perpendicular ao tronco em direção ao centro da fila.

Os dados foram levantados pelo aparelho no Datum SIRGAS 2000 (IBGE 2011), projeção UTM (Universal Transversa de Mercator), fuso 22, hemisfério sul.



Figura 5 - Base para coleta de coordenadas, Vacaria 2011.





Figura 6- GPS móvel (rover) para georreferenciar as plantas (amostras), Vacaria 2011.

### 3.4 ATRIBUTOS AVALIADOS:

#### **3.4.1 Atributos de Qualidade Físico-Químicos dos frutos em pós-colheita:**

As amostras foram colhidas no início de fevereiro de 2011 e 2012. As análises laboratoriais foram realizadas no Núcleo de Tecnologia de Alimentos (NUTA) do Departamento de Tecnologia de Alimentos do Centro de Ciências Agroveterinárias na Universidade do Estado de Santa Catarina em Lages.

##### **3.4.1.1 Número de frutos por planta (NFP)**

Realizou-se a contagem do número de frutos por planta de forma visual uma semana antes da colheita das maçãs, na segunda quinzena de janeiro de 2011 e 2012. Esses dados foram anotados em uma planilha e depois digitados em uma planilha eletrônica (MACHADO, 2011).



#### **3.4.1.2 Peso médio de frutos por planta (PMF)**

Coletou-se nos quatro quadrantes da planta uma amostra de 30 frutos. Pesou-se a amostra (PA) e dividiu-se pelo número de frutos que ela formava (NF) para obter o peso médio de frutos por planta (PMF) (MACHADO, 2011).

$$\text{PMF} = \text{PA} / \text{NF} \quad (10)$$

#### **3.4.1.3 Calibre médio de frutos por planta (CMF)**

Realizou-se a medição do diâmetro equatorial em duas posições e feito a média e a altura das 25 frutas amostradas com o auxílio de paquímetro manual graduado em milímetros para determinação do calibre médio dos frutos por planta (MACHADO, 2011).

#### **3.4.1.4 Número de sementes por fruto (NSF)**

Efetou-se o corte das 25 frutas amostradas e feita a contagem do número de sementes viáveis (MACHADO, 2011).

#### **3.4.1.5 Firmeza de polpa (FP)**

Foi determinada com o auxílio de um penetrômetro manual marca Effegi com ponteira de 11 mm, acoplado a um suporte de aço e expresso em libras. Para efetuar a leitura, procedeu-se na zona equatorial do fruto, um corte superficial de dois discos de epiderme de cerca de 1 cm de diâmetro, em lados opostos (MACHADO, 2011).

#### **3.4.1.6 Sólidos Solúveis Totais (SST)**

A determinação do °Brix ou sólidos solúveis totais, foi realizado com refratômetro de Abbe da marca Shibuya. No aparelho eram colocadas duas

gotas de suco de vinte e cinco frutos e realizado a leitura direta (MACHADO, 2011).

### **3.4.2 Atributos de vigor da Planta**

Os parâmetros foram avaliados no período de dormência de 2011 e 2012.

#### **3.4.2.1 Diâmetro de Caule (DC)**

Este atributo obteve-se através da média das medidas longitudinal e transversal à linha de plantio do diâmetro do tronco a 20 cm do solo, aproximadamente, e acima do ponto de enxertia com o auxílio de um paquímetro graduado em milímetros (MACHADO, 2011).

#### **3.4.2.2 Índice de Fertilidade (IF)**

Para mensurar esta variável foram escolhidos cinco ramos do ano por planta de forma aleatória nos dois lados e nos quatro quadrantes e com o auxílio de uma fita métrica, mediu-se o comprimento de cada ramo. Após foi realizada a contagem do número de gemas, tanto vegetativas quanto floríferas presentes no mesmo.

A partir desses valores, foi calculado o índice de fertilidade obtido através da relação direta entre o número de gemas e o comprimento do ramo (MACHADO, 2011).



Figura 7 - Medição do comprimento do ramo do ano para calcular o índice de fertilidade. Vacaria, 2011.

### 3.4.2.3 Volume de Copa (VC)

As medições foram realizadas com o auxílio de uma régua de madeira com 4 m de comprimento. Mediu-se a altura da copa (m), a partir do ponto de inserção do primeiro ramo no tronco, largura (m) e a espessura da copa (m). A partir desses valores foi calculado o volume médio da copa, com o intuito de facilitar a percepção do desenvolvimento das mesmas. O volume da copa, expresso em  $m^3$ , foi calculado aplicando a seguinte fórmula (MACHADO, 2011):

$$VC = (L \times E \times H) \quad (11)$$

Onde:

VC = volume de copa

L = largura da copa no sentido da linha de plantio;

E = espessura da copa no sentido da entrelinha;

H = altura da copa, a partir do ponto de inserção do primeiro ramo no tronco.



Figura 8 - Régua utilizada para determinação da altura das plantas para cálculo do volume de copa. Vacaria 2011.

### 3.4.3 Produção por planta (P)

A produção por planta foi calculada multiplicando de forma direta o número de frutos por planta (NFP) e o peso médio de frutos (PMF) (MACHADO, 2011).

## 3.5 DETERMINAÇÃO DAS UNIDADES DE MANEJO DO POMAR

Devido não se encontrar na literatura informações sobre classificação dos atributos de vigor da planta (volume de copa, diâmetro do caule e índice de fertilidade de gemas), dos atributos de qualidade físico-químicos dos frutos em pós-colheita (calibre médio de frutos, firmeza de polpa, número de sementes por fruto, sólidos solúveis totais) e produção com vistas à análise espacial e tomada de decisões na cultura da macieira, optou-se pela metodologia “Fatiamento de MNT” proposta por Biffi (2006) com 5 classes.

### 3.6 ANÁLISE ESTATÍSTICA DESCRITIVA

Os parâmetros foram avaliados através da estatística descritiva por meio do software WinStat versão 2.0 (MACHADO e CONCEIÇÃO, 2003). Determinou-se a normalidade dos parâmetros através do teste de Kolmogorov-Smirnov a 5% de probabilidade.

### 3.7 ANÁLISE ESPACIAL

As análises geoestatísticas foram realizadas no programa GS+ (Gamma Design Software, 2004) versão 7.0, (ROBERTSON, 2004), pela determinação dos semivariogramas isotrópicos, com base na pressuposição de estacionariedade da hipótese intrínseca, de acordo com metodologia Burrough (1998). O ajuste dos modelos de semivariogramas foi escolhido em função do quadrado médio do erro, do erro padrão de predição e da autovalidação (jackknife).

O grau de dependência espacial das variáveis foi analisado com base na classificação de Cambardella et al. (1994), em que são considerados de forte dependência espacial os semivariogramas com efeito pepita de 25% do patamar, moderada quando entre 25% e 75% e de fraca quando >75%.

Após o ajuste dos semivariogramas, foi realizada a interpolação dos dados por krigagem ordinária usando o software Surfer 8.02 – Surface Mapping System (Golden Software, 2002), de forma a possibilitar a construção de gráficos bidimensionais e a consequente visualização da distribuição espacial das variáveis no pomar.

As correlações entre os atributos de vigor da planta, qualidade físico-químicos dos frutos em pós-colheita e produção foram determinadas com base no método de correlação de Pearson, ao nível de probabilidade de 5%, por meio do software WinStat versão 2.0 (MACHADO e CONCEIÇÃO, 2003).

Para que o semivariograma cruzado seja calculado é necessário que a variável primária (Z1) e a covariável (Z2) tenham correlação linear, ou seja,

as variáveis devem apresentar uma alta correlação espacial. Na aplicação da cokrigagem é necessário também que as variáveis Z1 e Z2 apresentem dependência espacial individualmente ajustada a um modelo teórico e com parâmetros bem definidos. E por fim, as variáveis Z1 e Z2 devem apresentar dependência espacial em conjunto, dependência esta expressa pelo variograma cruzado. Utilizou-se novamente o programa GS+ (Gamma Design Software, 2004) versão 7.0, (ROBERTSON, 2004), para o semivariograma cruzado e cokrigagem.

## **4 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **4.1 ANÁLISES SOBRE A VARIEDADE MAXI GALA NOS ANOS DE 2011 E 2012**

#### **4.1.1 Análise da estatística descritiva dos atributos físico-químicos em pós-colheita dos frutos, dos atributos de vigor da planta e produção**

Os valores dos parâmetros dos atributos físico-químicos dos frutos em pós-colheita, vigor da planta e produção das 75 amostras foram analisados por meio da estatística descritiva, conforme tabela 1 e 2.

Nos atributos físico-químicos dos frutos em pós-colheita, de acordo com o teste de Kolmogorov-Smirnov a 5% de probabilidade, os parâmetros calibre médio de frutos (CMF), firmeza de polpa (FP), número de sementes por fruto (NSF) e sólidos solúveis totais (SST) não apresentaram normalidade. Apesar de faltar alguns parâmetros na safra 2012, os demais apresentaram o mesmo comportamento nos dois anos.

Nos atributos de vigor da planta, os parâmetros volume de copa (VC) e índice de fertilidade (IF) não apresentaram normalidade em sua distribuição nos dois anos. O parâmetro diâmetro de caule (DC) nos dois anos apresentou um comportamento normal de distribuição.

A produção (P) apresentou normalidade em sua distribuição na safra 2011.

Segundo Cavalcante et. al.(2007), a normalidade dos dados não se configura como uma exigência da geoestatística, o mais importante é a ocorrência do efeito proporcional; ou seja, se a média e a variabilidade dos dados são constantes na área de estudo. A importância da verificação de distribuição normal ou não normal dos dados permite averiguar se existem valores extremos (outlier máximo e outlier mínimo), que destoam do conjunto de dados, possibilitando dessa maneira a exclusão de valores

discrepantes que podem ser decorrentes de erros de amostragem ou de erros analíticos (SIQUEIRA et. al., 2009).

Warrick e Nielsen (1980) citado por Gonçalves et. al.(2001) descrevem que em se tratando de dados obtidos na natureza, o ajuste a uma distribuição teórica é apenas aproximado e de acordo com Cressie (1991), a normalidade dos dados não é uma exigência da geoestatística, é conveniente apenas que a distribuição não apresente caudas muito alongadas, o que poderia comprometer as estimativas pela Krigagem as quais são baseadas em valores médios (ISAACS e SRIVASTAVA, 1989). Assim, a análise exploratória dos dados torna possível admitir, a princípio, se as distribuições são suficientemente simétricas, ou não, para o estudo geoestatístico.

Através da análise descritiva observou que o CV obtido dos dados permitiu caracterizar na safra 2011 nos atributos físico-químicos dos frutos em pós-colheita os parâmetros calibre médio dos frutos (CMF), firmeza de polpa (FP) e sólidos solúveis totais (SST) como de baixa variação ( $CV < 12\%$ ) e número de sementes por fruto (NSF) como média variação ( $12 \leq CV \leq 60\%$ ). Nos atributos de vigor da planta os parâmetros índice de fertilidade (IF) como de baixa variação ( $CV < 12\%$ ), volume de copa (VC) e diâmetro de caule (DC) como de média variação ( $12 \leq CV \leq 60\%$ ). A produção (P) apresentou média variação ( $12 \leq CV \leq 60\%$ ).

Na safra 2012 nos atributos físico-químicos dos frutos em pós-colheita os parâmetros firmeza de polpa (FB) e sólidos solúveis totais (SST) como de baixa variação ( $CV < 12\%$ ), número de sementes por fruto (NSF) como de média variação ( $12 \leq CV \leq 60\%$ ). Nos atributos de vigor da planta os parâmetros volume de copa (VC), diâmetro de caule (DC) e índice de fertilidade (IF) como de média variação ( $12 \leq CV \leq 60\%$ ) de acordo com o critério de Warrick e Nielsen (1980) citado por Silva et. al. (2012).



Tabela 1- Estatística descritiva dos atributos de qualidade físico-químicos dos frutos em pós-colheita, atributos de vigor das plantas e produção da variedade Maxi Gala nos anos de 2011. Vacaria, 2013.

Variáveis	Produção	Atributos de qualidade físico-químicos dos frutos em pós-colheita				Atributos de vigor da planta		
	P (Kg/pl)	CMF (nºfrutos/ cx Mark IV)	FP (lb)	NSF (unid.)	SST (ºBrix)	VC (m <sup>3</sup> )	DC (mm)	IF (%)
<i>Safra 2011</i>								
Nº amostras	75,00	75,00	75,00	75,00	75,00	75,00	75,00	75,00
Média	31,92	123,33	17,73	4,59	9,39	8,84	59,91	0,40
Mediana	31,64	120,00	17,60	4,68	9,40	8,87	59,00	0,40
Mínimo	11,34	100,00	16,00	3,00	7,00	4,58	39,00	0,35
Máximo	64,90	165,00	20,00	6,00	11,00	12,58	79,00	0,50
Variância	100,21	119,82	0,74	0,52	0,59	2,19	65,79	0,00
DP	10,01	10,95	0,86	0,72	0,77	1,48	8,11	0,40
Assimetria	0,49	1,04	0,55	-0,31	-0,80	0,19	0,48	0,74
Curtose	1,36	2,04	0,50	-0,05	1,16	1,36	0,05	0,83
CV(%)	31,36	8,88	4,85	15,66	8,19	16,73	13,54	7,87
Ks 0.05%	0,15	0,01	0,01	0,01	0,01	0,05	0,15	0,01
Ks	0,08	0.32*	0.23*	0.3*	0.26*	0.1*	0,07	0.13*

P (produção), CMF (calibre médio de frutos), FP (firmeza de polpa), NSF (numero de sementes por fruto), SST (sólidos solutos totais), VC (volume de copa), DC(diâmetro de caule), IF (índice de fertilidade), DP (desvio padrão), CV(coef. de variação), As (coef. Assimetria), K(coef. Curtose), teste de Kolmogorov-Smirnov (KS).

Tabela 2- Estatística descritiva dos atributos de qualidade físico-químicos dos frutos em pós-colheita, atributos de vigor das plantas e produção da variedade Maxi Gala nos anos de 2012. Vacaria, 2013.

Variáveis	Produção	Atributos de qualidade físico-químicos dos frutos em pós-colheita				Atributos de vigor da planta		
	P (kg/pl)	CMF (nº frutos/ cx Mark IV)	FP (lb)	NSF (unid.)	SST (°Brix)	VC (m <sup>3</sup> )	DC (mm)	IF (%)
Safrá 2012								
Nº amostras		75,00	75,00	75,00	75,00	75,00	75,00	75,00
Média		148,89	18,99	5,84	12,61	9,61	67,46	0,37
Mediana		150,00	19,00	5,80	12,50	9,44	67,00	0,37
Mínimo		100,00	16,00	4,00	11,00	5,72	43,00	0,31
Máximo		198,00	24,00	7,00	15,00	12,58	87,50	0,46
Variância		512,83	3,77	0,54	0,46	2,28	88,06	0,00
DP		22,65	1,94	0,74	0,68	1,51	9,38	0,04
Assimetria		0,49	0,52	0,05	0,38	-0,23	0,11	0,30
Curtose		-0,47	-0,08	-0,69	1,25	0,12	-0,42	-0,81
CV(%)		15,21	10,23	12,60	5,36	15,71	13,91	10,08
Ks 0.05%		0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,15	0,03
Ks		0.21*	0.17*	0.25*	0.28*	0.12*	0,08	0.11*

P (produção), CMF (calibre médio de frutos), FP (firmeza de polpa), NSF (numero de sementes por fruto), SST (sólidos solutos totais), VC (volume de copa), DC(diâmetro de caule), IF (índice de fertilidade), DP (desvio padrão), CV(coef. de variação), As (coef. Assimetria), K(coef. Curtose), teste de Kolmogorov-Smirnov(KS).

#### **4.1.2 Análise espacial dos atributos físico-químicos dos frutos em pós-colheita, dos atributos de vigor da planta e produção**

Nas safras 2011 e 2012 conforme tabela 3, o modelo que melhor se ajustou, pelo coeficiente de Akaike, ao modelo experimental aos parâmetros mensuráveis dos atributos físico-químicos dos frutos em pós-colheita, foi o modelo gaussiano. Com exceção ao parâmetro Firmeza de polpa (FP) onde o modelo exponencial proporcionou o melhor ajuste. Em trabalhos de Cambardella et al. (1994), Leal (2002), Carvalho et al. (2003), Farias, P. et al. (2003) , Ortiz, (2003), Biffi (2006) e Zardo (2009), o modelo esférico se destacou. Em trabalho de Konopatzki (2008) o modelo gaussiano ajustou-se para alguns parâmetros avaliados em plantas.

Tabela 3- Parâmetros dos semivariogramas ajustados das variáveis: sólidos solúveis totais (SST), número de frutos por planta (NFP), peso médio de frutos (PMF), calibre médio de frutos (CMF), número de sementes por fruto (NSF), firmeza de polpa (FP), produção (P) e produtividade estimada (PE) da variedade Maxi Gala, nos anos de 2011 e 2012. Vacaria, 2013.

Variáveis	Modelo	C	Co	Co+C	Co/(Co+C)	Ao	Classif.	r <sup>2</sup>
			%			m		
<i>Safra 2011</i>								
SST (°Brix)	GAUS	0,56	0,001	0,56	0,0010	11,20	Forte	0,54
CMF (nº frutos /cx Mark IV)	GAUS	120,10	0,100	120,20	0,0008	10,80	Forte	0,56
NSF (unid.)	GAUS	0,48	0,001	0,48	0,0020	13,90	Forte	0,71
FP (lb)	EXP	0,83	0,045	0,88	0,0500	20,30	Forte	0,88
P (kg/pl)	GAUS	104,20	0,100	104,30	0,0009	13,50	Forte	0,89
<i>Safra 2012</i>								
SST (°Brix)	GAUS	0,38	0,001	0,38	376,0000	11,90	Forte	0,62
CMF (nº frutos /cx Mark IV)	GAUS	527,60	1,000	528,60	527,6000	14,10	Forte	0,91
NSF (unid.)	GAUS	0,41	0,004	0,41	101,2500	12,80	Forte	0,84
FP (lb)	EXP	3,23	0,330	3,56	9,8000	11,10	Forte	0,70
P (kg/pl)								

Efeito Pepita (Co): semivariância no ponto zero; Patamar (Co+C): semivariância a um espaço maior que a distância do alcance; Alcance (Ao): distância após a qual os valores das propriedades não são espacialmente correlacionados; Modelos ajustados aos semivariogramas experimentais: Gaussiano e Exponencial; Dependência espacial (forte < 25%; moderada 25 a 75%; fraca > 75% a 100 e > 100 efeito pepita puro); Guimarães, (2004); r<sup>2</sup>: coeficiente de determinação.

Tabela 4- Parâmetros dos semivariogramas ajustados das variáveis: volume de copa (VC), diâmetro de caule (DC) e índice de fertilidade (IF) da variedade Maxi Gala, nos anos de 2011 e 2012. Vacaria, 2013.

Variáveis	Modelo	C	Co	Co+C	Co/(Co+C)	Ao	Classif.	r <sup>2</sup>
			%			m		
<i>Safra 2011</i>								
VC (m <sup>3</sup> )	GAUS	1,92	0,336	2,26	0,1487	11,20	Forte	0,72
DC(mm)	GAUS	65,89	0,100	65,99	0,0010	13,00	Forte	0,82
IF(%)	GAUS	0,001	0,000	0,001	0,0000	15,40	Forte	0,86
<i>Safra 2012</i>								
VC (m <sup>3</sup> )	GAUS	1,59	0,001	1,59	0,0006	15,40	Forte	0,92
DC(mm)	GAUS	71,47	0,100	71,57	0,0014	13,70	Forte	0,70
IF(%)	ESF	0,001	0,000	0,001	0,0000	31,80	Forte	0,85

Efeito Pepita (Co): semivariância no ponto zero; Patamar (Co+C): semivariância a um espaço maior que a distância do alcance; Alcance (Ao): distância após a qual os valores das propriedades não são espacialmente correlacionados; Modelos ajustados aos semivariogramas experimentais: Gaussiano; Dependência espacial (forte < 25%; moderada 25 a 75%; fraca > 75% a 100 e > 100 efeito pepita puro); Guimarães, (2004); r<sup>2</sup>: coeficiente de determinação.

Nas safras 2011 e 2012 conforme tabela 4, o modelo que melhor se ajustou, pelo coeficiente de Akaike, ao modelo experimental aos parâmetros mensuráveis dos atributos de vigor das plantas, foi o modelo gaussiano.

O alcance é de fundamental importância para a interpretação dos semivariogramas. Ele indica a distância até onde os pontos amostrais estão

correlacionados entre si (SOUZA et al., 1997; VIEIRA, 1997), ou seja, o limite da dependência espacial da variável.

Determinações realizadas a distâncias maiores que o alcance tem distribuição espacial aleatória e, por isso, são independentes entre si, podendo ser aplicada a estatística clássica. Por outro lado, determinações realizadas em distâncias menores que o alcance são correlacionadas umas as outras, o que permite que se façam interpolações para espaçamentos menores que os amostrados.

Isto mostra que o alcance da dependência espacial depende da variável e que, se as amostragens realizadas nesta área considerassem o alcance, os dados obtidos poderiam representar melhor a realidade da área amostrada. Com o conhecimento do alcance da dependência espacial, define-se o raio de amostragem, para garantir em uma amostragem futura, nas áreas em questão, a independência dos pontos amostrais, diminuindo assim o trabalho na coleta e no número de amostras.

Foi verificado que o alcance na safra 2011 nos parâmetros mensuráveis dos atributos físico-químicos dos frutos em pós-colheita variou de aproximadamente 8 m a 20 m. Portanto, para garantir a dependência espacial, pontos de amostragem deveriam ser coletados a uma distância menor que o alcance. Já na safra 2012 o alcance variou de aproximadamente 11 m a 14 m.

Para os parâmetros mensuráveis dos atributos de vigor da planta, o alcance variou de 11 m a 15 m.

Observou-se que a malha de amostragem de 12 x 10 m para os parâmetros mensuráveis dos atributos físico-químicos dos frutos em pós-colheita e atributos de vigor da planta para as safras 2011 e 2012 foi adequada.

Com relação ao efeito pepita (Co), pode-se analisar o grau de dependência espacial, utilizando a classificação proposta por Cambardella et al. (1994). Os parâmetros mensuráveis dos atributos físico-químicos dos frutos em pós-colheita e atributos de vigor da planta para as safras 2011 e 2012 apresentaram forte dependência espacial.

Quanto menor a relação do efeito pepita com o patamar, menores serão as diferenças entre os valores de amostras vizinhas, maior será a continuidade do fenômeno, menor a variância da estimativa e maior será confiabilidade das estimativas (VIEIRA, 1995 e VIEIRA, 1997). A nulidade do efeito pepita em relação ao patamar indica que o erro experimental é praticamente nulo e que inexistem variações significativas a distâncias menores que a amostrada (TRANGMAR et. al., 1987).

#### 4.1.3 Mapas de classes ou temáticos

O mapa de classes qualitativo possibilita a identificação de subáreas de maior e menor potencial, munindo o decisor de informação para manejos de forma localizada e individualizada, possibilitando uma maior eficiência no manejo.

Os mapas de classes foram divididos em 5 classes “Muito Baixo”, “Baixo”, “Médio”, “Alto” e “Muito Alto”. Os limites que definem as classes estão expostos na Tabela 5.

Tabela 5- Limite dos intervalos de classe dos mapas temáticos da variedade Maxi Gala. Vacaria, 2013.

Classes	Produção	Atributos de qualidade físico				Atributos de vigor da planta		
	por planta	químicos dos frutos em pós colheita						
	P	CMF	FP	NSF	SST	VC	DC	IF
<b>Muito Baixo</b>	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Baixo</b>	16,91	99	16,36	3,5	8,23	6,61	47,73	0,34
<b>Baixo</b>	16,92	100	16,37	3,6	8,24	6,62	47,74	0,35
<b>Baixo</b>	26,91	119	17,22	4,27	8,97	8,10	55,84	0,37
<b>Médio</b>	26,92	120	17,23	4,28	8,98	8,11	55,85	0,38
<b>Médio</b>	36,91	149	18,08	4,95	9,71	9,58	63,94	0,4
<b>Alto</b>	36,92	150	18,09	4,96	9,72	9,59	63,95	0,41
<b>Alto</b>	46,91	164	18,95	5,63	10,44	11,05	72,05	0,43
<b>Muito Alto</b>	≥ 46,92	≥ 165	≥ 18,96	≥ 5,64	≥ 10,45	≥ 11,06	≥ 72,06	≥ 0,44

P(produção por planta em Kg), CMF ( calibre médio dos frutos em nº frutos/ cx Mark IV), FP ( firmeza de polpa em lb), NSF (número de sementes por fruto em unidade), SST ( sólidos solúveis totais em ° Brix), VC (volume de copa em m<sup>3</sup>), DC ( diâmetro de caule em mm) e IF ( índice de fertilidade em %).

Os mapas de classes dos parâmetros mensuráveis dos atributos físico-químicos em pós-colheita dos frutos nas safras 2011 e 2012 estão expostos nas figuras 9,10,11 e 12, da produção 13 e dos parâmetros mensuráveis dos atributos de vigor da planta nas safras 2011 e 2012 nas figuras 14,15, e 16.

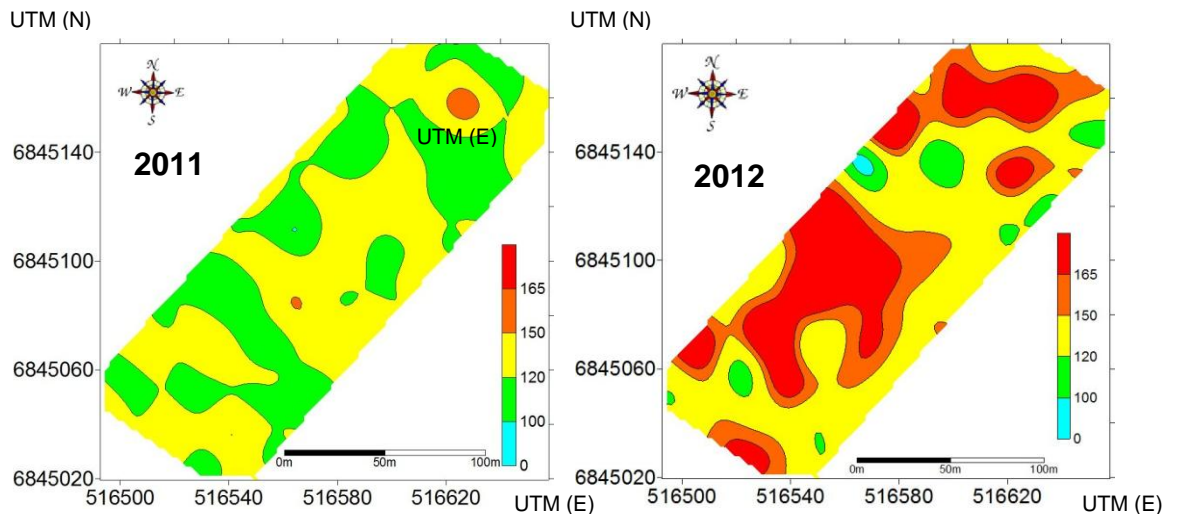


Figura 9 - Mapa temático do calibre médio dos frutos (CMF) das safras 2011 e 2012. Vacaria, 2013.

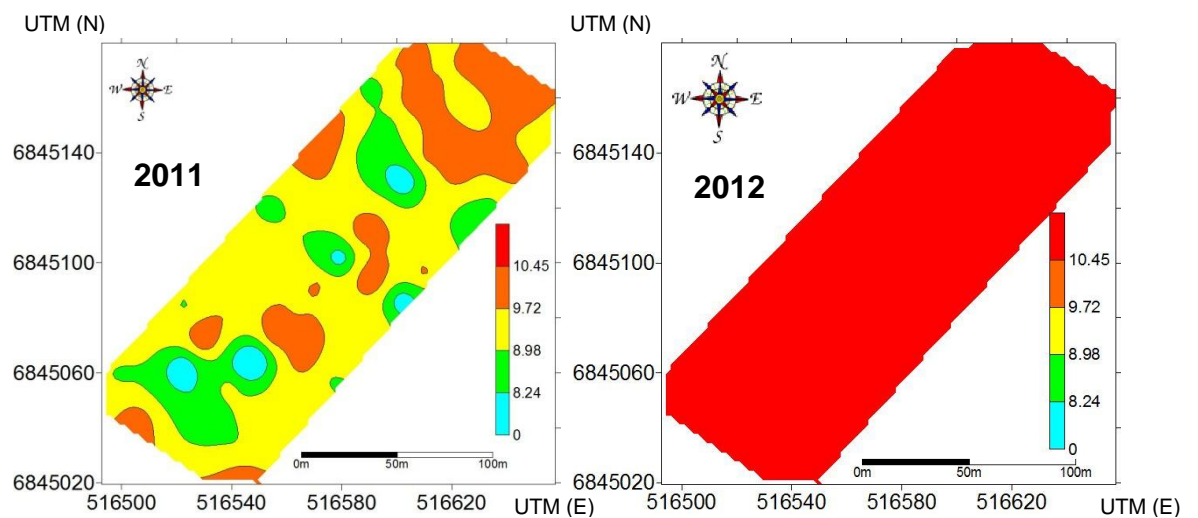


Figura 10 - Mapa temático dos sólidos solúveis totais (SST) das safras 2011 e 2012. Vacaria, 2013.

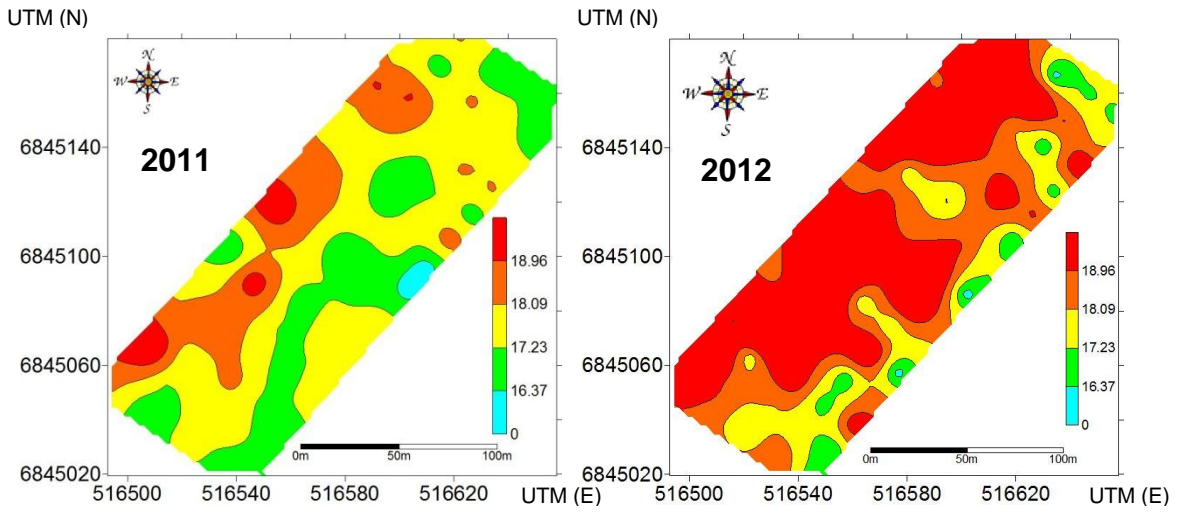


Figura 11 - Mapa temático da firmeza de polpa (FP) das safras 2011 e 2012. Vacaria, 2013.

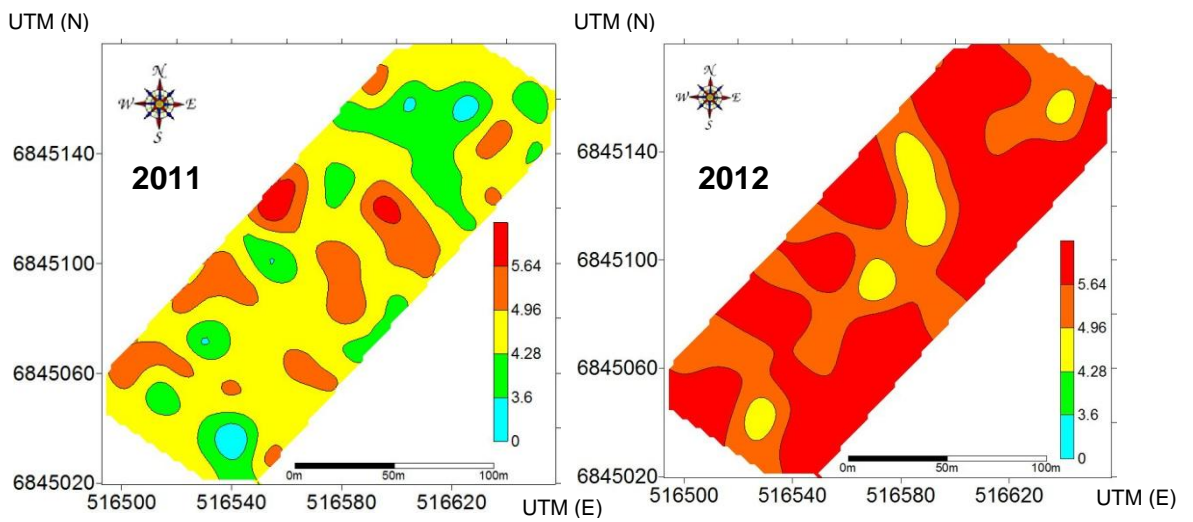


Figura 12 - Mapa temático do número de sementes por fruto (NSF) das safras 2011 e 2012. Vacaria, 2013.



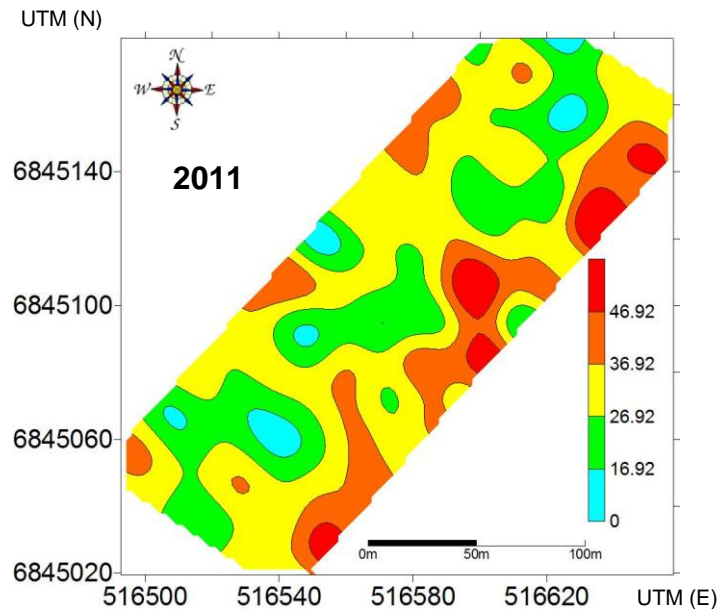


Figura 13 - Mapa temático da produção (P) da safra 2011. Vacaria, 2013.

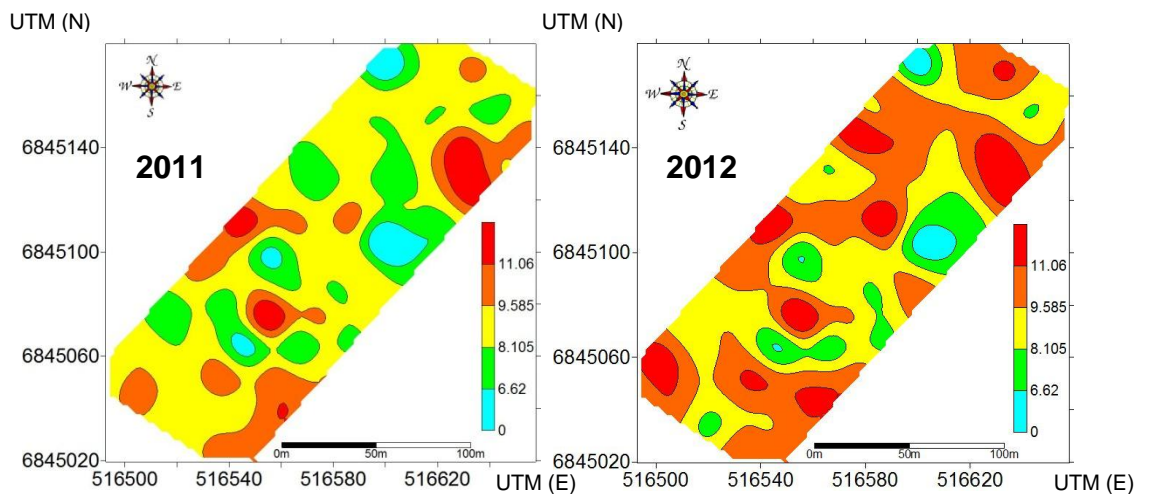


Figura 14 - Mapa temático do volume de copa (VC) das safras 2011 e 2012. Vacaria, 2013

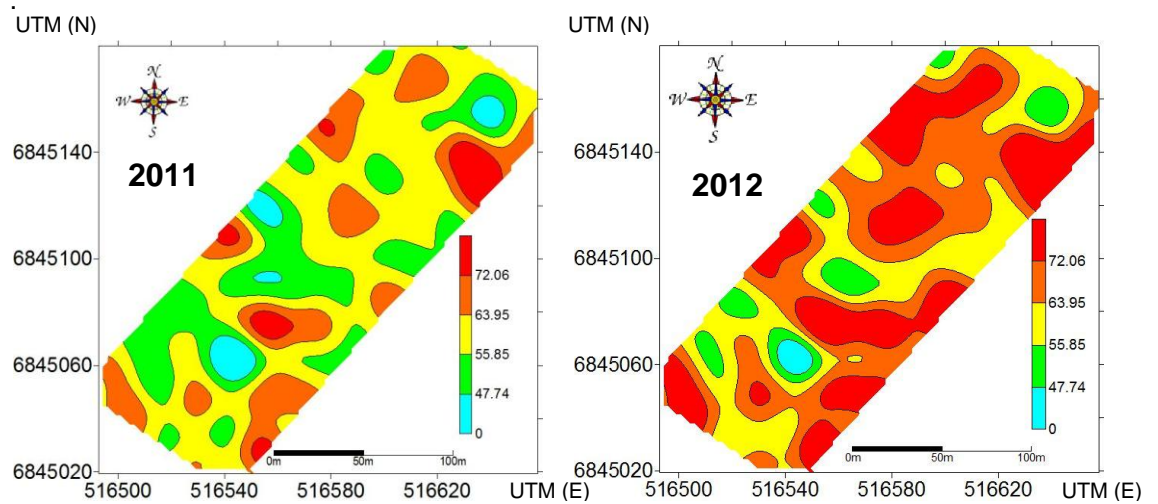


Figura 15 - Mapa temático do diâmetro de caule (DC) das safras 2011e 2012. Vacaria, 2013.

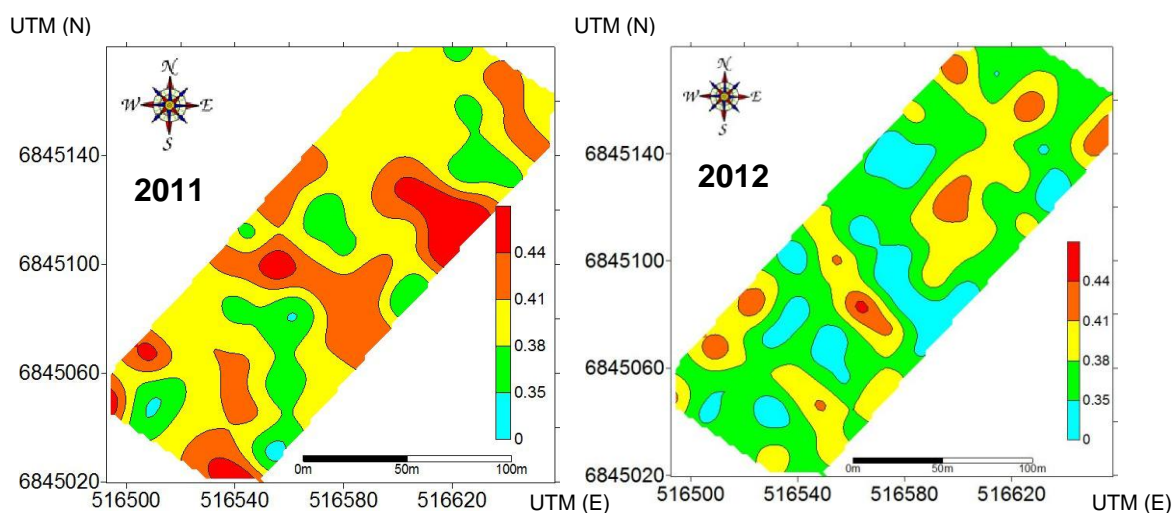


Figura 16 - Mapa temático do índice de fertilidade (IF) das safras 2011e 2012. Vacaria, 2013.

#### 4.1.4 Correlação entre os atributos físico-químicos dos frutos em pós-colheita, atributos de vigor da planta e produção

O coeficiente de correlação linear de Pearson ( $r$ ) é uma estatística utilizada para medir a força, a intensidade ou o grau de relação linear entre duas variáveis aleatórias. O sinal do coeficiente de correlação linear de Pearson expressa o sentido da correlação, e sua intensidade é representada por um valor numérico que oscila entre -1 e 1. Em situações extremas, dois caracteres podem apresentar correlação linear negativa perfeita ( $r = -1$ ) ou positiva perfeita ( $r = 1$ ) ou, ainda, ausência de relação linear ( $r = 0$ ). Em situações intermediárias  $0 < r < 0,1$  – fraca;  $0,1 < r < 0,5$  – moderada e  $0,5 < r < 0,9$  – forte (Beiguelman, 1996).

Os resultados da análise de correlação entre os parâmetros mensuráveis dos atributos de qualidade físico-químicos dos frutos em pós-colheita, dos atributos de vigor da planta e da produção para as safras de 2011 e 2012 estão representados na tabela 6.

Com base nos coeficientes de Pearson proposto por Beiguelman (1996), observou-se, na safra 2011, que de todos os parâmetros mensuráveis os únicos que apresentaram uma correlação forte, foram à produção (P) com o diâmetro de caule (DC) e volume de copa (VC) com diâmetro de caule (DC), 0,59 e 0,57, respectivamente.

Na safra 2012, confirmou-se a correlação entre volume de copa (VC) com diâmetro de caule (DC), 0,57, porém não houve a confirmação da produção (P) com o diâmetro de caule (DC), porque a empresa colheu parte do experimento sem o levantamento do parâmetro número de frutos por planta (NFP) utilizado no cálculo da produção.

Biffi (2006) evidenciou alta correlação entre as variáveis produção e diâmetro de caule em maçã, encontrando altas produções onde havia diâmetros de caule alto.

Tabela 6- Coeficiente de correlação linear de Pearson (R) para atributos de qualidade físico-químicos dos frutos em pós-colheita, atributos de vigor da planta e produção, da variedade Maxi Gala, nos anos de 2011 e 2012. Vacaria, 2013.

	P	CMF	FP	NSF	SST	VC	DC	IF
<i>Safra 2011</i>								
P	1,000							
CMF	-0,277	1,000						
FP	-0,207	-0,141	1,000					
NSF	0,032	-0,329	-0,050	1,000				
SST	0,022	-0,011	-0,005	-0,172	1,000			
VC	0,153	-0,238	-0,042	-0,023	0,029	1,000		
DC	0,595	-0,194	-0,230	-0,093	0,173	0,568	1,000	
IF	-0,046	0,126	0,143	-0,061	-0,067	-0,217	-0,347	1,000
<i>Safra 2012</i>								
P	0,000							
CMF	0,000	1,000						
FP	0,000	0,584	1,000					
NSF	0,000	-0,233	0,063	1,000				
SST	0,000	-0,099	0,189	0,087	1,000			
VC	0,000	0,050	-0,175	-0,202	-0,337	1,000		
DC	0,000	-0,215	-0,318	0,156	-0,283	0,575	1,000	
IF	0,000	0,044	0,041	0,056	0,141	-0,133	-0,179	1,000

P (produção por planta), CMF (calibre médio de frutos), FP (firmeza de polpa), NSF (Número de sementes por fruto), SST (sólidos solutos totais), VC (volume de copa), DC (diâmetro de caule), IF (índice de fertilidade).

#### 4.1.5 Semivariogramas produção (P), diâmetro de caule (DC) e volume de copa (VC), safras 2011 e 2012

Na figura 17 são apresentados os semivariogramas para produção (P), diâmetro de caule (DC) e volume de copa (VC) safra 2011 e na figura 18 para diâmetro de caule (DC) e volume de copa (VC) safra 2012.

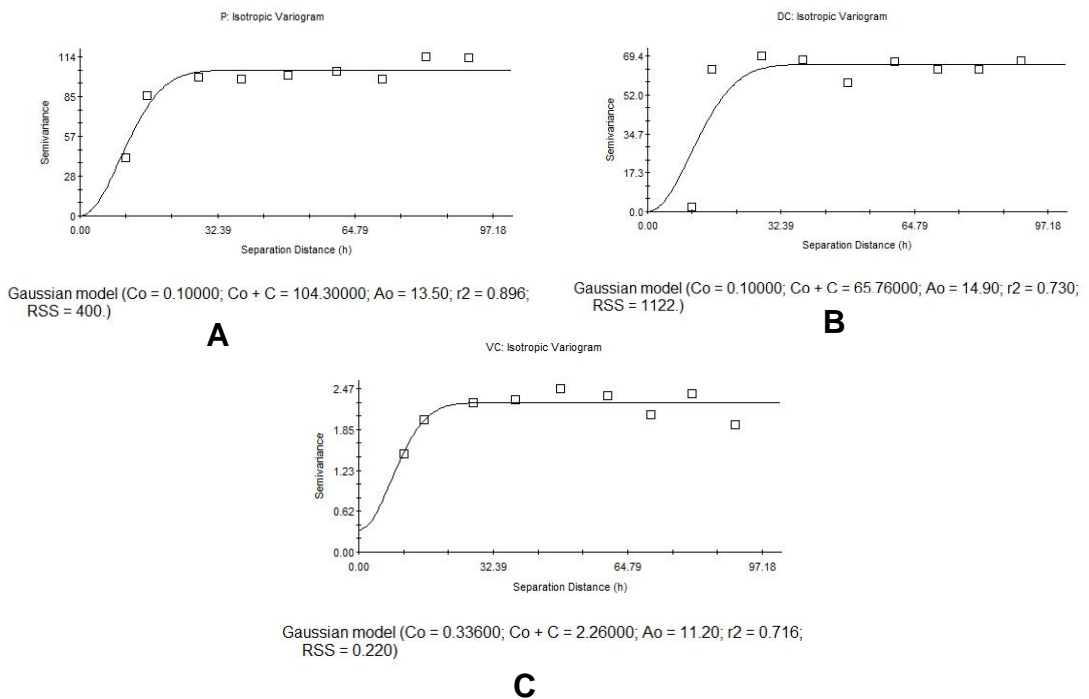
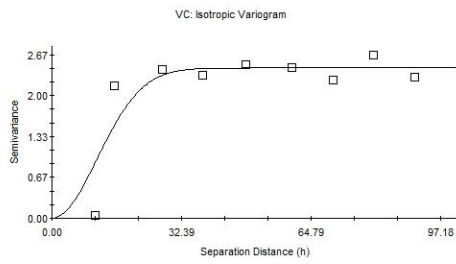


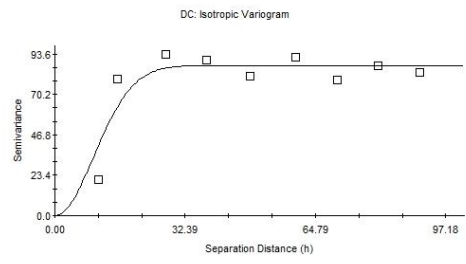
Figura 17 - Semivariogramas produção (A), diâmetro de caule (B) e volume de copa (C) safra 2011. Vacaria, 2013.

Os parâmetros que apresentaram forte correlação apresentaram também forte dependência espacial e um coeficiente de determinação ( $R^2$ ) de 0,89, 0,73 e 0,71, produção (P), diâmetro de caule (DC) e volume de copa (VC) respectivamente, na safra 2011 conforme figura 17A, 17B e 17C. Na safra 2012 o coeficiente de determinação ( $R^2$ ) foi de 0,78 e 0,81 para volume de copa (VC) e diâmetro de caule (DC) respectivamente conforme figura 18A e 18B. O coeficiente de determinação nos informa sobre a qualidade do ajuste do modelo.



Gaussian model ( $C_0 = 0.00100$ ;  $C_0 + C = 2.44700$ ;  $A_0 = 15.90$ ;  $r_2 = 0.780$ ;  $RSS = 1.29$ )

**A**



Gaussian model ( $C_0 = 0.10000$ ;  $C_0 + C = 86.89000$ ;  $A_0 = 13.70$ ;  $r_2 = 0.810$ ;  $RSS = 840.$ )

**B**

Figura 18 - Semivariogramas volume de copa (A) e diâmetro de caule (B) safra 2012. Vacaria, 2013.

#### 4.1.6 Análise do semivariograma cruzado produção (P) versus diâmetro de caule (DC) e volume de copa (VC) versus diâmetro de caule (DC) safra 2011

Na figura 19 serão apresentados os semivariogramas cruzados da produção (P) versus diâmetro de caule (DC) e volume de copa (VC) versus diâmetro de caule (DC) da safra 2011 pela cokrigagem.

Para o semivariograma cruzado produção (P) versus diâmetro de caule (DC) figura 19A o modelo gaussiano foi o que mais se ajustou apresentando um alcance de 16,50 m com coeficiente de determinação de 0,80. Nesta situação houve dependência entre as amostras.

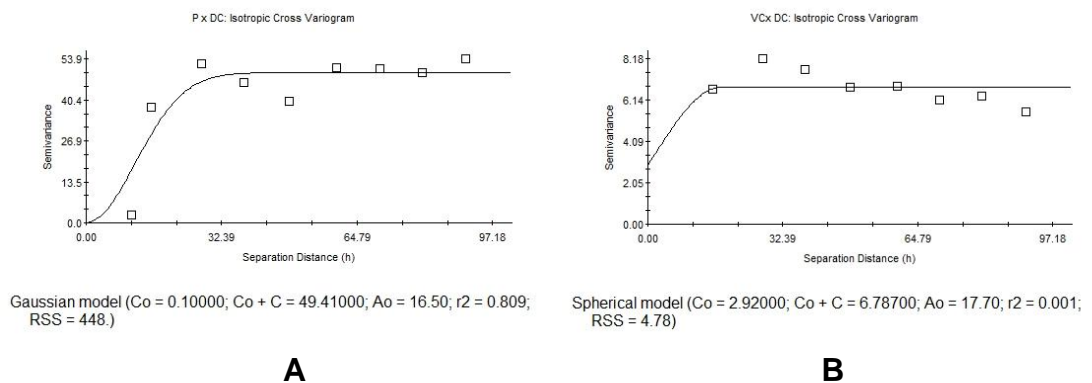


Figura 19 - Semivariogramas cruzados produção versus diâmetro de caule (A) e volume de copa versus diâmetro de caule (B) safra 2011. Vacaria, 2013.

Para o semivariograma cruzado volume de copa (VC) versus diâmetro de caule (DC) figura 19B o modelo que mais se ajustou foi o esférico, com alcance de 17,10 m e com coeficiente de determinação de 0,01. Nesta situação apesar das variáveis possuírem correlação, não houve dependência das amostras.

#### 4.1.7 Mapas temáticos do semivariograma cruzado produção (P) versus diâmetro de caule (DC) e volume de copa (VC) versus diâmetro de caule (DC) safra 2011

Conforme tabela 7 a utilização do diâmetro de caule (DC) como uma covariável para a estimativa da P, provocou alteração no alcance da dependência espacial, assim como no patamar do semivariograma. O alcance aumentou em 3 m, o patamar (Co+C) diminuiu 46%. Os demais parâmetros mantiveram-se com pequena variação.

Tabela 7 - Parâmetros dos semivariogramas cruzados ajustados das variáveis: produção (P) versus diâmetro de caule (DC) com números diferentes de amostra de produção (P) da variedade Maxi Gala, na safra 2011. Vacaria, 2013.

Variáveis	Modelo	C	Co	Co+C	Co/(Co+C)	Ao	Classif.	r <sup>2</sup>
			%			m		
			Safra 2011					
P	GAUS	104,20	0,10	104,30	0,0009	13,50	Forte	0,89
PxDC	GAUS	49,31	0,10	49,41	0,002	16,50	Forte	0,80
PxDC (-5)	GAUS	53,38	0,10	53,48	0,001	16,60	Forte	0,80
PxDC (-10)	GAUS	53,19	0,10	53,29	0,001	16,50	Forte	0,80
PxDC (-15)	GAUS	55,94	0,10	56,04	0,001	16,50	Forte	0,76
PxDC (-20)	-	0,00	59,90	59,90	1	90,70	E.P. Puro	0,22

Efeito Pepita (Co): semivariância no ponto zero; Patamar (Co+C): semivariância a um espaço maior que a distância do alcance; Alcance (Ao): distância após a qual os valores das propriedades não são espacialmente correlacionados; Modelos ajustados aos semivariogramas experimentais: Gaussiano e Linear; Dependência espacial (forte < 25%; moderada 25 a 75%; fraca > 75% a 100 e > 100 efeito pepita puro); Guimarães, (2004); r<sup>2</sup>: coeficiente de determinação. GAUS ( modelo gaussiano), LIN ( modelo linear).



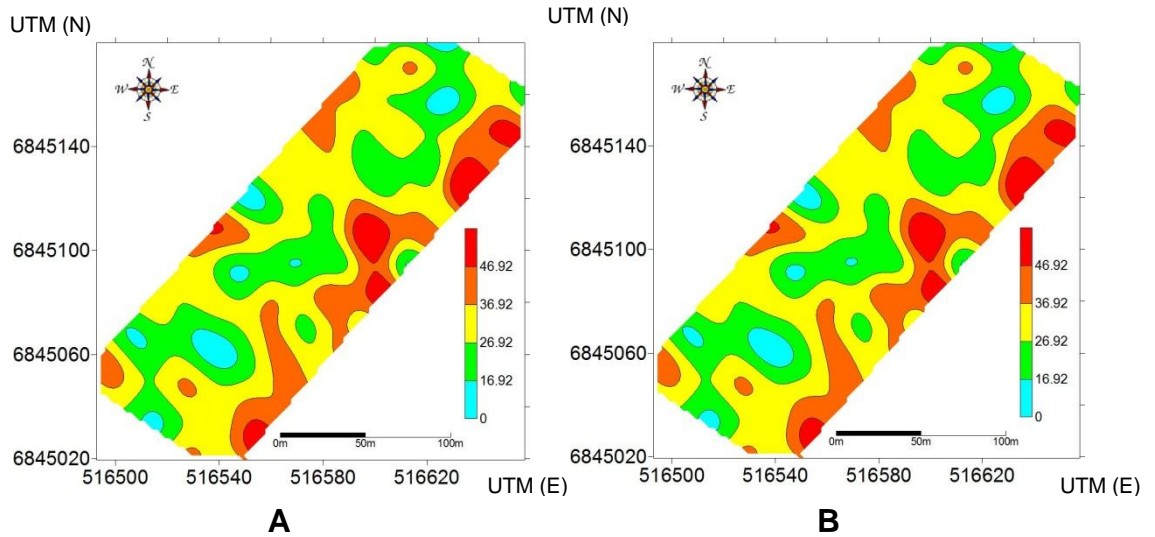


Figura 20 – Mapa temático produção *versus* diâmetro de caule (A) e produção *versus* diâmetro de caule (B) com 5 amostras a menos, safra 2011. Vacaria, 2013.

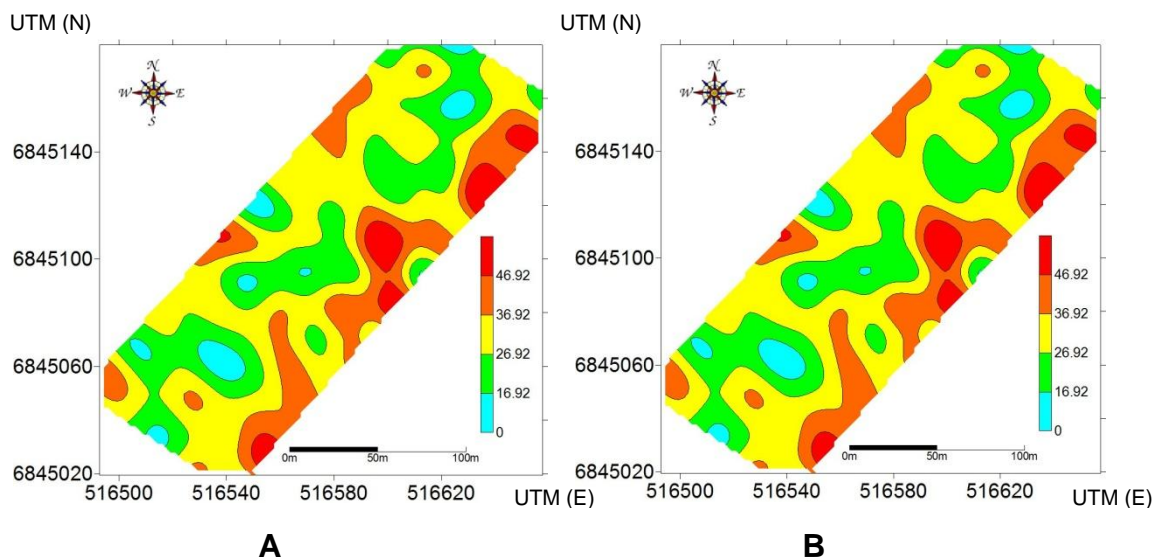


Figura 21 - Mapa temático produção *versus* diâmetro de caule (A) com 10 amostras a menos e produção *versus* diâmetro de caule (B) com 15 amostras a menos, safra 2011. Vacaria, 2013.

Segundo Guimarães (2004), a cokrigagem possibilita a estimação subamostrada de uma variável através de uma covariável correlacionada, Este método possibilita diminuir custos quando esta é cara e de difícil amostragem.

Na figura 20A foi apresentado o mapa temático da cokrigagem entre a variável principal produção (P) e a covariável diâmetro de caule (DC). Foram amostrados 75 plantas distribuídos em 5 filas de 15 plantas, Na figura 20B

foram retiradas 5 amostras, permanecendo 70, e o mapa temático mostrou a mesma distribuição das classes.

Nas figuras 21A e 21B foram retiradas 10 e 15 amostras respectivamente, e o mapa temático mostrou a mesma distribuição das classes.

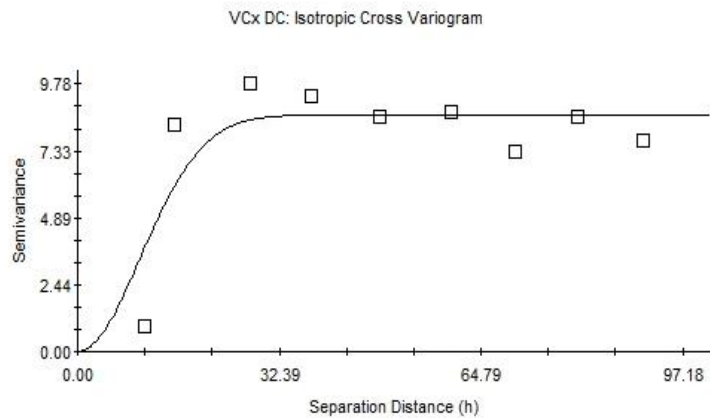
Na tabela 7 o semivariograma cruzado produção (P) *versus* diâmetro de caule (DC) com 20 amostras retiradas não apresentou mais dependência entre elas.

Desta forma a cokrigagem permitiu a redução de 15 amostras para determinar a produção (P) (variável) permanecendo as 75 plantas do diâmetro de caule (DC) (covariável).

#### **4.1.8 Análise do variograma cruzado volume de copa (VC) *versus* diâmetro de caule (DC) safra 2012**

Na figura 22 foi apresentado o semivariograma cruzado do volume de copa (VC) *versus* diâmetro de caule (DC) da safra 2012 pela cokrigagem.

No o semivariograma cruzado volume de copa (VC) *versus* diâmetro de caule (DC) figura 22 o modelo gaussiano foi o que mais se ajustou apresentando um alcance de 14,20 m com coeficiente de determinação de 0,71. Nesta situação houve dependência entre as amostras.



Gaussian model ( $C_0 = 0.01000$ ;  $C_0 + C = 8.65500$ ;  $A_0 = 14.20$ ;  $r^2 = 0.718$ ;  
RSS = 18.1)

Figura 22 - Semivariograma cruzado volume de copa *versus* diâmetro de caule safra 2012. Vacaria, 2013.

#### 4.1.9 Mapas temáticos do semivariograma cruzado volume de copa (VC) *versus* diâmetro de caule (DC) safra 2012

Conforme tabela 8 a utilização do diâmetro de caule (DC) como uma covariável para a estimativa do volume de copa (VC), provocou alteração no alcance da dependência espacial, assim como no patamar do semivariograma. O alcance diminuiu em 1,70 m, o patamar ( $C_0+C$ ) aumentou 72%. A dependência espacial manteve-se forte e o coeficiente de determinação reduziu 0,07%.

Tabela 8- Parâmetros dos semivariogramas cruzados ajustados das variáveis: volume de copa (VC) *versus* diâmetro de caule (DC) com número diferente de amostras de volume de copa (VC) da variedade Maxi Gala, na safra 2012. Vacaria, 2013.

Variáveis	Modelo	C	Co	Co+C	Co/(Co+C)	Ao	Classif.	r <sup>2</sup>
			%			m	-	-
			Safrá 2012					
VC	GAUS	2,439	0,001	2,44	0,0004	15,90	Forte	0,78
VCxDC	GAUS	8,640	0,01	8,65	0,0010	14,20	Forte	0,71
VCxDC (-5)	GAUS	8,970	0,01	8,98	0,0010	13,90	Forte	0,67
VCxDC (-10)	GAUS	9,620	0,01	9,63	0,0010	13,80	Forte	0,65
VCxDC (-15)	GAUS	9,400	0,01	9,41	0,0010	13,10	Forte	0,53
VCxDC (-20)	GAUS	9,440	0,01	9,45	0,0010	12,70	Forte	0,49
VCxDC (-25)	LIN	0	0,83	0,83	1	91,07	E.P. Puro	0,19

Efeito Pepita (Co): semivariância no ponto zero; Patamar (Co+C): semivariância a um espaço maior que a distância do alcance; Alcance (Ao): distância após a qual os valores das propriedades não são espacialmente correlacionados; Modelos ajustados aos semivariogramas experimentais: Gaussiano e Linear; Dependência espacial (forte < 25%; moderada 25 a 75%; fraca

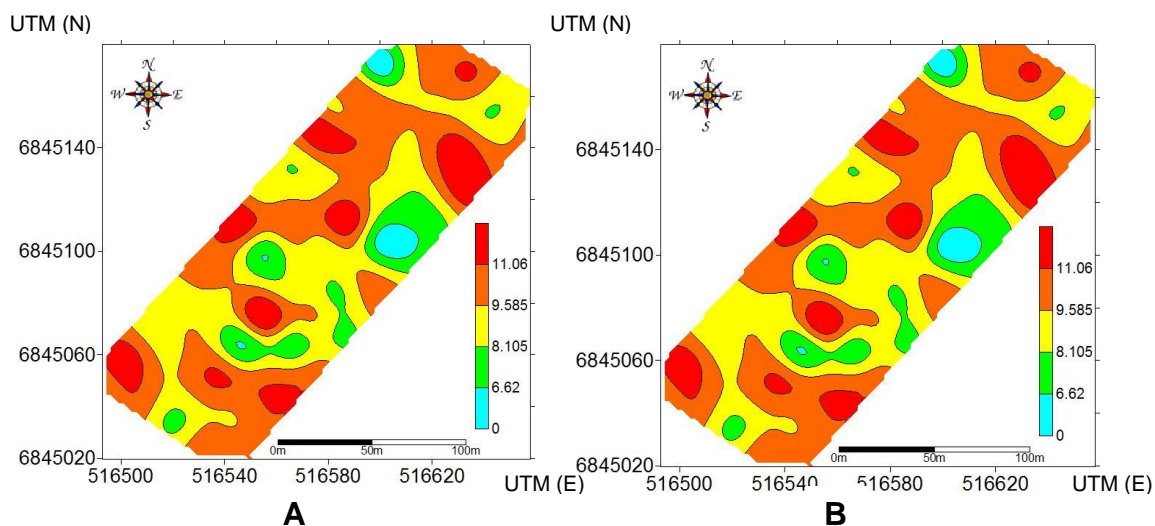


Figura 23 - Mapa temático volume de copa *versus* diâmetro de caule (A) e volume de copa *versus* diâmetro de caule (B) com 5 amostras a menos, safra 2012. Vacaria, 2013.

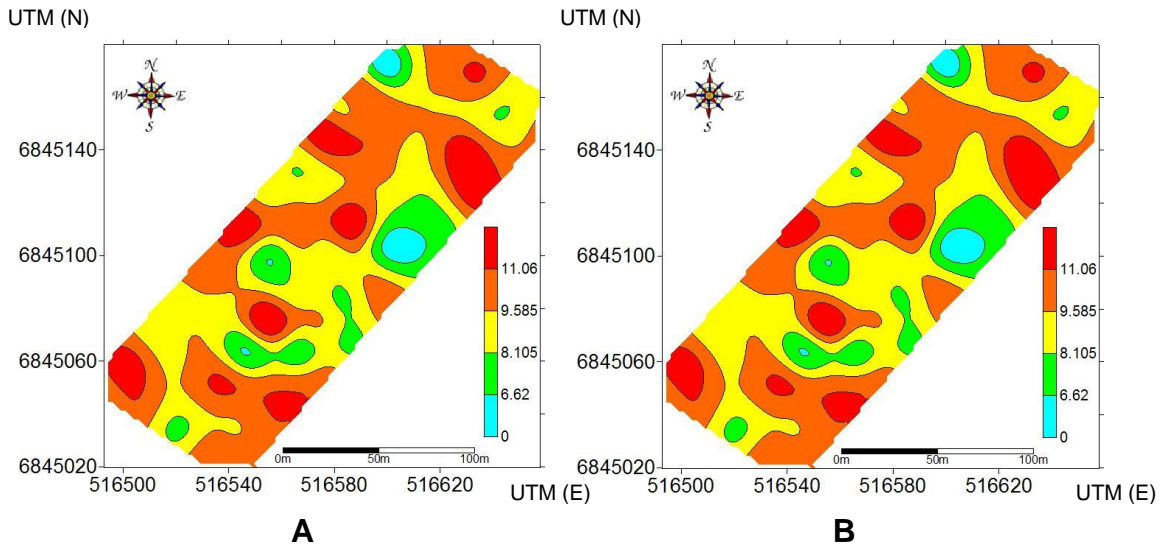


Figura 24 - Mapa temático volume de copa *versus* diâmetro de caule (A) com 10 amostras a menos e volume de copa *versus* diâmetro de caule (B) com 15 amostras a menos, safra 2012. Vacaria, 2013.

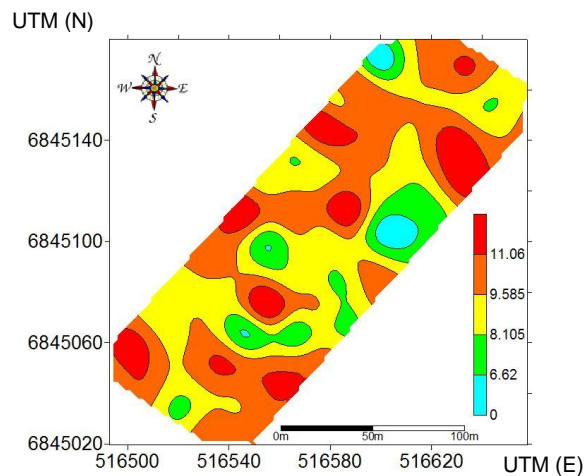


Figura 25 - Semivariograma cruzado e mapa temático volume de copa *versus* diâmetro de caule com 20 amostras a menos, safra 2012. Vacaria, 2013.

Na figura 23A será apresentado o mapa temático da cokrigagem entre volume de copa (VC) e diâmetro de caule (DC). Na figura 23B retirando 5 amostras, na figura 24A retirando 10 amostras, na figura 24B retirando 15 amostras e por fim figura 25 retirando 20 amostras. À medida que as amostras foram retiradas, o coeficiente de determinação foi baixando (tabela 8) e a dependência entre as variáveis manteve-se forte, com redução nos alcances de 14,20 m para 12,7 m.

Desta forma a cokrigagem permitiu a redução de 20 amostras para determinar o volume de copa (VC) (principal) permanecendo as 75 plantas do diâmetro de caule (DC) (covariável).

## 4.2 ANÁLISES SOBRE A VARIEDADE FUJI MOORE ANOS DE 2011 E 2012

### **4.2.1 Análise da estatística descritiva dos atributos físico-químicos dos frutos em pós-colheita, dos atributos de vigor da planta e produção**

Os valores dos parâmetros dos atributos físico-químicos dos frutos em pós-colheita, vigor da planta e produção das 75 amostras foram analisados por meio da estatística descritiva, conforme tabela 9 e 10.

Nos atributos físico-químicos dos frutos em pós-colheita, de acordo com o teste de Kolmogorov-Smirnov a 5% de probabilidade os parâmetros calibre médio de frutos (CMF), firmeza de polpa (FP), número de sementes por fruto (NSF) e sólidos solúveis totais (SST) não apresentaram normalidade na safra 2011 a 2012.

Nos atributos de vigor da planta, os parâmetros volume de copa (VC) e diâmetro de caule (DC) apresentaram normalidade em sua distribuição na safra 2011. Na mesma safra, o parâmetro índice de fertilidade (IF) não apresentou normalidade. Na safra 2012 somente o parâmetro diâmetro de caule (DC) apresentou normalidade, volume de copa (VC) e índice de fertilidade (IF) não apresentaram um comportamento normal de distribuição.

Na safra 2011 a produção (P) apresentou um comportamento normal, mas na safra 2012 não houve normalidade.

Através da análise descritiva observou que o CV obtido dos dados permitiu caracterizar na safra 2011 nos atributos físico-químicos dos frutos em pós-colheita os parâmetros calibre médio dos frutos (CMF), firmeza de polpa (FP) e sólidos solúveis totais (SST) como de baixa variação ( $CV < 12\%$ ), número de sementes por fruto (NSF) como média variação ( $12 \leq CV \leq 60\%$ ). Nos atributos de vigor da planta os parâmetros índice de fertilidade (IF) como de baixa variação ( $CV < 12\%$ ), volume de copa (VC) e

diâmetro de caule (DC) como de média variação ( $12 \leq CV \leq 60\%$ ). A produção (P) como média variação ( $12 \leq CV \leq 60\%$ ).

Na safra 2012 nos atributos físico-químicos dos frutos em pós-colheita os parâmetros firmeza de polpa (FB) e sólidos solúveis totais (SST) como de baixa variação ( $CV < 12\%$ ), calibre médio de frutos (CMF) e número de sementes por fruto (NSF) como de média variação ( $12 \leq CV \leq 60\%$ ). Nos atributos de vigor da planta os parâmetros diâmetro de caule (DC) e índice de fertilidade (IF) como baixa variação ( $CV < 12\%$ ), volume de copa (VC) como de média variação ( $12 \leq CV \leq 60\%$ ). A produção (P) como média variação ( $12 \leq CV \leq 60\%$ ) de acordo com o critério de Warrick e Nielsen (1980) citado por Silva et. al. (2012).



Tabela 9- Estatística descritiva dos atributos de qualidade físico-químicos dos frutos em pós-colheita, atributos de vigor das plantas e produção da variedade Fuji Moore nos anos de 2011. Vacaria, 2013.

Variáveis	Produção	Atributos de qualidade físico-químicos dos frutos em pós-colheita				Atributos de vigor da planta		
	P (kg/pl)	CMF (nº frutos / cx Mark IV)	FP (lb)	NSF (unid.)	SST (ºBrix)	VC (m <sup>3</sup> )	DC (mm)	IF (%)
Safrá 2011								
Nº amostras	75,00	75,00	75,00	75,00	75,00	75,00	75,00	75,00
Média	33,72	87,20	16,93	6,35	12,47	9,60	70,99	0,39
Mediana	33,95	90,00	17,26	6,48	12,70	9,46	71,00	0,39
Mínimo	15,16	70,00	13,00	4,00	7,00	7,44	52,00	0,35
Máximo	57,63	120,00	20,00	8,00	15,00	12,17	91,00	0,45
Variância	83,72	96,11	3,31	0,61	1,85	1,40	81,07	0,00
DP	9,15	9,80	1,82	0,78	1,36	1,18	9,00	0,02
Assimetria	0,27	0,77	-0,34	-0,70	-1,24	0,05	0,17	0,05
Curtose	-0,27	1,15	-0,74	-0,05	3,50	-0,75	-0,42	-0,15
CV(%)	27,13	11,24	10,74	12,29	10,90	12,31	12,68	5,68
Ks 0.05%	0,15	0,01	0,01	0,01	0,01	0,10	0,15	0,03
Ks	0,04	0.22*	0.20*	0.29*	0.19*	0,09	0,07	0.11*

P (produção), CMF (calibre médio de frutos), FP (firmeza de polpa), NSF (numero de sementes por fruto), SST (sólidos solutos totais), VC (volume de copa), DC(diâmetro de caule), IF (índice de fertilidade), DP (desvio padrão), CV(coef. de variação), As (coef. Assimetria), K(coef. Curtose), teste de Kolmogorov-Smirnov (KS).

Tabela 10- Estatística descritiva dos atributos de qualidade físico-químicos dos frutos em pós-colheita, atributos de vigor das plantas e produção da variedade Fuji Moore nos anos de 2012. Vacaria, 2013.

Variáveis	Produção	Atributos de qualidade físico-químicos dos frutos em pós-colheita				Atributos de vigor da planta		
	P (kg/pl)	CMF (nºfrutos / cx Mark IV)	FP (lb)	NSF (unid.)	SST (ºBrix)	VC (m <sup>3</sup> )	DC (mm)	IF (%)
Safrá 2012								
Nº amostras	75,00	75,00	75,00	75,00	75,00	75,00	75,00	75,00
Média	12,03	107,80	17,23	7,09	13,51	10,15	78,44	0,38
Mediana	10,20	110,00	17,02	6,88	13,30	10,14	78,50	0,37
Mínimo	15,16	90,00	15,00	6,00	12,00	7,77	58,50	0,29
Máximo	38,04	200,00	23,00	9,00	16,00	13,18	97,50	0,49
Variância	52,81	202,19	2,15	0,79	0,98	1,53	71,40	0,00
DP	7,27	14,22	1,47	0,89	0,99	1,24	8,45	0,04
Assimetria	1,30	3,77	1,07	0,65	0,37	0,21	-0,02	0,43
Curtose	1,95	23,33	2,31	-0,11	-0,29	-0,54	-0,29	0,32
CV(%)	60,43	13,19	8,51	12,52	7,34	12,19	10,77	10,57
Ks 0.05%	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,03	0,15	0,03
Ks	0.14*	0.23*	0.20*	0.28*	0.22*	0.11*	0,07	0.1*

P (produção), CMF (calibre médio de frutos), FP (firmeza de polpa), NSF (numero de sementes por fruto), SST (sólidos solutos totais), VC (volume de copa), DC(diâmetro de caule), IF (índice de fertilidade), DP (desvio padrão), CV(coef. de variação), As (coef. Assimetria), K(coef. Curtose), teste de Kolmogorov-Smirnov(KS).

#### 4.2.2 Análise espacial dos atributos físico-químicos dos frutos em pós-colheita, dos atributos de vigor da planta e produção

Na safra 2011 conforme tabela 11, o modelo que melhor se ajustou, pelo coeficiente de Akaike, ao modelo experimental aos parâmetros mensuráveis dos atributos físico-químicos dos frutos em pós-colheita foi o modelo gaussiano para sólidos solúveis totais (SST), número de sementes por fruto (NSF) e produção (P). Para os parâmetros calibre médio de frutos (CMF) e firmeza de polpa (FP) o modelo exponencial apresentou o melhor ajuste.

Tabela 11 - Parâmetros dos semivariogramas ajustados das variáveis: sólidos solúveis totais (SST), calibre médio de frutos (CMF), número de sementes por fruto (NSF), firmeza de polpa (FP) e produção (P) da variedade Fuji Moore, nos anos de 2011 e 2012. Vacaria, 2013.

Variáveis	Modelo	C	Co	Co+C	Co/(Co+C)	Ao	Classif.	r <sup>2</sup>
			%			m		
Safra 2011								
SST (°Brix)	GAUS	2,09	0,001	2,09	0,0005	14,65	Forte	0,96
CMF (nº frutos)								
/cx Mark IV)	EXP	82,94	16,244	99,18	0,1638	13,31	Forte	0,90
NSF (unid.)	GAUS	0,61	0,001	0,61	0,0016	11,00	Forte	0,85
FP (lb)	EXP	3,00	0,241	3,24	0,0743	6,21	Forte	0,52
P (kg/pl)	GAUS	80,31	0,100	80,41	0,0012	13,60	Forte	0,70
Safra 2012								
SST (°Brix)	GAUS	0,93	0,001	0,93	0,0011	9,31	Forte	0,99
CMF (nº frutos)								
/cx Mark IV)	ESF	183,60	72,800	256,40	0,2839	99,10	Forte	0,87
NSF (unid.)	GAUS	0,62	0,001	0,63	0,0016	11,71	Forte	0,97
FP (lb)	EXP	1,94	0,112	2,05	0,0546	8,30	Forte	0,06
P (kg/pl)	GAUS	48,56	0,100	48,66	0,0021	17,80	Forte	0,78

Efeito Pepita (Co): semivariância no ponto zero; Patamar (Co+C): semivariância a um espaço maior que a distância do alcance; Alcance (Ao): distância após a qual os valores das propriedades não são espacialmente correlacionados; Modelos ajustados aos semivariogramas experimentais: Gaussiano, Esférico e Exponencial; Dependência espacial (forte < 25%; moderada 25 a 75%; fraca > 75% a 100 e > 100 efeito pepita puro); Guimarães, (2004); r<sup>2</sup>: coeficiente de determinação.

Na safra 2012, conforme tabela 11, o modelo que melhor se ajustou, pelo coeficiente de Akaike, ao modelo experimental aos parâmetros mensuráveis dos atributos físico-químicos dos frutos em pós-colheita, foi o modelo gaussiano para os parâmetros sólidos solúveis totais (SST), número de sementes por fruto (NSF) e produção (P). Para o parâmetro calibre médio

de frutos (CMF) o modelo esférico proporcionou o melhor ajuste. Para o parâmetro firmeza de polpa (FP) o modelo exponencial apresentou o melhor ajuste.

Conforme tabela 12, o modelo que melhor se ajustou, pelo coeficiente de Akaike, ao modelo experimental aos parâmetros mensuráveis dos atributos de vigor da planta para os parâmetros volume de copa (VC) e diâmetro de caule (DC) nas safras 2011 e 2012 foi o modelo gaussiano. Para o parâmetro índice de fertilidade (IF) nas safras 2011 e 2012 o modelo esférico apresentou o melhor ajuste.

Tabela 12- Parâmetros dos semivariogramas ajustados das variáveis: volume de copa (VC), diâmetro de caule (DC) e índice de fertilidade da variedade Fuji Moore, nos anos de 2011 e 2012. Vacaria, 2013.

Variáveis	Modelo	C	Co	Co+C	Co/(Co+C)	Ao	Classif.	r <sup>2</sup>
			%			m		
			Safr 2011					
VC (m <sup>3</sup> )	GAUS	1,34	0,110	1,45	0,0757	10,97	Forte	0,88
DC (mm)	GAUS	80,92	0,100	81,02	0,0012	13,50	Forte	0,70
IF (%)	ESF	0,001	0,000	0,001	0,0000	21,95	Forte	0,75
			Safr 2012					
VC (m <sup>3</sup> )	GAUS	1,59	0,001	1,59	0,0006	11,71	Forte	0,95
DC (mm)	GAUS	71,47	0,100	71,57	0,0014	13,70	Forte	0,7
IF (%)	EXP	0,002	0,000	0,002	0,0000	8,80	Forte	0,66

Efeito Pepita (Co): semivariância no ponto zero; Patamar (Co+C): semivariância a um espaço maior que a distância do alcance; Alcance (Ao): distância após a qual os valores das propriedades não são espacialmente correlacionados; Modelos ajustados aos semivariogramas experimentais: Gaussiano, Esférico e Exponencial; Dependência espacial (forte < 25%; moderada 25 a 75%; fraca > 75% a 100 e > 100 efeito pepita puro); Guimarães, (2004); r<sup>2</sup>: coeficiente de determinação.

Foi verificado que o alcance na safra 2011 nos parâmetros mensuráveis dos atributos físico-químicos dos frutos em pós-colheita variou de aproximadamente 6 m a 21,5 m. Portanto, para garantir a dependência espacial, pontos de amostragem deveriam ser coletados a uma distância menor que o alcance. Para os parâmetros número de sementes por futo (NSF) e firmeza de polpa (FP), 11 e 6,21m respectivamente, o alcance ficou fora da malha de amostragem 16x12m não tendo dependência espacial entre as amostras. Já na safra 2012 o alcance variou de aproximadamente 8 m a 130 m. Os parâmetros sólidos solúveis totais (SST), número de

sementes por fruto (NSP) e firmeza de polpa (FP), com alcances de 9,31, 11,71 e 8,30, respectivamente, ficaram fora da malha de amostragem.

Para os parâmetros mensuráveis dos atributos de vigor da planta o alcance variou de aproximadamente 11 a 22 m. Nas safras 2011 e 2012 o parâmetro volume de copa (VC) apresentou o alcance fora da malha de amostragem. Já o parâmetro índice de fertilidade (IF) somente na safra 2012.

Observou-se que a malha de amostragem de 16 x 12 m para os parâmetros número de sementes por fruto (NSF) e firmeza de polpa (FP) dos atributos físico-químicos dos frutos em pós-colheita e parâmetro volume de copa (VC) dos atributos de vigor da planta para as safras 2011 e 2012 não foi adequado.

Com relação ao efeito pepita (Co), pode-se analisar o grau de dependência espacial, utilizando a classificação proposta por Cambardella et al. (1994). Os parâmetros mensuráveis dos atributos físico-químicos dos frutos em pós-colheita apresentaram forte dependência espacial nas duas safras. Os atributos de vigor da planta para as safras 2011 e 2012 apresentaram forte dependência espacial.

### 4.2.3 Mapas de classes ou temáticos

Os mapas de classes foram divididos em 5 classes “Muito Baixo”, “Baixo”, “Médio”, “Alto” e “Muito Alto”. Os limites que definem as classes estão expostos na Tabela 13.

Tabela 13- Limite dos intervalos de classe dos mapas temáticos da variedade Fuji Moore. Vacaria, 2013.

Classes	Produção por planta	Atributos de qualidade físico químicos dos frutos em pós colheita				Atributos de vigor da planta		
	P	CMF	FP	NSF	SST	VC	DC	IF
<b>Muito Baixo</b>	0	0	0	0	0	0	0	0
	19	99	14,25	5,18	10,30	7,81	57,47	0,34
	20	100	14,26	5,19	10,31	7,82	57,48	0,35
<b>Baixo</b>	29,14	119	16,04	5,93	11,69	8,99	66,47	0,36
	29,15	120	16,05	5,94	11,70	9,00	66,48	0,37
<b>Médio</b>	38,28	149	17,82	6,67	13,07	10,17	75,47	0,39
	38,29	150	17,83	6,68	13,08	10,18	75,48	0,40
<b>Alto</b>	47,43	164	19,60	7,42	14,45	11,35	84,97	0,41
<b>Muito Alto</b>	≥ 47,44	≥ 165	≥ 19,61	≥ 7,43	≥ 14,46	≥ 11,36	≥ 84,98	≥ 0,42

P(produção por planta em Kg), CMF ( calibre médio dos frutos em nº frutos/ cx Mark IV), FP ( firmeza de polpa em lb), NSF (número de sementes por fruto em unidade), SST ( sólidos solúveis totais em ° Brix), VC (volume de copa em m<sup>3</sup>), DC ( diâmetro de caule em mm) e IF ( índice de fertilidade em %).

Os mapas de classes dos parâmetros mensuráveis dos atributos físico-químicos dos frutos em pós-colheita nas safras 2011 e 2012 estão expostos nas figuras 30, 31, 32,33 e 34 e dos os parâmetros mensuráveis dos atributos de vigor da planta nas safras 2011 e 2012 nas figuras 35,36 e 37.

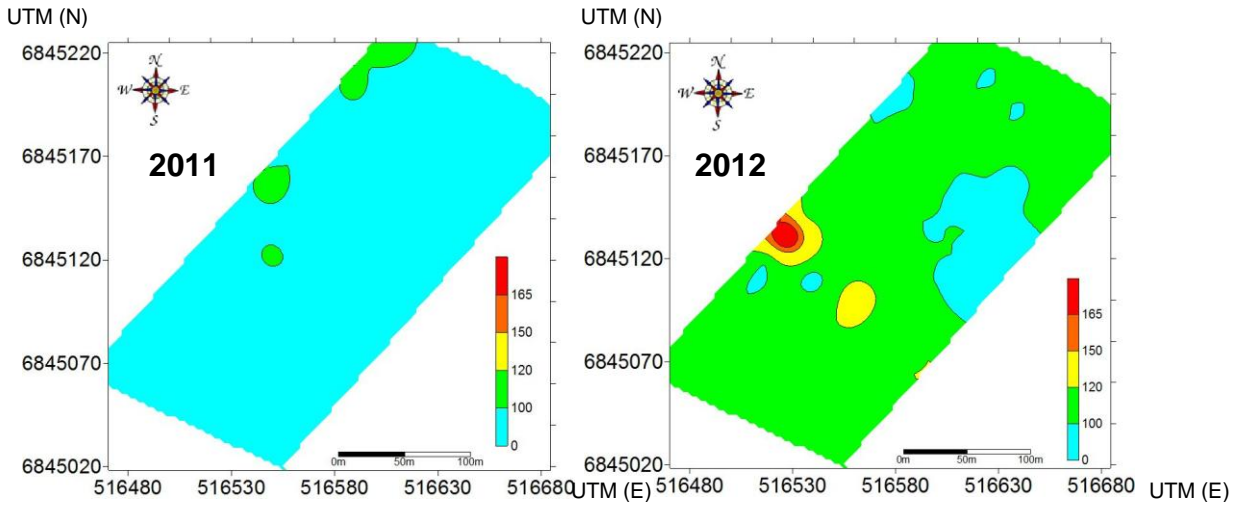


Figura 26 - Mapa temático do calibre médio dos frutos (CMF) das safras 2011 e 2012. Vacaria, 2013.

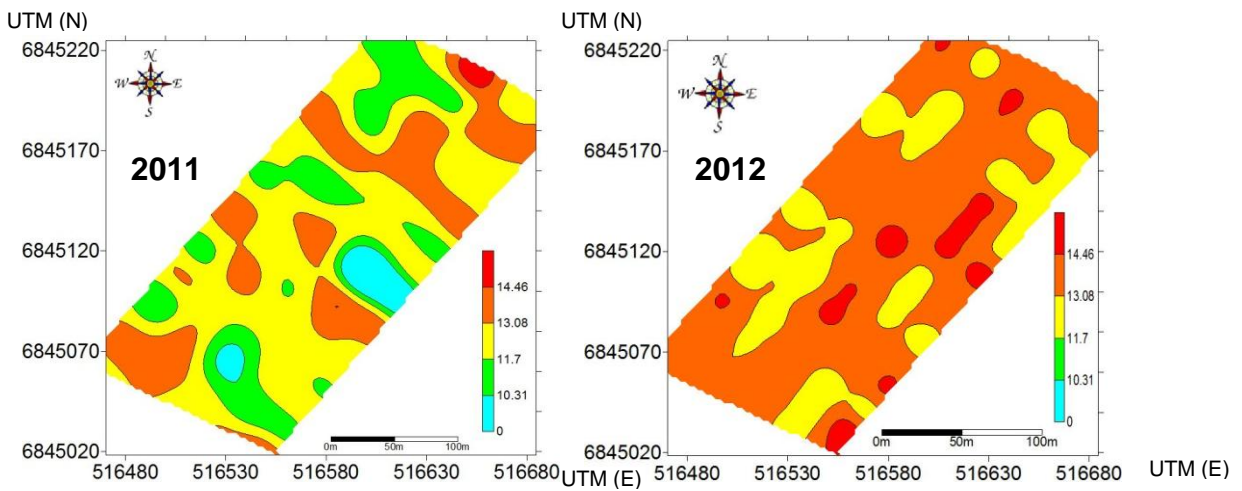


Figura 27 - Mapa temático dos sólidos solúveis totais (SST) das safras 2011 e 2012. Vacaria, 2013.

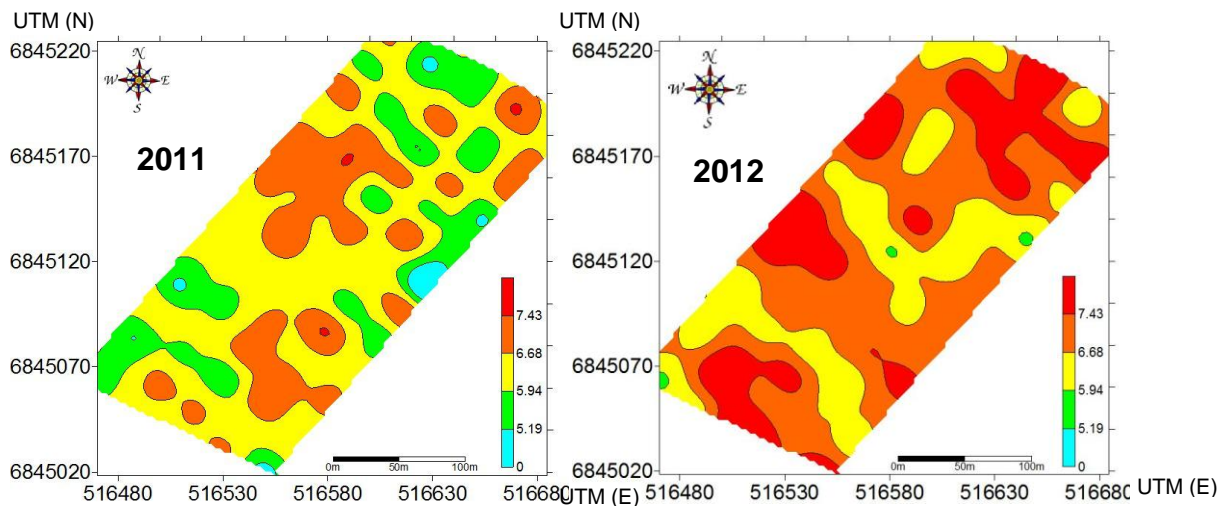


Figura 28 - Mapa temático do número de sementes por fruto (NSF) das safras 2011 e 2012. Vacaria, 2013.

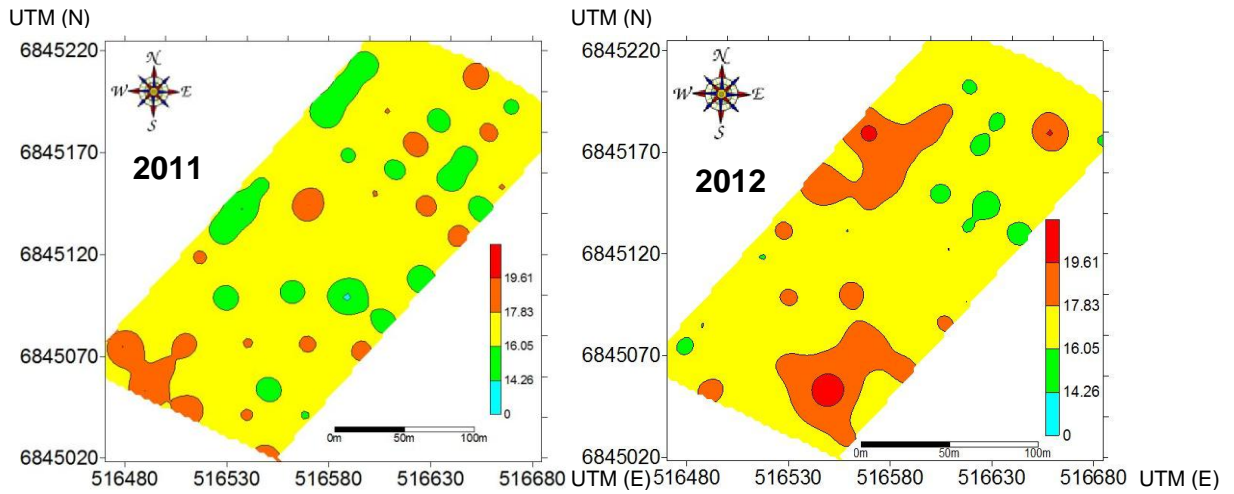


Figura 29 - Mapa temático da firmeza de polpa (FP) das safras 2011 e 2012. Vacaria, 2013.

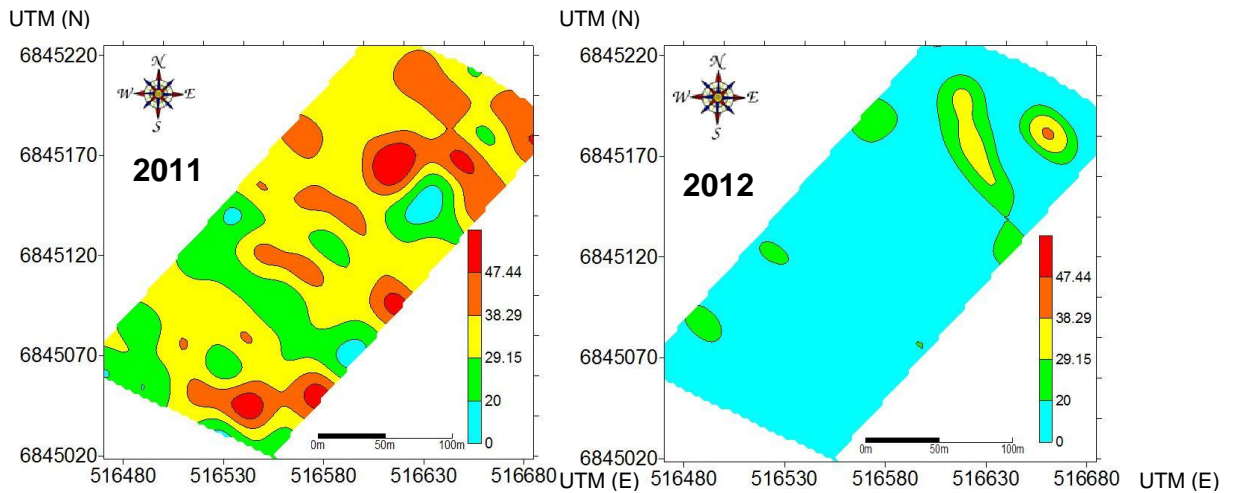


Figura 30 - Mapa temático da produção (P) das safras 2011 e 2012. Vacaria, 2013.



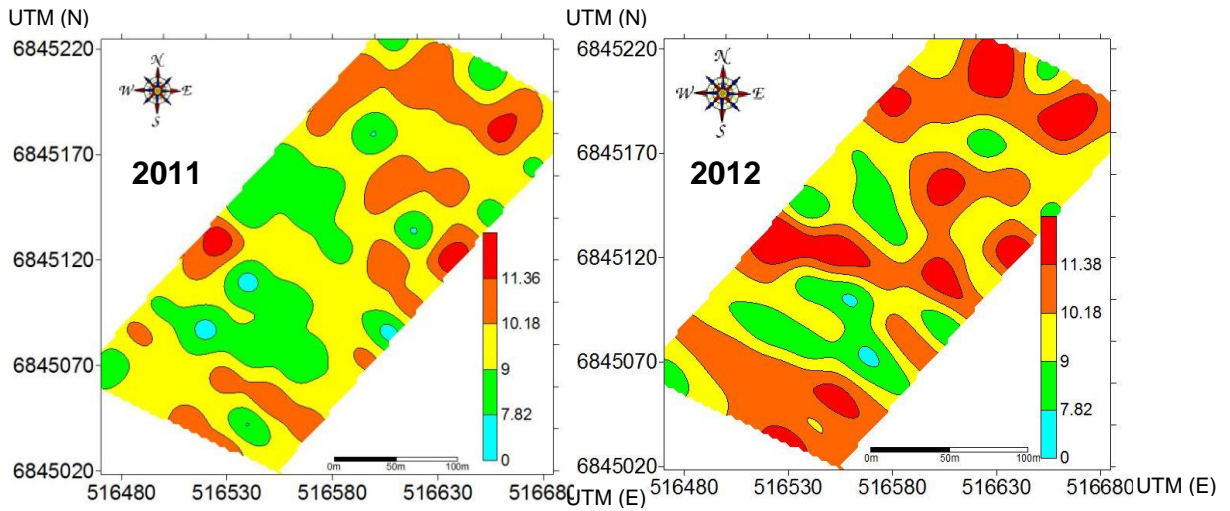


Figura 31 - Mapa temático do volume de copa (VC) das safras 2011 e 2012. Vacaria, 2013.

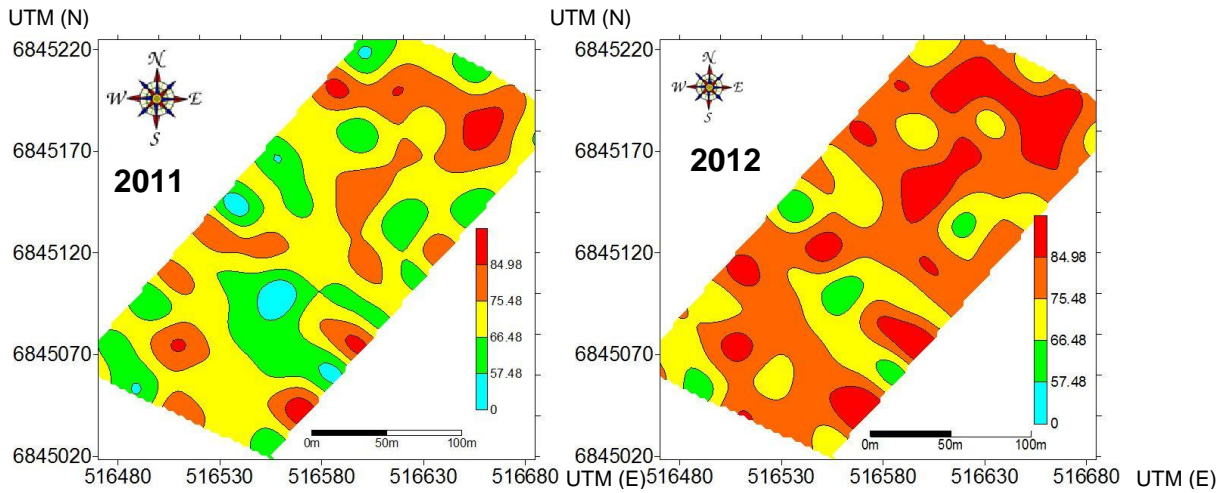


Figura 32 - Mapa temático do diâmetro de caule (DC) das safras 2011 e 2012. Vacaria, 2013.

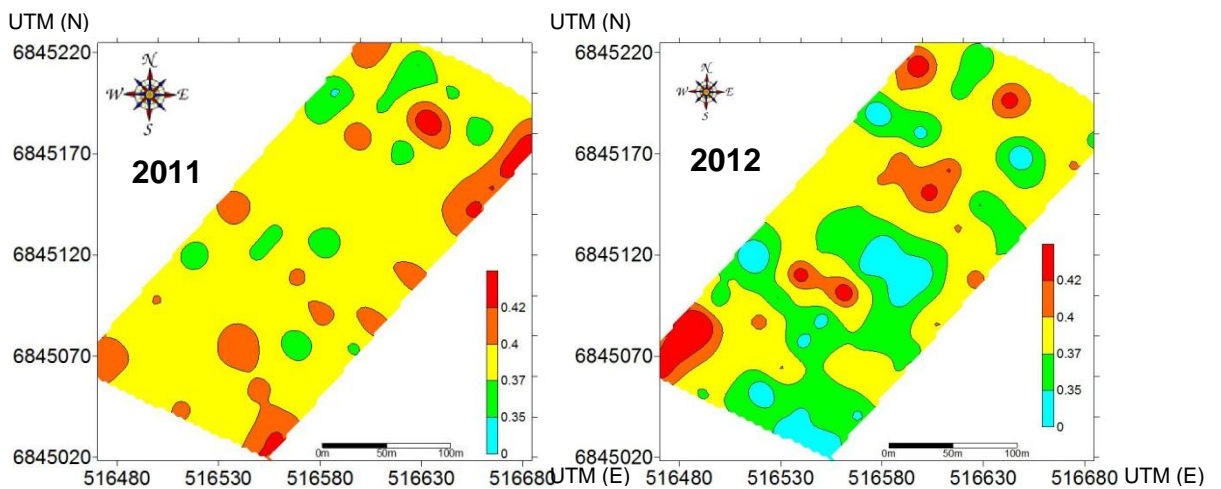


Figura 33 - Mapa temático do índice de fertilidade (IF) das safras 2011 e 2012. Vacaria, 2013.

#### **4.2.4 Correlação entre os atributos físico-químicos dos frutos em pós-colheita, atributos de vigor da planta e produção**

Os resultados da análise de correlação entre os parâmetros mensuráveis dos atributos de qualidade físico-químicos dos frutos em pós-colheita, dos atributos de vigor da planta e da produção para as safras de 2011 e 2012, estão representados na tabela 14.

Com base nos coeficientes de Pearson proposto por Beiguelman (1996), observou-se, nas safras 2011 e 2012, que de todos os parâmetros mensuráveis os únicos que apresentaram uma correlação forte, foi o volume de copa (VC) com diâmetro de caule (DC), 0,62 e 0.57 respectivamente.

Tabela 14- Correlações entre atributos de qualidade físico-químicos dos frutos em pós-colheita, atributos de vigor da planta e produção, da variedade Fuji Moore, nos anos de 2011 e 2012. Vacaria, 2013.

	P	CMF	FP	NSF	SST	VC	DC	IF
<i>Safra 2011</i>								
P	1.000							
CMF	0.092	1.000						
FP	-0.121	-0.018	1.000					
NSF	0.083	0.111	-0.088	1.000				
SST	-0.197	-0.002	0.035	-0.116	1.000			
VC	0.089	-0.041	-0.106	-0.083	-0.129	1.000		
DC	0.292	0.041	0.051	-0.084	-0.069	<b>0.622</b>	1.000	
IF	-0.035	-0.079	-0.184	0.091	0.052	-0.286	-0.417	1.000
<i>Safra 2012</i>								
P	1.000							
CMF	-0.146	1.000						
FP	-0.230	0.214	1.000					
NSF	0.210	0.155	0.233	1.000				
SST	-0.306	-0.018	-0.213	-0.260	1.000			
VC	0.310	0.000	-0.092	0.219	-0.276	1.000		
DC	0.412	-0.177	-0.143	0.143	-0.279	<b>0.576</b>	1.000	
IF	0.026	-0.008	-0.087	0.009	0.103	-0.232	-0.057	1.000

P (produção por planta), CMF (calibre médio de frutos), FP (firmeza de polpa), NSF (Número de sementes por fruto), SST (sólidos solutos totais), VC (volume de copa), DC (diâmetro de caule), IF (índice de fertilidade).

#### 4.2.5 Semivariogramas volume de copa (VC) e diâmetro de caule (DC), safras 2011 e 2012

Na figura 34 são apresentados os semivariogramas para volume de copa (VC) e diâmetro de caule (DC) safra 2011 e na figura 35 para volume de copa (VC) e diâmetro de caule (DC) safra 2012.

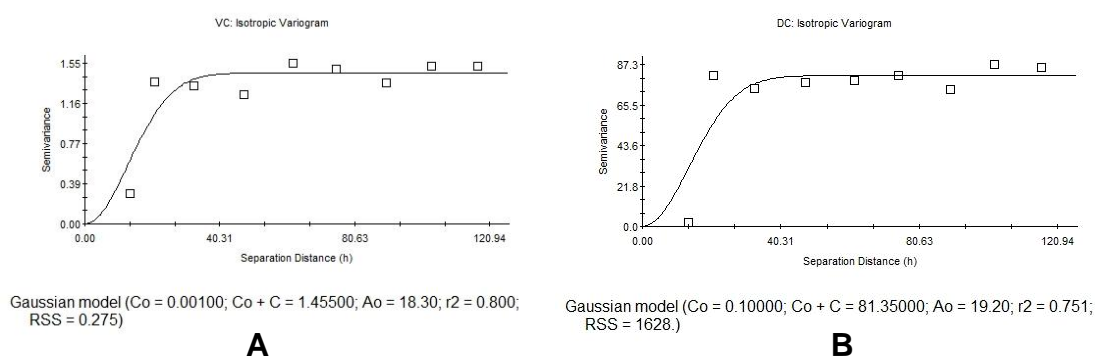


Figura 34 – Semivariogramas volume de copa (A) e diâmetro de caule (B) safra 2011. Vacaria, 2013.

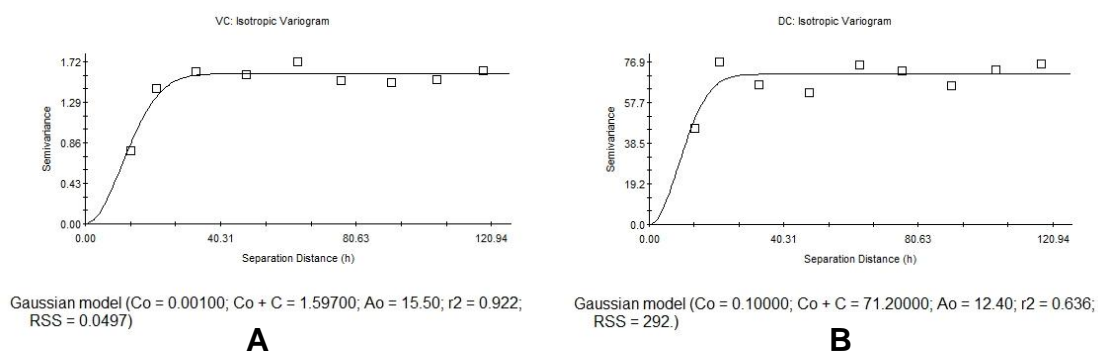


Figura 35 - Semivariogramas volume de copa (A) e diâmetro de caule (B) safra 2012. Vacaria, 2013.

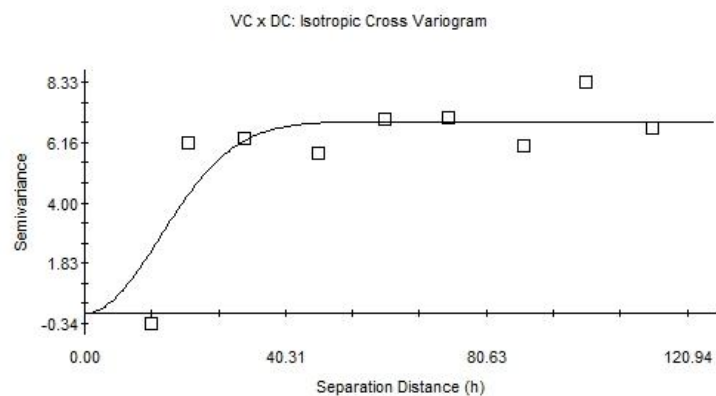
Os parâmetros que apresentaram forte correlação apresentaram também forte dependência espacial e um coeficiente de determinação ( $R^2$ ) de 0,80 e 0,75 volume de copa (VC) e diâmetro de caule (DC) respectivamente, na safra 2011 conforme figura 34A e 34B. Na safra 2012 o coeficiente de determinação ( $R^2$ ) foi de 0,92 e 0,63 para volume de copa (VC) e diâmetro de caule (DC) respectivamente conforme figura 35A e 35B.

O coeficiente de determinação nos informa sobre a qualidade do ajuste do modelo.

#### 4.2.6 Análise do semivariograma cruzado volume de copa (VC) versus diâmetro de caule (DC) safra 2011

Na figura 36 foi apresentado o semivariograma cruzado volume de copa (VC) versus diâmetro de caule (DC) da safra 2011 pela cokrigagem.

Para o semivariograma cruzado volume de copa (VC) versus diâmetro de caule (DC) figura 36 o modelo gaussiano foi o que mais se ajustou apresentando um alcance de 21,20 m com coeficiente de determinação de 0,73. Nesta situação houve dependência entre as amostras.



Gaussian model ( $C_0 = 0.01000$ ;  $C_0 + C = 6.92100$ ;  $A_0 = 21.20$ ;  $r^2 = 0.738$ ;  $RSS = 14.5$ )

Figura 36 - Semivariograma cruzado volume de copa versus diâmetro de caule safra 2011. Vacaria, 2013.

#### 4.2.7 Mapa temático do semivariograma cruzado volume de copa (VC) versus diâmetro de caule (DC) safra 2011

Conforme tabela 15 a utilização do diâmetro de caule (DC) como uma covariável para a estimativa do volume de copa (VC), provocou alteração no alcance da dependência espacial, assim como no patamar do semivariograma. O alcance aumentou em 2,9 m o patamar (Co+C) aumentou 79%. A dependência espacial manteve-se forte e o coeficiente de determinação reduziu 0,07%.

Tabela 15- Parâmetros dos semivariogramas cruzados ajustados das variáveis: volume de copa (VC) versus diâmetro de caule (DC) com número diferente de mostras de volume de copa (VC) da variedade Fuji Moore na safra 2011. Vacaria, 2013.

Variáveis	Modelo	C	Co	Co+C	Co/(Co+C)	Ao	Classif.	r <sup>2</sup>
			%			m		
			Safra 2011					
VC	GAUS	1.449	0,001	1,45	0.0006	18,3	Forte	0,80
VCxDC	GAUS	6,91	0,01	6,92	0.0010	21,20	Forte	0.73
VCxDC (-5)	EXP	4,64	1,38	6,02	0,22	11,10	Forte	0,081
VCxDC (-10)	EXP	4,45	1,48	5,93	0,24	9,50	Forte	0,027
VCxDC (-15)	ESF	7,2	1,19	8,39	0.1400	281,90	Forte	0,50

Efeito Pepita (Co): semivariância no ponto zero; Patamar (Co+C): semivariância a um espaço maior que a distância do alcance; Alcance (Ao): distância após a qual os valores das propriedades não são espacialmente correlacionados; Modelos ajustados aos semivariogramas experimentais: Gaussiano e Linear; Dependência espacial (forte < 25%; moderada 25 a 75%; fraca > 75% a 100 e > 100 efeito pepita puro); Guimarães, (2004); r<sup>2</sup>: coeficiente de determinação. GAUS ( modelo gaussiano), EXP ( modelo exponencial), ESF ( modelo esférico).

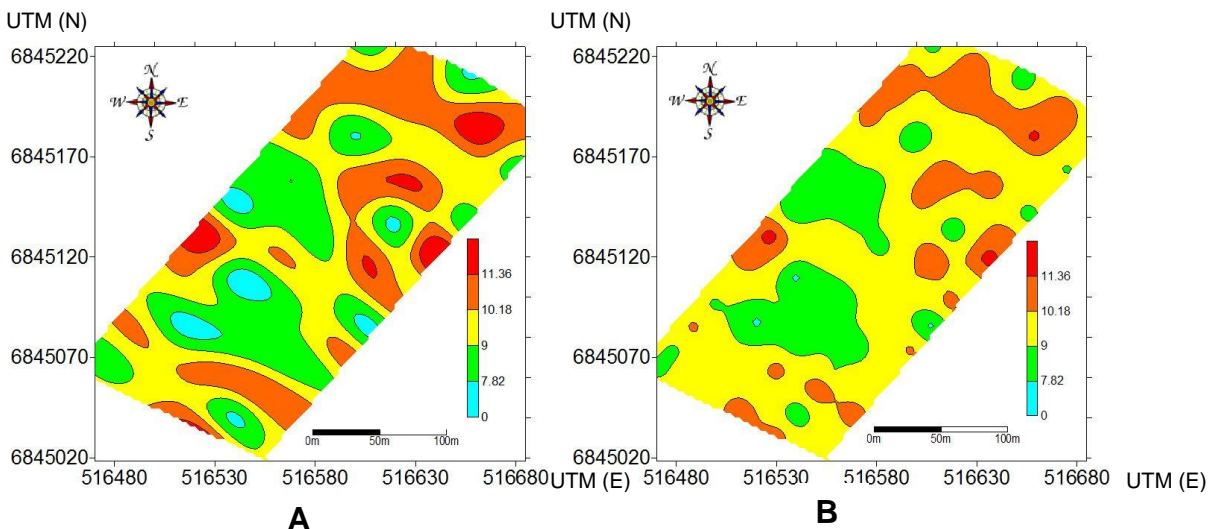


Figura 37 - Mapa temático Volume de Copa versus Diâmetro de Caule (A) e Volume de Copa versus Diâmetro de Caule (B) com 5 amostras a menos, safra 2011. Vacaria, 2013.

#### 4.2.8 Análise do variograma cruzado volume de copa (VC) *versus* diâmetro de caule (DC) safra 2012

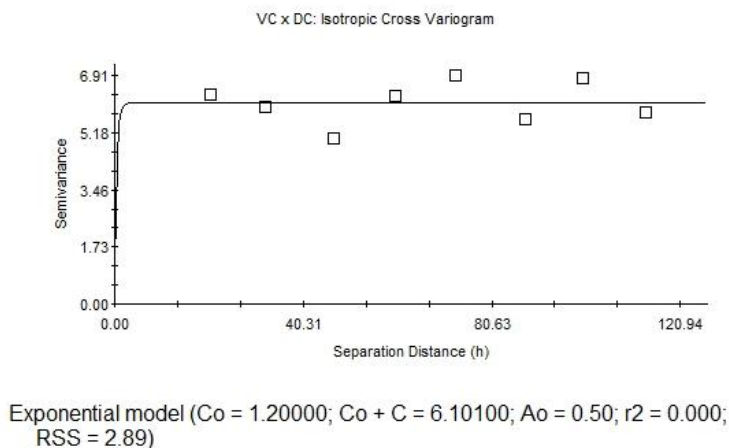


Figura 38 - Semivariograma cruzado volume de copa *versus* diâmetro de caule safra 2012. Vacaria, 2013.

Para o semivariograma cruzado volume de copa (VC) *versus* diâmetro de caule (DC) figura 38 o modelo que mais se ajustou foi o exponencial, com alcance de 0,50 m e com coeficiente de determinação igual a zero. Nesta situação apesar das variáveis possuírem correlação, não houve dependência das amostras.

## 5 CONCLUSÕES

Todos os parâmetros mensuráveis dos atributos físico-químicos dos frutos em pós-colheita, atributos de vigor das plantas e produção das variedades Maxi Gala e Fuji Moore nas safras 2011 e 2012 apresentaram variabilidade espacial.

A malha de amostragem 12x10 m para a variedade Maxi Gala mostrou-se adequada, pois todos os parâmetros avaliados apresentaram alcance superior a malha.

A malha de amostragem 16x12 m para a variedade Fuji Moore mostrou-se menos adequada para os parâmetros número de sementes por fruto (NSF), firmeza de polpa (FP) e volume de copa (VC), que apresentaram alcances inferiores a malha nas duas safras. Sugere-se diminuir a malha de amostragem para detectar a variabilidade espacial destes parâmetros.

Os mapas temáticos elaborados a partir da variabilidade espacial dos parâmetros avaliados permitiram a elaboração de unidades de manejo, que necessitam uma melhor adequação das classes conforme necessidade da empresa.

Os parâmetros produção (P) *versus* diâmetro de caule (DC) apresentaram forte correlação na variedade Maxi Gala na safra 2011. Nas safras 2011 e 2012 os parâmetros volume de copa (VC) *versus* diâmetro de caule (DC) também apresentaram forte correlação.

Para a variedade Fuji Moore os parâmetros volume de copa (VC) *versus* diâmetro de caule (DC) apresentaram forte correlação nas safras 2011 e 2012.

Pelo método da cokrigagem dos parâmetros produção (variável) e diâmetro de caule (covariável) da variedade Maxi Gala na safra 2011 houve uma redução de 15 amostras do parâmetro produção. Na safra 2012 não foi



possível a verificação pela falta do parâmetro número de frutos por planta (NFP).

Para os parâmetros volume de copa (variável) e diâmetro de caule (covariável) da variedade Maxi Gala na safra 2011 não houve dependência espacial entre eles. Na safra 2012 houve uma redução de 20 amostras do parâmetro volume de copa.

Para esta situação houve a possibilidade de melhorar a qualidade da informação reduzindo-se a amostragem da variável (difícil coleta) e mantendo-se a amostragem da covariável (fácil coleta).

Pelo método da cokrigagem os parâmetros volume de copa e diâmetro de caule da variedade Fuji Moore nas safras 2011 e 2012, não apresentaram comportamento de variável e covariável. Desta forma não houve dependência espacial.

Há necessidade de mais estudos para adequar malha de amostragem em função da altitude do terreno, testar variáveis de atmosfera e solo para explicar melhor a variabilidade espacial dos atributos estudados e novos.

## 6 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABPM. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE MAÇÃ. Caderno estatístico. Fraiburgo: ABPM, 2010.

ASSAD, E. D.; SANO, E. E. **Sistema de Informações Geográficas: Aplicações na agricultura**. 2. ed., ver. E ampl. Brasília: EMBRAPA – SPI / EMBRAPA – PAC, 1998: 434 p.

BALASTREIRE, L. A.; ELIAS, A. I.; AMARAL, J. R. Agricultura de precisão: mapeamento da produtividade da cultura do milho. **Engenharia Rural**, v.8, n. 1, p.97-111, 1997.

BALASTREIRE, L.A.; AMARAL, J.R.; ESQUERDO, J.C.D.M. Agricultura de precisão: mapeamento da produtividade de uma cultura de laranja. In: BALASTREIRE, L.A. *avanços na agricultura de precisão no Brasil no período de 1999-2001*. Piracicaba: ESALQ/LER, 2002. cap. 2, p. 151-7.

BALASTREIRE, L. A.; AMARAL, J. R.; ESQUERDO, J. C. D. M.; RODRIGUES, A. **Mapeamento da produtividade de uma cultura de laranja**. Artigo eletrônico, 1999. Disponível em: <<http://www.gpsglobal.com.br>>. Acessado em 26 jun 2011.

BEIGUELMAN, B. **Curso Prático de bioestatística**. 4.ed.rev.Sociedade Brasileira de Genética, Ribeirão Preto, 1996, 274p.

BEST, S. Agricultura de precisión: una plataforma para la fruticultura de exportación. **Pomáceas, Boletín Técnico**, Centro de Pomáceas, Universidad de Talca: Talca -Chile; vol 4, n 5, set. 2004. ISSN 0717-6910.

BITTENCOURT, C. C.; MATTEI, L. F.; SANT'ANNA, P. R.; LONGO, O. C.; BARONE, F. M. A cadeia produtiva da maçã em Santa Catarina: competitividade segundo produção e packing house. **Revista de Administração Pública**, v. 45, n. 4, p. 1199-1222, 2011

BIFFI, L.J. **Mapeamento e análise espacial de variáveis de produção de maçã conduzida sobre pomar comercial na região de São Joaquim –**

SC.2006.104 f. Dissertação ( Mestrado em Produção Vegetal). Centro de Ciências Agroveterinárias, Universidade Estadual de Santa Catarina, Lages, 2006.

BRAGA, H. J. **PREVISÃO AGRÍCOLA: UMA NOVA ABORDAGEM – Uso de scanner aerotransportável e redes neurais**. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Santa Catarina. Centro Tecnológico. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção. Florianópolis, 1995. Disponível em: <<http://www.eps.ufsc.br/teses/braga/>>, Acessado em 26 jun 2011.

BURROUGH, P. A. **Principles of geographical information systems for land resources assessment**. Oxford, Clarendon, 1986.

CAMARGO, E. C. G. **Desenvolvimento, implementação e teste de procedimentos geoestatísticos (krigeagem) no sistema de processamento de informações georreferenciadas (spring)**. Dissertação de Mestrado em Sensoriamento Remoto. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. São José dos Campos, São Paulo, 1997, 105p.

CAMBARDELA, C. A. et al. Fieldscale variability of soil properties in central Iowa soils. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 58, n. 5, p. 1501-1511, Sept./Oct. 1994.

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**, Campinas, n.27, p. 695-703, 2003.

CASTRO, C. N. **Definição de unidades de gerenciamento do solo por meio da sua condutividade elétrica e variáveis físico-químicas**. 2004. 142 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba.

CAVALCANTE, E.G.S.; ALVES, M.C.; SOUZA, Z.M. Variabilidade espacial de atributos químicos do solo sob diferentes usos e manejos. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, Campinas, n.31, p.1329-1339, 2007.

COLVIN, T. S.; JAYNES, D. D. B.; KARLEN, D. L.; LAIRD, D. A.; AMBUEL, J. R. Six year yield variability within a central Iowa field. In: INTERNATIONAL CONFERENCE OF THE AMERICAN SOCIETY OF AGRONOMY, Minneapolis, 1996. Proceeding. Minneapolis: ASA, CSSA, SSSA, 1996. p. 863-870.

CORÁ, J. E.; BERALDO, J. M. Variabilidade espacial de atributos do solo antes e após calagem e fosfatagem em doses variadas na cultura de cana-de-açúcar. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.26, n.2, p.374-387, 2006.

CORRÊA, A. N. **Abordagem de espaço de estados no relacionamento entre atributos físicos do solo e produtividade do trigo**, 2007. 121 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel.

CRESSIE, N. *Statistis for spatial data*. New York: John Wiley, 1991. 900p.

DAINASE, R. C. Análise do potencial de parâmetros espectro-temporais de imagens orbitais para mapeamento da produtividade em cana-de-açúcar. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGRICULTURA DE PRECISÃO, 2004, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: ESALQ/USP, 2004 1CD-ROM.

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

DURIGON, R. **Aplicação de técnicas de manejo localizado na cultura do arroz irrigado (*Oryza sativa L.*)**. 2007. 149 f, Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria.

EPAGRI. EMPRESA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA E EXTENSÃO RURAL DE SANTA CATARINA. **A cultura da macieira**. Florianópolis: GCM/Epagri, 2002. 743p.

FAO - FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **FAOSTAT FAO STATISTICAL DATABASES**. Disponível em:<http://apps.fao.org> Acesso em 01 dez. 2010.

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

FIORAVANÇO, J. C. MAÇÃ BRASILEIRA: Da importação à auto-suficiência e exportação - A tecnologia como fator determinante. **Informações Econômicas**, São Paulo, v.39, n.3, p.56-67, 2009

FREITAS, V. A. **Análise de dados espaciais por meio de semivariogramas**. 2000. 30 f. Monografia (Graduação em Matemática) - Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia.

GAMMA DESIGN SOFTWARE. GS+: **Geostatistics for the Environmental Sciences**. Gamma Design Software, Plainwell, Michigan USA, 2004.

GOERING, C. E. How much and where. **Agricultural Engineering**. V.73, n.4, p. 13- 15, July, 1992.

GOLDEN SOFTWARE Surfer version 8.00 - Feb 11 2002. **Surface mapping system**. Colorado: Golden Software, Inc, 1993-2002. 1 CD-ROM.

GONÇALVES, A.C.A.; FOLEGATI, M.V.; VIEIRA, S.R. Padrões de amostragem e intensidade de krigagem na caracterização do armazenamento de água no solo, em área irrigada por pivô central. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.23, n.3, p. 485-495, 1999.

GONÇALVES, A.C.A.; FOLEGATI, M.V.; MATA, J.D.V. Análises exploratória e geoestatística da variabilidade de propriedades físicas de um Argissolo vermelho. **Acta Scientiarum**. Maringá, v.23, n.5, p. 1149-1157, 2001.

GUERRA T.A.G. Geoestatística operacional. Brasília. Ministério das Minas e Energia, Departamento de Produção Mineral, 1988. 145p.

GUIMARÃES, E.C. Geoestatística básica e aplicada. Uberlândia, Universidade Federal de Uberlândia, 2004. 77p.

HASEGAWA, J. K.; IMAI, N. N.; CAMARGO, P. O. Sistema de aquisição e processamento de dados georreferenciados para aplicação em agricultura de precisão. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CADASTRO TÉCNICO MULTIFINALITÁRIO. 2004, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis, UFSC, 2004. Disponível em: [http://geodesia.ufsc.br/Geodesia-online/arquivo/cobrac\\_2004/102.pdf](http://geodesia.ufsc.br/Geodesia-online/arquivo/cobrac_2004/102.pdf) Acesso em: 28 set 2011.

HORROM, N. Citrus yield monitoring and mapping. In: INTERNATIONAL SOCIETY OF CITRICULTURE CONGRESS, 2000, Orlando. *Proceedings...* Orlando: ISC, 2000. p.219. GOERING, C. E. How much and where. **Agricultural Engineering**. V.73, n.4, p. 13- 15, July, 1992.

IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Banco de Dados Agregados – SIDRA**. Disponível em <http://www.sidra.ibge.gov.br> Acessado em 20 de jun. de 2011.

INPE. **Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas (SPRING)**, versão 4.2, 2005. <<http://www.dpi.inpe.br/spring.html>>

ISAAKS, E.H.; SRIVASTAVA, R.M. An introduction to applied geostatistics. New York: Oxford University Press, 1989.561p.

JOHANN, J. A. Variabilidade espacial dos atributos físicos do solo e da produtividade em um latossolo bruno distrófico da região de Cascavel, PR. **Revista brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande, v. 8, n. 2/3, p. 212-219, maio./dez. 2004.

KLEIN, W. L. Altura do Ipê-roxo (*Tabebuia avellanedae*) nos manejos convencional e de precisão, analisada pela geoestatística. **Ciência Florestal**. Santa Maria, v. 17, n. 4, p. 299-309, out./dez. 2007.

KITCHEN, N. R. et al. Development of a conservation-oriented precision agriculture system: crop production assessment and plan implementation. **Journal of soil and water conservation**. Ankeny, v. 60, n. 6, p. 421-430, Mar./Apr. 2005.

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

KNOB, M. J. **Aplicação de técnicas de agricultura de precisão em pequenas propriedades**. 2006. 130 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria.

KONOPATZKI, M.R.S. **Variabilidade espacial da produtividade de frutos de pereiras e atributos químicos do solo**. 2008. 84 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola). Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2008.

LANDIM, P.M.B.; STURARO, J.R.; MONTEIRO, R. C. **Krigagem ordinária para situações com tendência regionalizada**. DGA,IGCE,UNESP/Rio Claro, Lab. Geomatématica, Texto Didático 06, 12 pp. 2002. Disponível em

<<http://www.rc.unesp.br/igce/aplicada/textodi.html>>. Acesso em: 27 de jun de 2011.

LARK, R. M. Designing sampling grids from imprecise information on soil variability, an approach based on the fuzzy kriging variance. **Geoderma**, v.98, p.35-39, 2000.

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

LEICK, A. **GPS satellite surveying**. 3 ed. New Jersey: Wiley, 2004. 435 p.

MACHADO, A. A.; CONCEIÇÃO, A. R. **Sistema de análise estatística para windows**. WinStat. Versão 2.0. Pelotas: UFPel, 2003. 42 p.

MACHADO, B. D., **Aspectos vegetativos e produtivos de variedades copa de pereira europeia com combinações de porta enxertos**. 2011. 82 p. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal – Áreas: Ciências Agrárias e Agronomia) – Universidade do Estado de Santa Catarina. Programa de Pós-graduação em Ciências Agrárias, Lages, 2011.

MATHERON, G. **Principles of geostatistics**. *Economic Geology*, 58 (8): 1246- 1266, Dec. 1963.

MATHERON, G. **The theory of regionalized variables and its applications**. Paris, Les Cahiers du Centre de Morphologie Mathematique de Fontainebleu, 1971. 211p

McBRATNEY, A. B.; WEBSTER, R. How many observations are needed for regional estimation of soil properties? **Soil Science**, 135:177-183, 1983.

MEDEIROS, S.R.R., **Utilização da técnica de co-krigagem com inclinação máxima e altitude do terreno no delineamento de zonas de manejo: granulometria do solo e disponibilidade hídrica**. 2012.98p. Tese(Doutorado), Escola superior de Agricultura “Luiz de Queirós”, Universidade de São Paulo, Piracicaba,2012.

MENEGATTI, L. A. A., KORNDORFER, G. COLOMBO, C. A. LEONI, P. BISCARO, A. S. Recomendação de fósforo e calcário para aplicação em

taxa variada na cultura de cana-de-açúcar. **I Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão** - ESALQ/USP. 2004.

MILLER, W.M.; WHITNEY, J.D. Development of yield monitoring systems for Florida citrus. ASAE ANNUAL INTERNATIONAL MEETING, 1998, Orlando. **Proceedings...** St. Joseph: ASAE, 1998. 12 p.

MIRANDA, N.O., OLIVEIRA T.S., LEVIEN, L.S.A., MEDEIROS, J.F., Variabilidade espacial da produção de meloeiro irrigado por gotejamento na Fazenda Santa Júlia em Mossoró- RN. **CAATINGA**, Mossoró-RN, v.17, n.2, p.121-128, jan./jun. 2004.

MOLIN, J. P. **Agricultura de precisão: o gerenciamento da variabilidade**. Piracicaba: o autor, 2001. 83 p.

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

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

MOLIN, J.P., MASCARIN, L.S., Colheita de citrus e obtenção de dados para mapeamento da produtividade. **Eng. Agríc.**, Jaboticabal, v.27, n.1, p.259-266, jan./abr. 2007.

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

NASCIMENTO, P.S., NASCIMENTO E.F., BASSOI L.H., Aplicação da geoestatística em observações de campo realizadas pelo produtor sobre o desenvolvimento de videiras. **II Simpósio de geoestatística aplicada em Ciências Agrárias**. Botucatu, 2011.



OLIVEIRA M. S. **Planos amostrais para variáveis espaciais utilizando Geoestatística**. Campinas, Universidade Estadual de Campinas, 1991. 110p. (Tese de Mestrado)

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

ORTIZ, J. L. **Mapeamento da Produtividade, dos Atributos do Solo e do Relevo e Aplicação Localizada de Fertilizantes**. Artigo eletrônico, 2004. Disponível em: <<http://www.gpsglobal.com.br>>. Acessado em 01 dez 2012.

ORTIZ, J. L. **Mapeamento da Produtividade, dos Atributos do Solo e do Relevo e Aplicação Localizada de Fertilizantes**. Artigo eletrônico, 2007. Disponível em: <<http://www.gpsglobal.com.br>>. Acessado em 25 jun 2011.

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

PÉREZ-QUEZADA, J. F. Viticultura de precisión aplicada al viñedo. In. X CONGRESSO LATINO-AMERICANO DE VITICULTURA E ENOLOGIA, 10, 2005, Bento Gonçalves. **Anais**. Bento Gonçalves: GUERRA, C. C; SEBEN, S. S., Embrapa Uva e Vinho, 2005. p. 137-143.

PETRI, J.L. Avanços na cultura da maçã no Brasil. Rev. Bras. Frutic, Jaboticabal - SP, Volume Especial, E. 048-056, Outubro 2011.

RIBEIRO JUNIOR, P.J. **Métodos geoestatísticos no estudo da variabilidade espacial de parâmetros do solo**. Piracicaba, 1995. 99p. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.

ROBERTSON, G. P. GS+: Geostatistics for the environmental sciences – GS+ User’s Guide. Plainwell, **Gamma Desing Software**, 2004. 152 p.

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

SALVIANO, A.A.C.; VIEIRA, S.R.; SPAROVEK, G. Variabilidade espacial de atributos de solo e de *Crotalaria juncea*-L em área severamente erodida. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 22, n. 1, p. 15-122, jan./abr. 1998.

SANTI, A. L. **Relação entre indicadores de qualidade do solo e a produtividade das culturas em áreas com agricultura de precisão**. 2007, 175 f, Tese (Doutorado em ciência do solo) - Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria.

SERENO, P.M.V.M., **Viticultura de precisão: utilização da detecção remota no estudo da variabilidade espacial do vigor, produção e qualidade ,castas “Syrah” e “Touriga Franca”**. 2009.84p. Dissertação (mestrado). Universidade de Lisboa. Programa de Pós graduação em Viticultura e Enologia. Lisboa.2009.

SHIRATSUCHI, L. S. ; CHRISTOFFOLETI, P. J. ; FONTES, J. R. A. **Mapeamento da variabilidade espacial das plantas daninhas**. Planaltina:, Embrapa Informação Tecnológica, 2003. (Embrapa. Documento, 95).

SILVA JUNIOR, R.L. da. *Variabilidade espacial do índice de cone correlacionada com mapas de produtividade*. 2001. 132 f. Dissertação (Mestrado em Máquinas Agrícolas) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2001.

SILVA, C. B. **Viabilidade econômica do uso da agricultura de precisão: um estudo de caso**. 2005. 87 p. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Federal de Viçosa. Viçosa.

SILVA, A.F., LIMA, J.S.S., SOUZA, G.S., OLIVEIRA, R.B., Variabilidade espacial de atributos químicos do solo cultivado sobre café arábica ( *Coffea arábica* L.) sob diferentes manejos. **Coffee Science**, Lavras, v. 5, n. 2, p. 173-182, maio/ago. 2010.

SILVA, F.M., ALVES, M.C., SOUZA, J.C.S., OLIVEIRA, M.S., Efeito da colheita manual na bienalidade do cafeeiro em Ijaci, Minas Gerais. **Ciênc. agrotec.**, Lavras, v. 34, n. 3, p. 625-632, maio/jun., 2010.

SILVA, J.R.L.da; MONTENEGRO, A.A.A.; SANTOS, E.M. dos. Caracterização física e hidráulica de solos em bacias experimentais do

semiárido brasileiro, sob manejo conservacionista. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental**. [on line]. V.16, n.1, p. 27-36, 2012.

SIQUEIRA, G.M.; VIEIRA, S.R.; DECHEN, S.C.F. Variabilidade espacial da densidade e da porosidade de um latossolo vermelho eutroférico sob semeadura direta por 20 anos. **Bragantia**, Campinas, v.68, n.3, p.751-759,2009.

SOUZA FILHO, M. D. I.; OLIVEIRA, M. S. Planejamento da amostragem de solos visando à estimação da média espacial do teor de cálcio utilizando a geoestatística. **Ciência e Agrotecnologia**. v. 20, p.387-393, 1996.

SOUZA, L., 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.

STRECK, E.V., KAMPF, N., DALMOLIN, R.S.D., KLAMT, E., NASCIMENTO, P.C., SCHNEIDER, P., GIASSON, E., PINTO, L.F.S., **Solos do Rio Grande do Sul**. 2ed. Porto Alegre. EMATER/RS – ASCAR, 2008.222p.

TRANGMAR, B.B.; YOST, R.S.; VEHARA, G. Application of geostatistics to spatial studies of soil properties. **Advances Agronomy**.v.38,p.45-93,1987.

TSCHIEDEL, M.; FERREIRA, M. F. Introdução à agricultura de precisão: conceitos e vantagens. *Revista Ciência Rural*, Jan./Fev. 2002, vol.32, n. 1, p.159-163. ISSN 0103-8478.

VAN GROENIGEN, J.W.; SIDERIUS, W.; STEIN, A. Constrained optimisation of soil sampling for minimisation of the kriging variance. **Geoderma**, v.87, p.239-259, 1999.

VENDRUSCULO, L. G. **Desenvolvimento de um sistema computacional para análise geoestatística**. 2001. 86 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) Universidade Estadual de Campinas, Campinas. VIEIRA, S. R. Uso da geoestatística em estudos de variabilidade espacial. In: CURSO DE ATUALIZAÇÃO EM CONSERVAÇÃO DO SOLO, 1995. **Apostila**.Campinas: IAC, 1995. 68 p.

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

VIEIRA, S. R. Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo: Tópicos em ciência do solo. Viçosa: **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, 2000. p.1-54.

VIOLA, Marcelo R., MELLO, Carlos R. de, PINTO Daniel B.F., MELLO José M. de, ÁVILA, Leo F. Métodos de interpolação espacial para mapeamento da precipitação pluvial. Campina Grande, PB. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. 2010,v.14,n.9,p.970-978.

ZARDO,K. **Vitivinicultura de precisão aplicada a produção e qualidade da uva Pinot Noir no Rio Grande do Sul**.2009.97p. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, RS, 2009.

ZIMBACK, C.R.L. **Geoestatística. Grupo de estudos e pesquisas agrárias georreferenciadas**. Botucatu, Universidade Estadual Paulista, 2003. p.1-25

WARRICK, W.N.; NIELSEN, D.R. **Spatial variability of soil physical properties in the field**. In: HILLEL, D. (Ed). *Applications of soil physics*. New York: Academic Press, 1980.p.319-344.

WEBSTER, R.; OLIVER, M. A. **Statistical methods in soil and land resource survey**. Oxford: Oxford University Press, 1990. 316p.

WILLIS, P. R.; CARTER, P. G.; JOHANNSEN, C. J. Assessing yield parameters by remote sensing techniques. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 4., 1999, St. Paul. **Proceedings...** Madison: American Society of Agronomy, 1999. Part A, p.1465-73.

WHELAN, B. M., McBRATNEY, A. B. The Null Hypothesis of Precision Agriculture Management. ***Precision Agriculture***, 2, 265-279, 2000.

WHITNEY, J.D.; MILLER, W.M.; WHEATON, T.A.; SALYANI, M. Precision farming applications in Florida Citrus. In: ASAE ANNUAL INTERNATIONAL MEETING, 1998, Orlando. **Proceedings...** St. Joseph: ASAE, 1999. 10 p. (Paper, 981097).