VARIABILIDADE ESPACIAL DE ALGUNS COMPONENTES DE PRODUÇÃO
DE UMA CULTURA DE FEIJOEIRO (*Phaseolus vulgaris*, L.)

PAULO JOSE HAMAKAWA
Engenheiro Agrônomo

Orientador: Prof. Dr. Paulo Leonel Libardi

Dissertação apresentada à Escola
Superior de Agricultura "Luiz de
Queiroz", da Universidade de São
Paulo, para obtenção do título
de Mestre em Agronomia, Área de
Concentração: Agrometeorologia.

P I R A C I C A B A
Estado de São Paulo - Brasil
Janeiro - 1991

Ficha catalográfica preparada pela Seção de Livros da
Divisão de Biblioteca e Documentação - PCAP/USP

H198v Hamakawa, Paulo José
Variabilidade espacial de alguns componentes de
produção de uma cultura de feijoeiro (Phaseolus
vulgaris, L.). Piracicaba, 1991.
114p. ilus.

Diss. (Mestre) - ESALQ
Bibliografia.

1. Feijão - Produção - Variabilidade espacial
2. Geoestatística 3. Solo - Variabilidade espacial
I. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz,
Piracicaba

CDD 635.652

VARIABILIDADE ESPACIAL DE ALGUNS COMPONENTES DE PRODUÇÃO
DE UMA CULTURA DE FEIJOEIRO (*Phaseolus vulgaris*, L.)

PAULO JOSE HAMAKAWA

APROVADA EM: 21/03/1991

COMISSÃO JULGADORA:

Prof. Dr. Paulo Leonel Libardi

ESALQ/USP

Prof. Dr. Eloy Antonio Pauletto

UFPEL/RS

Prof. Dr. Luiz Roberto Angelocci

ESALQ/USP

Prof. Dr. Paulo Leonel Libardi
Orientador

A meus pais,
Tomoiti e Victoria,
Dedico.

À Elsie,

E aos meus grandes amigos,

Ofereço.

AGRADECIMENTOS

- Ao Prof. Dr. Paulo Leonel Libardi pela amizade e sábia orientação durante todos esses nove anos.
- Ao Prof., justamente hoje Doutor, Sérgio Oliveira Moraes pela amizade e ensinamentos, que muito influenciaram meu pensamento.
- À Raphaella Rosseto, pela amizade, apoio e encorajamento.
- Ao Prof. Dr. Klaus Reichardt e João Eduardo Pilotto, "eminente Dudu", pela amizade, e por mostrarem que o trabalho não necessita de um ambiente espartano.
- A Ademir José Rodrigues e Oscar Vieira pelo auxílio na coleta e pela preparação dos dados, sem os quais esse trabalho não seria possível.
- Aos amigos da Área de Solos da Fundação Instituto Agronômico do Paraná, pela compreensão e incentivo.
- Às amigas Séphora e Dirce da Área de Documentação da Fundação Instituto Agronômico do Paraná pela paciência e auxílio.
- Ao CNPq por possibilitar minha sobrevivência durante o período do curso.
- Aos inventores da cerveja, minha homenagem "post mortem".
- À todas as pessoas que de alguma maneira contribuíram, direta ou indiretamente, para a realização deste trabalho aceitem meus sinceros agradecimentos.

ENTÃO AS PEDRAS ESCRIVEM VERSOS ?

Fernando Pessoa

Dizes-me: tu és mais alguma coisa
Que uma pedra ou uma planta.
Dizes-me: sentes, pensas e sabes
Que pensas e sentes.
Então as pedras escrevem versos ?
Então as plantas têm idéias sobre o mundo ?

Sim: há uma diferença.
Mas não é a diferença que encontras;
Porque o ter consciência não me obriga a ter
teorias sobre as cousas:
Só me obriga a ser consciente.

Se sou mais que uma pedra ou uma planta ? Não sei,
Sou diferente. Não sei o que é mais ou menos.

Ter consciência é mais que ter cor ?
Pode ser e pode não ser.
Sei que é diferente apenas.
Ninguém pode provar que é mais que só diferente.

Sei que a pedra é a real, e que a planta existe.
Sei isto porque elas existem.
Sei isto porque os meus sentidos mo mostram.
Sei que sou real também.
Sei isto porque os meus sentidos mo mostram.
Embora com menos clareza que me mostram a pedra e a planta
Não sei mais nada.

Sim, escrevo versos, e a pedra não escreve versos.
Sim, faço idéias do mundo, e a planta nenhuma.
Mas é que as pedras não são poetas, são pedras;
E as plantas são plantas só, e não pensadores.
Tanto posso dizer que sou superior a elas por isto,
Como que sou inferior.
Mas não digo isso: digo da pedra, "é uma pedra",
Digo da planta: "é uma planta",
Digo de mim, "sou eu".
E não digo mais nada. Que mais há a dizer ?

SUMÁRIO

	Página
LISTA DE FIGURAS	x
LISTA DE TABELAS	xix
LISTA DE SÍMBOLOS	xxi
RESUMO	xxiv
SUMMARY	xxvii
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DA LITERATURA	5
2.1. ASPECTOS DE ECOFISIOLOGIA	6
2.1.1. Cinética do crescimento vegetal	6
2.1.2. Atuação dos fatores ambientais	7
2.1.3. Ecofisiologia do Feijoeiro	8
2.2. ESTATÍSTICA CLÁSSICA	10
2.2.1. Conceitos Gerais	12
2.2.2. Medidas de Tendência Central, Variância, Desvio Padrão, Erro Padrão da Média e Coeficiente de Variação	13
2.2.3. Distribuição de Frequência	16
2.2.4. Distribuição Normal ou Gaussiana ...	17
2.2.5. Coeficientes de Assimetria (Cs), Pearson (Cp) e Curtose (Cc)	18

2.2.6. Intervalo de Confiança (IC) e Número de Amostras para estimativa da Média (b)	21
2.2.7. Observações Agronômicas	22
2.3. ASPECTOS DA TEORIA DAS VARIÁVEIS REGIONALIZADAS: GEOESTATÍSTICA	23
2.3.1. Variáveis Regionalizadas	24
2.3.2. Aspectos Teóricos	25
2.3.2.1. Funções de Estacionaridade	25
2.3.2.2. Função Semivariância	27
2.3.2.3. Ajuste da Função Semivariância	30
2.3.3. Aplicações da Teoria das Variáveis Regionalizadas na Área Agronômica	35
3. MATERIAL E MÉTODOS	38
3.1. LOCAL	38
3.2. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL	38
3.3. DIMENSÕES DA ÁREA EXPERIMENTAL	39
3.4. DELINEAMENTO, AMOSTRAGEM E DETERMINAÇÕES ...	40
3.5. CARACTERIZAÇÃO DA CULTURA	44
3.6. PRÁTICAS AGRONÔMICAS	44
3.7. CONTROLE DA IRRIGAÇÃO	45
3.8. MOMENTOS ESTATÍSTICOS DOS PARÂMETROS ESTUDADOS	47

3.9. CORRELAÇÃO ENTRE OS PARÂMETROS ESTUDADOS ...	48
3.10. PARÂMETROS GEOESTATÍSTICOS	48
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	52
4.1. CONSIDERAÇÕES SOBRE A METODOLOGIA ADOTADA ...	52
4.2. OBSERVAÇÃO DOS DADOS NA PERSPECTIVA DA ESTATÍSTICA CLÁSSICA	55
4.4. OBSERVAÇÃO DOS DADOS NA PERSPECTIVA DA GEOESTATÍSTICA	87
5. CONCLUSÕES	109
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	110

LISTA DE FIGURAS

FIGURA	PÁGINA
1. Representação gráfica dos tipos de assimetria ..	19
2. Classificação da curva segundo o coeficiente de curtose	21
3. Componentes de um semivariograma	29
4. (a) Decomposição de um semivariograma; (b) Domínio da Geoestatística e o domínio da Estatística Clássica	31
5. Comparação entre 3 modelos teóricos de semivariogramas com mesmo patamar, mostrando suas diferenças quanto ao alcance	33
6. Associação de 2 modelos lineares de semivariogramas	33
7. Ilustração de modelos teóricos de semivariogramas periódicos: (a) efeito seno; (b) efeito cosseno e; (c) efeito cosseno com atenuação	35

8. Representação esquemática do relevo da área experimental	39
9. Esquema da coleta das amostras de planta e solo	40
10. Croqui da área experimental	41
11. Representação esquemática do cálculo da função semivariância visando a determinação da anisotropia. Em todos os casos a banda máxima foi considerada infinita	49
12. Características da característica técnica de cálculo da função semivariância pelo software GEOEAS versão 1.1	49
13. Histograma de frequência absoluta da variável massa total da malha "gridmédio"	59
14. Histograma de frequência absoluta da variável massa dos grãos da malha "gridmédio"	59
15. Histograma de frequência absoluta da variável massa das folhas da malha "gridmédio"	60
16. Histograma de frequência absoluta da variável área foliar da malha "gridmédio"	60
17. Histograma de frequência absoluta da variável produção relativa	61

18.	Histograma de frequência absoluta da variável densidade global do solo	61
19.	Reta de Henry para a variável massa total da malha "gridmédio"	65
20.	Reta de Henry para a variável massa dos grãos da malha "gridmédio"	65
21.	Reta de Henry para a variável massa das folhas da malha "gridmédio"	66
22.	Reta de Henry para a variável área foliar da malha "gridmédio"	66
23.	Reta de Henry para a variável produção relativa	67
24.	Reta de Henry para a variável densidade global do solo	67
25.	Histograma de frequência absoluta da variável massa de folhas da malha "grid1"	70
26.	Histograma de frequência absoluta da variável massa total da malha "grid3"	70
27.	Histograma de frequência absoluta da variável massa dos grãos da malha "grid4"	71

28.	Regressão linear entre as variáveis massa total e massa dos grãos da malha "gridmédio"	74
29.	Regressão linear entre as variáveis massa total e massa das folhas da malha "gridmédio"	74
30.	Regressão linear entre as variáveis massa total e produção relativa da malha "gridmédio"	75
31.	Regressão linear entre as variáveis massa dos grãos e produção relativa da malha "gridmédio" .	75
32.	Regressão linear entre as variáveis massa das folhas e produção relativa da malha "gridmédio"	76
33.	Regressão linear entre as variáveis massa total e densidade global do solo da malha "gridmédio"	76
34.	Regressão linear entre as variáveis massa das folhas e densidade global do solo da malha "gridmédio"	77
35.	Regressão linear entre as variáveis produção relativa e densidade global do solo	78
36.	Regressão linear entre as variáveis massa total e massa das folhas da malha "grid1"	78
37.	Regressão linear entre as variáveis massa dos grãos e massa das folhas da malha "grid3"	79

38.	Regressão linear entre as variáveis massa total e massa dos grãos da malha "grid4"	79
39.	Regressão linear entre as variáveis massa dos grãos e produção relativa da malha "grid1"	80
40.	Regressão linear entre as variáveis área foliar e produção relativa da malha "grid1"	80
41.	Distribuição dos valores, divididos em quartis, da variável massa total da malha "gridmédio" ...	83
42.	Distribuição dos valores, divididos em quartis, da variável massa dos grãos da malha "gridmédio"	83
43.	Distribuição dos valores, divididos em quartis, da variável massa das folhas da malha "gridmédio"	84
44.	Distribuição dos valores, divididos em quartis, da variável produção relativa	84
45.	Distribuição dos valores, divididos em quartis, da variável cota	85
46.	Distribuição dos valores, divididos em quartis, da variável densidade global do solo	85

47.	Distribuição dos valores, divididos em quartis, da variável massa total da malha "grid1"	86
48.	Distribuição dos valores, divididos em quartis, da variável massa das folhas da malha "grid2" ..	86
49.	Semivariograma da variável massa total, da malha "gridmédio", para todas as direções (ângulos de direção de 90° , e de tolerância de 90°)	89
50.	Semivariograma da variável massa dos grãos, da malha "gridmédio", para todas as direções (ângulos de direção de 90° , e de tolerância de 90°)	89
51.	Semivariograma da variável massa das folhas, da malha "gridmédio", para todas as direções (ângulos de direção de 90° , e de tolerância de 90°)	90
52.	Semivariograma da variável área foliar, da malha "gridmédio", para todas as direções (ângulos de direção de 90° , e de tolerância de 90°)	90
53.	Semivariograma da variável produção relativa, para todas as direções (ângulos de direção de 90° , e de tolerância de 90°)	91

54. Semivariograma da variável massa dos grãos, da malha "grid2", para todas as direções (ângulos de direção de 90° , e de tolerância de 90°) ... 91
55. Semivariograma da variável massa das folhas, da malha "grid3", para todas as direções (ângulos de direção de 90° , e de tolerância de 90°) ... 93
56. Semivariograma da variável massa das folhas, da malha "grid1", para todas as direções (ângulos de direção de 90° , e de tolerância de 90°) ... 93
57. Semivariograma da variável massa total, da malha "grid1", para todas as direções (ângulos de direção de 90° , e de tolerância de 90°) 94
58. Semivariograma da variável massa total, da malha "grid3", para todas as direções (ângulos de direção de 90° , e de tolerância de 90°) 94
59. Semivariograma da variável massa dos grãos, da malha "grid1", para todas as direções (ângulos de direção de 90° , e de tolerância de 90°) ... 95
60. Semivariograma da variável massa das folhas, da malha "grid2", para todas as direções (ângulos de direção de 90° , e de tolerância de 90°) ... 95

61.	Semivariograma da variável massa das folhas, da malha "grid4", para todas as direções (ângulos de direção de 90° , e de tolerância de 90°) ...	97
62.	Semivariograma da variável massa total, da malha "gridmédio", para a direção 1° com 22.5° de tolerância	97
63.	Semivariograma da variável massa total, da malha "gridmédio", para a direção 45° com 22.5° de tolerância	98
64.	Semivariograma da variável massa total, da malha "gridmédio", para a direção 90° com 22.5° de tolerância	98
65.	Semivariograma da variável massa total, da malha "gridmédio", para a direção 135° com 22.5° de tolerância	99
66.	Semivariograma da variável massa das folhas, da malha "gridmédio", para a direção 1° com 22.5° de tolerância	99
67.	Semivariograma da variável massa das folhas, da malha "gridmédio", para a direção 45° com 22.5° de tolerância	100

68. Semivariograma da variável massa das folhas, da malha "gridmédio", para a direção 90° com 22.5° de tolerância	100
69. Semivariograma da variável massa das folhas, da malha "gridmédio", para a direção 135° com 22.5° de tolerância	101
70. Semivariograma da variável massa das folhas, da malha "gridmédio", para a direção 179° com 22.5° de tolerância	101
71. Semivariograma da variável produção relativa, para a direção 1° com 22.5° de tolerância	102
72. Semivariograma da variável produção relativa, para a direção 45° com 22.5° de tolerância ...	102
73. Semivariograma da variável produção relativa, para a direção 90° com 22.5° de tolerância	103
74. Semivariograma da variável produção relativa, para a direção 135° com 22.5° de tolerância	104
75. Semivariograma da variável produção relativa, para a direção 179° com 22.5° de tolerância	105

LISTA DE TABELAS

TABELA	PÁGINA
1. Classificação das curvas segundo o valor absoluto do coeficiente de assimetria (C_s)	19
2. Tipo de assimetria segundo o valor do coeficiente de assimetria (C_s)	19
3. Classificação da curva segundo o coeficiente de curtose (C_c)	20
4. Classificação da aleatoriedade em função da relação C_o/C	30
5. Parte dos dados originais demonstrando a alta variabilidade dos mesomos entre as 4 amostras próximas a um mesmo tensiômetro	54
6. Momentos estatísticos da variável massa total .	56
7. Momentos estatísticos da variável massa dos grãos	56
8. Momentos estatísticos da variável massa das folhas	57

9.	Momentos estatísticos da variável área foliar .	57
10.	Momentos estatísticos das variáveis produção relativa e densidade global do solo	58
11.	Coefficientes de correlação entre as variáveis da malha "gridmédio"	81
12.	Valores dos alcances sugeridos pelos semivariogramas para a malha "gridmédio"	106
13.	Valores dos alcances sugeridos pelos semivariogramas para a malha "grid1"	106
14.	Valores dos alcances sugeridos pelos semivariogramas para a malha "grid2"	107
15.	Valores dos alcances sugeridos pelos semivariogramas para a malha "grid3"	107
16.	Valores dos alcances sugeridos pelos semivariogramas para a malha "grid4"	108

LISTA DE SÍMBOLOS

SÍMBOLO

a	alcance ("range")
AF	área foliar
b	número necessário de amostras para estimar a média
C	variância de dispersão
Co	efeito pepita ("nugget effect")
Co+C	patamar ("sill")
λ	coeficiente de atenuação da periodicidade
cov(h)	covariância entre os valores $Z(x)$ e $Z(x+h)$
Cp	coeficiente de Pearson
Cc	coeficiente de curtose
Cs	coeficiente de simetria
CV	coeficiente de variação
E(x)	esperança matemática do valor x
EI	eficiência da irrigação (%)

f	margem percentual tolerada em torno da média
h	vetor separador ("lag"), intervalo mínimo de distância entre dois pontos amostrados)
AC	valor do intervalo de classe
IC	intervalo de confiança com um grau de probabilidade
IAF	índice de área foliar
LI	lâmina de irrigação (mm, cm)
μ_x	média verdadeira da população
MF	massa das folhas de uma planta
n	número de amostras utilizadas
NC	número de intervalos de classe
n(h)	número de pares de comparação [$Z(x+h)$ e $Z(x)$] utilizado
p	periodicidade
σ_x^2	variância verdadeira da população
σ	desvio padrão verdadeiro da população
s_x^2	estimativa da variância da população (variância das amostras)
s_x	estimativa do desvio padrão da população (desvio padrão das amostras)
$s(\bar{x})$	erro padrão da média

$\gamma(h)$	semivariância, para "lag"=h, verdadeira da população
$\hat{\gamma}(h)$	estimativa, para "lag"=h, da semivariância
t_{α}	valor de t com $\alpha\%$ de probabilidade e com (AC-3) graus de liberdade
θ	umidade atual à base de volume (cm ³ /cm ³)
θ_r	umidade residual à base de volume (cm ³ /cm ³)
θ_s	umidade de saturação à base de volume (cm ³ /cm ³)
θ_{102}	umidade à base de volume na cap.de campo (determinada à -102 cm de coluna de água)
ψ	potencial mátrico da água no solo (cm de coluna de água)
U_x	dispersão dos valores medidos em torno da média, espacialmente não correlacionados
U_{az}	componente aleatória da dispersão dos valores em torno da média da variável regionalizada z
U_{ez}	componente espacial da dispersão dos valores em torno da média da variável regionalizada z
$\bar{x}$	estimativa da média (média das amostras)
x	variável indefinida independente
z	variável indefinida regionalizada
$Z(x)$	valor de uma variável indefinida regionalizada no ponto x
$Z(x+h)$	valor de uma variável indefinida regionalizada no ponto (x+h)
z_e	profundidade efetiva do sistema radicular de uma cultura

VARIABILIDADE ESPACIAL DE ALGUNS COMPONENTES DE PRODUÇÃO DE
UMA CULTURA DE FEIJOEIRO (*Phaseolus vulgaris* L.)

Autor: Paulo José Hamakawa

Orientador: Prof. Dr. Paulo Leonel Libardi

RESUMO

Com o objetivo de detectar a dependência espacial entre plantas de uma cultura de feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.), cultivar Carioca, e a viabilidade de utilização da geoestatística na determinação do tamanho mínimo das parcelas para a realização de experimentos em condições de campo, coletou-se amostras da parte aérea, 65 dias após a semeadura, a intervalos regulares de 5 metros, formando quatro malhas reticuladas de 125 x 45 m. As malhas foram defasadas entre si de modo que os pontos análogos formem as pontas de uma cruz, distantes 1 m do centro. As variáveis selecionadas para análise foram: massa total da parte aérea seca, massa dos grãos secos, massa das folhas secas, área foliar, obtida por uma regressão linear à partir da variável anterior. A quinta variável, obtida após a colheita, 41 dias após a coleta das amostras, foi a produção de 1,65 m² (1,10 x 1,50 m; 1,10 metros ao longo da linha de plantas), ao redor do centro de cada cruz de defasagem das malhas. Essas produções foram tornadas relativas com base

no valor máximo obtido. Houve também a necessidade de criação de uma quinta malha, composta pela média das variáveis das quatro outras malhas; acrescentando-se a variável produção relativa; a fim de representar melhor as áreas colhidas, devido à alta aleatoriedade da variação dos dados. Os resultados dessa quinta malha, avaliados pela estatística clássica, mostram que os dados aproximaram-se mais da normalidade, em relação aos análogos da quatro malhas geratrizes. Os coeficientes de variação para todas as variáveis situaram-se em torno de 35 a 43 %, sendo 38 % para a produção relativa. A massa total, massa de folhas e área foliar apresentaram melhor correlação linear com a produção final do que a massa dos grãos, provavelmente por razões fisiológicas. Quanto à distribuição dos dados na área experimental, uma direção foi privilegiada, apresentando valores mais elevados para as variáveis, em parte, beneficiada pelo escoamento superficial da água de irrigação, devido ao "micro-relevo". Avaliados pela geoestatística, os dados mostraram, dependência espacial de 30 a 35 metros, quando não considerados numa direção particular. O mesmo não se mostrou verdadeiro para massa dos grãos, possivelmente, por estarem em fase de desenvolvimento, cujos dados sugeriram independência em intervalos acima de 5 metros. Numa visão superficial da anisotropia a massa dos grãos apresenta independência para qualquer direção. As demais variáveis, entretanto, não

apresentaram um patamar definido para a direção do maior comprimento. Para a direção do menor comprimento o alcance de 25 a 30 metros foi encontrado para a massa total. No mesmo intervalo observou-se uma periodicidade sugerida para as variáveis massa das folhas secas, área foliar e produção relativa.

SPATIAL VARIABILITY OF SOME YIELD COMPONENTS OF A BEAN
(*Phaseolus vulgaris*, L.) CROP

Author: Paulo José Hamakawa

Adviser: Prof. Dr. Paulo Leonel Libardi

SUMMARY

The objective of this work was to detect the spatial dependence among plants of a bean (*Phaseolus vulgaris*, L.) crop and to study the viability of using Geostatistics to determine the minimum size of plots in field experiments. For this, aerial parts of the plants were sampled 65 days after sowing at regular intervals of 5 meters in the four grids of 10 columns and 25 lines (250 sampling points for each grid). Grids were spaced in such a way that analogous points were the edges of a cross, 1 m far from the center. The following variables were selected for analysis: total mass of dry aerial parts, mass of dry grains, mass of dry leaves and leaf area obtained through linear regression from the preceding variable. A fifth variable were the grain yield at harvest (105 days after sowing) in the center of each cross in an area of 1,65 m² (1,10 x 1,50 m; 1,10 m along the plant row). Therefore, a fifth grid were created for the grain yield and also for the mean values of the variables of the other four grids.

Results of this fifth grid, evaluated by means of classical statistics, were more normally distributed, in relation to the analogous one of the other four grids. Variation coefficient for all variables varied from 35 to 45 % being 38 % for the grain yield. The total mass, the mass of leaves and the leaf area showed a better linear correlation with the final grain yield than the mass of grains probably due to physiological reasons. With respect to the data distribution in the experimental area, there was a direction in which values were higher in part because the water surface runoff due to the micro-relief. In the light of Geostatistics, data showed a spatial dependence of 30 to 35 meters when not considered in a particular direction, except for the mass of dry grain that suggested an independence above 5 meters probably because they were in growing phase. In a superficial view of anisotropy, the mass of grains presents independence in any direction. The other variables, however, did not present a clear sill for the direction of bigger length. For the smaller length direction the ranges of 25 to 30 meters were found for total dry mass. In the same interval a periodicity was observed for mass of dry leaves, leaf area and grain yield.

1. INTRODUÇÃO

A agricultura representa uma fonte geradora de recursos materiais, seja com o objetivo de produzir alimentos, ou como fornecedora de matéria prima para a indústria.

Aumentando a demanda por seus produtos a agricultura deve se modernizar incorporando novas tecnologias que forneçam subsídios para o aumento da produção. Esse incremento pouco pode ser feito via expansão das fronteiras agrícolas, pois surgem de imediato tres problemas: o insumo tecnológico desenvolvido para essas áreas, p. ex. Amazônia, Sertão nordestino e Cerrado, ainda se encontra aquém do exigido; o sistema de armazenamento é incipiente; e o sistema de transportes capaz de escoar essa produção para as regiões onde exista demanda exige um investimento em infra-estrutura, nas regiões potencialmente produtoras, de tal montante que no atual quadro é inviável.

Assim o aumento da produção agrícola deve acontecer, a curto prazo, às custas do aumento da produtividade nas áreas já produtoras.

Nesse contexto, todos os ramos do conhecimento agrícola propõem soluções. A biologia modifica as características genéticas dos cultivares, buscando

associar produtividade com tolerância ou resistência a pragas, doenças e estresses fisiológicos. A edafologia, a conservação de solos e todas as outras disciplinas que estudam os recursos naturais propõem a alteração dos processos naturais no ambiente - erosão, déficit ou excesso de água - assim como a composição química da solução do solo, de maneira a torná-lo próximo das condições ideais à cultura estabelecida pelo maior intervalo de tempo possível.

Paralelo ao desenvolvimento tecnológico, deve também aprimorar-se a metodologia para avaliar as alterações ocorridas no sistema. Evidentemente os critérios determinantes nessas alterações são os econômicos, isto é a relação entre o custo de implantação e manutenção da tecnologia e os benefícios obtidos, na forma de retorno sócio-econômicos.

A viabilidade econômica, entretanto, é uma avaliação momentânea. Portanto, deve-se lançar mão de outros critérios de avaliação, não perturbados por condições econômicas, mas que possam comparar os impactos das tecnologias na produção com um enfoque não antrópico.

A estatística fornece esses critérios de avaliação. Na área do conhecimento agrônomo, o ramo da estatística mais utilizado é a denominada Estatística Clássica ou de Fisher. Esse ramo reduz o conjunto de dados a uma média e uma dispersão, mostrando que existe variação entre os dados embora não se propondo a estudar a estrutura

dessa variação.

Outro ramo da estatística, denominada Teoria das Variáveis Regionalizadas ou Geoestatística, desenvolveu-se na Geologia com o objetivo de exploração mineral. A geoestatística não descarta a importância da estatística clássica, mas a ela se alia, com a preocupação de estudar a estrutura da dispersão dos dados.

Recentemente iniciou-se a utilização dessa nova ferramenta para estudos da variabilidade espacial e temporal de solos. Assim um novo enfoque às variações nos resultados de experimentos é vislumbrado, e parte dos desvios, considerados pela estatística clássica como casuais, sendo locados na componente residual da análise da variância, podem ser explicados pela variabilidade do solo, normalmente considerado homogêneo nas dimensões x e y .

Este trabalho faz parte de um projeto de estudo da variabilidade espacial de uma Terra Roxa Estruturada latossólica sendo subdividida em 3 partes: (a) monitoramento da irrigação, precipitação pluviométrica e potenciais mátrico e total da água no solo, objeto da dissertação de mestrado de DOURADO NETO (1989); (b) estudos sobre a densidade global do solo e a curva característica da água do solo, apresentados por MORAES (1991) como tese de doutoramento; e (c) avaliações de alguns parâmetros das plantas que formam o escopo desta dissertação.

O objetivo imediato deste projeto é a

avaliação da variabilidade dos parâmetros observados nas três frentes, tratados nos trabalhos acima. A meta seguinte é reunir os dados e confrontá-los.

O objetivo específico deste trabalho é aplicar essas duas técnicas estatísticas a um conjunto de dados de uma cultura de feijoeiro visando detectar: (a) a dependência espacial dos dados, e, (b) a viabilidade de utilização da geoestatística na determinação do tamanho mínimo das parcelas para a realização de experimentos agronômicos em condições de campo.

2. REVISÃO DA LITERATURA

A extrema variabilidade do solo e do clima constituem problemas importantes e de difícil resolução na maioria dos casos dentro da pesquisa agrícola. Os solos variam enormemente não apenas em longas distâncias, mas também em pontos próximos sendo essas variações tanto químicas como físicas, as que afetam consideravelmente o desenvolvimento das plantas. O maior problema que aparece com essas variações é a precisão dos dados experimentais, pois, a partir de uma análise é necessário decidir se existe ou não diferenças entre aqueles (FREIRE et alii, 1976).

A técnica de experimentação agrícola compreende um conjunto de medidas que deve ser adotado para a eliminação dos efeitos não estudados da ação do meio sobre o sistema agrícola assegurando uma apreciação exata dos méritos seletivos dos tratamentos que se pretende implantar.

Diante do exposto, e a partir das propostas de trabalho optou-se por subdividir a revisão da literatura em 3 etapas: a primeira tratando de alguns aspectos da ecofisiologia do feijoeiro; a segunda sobre a estatística clássica, ou de Fisher; e a última abordando alguns tópicos da teoria das variáveis regionalizadas, ou mais comumente Geoestatística.

2.1. ASPECTOS DE ECOFISIOLOGIA

2.1.1. Cinética do crescimento vegetal

Uma planta de cultivo anual em crescimento, apresenta diferentes fases. No início, como depende de reservas contidas na semente, o crescimento é lento; posteriormente, após o desenvolvimento do sistema radicular e a emergência das folhas, a planta tem rápido crescimento através da retirada de água e de nutrientes do substrato onde está e em decorrência de sua atividade fotossintética. Após atingir o tamanho definitivo, entra para a fase de senescência, que resulta em um decréscimo no acúmulo de matéria seca. O acréscimo de biomassa numa área cultivada depende do desenvolvimento de sua área foliar. As folhas vão cobrindo pouco a pouco a área disponível, aumentando a capacidade do vegetal em aproveitar a energia solar. A interceptação da energia solar é função do tamanho e da orientação das folhas, e do arranjo espacial entre elas (LUCCHESI, 1987).

O índice de Área Foliar (IAF) é uma relação entre a área total da superfície das folhas, e a superfície do solo disponível às plantas (OMETTO, 1981). Um aumento do IAF proporciona aumento da produção de biomassa, mas devido ao auto-sombreamento a taxa fotossintética média por unidade de área foliar decresce. À medida que o IAF aumenta as

folhas inferiores sofre maior sombreamento, e consequentemente a taxa fotossintética média da planta diminui (LUCCHESI, 1987).

2.1.2. Atuação dos fatores ambientais

LUCCHESI (1987) cita que Alvim (*), em 1962, subdividiu os fatores ambientais que atuam sobre o crescimento e o desenvolvimento vegetal, em duas classes: (a) indiretos (latitude, altitude, chuva, topografia, textura e estrutura do solo); e; (b) diretos (radiação solar, fotoperíodo, temperatura, água, aeração e os nutrientes do solo). O mesmo autor cita os principais processos fisiológicos do vegetal que são afetados: atividade fotossintética, crescimento, florescimento, balanço hídrico, respiração e absorção de minerais.

Um dos principais fatores para os vegetais é a água, constituindo 50 % nas plantas lenhosas e cerca de 80 - 95 % nas herbáceas, atuando no transporte de solutos e gases; participando do metabolismo básico (fotossíntese e hidrólise de carboidratos), turgescência foliar, mecanismo estomático e penetração do sistema radicular no solo.

ALVIM (1972), comenta que os principais constituintes da matéria seca dos vegetais, carbono e

ALVIM, P. de T. Los factores de la productividad agrícola. Lima, IICA, 1962.

oxigênio, não provém do solo e sim do ar (44 % de C e 45 % de O₂), através da fotossíntese. O total dos dois resultaria em 90 % da biomassa enquanto dos 10 % restantes, 6 % seriam hidrogênio e 4 % de nutrientes provindos da solução do solo.

2.1.3. Ecofisiologia do Feijoeiro

Quanto ao hábito de crescimento o *Phaseolus vulgaris*, cultivar Carioca, é do tipo III, de crescimento indeterminado, com tendência a se prostrar ou subir em tutores. Possuem ramos laterais bem desenvolvidos e numerosos. Em geral, a maturação das vagens não é uniforme, pois, enquanto as inferiores já estão amadurecidas, as superiores ainda estão verdes, estando a maior parte das vagens disposta na região inferior da planta. O ciclo de vida situa-se entre 85 - 90 dias (PORTES, 1988). MODA-CIRINO (1989) acresce a isto o fato do cultivar possuir elevada capacidade de compensar os espaços laterais quando ocorre desuniformidade na densidade de plantas, cobrindo a superfície do solo.

Sobre a relação entre área foliar e rendimento de grãos, PORTES (1988) cita alguns trabalhos afirmando que aumentando-se a área foliar ocorre uma maior interceptação da luz com conseqüente acréscimo da produção de matéria seca e grãos. Entretanto o autor cita um trabalho

que contesta a certeza dessa afirmativa, alertando para o fato de que essa correlação pode ser positiva ou negativa dependendo das condições climáticas na fase de formação das vagens.

O mesmo autor afirma que o fluxo de carboidratos nas diversas partes da planta de feijão varia conforme seu estágio de desenvolvimento. No estágio em que as vagens encontram-se completamente desenvolvidas ou no início do crescimento intenso dos grãos, as folhas medianas retém em torno de 28 % dos assimilados que produzem e aproximadamente 23 % são translocados para órgãos inferiores. 45 % é translocada aos ramos sendo a maior parte desses dirigida aos frutos. Uma folha jovem funciona mais como dreno do que como fonte, sendo sua percentagem de translocação baixa. A translocação aumenta com a idade da planta atingindo os valores de 60 - 70 % quando a folha está completamente expandida. Durante o rápido crescimento das vagens o feijoeiro pode ser considerado como sendo composto de unidades fonte-dreno, as quais são compostas de uma folha, um entrenó, um rácimo e/ou um ramo. A folha de uma determinada unidade supre de fotoassimilados a si própria e aos demais órgãos da unidade. Contudo quando um ponto de crescimento dentro de uma determinada unidade não é suprido eficientemente pela respectiva folha, ele tem de receber assimilados de fontes externas, em que haja excesso de produção. Caso essas outras fontes externas não sejam

capazes de fornecer os assimilados em déficit, haverá uma redução do crescimento. Lucas et alii (*), em 1976, citados por PORTES (1988) sugerem que um dos obstáculos à translocação de fotoassimilados das folhas para as vagens e daí às sementes, pode ser uma inadequada capacidade do dreno durante o estágio inicial de desenvolvimento da vagem. Em seu trabalho aqueles autores afirmam que a principal fonte de matéria seca para a produção de sementes é obtida durante o período de pós-florescimento e não é procedente do acumulado nas folhas ou nas raízes como reserva durante o período vegetativo. Com o crescimento das vagens uma quantidade apreciável de carboidratos acumula-se nas suas paredes, sendo posteriormente translocados para os grãos durante o seu crescimento. Deste modo as paredes das vagens funcionam temporariamente como órgãos de armazenamento de carboidratos das folhas para os grãos.

2.2. ESTATÍSTICA CLÁSSICA

A estatística teve sua forma estruturada como disciplina científica a partir do século passado. Historicamente, entretanto, aplicações rudimentares são

LUCAS, O.; MILBOURN, G.M.; WHITFORD, P.N. The translocation of C-14 photosynthate from leaves and pods in *Phaseolus vulgaris*. *Annals of Applied Biology*, Cambridge, 83:285-90, 1976.

conhecidas desde a Antiguidade no Egito antigo devido às inundações do Nilo e em Roma, com seus bíblicos relatos de censos. Contudo, a partir do século XVII Fermat e Pascal, iniciaram os estudos de probabilidade com jogos de azar (GUERRA, 1988).

A estatística, que neste trabalho denominaremos por Clássica, foi proposta na década de 20, por R.A.Fisher, com o objetivo de contornar o problema da variabilidade das medidas através da casualização, formação de blocos e repetição. Entretanto, os cientistas que estudam o solo, durante todo esse tempo aparentemente não têm conseguido explicar, com suficiente clareza, aos estatísticos e agrônomos a importância do solo e como este pode ser levado em consideração (McBRATNEY, 1984).

D. J. Finney define a estatística como a "ciência que nos auxilia na pesquisa de problemas quantitativos nos quais a variabilidade do material obscurece a relação simples" (YAMADA, 1987).

Essa definição por si só justifica os esforços de Fisher, e caracteriza um problema agrônomo, onde a variabilidade dos dados é muito grande devido ao número de fatores envolvidos na produção agrícola.

BECKETT & WEBSTER (1971) mostraram o aumento da variância, do coeficiente de variação de propriedades físicas e químicas dos solos, com o crescimento das dimensões da área, atingindo 20-65 % para áreas maiores do que 10 ha.

2.2.1. Conceitos Gerais

A suposição básica da estatística clássica é que a esperança matemática de uma função ou uma variável aleatória, x seja a média da população (μ_x):

$$E(x) = \mu_x \quad \text{..... (2.1)}$$

Como os valores da variável aleatória x , não são constantes, assim como os parâmetros agrônômicos, o valor esperado de x num ponto qualquer é:

$$x = \mu_x + V_x \quad \text{..... (2.2)}$$

onde μ_x é a média da população x

V_x é a variação, ou dispersão, dos valores medidos, em torno da média

Segundo PIMENTEL GOMES (1987), os pré-requisitos básicos para que a estatística clássica seja válida são: (a) as observações devem ser independentes, isto é, a variável deve ser aleatória, e as suas medidas não podem estar espacialmente correlacionadas; (b) todas as observações devem ter o mesmo desvio padrão (σ_x), isto é, a mesma variância (σ_x^2); e; (c) a média dos desvios deve ser zero, bem como sua distribuição deve ser normal e com variância . Esclarece, também, que essas condições nunca, ou quase nunca são totalmente satisfeitas. Mas desde que aproximadamente satisfeitas, pequenos erros são cometidos,

se aplicarmos a estatística clássica.

GUERRA (1988) e GROSSI SAD (1986), alertam que antes de se realizar qualquer estudo estatístico é necessário que se conheça a distribuição de frequência observada, da amostragem executada. Em seguida deve-se comparar a frequência observada com modelos teóricos, obtendo-se o que melhor se ajuste aos dados, podendo-se a partir de então inferir-se sobre a distribuição verdadeira da população.

2.2.2. Medidas de Tendência Central, Variância, Desvio Padrão, Erro Padrão da Média e Coeficiente de Variação.

A média é a medida de tendência central, mais utilizada (SILVA, 1988), sendo definida matematicamente, como o momento de primeira ordem em relação à origem (equação 2.1). Não se conhecendo a média verdadeira (μ_x) da população estima-se a mesma à partir dos dados amostrais:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad \text{..... (2.3)}$$

onde n é o número de amostras coletados

Os estimadores da dispersão mais utilizados segundo SILVA (1988) são a variância, o desvio padrão e o coeficiente de variação. Define-se a variância (σ_x^2) como o

momento de segunda ordem em relação à média. O desvio padrão (σ_x) é definido como a raiz quadrada da variância (σ_x^2).

$$\sigma_x^2 = E \left[(x - \mu_x)^2 \right] \quad \dots\dots (2.4)$$

logo,

$$\sigma_x^2 = \frac{\sum_{i=1}^n \left[(x - \mu_x)^2 \right]}{n} \quad \dots\dots (2.4.a)$$

e

$$\sigma_x = \left(\sigma_x^2 \right)^{1/2} \quad \dots\dots (2.5)$$

No caso de trabalhar-se com amostras, utiliza-se os estimadores $\bar{x}$, para a média; s^2 para a variância e s para o desvio padrão. Substituindo os estimadores nas equações (2.4.a) e (2.5) e desenvolvendo a primeira:

$$s_x^2 = \frac{\sum_{i=1}^n x^2 - \left(\sum_{i=1}^n x \right)^2 / n}{(n-1)} \quad \dots\dots (2.6)$$

e

$$s_x = \left(s_x^2 \right)^{1/2} \quad \text{..... (2.7)}$$

O quociente $(n-1)$ da equação (2.6), modifica-se em relação à equação (2.4.a), pela perda de um grau de liberdade em função da estimativa da média (GUERRA, 1988).

O erro padrão da média $s(\bar{x})$ estima o grau de segurança da estimativa da média:

$$s(\bar{x}) = \frac{s_x}{\sqrt{n}} \quad \text{..... (2.8)}$$

O coeficiente de variação (CV) expressa em termos adimensionais o grau de dispersão dos dados. É definido como a relação entre o desvio padrão (s) e a média estimada ($\bar{x}$):

$$CV = \frac{s_x}{\bar{x}} * 100 \quad \text{..... (2.9)}$$

GROSSI SAD (1986) afirma que esse parâmetro é de utilização restrita porque embora expresse o grau de variabilidade, da variável estudada, não reflete seu significado físico. Por outro lado apresenta a vantagem de possibilitar a comparação entre diferentes atributos

(WILDING, 1985). Das equações (2.4.a), (2.6), (2.8) e (2.9) pode-se perceber que o coeficiente de variação mostra o grau de homogeneidade das medidas executadas.

Outras medidas de tendência central são: (a) Moda, que é o valor que apresenta a maior probabilidade de ocorrência; e (b) Mediana, que é o valor que separa a curva de densidade de probabilidade em duas partes idênticas. A probabilidade de $x \leq$ mediana é igual à probabilidade de $x >$ mediana (SPIEGEL, 1978).

2.2.3. Distribuição de Frequência

A representação gráfica da distribuição deve ser precedida por uma tabulação de dados. GUERRA (1988) apresenta três critérios para a escolha do número de classes: (a) livre escolha; (b) 6 "steps" ; e; (c) critério de Sturges. O critério de livre escolha deixa ao usuário a escolha do número de classes mas esse sempre deve tomar cuidado para que sua opção não mascare a distribuição real da amostra. O segundo critério, 6 "steps" foi desenvolvido à partir da espectrometria de emissão, sendo em escala logarítmica. O último critério foi elaborado por Sturges, em 1926, baseando-se nos valores máximo, mínimo e número de amostras. Neste último caso o número de classes (NC) é definido por:

$$NC = 1 + 3,322 \cdot \text{Log}(n) \quad \dots\dots (2.10)$$

e o valor de cada intervalo de classe (AC) será:

$$AC = \frac{[x_{\max} - x_{\min}]}{NC} \quad \dots\dots (2.11)$$

O mesmo autor menciona que o ajuste de uma distribuição teórica à observada pode ser feita visualmente, através do comportamento das frequências acumuladas, locadas em gráficos especiais, denominado Reta de Henry; ou analiticamente através de testes estatísticos (Qui-quadrado, teste paramétrico, utilizado exclusivamente para distribuições normais; ou o teste Kolmogorov-Smirnov, não paramétrico, servindo a qualquer modelo de distribuição).

2.2.4. Distribuição Normal ou Gaussiana

Segundo SPIEGEL (1978) a curva de distribuição normal de probabilidade tem a equação:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma_x \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu_x)^2}{2\sigma_x^2}} \quad \dots\dots (2.12)$$

Essa curva é simétrica em torno da média, que nesse caso especial de distribuição coincide com a mediana e a moda. Dois parâmetros adicionais para essa

distribuição é o fato de apresentar os coeficientes de assimetria nulo e de curtose igual a 3. De acordo com HOFFMANN (1980) esses dois parâmetros também podem ser utilizados para testar a normalidade da curva de distribuição de frequência, observada a partir dos dados amostrais.

HEATH (1981) afirma que a importância da distribuição normal dos dados reside no fato de existir extenso instrumental estatístico adequado para ela. Como em geral as distribuições não são normais é necessário fazer transformações de dados. Todavia essas transformações podem fazer correções excessivas na curva de distribuição.

2.2.5. Coeficientes de Assimetria (Cs).

Pearson (Cp) e Curtose (Cc)

Os coeficientes de assimetria e de Pearson refletem o grau de simetria em torno da média. Matematicamente o coeficiente de assimetria (Cs) é definido como a relação entre o momento de terceira ordem em relação à média e o desvio padrão elevado à terceira potência (SPIEGEL, 1978 ; GOES, 1980).

$$Cs = \frac{E[(x-\mu_x)^3]}{\sigma_x^3} \quad \dots\dots (2.13)$$

As tabelas 1 e 2 mostram a classificação do

tipo de curva de distribuição de frequência em função do coeficiente de assimetria.

Tabela 1. Classificação das curvas segundo o valor absoluto do coeficiente de assimetria (C_s).

C_s	Classificação
$C_s = 0$	Simétrica
$0 < C_s < 0.5$	Quase simétrica
$0.5 < C_s < 1.0$	Moderadamente assimétrica
$C_s > 1.0$	Pronunciadamente assimétrica

Fonte: GOES (1980).

Tabela 2. Tipo de assimetria segundo o valor do coeficiente de assimetria (C_s).

C_s	Tipo de assimetria
$C_s < 0$	Assimetria à esquerda
$C_s = 0$	Simetria
$C_s > 0$	Assimetria à direita

Fonte: GOES (1980).

A figura 1, ilustra a tabela 2.

FIGURA 1. Representação gráfica dos tipos de assimetria.

O coeficiente de Pearson (C_p) é definido (GOES, 1980; SPIEGEL, 1978 e HOFFMANN, 1980) como:

$$C_p = \frac{\mu_x - m_o}{\sigma_x} \quad \text{..... (2.14)}$$

onde m_o é a moda da população

A interpretação desse coeficiente é o mesmo das tabelas 1 e 2 e figura 1.

Define-se o coeficiente de curtose como sendo a relação entre o momento de quarta ordem em relação à média e o quadrado da variância:

$$C_c = \frac{E[(x - \mu_x)^4]}{\sigma_x^4} \quad \text{..... (2.15)}$$

Esse coeficiente retrata o grau de achatamento da distribuição sendo uma medida de sua ordenada máxima (GOES, 1980; SPIEGEL, 1978).

A tabela 3 mostra a classificação da curva de

Tabela 3. Classificação da curva segundo o valor do coeficiente de curtose (C_c).

C_c	Classificação
$C_c < 3$	Platicurtica
$C_c = 3$	Mesocurtica
$C_c > 3$	Leptocurtica

Fonte: GOES (1980).

distribuição de frequência segundo o coeficiente de curtose, ilustrada pela figura 2 .

FIGURA 2 . Classificação da curva segundo o coeficiente de curtose.

2.2.6. Intervalo de Confiança (IC) e Número de Amostras para estimativa da Média (b)

O intervalo de confiança (IC) reflete o grau de segurança da amostragem e o risco de incerteza associados ao valor médio estimado (GUERRA, 1989).

$$IC_{\alpha} = \bar{x} \pm t_{\alpha} s(\bar{x}) \quad \text{..... (2.16)}$$

onde IC_{α} é o intervalo de confiança com α % de probabilidade de êxito
 $\bar{x}$ é a média amostral
 t_{α} é o valor de t com $(n-1)$ graus de liberdade e α % de probabilidade de êxito
 $s(\bar{x})$ é o erro padrão da média

Para se conhecer o número mínimo de amostras necessárias para estimar a média de uma população com uma certa probabilidade (α) de êxito, admitindo-se um erro f ($0 < f < 1$) em relação à média, podemos

utilizar a equação (2.17) facilmente deduzida à partir da equação (2.16):

$$b = \left[\frac{t_{\alpha} \cdot CV}{f} \right]^2 \quad \dots\dots (2.17)$$

onde CV é o coeficiente de variação da população

2.2.7. Observações Agronômicas.

Na área de solos, diversos trabalhos demonstram a grande variabilidade de seus atributos. NIELSEN et alii (1973) encontraram distribuição normal para umidade do solo na saturação. Para o potencial mátrico de -0,2 bar, para a camada de 30 - 45 cm, foi encontrado um coeficiente de variação de 17 %, numa área de 150 ha com 120 pontos de amostragem.

Ball & Williams (*), em 1978, citados por GUROVICH (1982) encontraram coeficiente de variação em torno de 33 % para diversos atributos químicos de solos não cultivados, levando-os a alertarem para a variabilidade espacial como pré-requisito para estudos ecológicos e pedológicos.

PREVEDELLO (1987), trabalhando com arroz sobre Terra Roxa Estruturada latossólica observou

BALL, D.F. & WILLIAMS, W.M. Variability of chemical properties in two uncultivated brow earths. J. Soil Sci., 19:379-391, 1968.

coeficientes de variação de 3 % para pH; 8 % para Carbono orgânico, e 10 - 30 % para nutrientes. Os coeficientes de variação para análises de tecido variaram de 20 - 35 %. Os parâmetros de produção apresentaram variação na ordem de 20 - 40 %.

DOURADO NETO (1989) trabalhando no mesmo solo obteve variações de 50 - 90 % na distribuição da lâmina da água de irrigação; 3 - 8 % para a precipitação pluviométrica e 50 - 100 % de variação no potencial mátrico à 25 cm de profundidade.

Para LOPES-HERNANDEZ (1987), os coeficientes de variação para adsorção de fósforo variaram de 102 % para um solo tropical e quase 115 % para um orgânico.

Para experimentos com feijão FREIRE (1976) atenta para que o tamanho da parcela não seja inferior a 5 m², com queda da variabilidade experimental à medida que a parcela passa a aumentar até 50 - 100 m².

2.3. ASPECTOS DA TEORIA DAS VARIÁVEIS REGIONALIZADAS: GEOESTATÍSTICA

O nome geoestatística surgiu para se referir à aplicação da Teoria das Variáveis Regionalizadas na resolução de problemas de geologia e mineração, proposta por MATHERON (1963).

GUERRA (1988) cita diversos autores que

aplicam a teoria das variáveis regionalizadas noutras áreas que não o de mineração: área florestal, meteorológica, e calibração de "well-logs" na área nuclear.

Recentemente diversos trabalhos na área agronômica têm sido publicados, buscando conhecer a estrutura da variabilidade dos solos, visando explicar as diferenças dos níveis de produção agrícola numa mesma unidade de solo.

2.3.1. Variáveis Regionalizadas

De acordo com GROSSI SAD (1986), a geoestatística dedica-se ao estudo da distribuição e da variabilidade dos valores, em função do seu arranjo espacial ou temporal, isto é, de valores regionalizados. Um fenômeno que se modifica no espaço e apresenta alguma estrutura comporta-se como "regionalizado". Se $Z(x)$ é o valor de uma variável Z no ponto x , é possível descrever a variabilidade da função, $Z(x)$, no espaço com Z variando dependentemente do local da amostragem.

Segundo BRAGA (1990), a variável regionalizada deve apresentar a propriedade de continuidade na média. Seu comportamento pode ainda variar com a direção, ou seja, refletir a anisotropia do fenômeno.

2.3.2. Aspectos Teóricos

Retomando a equação (2.2),

$$z = \mu_z + V_z \quad \text{..... (2.2)}$$

e considerando Z como uma variável regionalizada no espaço, verificamos em GUERRA (1988) que a dispersão V_z em torno da média apresenta dois componentes: (a) aleatório; e (b) espacial. A componente aleatória (V_{az}) aparece em função dos dados apresentarem-se em parte independentes de sua posição no espaço. A componente espacial (V_{ez}) aparece em função da não ocorrência de independência total entre essas medidas.

A equação (2.2) poderia dessa forma ser reescrita como:

$$z = \mu_z + V_{az} + V_{ez} \quad \text{..... (2.18)}$$

2.3.2.1. Funções de Estacionaridade

A aparente continuidade da função, variável regionalizada, está ligada à suposição de que os valores de um parâmetro em localizações vizinhas, sejam aproximadamente os mesmos ou que ao menos estejam correlacionados.

LANDIM (1985), afirma que não se pode fazer

inferências estatísticas a partir de uma só amostra, pois a variável regionalizada é resultado de uma função casual. De acordo com HAMLETT et alii (1986), no intuito de contornar esse problema os pesquisadores assumem que a variável regionalizada, $Z(x)$, deve assumir dois tipos de estacionaridade: (a) hipótese intrínseca; e (b) hipótese de estacionaridade de segunda ordem.

A hipótese intrínseca, estacionaridade fraca, é expressa totalmente em termos das diferenças, $[Z(x+h)-Z(x)]$, das variáveis regionalizadas:

$$i. \quad E [Z(x+h) - Z(x)] = 0$$

para qualquer x (posição no espaço) e h (vetor separador, "lag"), estabelecendo que $Z(x)$ é constante.

$$ii. \quad \gamma(h) = \frac{1}{2} \cdot E \left\{ [Z(x+h) - Z(x)]^2 \right\}$$

para qualquer x e h , expressão que define o valor da semivariância, $\gamma(h)$. Supõe que existe uma função covariância $cov(h)$; e $\gamma(h) = \sigma^2 - cov(h)$.

A estacionaridade de segunda ordem, estacionaridade forte, requer:

$$i. \quad E [Z(x)] = \mu_x$$

para qualquer x , isto é, é uma função aleatória independentemente da posição x . $Z(x)$ é constante como na hipótese intrínseca.

$$11. E \left\{ \left[Z(x+h) - \mu_x \right] \cdot \left[Z(x) - \mu_x \right] \right\} = \text{cov}(h)$$

para qualquer x e h , isto é, existe uma função covariância para cada par de valores $Z(x+h)$ e $Z(x)$, dependendo apenas do vetor separador h . Implica que a variância, σ_x^2 , de $Z(x)$, não depende de x .

Segundo VAUCLIN et alii (1982) as funções autocorrelação e semivariância, são equivalentes quando as duas hipóteses são satisfeitas. Quando apenas a hipótese intrínseca é satisfeita só é válido o cálculo da função semivariância.

2.3.2.2. Função Semivariância

A escolha da função semivariância se deve à necessidade de menor grau de estacionaridade, além de possibilitar a interpolação dos pontos amostrados ("kriging").

MATHERON (1963) definiu a função semivariância, $\gamma(h)$, para o argumento vetorial h , pela expressão:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2V} \iiint_V \left[Z(x+h) - Z(x) \right]^2 dV \quad \dots\dots (2.19)$$

onde V é o campo geométrico regionalizado; $Z(x)$ definido no suporte geométrico V (em geral puntual).

Nota-se que a expressão (2.19) é uma função contínua no espaço. Para o caso de amostragem, a função $\gamma(h)$ torna-se discreta, isto é, os pontos amostrados não são adjacentes uns aos outros. Na prática estima-se a função semivariância $\hat{\gamma}(h)$ pela expressão (2.20):

$$\hat{\gamma}(h) = \frac{1}{2 n(h)} \sum_{i=1}^{n(h)} [Z(x+h) - Z(x)]^2 \quad \dots\dots (2.20)$$

onde $n(h)$ é o número de pares de comparação utilizados e h é o "lag" considerado.
 $\hat{\gamma}(h)$ só é confiável se $n(h) > 50$.

O semivariograma é a expressão gráfica dos valores de $\hat{\gamma}(h)$ versus h .

É de se esperar que à medida que h aumente, a função semivariância também aumente, pois os dados serão comparados a uma distância maior. Esse aumento ocorre até um valor constante, igual à variância dos dados (SILVA, 1988). Pela hipótese intrínseca isto representa que a covariância, $cov(h)$, torna-se nula.

Do ponto $h=0$ até o ponto $h=a$ onde o valor da função semivariância torna-se constante, e igual à variância dos dados, a distância a é denominada "alcance (a)" e significa a zona de influência de uma amostra. Para valores de $h > a$, ou seja onde os valores de $\hat{\gamma}(h)$ são constantes a variável aleatória, $Z(x)$, torna-se independente. Os métodos da estatística clássica passam, então, a ser válidos para valores de $Z(x+h)$ com $h > a$ (GUERRA, 1988). DOURADO NETO

(1989) citando Snedecor & Cochran (*) sugere para determinação do alcance o ponto onde a função semivariância tem o mesmo valor da variância das amostras, a qual apresenta um intervalo de confiança com nível de probabilidade conhecido.

Pela equação (2.20) espera-se $\hat{\gamma}(0)=0$ para $h=0$. Segundo SILVA (1988) isso normalmente não ocorre na prática. No ajuste de um semivariograma quando h tende a zero, o valor de $\hat{\gamma}(h)$ tende a um valor finito, positivo, maior do que zero. Este valor é chamado "efeito pepita" (C_0) e indica a existência de variações em distância inferiores ao intervalo de amostragem. A figura (3) ilustra o exposto acima.

Quando o alcance for menor do que o intervalo de amostragem tem-se o efeito pepita puro, sendo os dados independentes (GUERRA, 1988).

FIGURA 3 . Componentes de um semivariograma

GUERRA (1988) decompõe a parte dependente do semivariograma em 3 regiões. Na figura (4) a parte (1) é a representação da estrutura intrínseca da variável regionalizada. A parte (2) representa a baixa reprodutibilidade das amostragens e a parte (3) é devido ao erro da análise laboratorial das amostras. Assim as partes (2) e (3) são produzidas pela quantidade e qualidade de informações possíveis. A relação Co/C , (efeito pepita/variação de dispersão), expressa a aleatoriedade relativa da regionalização (tabela 4).

Tabela 4. Classificação da aleatoriedade em função da relação Co/C .

Co/C	Classificação da aleatoriedade
$Co/C < 0.15$	Pequena
$0.15 < Co/C < 0.30$	Importante
$Co/C > 0.30$	Bastante Importante

Fonte: GUERRA (1988).

2.3.2.3. Ajuste da Função Semivariância

O ajuste de um modelo teórico a um semivariograma experimental geralmente é um processo de tentativa e erro. Entre os modelos mais conhecidos (GUERRA, 1988) destaca: (i) modelos com patamar; (ii) modelos sem patamar ; e (iii) modelos periódicos.

- (1) estrutura intrínseca da variável regionalizada;
 (2) baixa reprodutibilidade das amostragens;
 (3) erros laboratoriais.

$h < a$ dependência espacial (área hachurada).
 $h > a$ independência espacial

FIGURA 4. (a) Decomposição de um semivariograma; (b) Domínio da Geoestatística e o domínio da Estatística Clássica.

i. Modelos com Patamar

i.1. Modelo Esférico

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

e

$$\hat{\gamma}(h) = C_0 + C \quad \text{para } h > a \quad \dots\dots (2.21)$$

LANDIM (1988) considera este o modelo mais comum comparando-o à distribuição normal na estatística clássica.

i.2. Modelo Exponencial

$$\hat{\gamma}(h) = Co + C \left[1 - e^{-(h/a)} \right] \quad \text{..... (2.22)}$$

i.3. Modelo Gaussiano

$$\hat{\gamma}(h) = Co + C \left[1 - e^{-(h/a)^2} \right] \quad \text{..... (2.23)}$$

A figura (5) ilustra esses modelos de semivariograma.

ii. Modelos sem Patamar

ii.1. Modelo Linear

$$\hat{\gamma}(h) = Co + W.h \quad \text{..... (2.24)}$$

A combinação de 2 modelos lineares encontram-se na figura (6). O modelo 1 apresenta $Co1=Co$; $C1=C$; $W>0$; $\hat{\gamma}(h)=Co1+Wh$, para $0 < h < a$. O modelo 2 apresenta $Co2=Co+C$ e $\hat{\gamma}(h)=Co2$.

FIGURA 5. Comparação entre 3 modelos teóricos de semivariogramas com mesmo patamar, mostrando suas diferenças quanto ao alcance.

ii.2. Modelo Logarítmico

$$\hat{\gamma}(h) = C_0 + 3 \cdot \alpha \cdot \ln(h) \quad \dots\dots (2.25)$$

No intervalo entre $0 < h < a$ o modelo assume $C_{01}=C_0$; $C_1=C$; $W=0$; $\hat{\gamma}(h)=C_0+Wh$. Para $h > a$; $C_{02}=C_0+C$ e $W=0$, tendo-se assim o efeito pepita puro.

FIGURA 6. Associação de 2 modelos lineares de semivariogramas.

iii. Modelos periódicos

iii.1. Efeito Seno

$$\hat{\gamma}(h) = C_0 + C \left[1 - \frac{\sin(h)}{h} \right] \dots\dots\dots (2.26)$$

iii.2. Efeito Cosseno

iii.2.a. Sem Atenuação

$$\hat{\gamma}(h) = C_0 + C \left[1 - \cos \left(\frac{2\pi h}{p} \right) \right] \dots\dots\dots (2.27)$$

iii.2.b. Com Atenuação

$$\hat{\gamma}(h) = C_0 + C \left[1 - \cos \left(\frac{2\pi h}{p} \right) e^{-(h/\lambda)} \right] \dots\dots\dots (2.28)$$

onde p é o período de oscilação
 λ é o coeficiente de atenuação

A figura 7 ilustra esses modelos periódicos de semivariogramas.

Segundo LANDIM (1988) para os modelos sem

patamar a indicação é de que a variância seja infinita e não existe uma função covariância, neste caso a hipótese intrínseca é a única aceitável. Já para modelos de semivariograma com patamar, a função covariância encontra-se presente.

FIGURA 7 . Ilustração de modelos teóricos de semivariogramas periódicos: (a) efeito seno; (b) efeito cosseno sem atenuação e; (c) efeito cosseno com atenuação.

2.3.3. Aplicações da Teoria das Variáveis Regionalizadas na Área Agronômica

Há uma crescente utilização da teoria das variáveis regionalizadas na área agronômica, especialmente, se destacando os estudos de solos, como pode ser comprovado em REICHARDT et alii (1986) LIBARDI et alii (1986); DOURADO NETO (1988); PREVEDELLO (1987); SILVA (1988).

Entretanto ainda existem poucos trabalhos utilizando a teoria das variáveis regionalizadas aplicadas à parâmetros de produção agrícola e à planta em si.

GUROVICH (1982) cita um trabalho de Bresler et alii (*), em 1981, associando a variabilidade espacial que se observa nos rendimentos das culturas em relação à água de irrigação. VIEIRA et alii (1983) utilizando os dados de produção de trigo e de percentagem de nitrogênio nos grãos obtidos por Montgomery (*) em 1913, encontraram estrutura do semivariograma para o primeiro e semivariograma com estrutura muito pouco definida para o segundo.

McBRATNEY (1984) analisando dados originais de Batchelor & Reed (*) em 1918, para produção de laranja, e de Gomez & Gomez (*) em 1976, para produção de arroz, observaram maior anisotropia espacial na produção de arroz do que na de laranja.

PREVEDELLO (1987) estudando nutrientes na matéria seca de arroz obteve alcances que variaram de 38 a 55,5 metros para nitrogênio, fósforo, potássio e zinco. Para a quantidade de nutrientes extraído pelas plantas os

BRESLER, E.; DAGAN, G.; HANKS, J. Statistical analysis of crop yield under controlled line source irrigation. Comunicacion personal. 1981.

MONTGOMERY, E.G. Experiments in wheat breeding: experimental error in the nursey and variation in nitrogen and yield. Bur. Plant Indust., USDA, Bol.269, 1913. 61p.

BATCHELOR, L.D. & REED, H.S. Relation of the variability of fruit trees to the accuracy of field trials. J. Agric. Res. 12: 245-283, 1918.

GOMEZ, K.A. & GOMEZ, A.A. Statistical methods for agricultural research with emphasis on rice. IRRI, Los Baños: p. 208-209, 1976.

alcances foram superiores a 70 metros. Para parâmetros de produção o alcance foi determinado acima de 25 metros.

DOURADO NETO (1988) obteve alcances, para potenciais mátrico e total do solo, que variam da independência absoluta (alcance, se houver, inferior ao intervalo mínimo de amostragem) até 14 metros. Para a precipitação pluviométrica os semivariogramas, não apresentaram dependência espacial.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. LOCAL

A área onde a cultura foi instalada, situa-se no campo experimental do Departamento de Física e Meteorologia, da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Campus no município de Piracicaba, São Paulo, Brasil.

Geograficamente localiza-se à 22°43' S e 47°25' W, com altitude de 580 metros acima do nível do mar (DOURADO NETO, 1989).

3.2. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL

A área experimental apresenta relevo suave ondulado, conforme figura 8, extraído de DOURADO NETO (1989). O solo foi classificado como Terra Roxa Estruturada latossólica, que corresponde na classificação americana como Rhodic Kanhapludalf (DOURADO NETO, 1989).

O clima é do tipo Cwa segundo a classificação de Köppen, com médias anuais de: precipitação de 1253 mm; temperatura de 21,1°C; umidade relativa de 74 %; velocidade do vento de 2,2 m/s com predominância na direção E/SE (VILLA

NOVA, 1989).

FIGURA 8 . Representação esquemática do relevo da área experimental.

3.3. DIMENSÕES DA ÁREA EXPERIMENTAL

A área estudada foi delimitada com 125 m na direção NW-SE, e 50 m na direção NE-SW, totalizando 6250 m².

Por dificuldade de manipulação no software estatístico utilizado, GEOEAS versão 1.1, no que se refere a títulos dos gráficos e figuras a direção NW-SE foi denominada NORTHING, e a direção NE-SW recebeu o nome de EASTING.

3.4. DELINEAMENTO, AMOSTRAGEM E DETERMINAÇÕES

Conforme pode ser observado no esquema abaixo (figura 9) ao redor de cada tensiômetro foram coletadas a parte aérea de 4 plantas, cada uma distando 1 m daquele, nos sentidos SE-NW; SW-NE; NW-SE; e NE-SW.

P1, P2, P3 e P4 - pontos de amostragem de plantas.
 T - tensiômetro.
 C - ponto de coleta de amostra de solo.

FIGURA 9 . Esquema de coleta das amostras de planta e solo.

Cada um dos pontos de amostragem de plantas foram identificados com um índice de 1 a 4, começando pelo sentido SE-NW e seguindo no sentido horário, conforme figura 9 .

Os 250 tensiômetros, ao redor dos quais foram

coletadas as amostras de plantas foram instalados a 25 cm de profundidade compondo uma malha regular quadriculada com 25 tensiômetros na direção NW-SE e 10 tensiômetros na direção NE-SW, espaçados de 5 m em ambas direções. Os estudos com as leituras desses equipamentos foram objeto da dissertação de mestrado de DOURADO NETO (1989).

A figura 10 mostra o croqui de instalação dos equipamentos na área experimental.

FIGURA 10 . Croqui da área experimental

As amostras de plantas com o mesmo índice de posição com relação a cada tensiômetro formaram uma malha regular de 250 pontos. A malha recebeu o nome de GRIDn, com o índice n igual ao índice de posição da amostra (figura 9). Dessa forma foram compostas 4 malhas regulares.

Além das 1000 plantas, que compõe as 4

malhas, foram coletadas mais 10 plantas, visualmente representativas da área, das quais foram retiradas as folhas. Essas folhas foram desenhadas em papel de espessura constante, sendo os contornos recortados com uma tesoura. A massa do desenho em papel das folhas de uma mesma planta foi comparada com a massa de 25 cm² do mesmo papel, obtendo-se a área das folhas. As folhas das 10 plantas foram secas em estufa a 60° C até peso constante, obtendo-se assim a equação 1, que correlaciona a área foliar com o peso seco da folhas:

$$AF = 205,25 \cdot MF - 9,85 \quad \dots\dots (3.1)$$

onde AF é a área foliar (cm²)

MF é a massa seca das folhas de uma planta (g)

Após esse procedimento, de cada uma das 1000 plantas foram separadas as folhas, os grãos e o restante. Esse material foi seco em estufa a 60° C até peso constante.

Dessa forma foram determinados os parâmetros analisados neste trabalho: (a) Massa Total da Parte Aérea Seca; (b) Massa dos Grãos Secos; e (c) Massa das Folhas Secas. De posse da equação 3.1 foi determinado o quarto parâmetro: (d) Área Foliar.

O quinto parâmetro é a produção de 1,65 m² ao redor de cada tensiômetro, medida ao final do ciclo da cultura e calculadas em seguida as Produtividades

Relativas, considerando-se como referência a maior produtividade (DOURADO NETO, 1989).

A fim de auxiliar as avaliações, também foram retirados de DOURADO NETO (1989) o valor das cotas da superfície do solo que geraram a figura 8. Esses dados foram determinados retirando-se 25 cm de profundidade dos tensiômetros dos dados da tabela 1 da citada obra. Em seguida verificou-se o menor valor de cota. Essa cota foi definida como referência posicional atribuindo-lhe o valor 0 (zero). As demais foram recalculadas em função daquela.

Também com os mesmos objetivos anteriores, foram retirados de MORAES (1991) os valores da densidade global do solo, próximo a cada tensiômetro. A posição da coleta de cada amostra de solo está representada na figura 9 com o símbolo C.

Após uma prévia análise dos dados das plantas verificou-se que estes não apresentaram homogeneidade entre os 4 pontos ao redor de cada tensiômetro. Outro agravante foi a perda de alguns dos dados durante a armazenagem do material.

Em vista do exposto optou-se por calcular as médias dos parâmetros: Massa Total, Massa dos Grãos, Massa das Folhas e Área Foliar. Obteve-se assim uma quinta malha que denominamos GRIDMED.

MORAES, S.O. ESALQ. Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz". Comunicação pessoal, 1991.

É esta quinta malha, GRIDMED, que abordaremos mais enfaticamente nos reportando às malhas GRIDn (n = 1,2,3,e 4) quando necessário.

3.5. CARACTERIZAÇÃO DA CULTURA

A cultura instalada foi o feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.), cultivar Carioca, semente básica com 93 % de germinação, e 99,9 % de sementes puras, lote BSB-082/87 do Serviço de Produção de Semente Básica da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (SPSB/EMBRAPA), sediada em Brasília/DF.

3.6. PRÁTICAS AGRONÔMICAS

No dia 18 de fevereiro de 1988 coletou-se 45 amostras de solo para análises químicas, as quais foram encaminhadas ao Laboratório de Fertilidade do Instituto Agronômico de Campinas (IAC). Foram obtidos os seguintes resultados: 0,56 meq K^+ /100 cm³ de terra; 3,3 meq Ca^{2+} /100 cm³ de terra; 0,9 meq Mg^{2+} /100 cm³ de terra; 46 g P(resina)/cm³ de terra; 3 % de Matéria Orgânica; 3,4 meq ($H^+ + Al^{3+}$)/100 cm³ de terra; pH = 5,3 (CaCl₂); CTC = 8,2 meq/100 cm³ de terra; V% = 58 %; , indicando a não necessidade de adubação fosfatada e potássica, bem como de calagem.

Nos dias 22 a 26 de abril foram abertos os sulcos de semeadura manualmente. A semeadura foi feita, também manualmente, nos dias 2 e 3 de maio, com espaçamento entre linhas de 0,5 metros.

As adubações nitrogenadas em cobertura foram realizadas nos dias 7 e 29 de junho, na dosagem de 16 Kg N/ha utilizando uréia como fonte de nitrogênio.

A coleta das amostras da parte aérea das 1010 plantas foi feita nos dias 6 e 7 de julho.

A colheita final foi realizada em 16 de agosto nos locais de instalação dos tensiômetros com esquadro de madeira de 1,10 x 1,50 m, sendo 1,10 m ao longo da linha.

As medidas agronômicas para a condução da cultura tendo em vista sua fitossanidade bem como os equipamentos de irrigação e suas características encontram-se em DOURADO NETO (1989).

3.7. CONTROLE DA IRRIGAÇÃO

Além dos 250 tensiômetros componentes da malha, foram instalados na área 7 outros equipamentos a 15 cm de profundidade. Adotou-se irrigar sempre que 3 dos 7 tensiômetros acusassem potencial mátrico inferior a -500 cm de coluna de água. A quantidade de água reposta ao solo foi a diferença entre a umidade à base de volume, e a

capacidade de campo (determinada a -102 cm de coluna de água) da média derivada dos 3 tensiômetros com leitura inferior a -500 cm de coluna de água.

O cálculo da umidade foi feita através da curva característica da retenção da água pelo solo. A equação analítica utilizada foi a proposta por VAN GENUCHTEN (1980).

$$\theta = \theta_r + \frac{\theta_s - \theta_r}{\left[1 + \alpha(|\psi|)^m\right]^n} \quad \text{..... (3.2)}$$

onde θ é a umidade atual (cm³/cm³)
 θ_r é a umidade residual (cm³/cm³)
 θ_s é a umidade de saturação (cm³/cm³)
 $|\psi|$ é o valor abs. do pot. mátrico (cm água)
 α, n, m são valores empíricos

A lâmina de irrigação foi calculada pela expressão (3.3):

$$LI = \frac{\theta_{102} - \theta}{EI} \cdot z_o \quad \text{..... (3.3)}$$

onde LI é a lâmina de irrigação (mm)
 θ_{102} é a umidade à base de volume na capacidade de campo (potencial matricial: -102cm coluna de água). cm³/cm³
 θ é a umidade à base de volume atual. cm³/cm³
EI é a eficiência da irrigação. (80 %)
 z_o é a profundidade efetiva do sistema radicular (25 cm)

3.8. MOMENTOS ESTATÍSTICOS DOS PARÂMETROS ESTUDADOS

Os momentos estatísticos foram elaborados com os softwares GEO-EAS versão 1.1. (Geostatistical Environmental Assessment Software), STATGRAPHICS versão 2.6 e LOTUS 123, instalados no hardware IBM-PC/AT da Área de Solos da Fundação Instituto Agrônômico do Paraná (ASO/IAPAR).

Para cada um dos 5 parâmetros principais e o parâmetro auxiliar Densidade Global, calcularam-se: (a) Média; (b) Mediana; (c) Moda; (d) Variância; (e) Desvio Padrão; (f) Erro Padrão da Média; (g) Valores Máximos e Mínimos; (h) Coeficiente de Assimetria (Skewness); (i) Coeficiente de Curtose; (j) Coeficiente de Variação dos dados; (k) Teste de Qui-quadrado; (l) Intervalos de Confiança a 95 % e 99 % de Probabilidade; e (m) Número Mínimo de Amostras para estimar a Média com confiabilidade de 95 % e 99 %, tolerando uma variação em torno da média de 10 %.

Foram também elaborados os gráficos de distribuição de frequência absoluta, com 9 classes de frequência segundo o critério de Sturges (equações 2.10 e 2.11), e gráficos de probabilidade acumulada em papel aritmético-probabilístico (retas de Henry).

Com o objetivo de fazer comparações visuais entre as posições espaciais dos valores dos diversos

parâmetros e malhas, na área experimental, o software GEO-EAS, a partir dos momentos estatísticos subdividiu os 250 dados de cada malha nos 4 quartis, locando-os numa figura. O sinal negativo no eixo EASTING (direção NE-SW) aparece em função da indexação das variáveis posicionais (northing e easting). Com essa alteração a figura reproduz as posições idênticas ao que se encontra na área.

3.9. CORRELAÇÃO ENTRE OS PARÂMETROS ESTUDADOS

Através do software GEO-EAS fez-se correlações, supostamente lineares, entre os parâmetros estudados dentro de uma mesma malha. Com esse procedimento buscou-se conhecer a interdependência entre as variáveis.

3.10. PARÂMETROS GEOESTATÍSTICOS

A função semivariância foi calculada para todas as direções com o objetivo de perceber a presença de dependência espacial dos dados para os cinco parâmetros. Em seguida buscou-se a presença de anisotropia na área, ou seja variações espaciais com diferentes intensidades conforme a direção tomada para estudo, para os mesmos parâmetros estudados. Para tanto calculou-se a função semivariância para 4 diferentes direções conforme figura 11.

A figura 12 mostra as características

técnicas de operação do programa VARIO.EXE, parte integrante do software GEO-EAS, que calcula a função semivariância.

FIGURA 11 . Representação esquemática do cálculo da função semivariância visando a determinação da anisotropia. Em todos os casos a banda máxima foi considerada infinita.

(α) é o ângulo de direção tomado para o cálculo;
(β) é o ângulo de tolerância admitido e (bm) é a banda máxima admitida.

FIGURA 12 . Representação da característica técnica de cálculo da função semivariância pelo software GEOEAS versão 1.1.

Devido a um problema no programa de cálculo da função semivariância, anunciado pelos autores, quando da ocorrência de dados perdidos, houve a necessidade do cancelamento destes, eliminando-os dos arquivos. O procedimento foi eliminar todo o registro incluindo as coordenadas de posição do dado perdido.

Pelas figuras 11 e 12 pode-se facilmente compreender a estrutura empregada para o cálculo da função semivariância. Em todos os casos a banda máxima (bm) não foi definida, instrução que o software interpreta como sendo a banda máxima igual ao ângulo de tolerância, isto é, a rigor passam a existir apenas os ângulos de direção e o de tolerância.

De acordo com o exposto para se calcular a função semivariância para todas as direções pode ser tomado qualquer ângulo de direção entre $[0^\circ, 180^\circ]$, imposto pelo software, desde que o ângulo de tolerância seja de 90° , e não seja definida nenhum valor para a banda máxima. No nosso caso foram adotados os valores para os ângulos de direção e tolerância, respectivamente, 90° e 90° .

Para a determinação da anisotropia, a função semivariância foi calculada para os ângulos de direção 1° , 45° , 90° , 135° , e 179° ; com $22,5^\circ$ de tolerância. Os valores 1° e 179° foram definidos apenas por simetria, pois o software não admite o valor de 180° para o ângulo de direção.

Em seguida foram confeccionados os gráficos, denominados semivariogramas, em que na abcissa se encontra os valores da distância em metros e na ordenada são plotados os valores da função semivariância para cada "lag" médio. Observa-se que os valores dos "lags" são apresentados em unidades de distância.

Na hipótese de o semivariograma apresentar algum indício de estrutura, procurou-se definir o alcance que cada amostra representa, ou de outra maneira, qual a dependência espacial média dos dados em estudo, seja para todas as direções ou para alguma componente de direção. O alcance foi definido de acordo com a literatura como sendo o ponto na abcissa onde a função semivariância atinge seu patamar.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. CONSIDERAÇÕES SOBRE A METODOLOGIA ADOTADA

A escolha do parâmetro área foliar, ao invés do índice de Área Foliar (OMETTO, 1981; LUCCHESI, 1987) mais comumente utilizado, deveu-se à facilidade de obtenção do primeiro. Entretanto, o objetivo não é a comparação de diferentes cultivares, onde seria mais coerente a utilização do IAF, tendo em vista, que neste índice está embutida a arquitetura da planta.

Com o intuito de verificar o comportamento de um mesmo cultivar, numa unidade de solo, o parâmetro Área Foliar, puro, sem relacioná-lo com a área da superfície do solo disponível às plantas, parece adequado, pois sendo a arquitetura da planta função da carga genética que tenham as sementes, e sendo estas garantidas com 99,9 % de pureza, é de se supor que o IAF aumentará proporcionalmente com o acréscimo da área foliar, até um determinado valor máximo, a partir do qual, mesmo que o índice aumente, a taxa fotossintética média permanecerá a mesma, devido ao auto-sombreamento das folhas. Num mesmo cultivar todas as plantas devem ter comportamento semelhante.

Como não houve condição de determinar a área

foliar com o integrador, optou-se pelo método de estimativa da área à partir de sua massa. Apresenta a necessidade da suposição de que a massa média por unidade de área seja a mesma, isto é mesmos pesos relativos das folhas com idades fisiológicas diferentes, o que leva a uma taxa fotossintética média por unidade de superfície foliar constante na área experimental.

Toda a discussão versará sob essa imposição. Ela, entretanto parece válida, pois no IAF, a mesma imposição está implícita, já que também não leva em conta o autossombreamento, nem a idade das folhas. Perde-se na metodologia adotada em relação ao IAF uma referência da densidade de cobertura do solo.

Com relação à heterogeneidade da densidade populacional o cultivar Carioca, é do tipo III e, conforme MODA-CIRINO (1989), possui grande capacidade de compensação com o desenvolvimento de ramos laterais ocupando os espaços vazios em busca de luz.

A utilização da média das quatro plantas mais próximas a um mesmo tensiômetro, para formar o valor de uma amostra, é explicada em função da grande heterogeneidade desses conjuntos de quatro dados. A tabela 5 mostra parte dos dados, e pode-se observar a heterogeneidade mencionada. A metodologia utilizada afigura-se como válida, porque a produção final, que em última instância, é o que interessa do ponto de vista econômico, promove uma homogeneização

ignorando se a planta ao lado produziu mais, ou menos. Do ponto de vista estatístico a validade dessa média é duvidosa, em decorrência de uma condição imposta que sobrepuja o estudo que será executado. Por outro lado, do

TABELA 5. Parte dos dados originais, demonstrando a alta variabilidade dos mesmos entre as 4 amostras próximas a um mesmo tensiômetro.

MASSA TOTAL DA PARTE AEREA SECA (g)							MASSA DAS FOLHAS SECAS (g)					
AM.	GRID1	GRID2	GRID3	GRID4	MEDIA	C.V.	GRID1	GRID2	GRID3	GRID4	MEDIA	C.V.
133	7.58	11.44	10.60	12.24	10.46	16.85	2.16	3.04	3.19	3.21	2.90	14.91
134	7.07	7.91	5.87	13.65	8.63	34.67	1.78	2.28	1.55	3.08	2.17	27.00
135	13.20	13.91	13.03	9.11	12.31	15.25	3.20	4.00	2.90	1.80	2.98	26.51
136	15.44	14.97	11.81	7.82	12.51	24.35	3.68	3.03	2.74	1.67	2.78	26.10
137	16.08	12.19	7.10	7.62	10.75	34.06	3.32	3.22		2.11	2.88	19.02
138	14.08	10.34	11.23	12.65	12.08	11.77		2.30	2.88	2.83	2.67	9.83
139	10.58	11.75	11.57	12.08	11.50	4.86	2.31	3.21	2.91	3.46	2.97	14.44
140	14.52	20.92	9.99	11.91	14.34	28.80	3.71	5.27	2.77	3.33	3.77	24.62
141	16.85	4.61	8.82	7.90	9.55	47.13	3.61	1.66	2.07	1.87	2.30	33.38
142	7.95	12.50	9.08	6.88	9.10	23.18		2.90	2.17	1.72	2.26	21.48
143	7.07	8.50	18.86	14.28	12.18	38.67	1.70	1.96	4.77	4.17	3.15	42.54

MASSA DOS GRAOS SECOS (g)							AREA FOLIAR (cm ²)					
AM.	GRID1	GRID2	GRID3	GRID4	MEDIA	C.V.	GRID1	GRID2	GRID3	GRID4	MEDIA	C.V.
133	3.06	3.19	2.91	4.32	3.37	16.54	433.49	614.11	644.90	649.00	585.38	15.16
134	3.06	3.74	2.75	5.42	3.74	27.59	355.50	458.12	308.29	622.32	436.06	27.61
135	5.15	2.90	2.77	2.65	3.37	30.67	646.95	811.15	585.38	359.60	600.77	26.94
136	2.91	4.64	4.58	1.32	3.36	40.70	745.47	612.06	552.54	332.92	560.75	26.56
137	6.49	5.81		2.93	5.08	30.40	671.58	651.06		423.23	581.95	19.34
138		4.90	3.76	3.46	4.04	15.35		462.22	581.27	571.01	538.17	10.01
139	3.89	1.96	4.02	5.08	3.74	30.11	464.28	649.00	587.43	700.31	600.26	14.68
140	5.68	8.91	1.79	2.59	4.74	59.26	751.63	1071.82	558.69	673.63	763.94	24.94
141	4.18	1.79	2.16	0.86	2.25	53.93	731.10	330.87	415.02	373.97	462.74	34.10
142		6.28	4.00	2.35	4.21	38.27		585.38	435.54	343.18	454.70	21.95
143	2.87	3.59	7.48	1.88	3.96	53.70	339.08	392.44	969.19	846.04	636.69	43.20

ponto de vista prático com a finalidade de comparar as variáveis em diferentes regiões da unidade de solo a imposição parece razoável.

4.2. OBSERVAÇÃO DOS DADOS NA PERSPECTIVA DA ESTATÍSTICA CLÁSSICA

As tabelas 6 a 10 apresentam os momentos estatísticos, para as cinco malhas, das variáveis analisadas, respectivamente: massa total da parte aérea, massa dos grãos, massa das folhas, área foliar, produção relativa, e a densidade global do solo.

Os histogramas de frequência absoluta das variáveis acima são mostrados nas figuras (13 a 18). Nota-se que esses histogramas referem-se à malha cujos valores são a médias de quatro plantas.

Para facilitar a comunicação será denominada "gridmédio" à essa malha de valores médios; "grid1" à malha cujos valores estão na posição P1 (figura 9); "grid2" à malha com valores em P2, e assim por diante para "grid3" e "grid4".

Observando as tabelas 6 a 9, vemos que a média produzida pela homogeneização "gridmédio", não diferiu significativamente do conjunto de médias das outras quatro malhas, o que pode ser comprovado pelos intervalos de confiança de todas as cinco malhas, que apresentam valores

TABELA 6. Momentos Estatísticos da variável Massa Total

PARAMETRO ESTATISTICO	GRID 1	GRID 2	GRID 3	GRID 4	GRID MEDIO
MEDIA	8.891	9.374	9.424	8.713	9.101
VARIANCIA	19.320	21.603	22.533	16.031	10.508
DESV. PADRAO	4.395	4.648	4.747	4.004	3.242
COEF. VAR. %	49.438	49.580	50.370	45.955	35.621
MEDIANA	8.295	9.220	8.795	8.345	9.335
MINIMO	0.170	0.670	0.860	0.630	1.060
MAXIMO	23.100	26.410	29.810	20.830	19.640
INT. CONF. 95%	0.545	0.576	0.588	0.496	0.402
INT. CONF. 99%	0.717	0.758	0.775	0.653	0.529
MODA	7.280	8.000	8.020	3.060	9.380
ER. PADR. (MEDIA)	0.278	0.294	0.300	0.253	0.205
QUI-QUADRADO	15.838	22.046	159.003	6.440	6.406
NUMERO MIN. 95%	94	94	97	81	49
NUMERO MIN. 99%	163	164	169	141	84
SIMETRIA	0.494	0.599	1.104	0.341	0.047
CURTOSE	2.813	3.463	5.057	2.772	2.871

TABELA 7. Momentos Estatísticos da variável Massa dos Grãos

PARAMETRO ESTATISTICO	GRID 1	GRID 2	GRID 3	GRID 4	GRID MEDIO
MEDIA	3.576	3.783	3.666	3.339	3.579
VARIANCIA	3.007	3.742	3.839	2.907	1.571
DESV. PADRAO	1.734	1.934	1.959	1.705	1.254
COEF. VAR. %	48.492	51.136	53.449	50.304	35.024
MEDIANA	3.460	3.640	3.525	3.285	3.470
MINIMO	0.060	0.050	0.110	0.050	0.330
MAXIMO	8.780	11.030	13.230	8.600	7.700
INT. CONF. 95%	0.221	0.251	0.255	0.221	0.155
INT. CONF. 99%	0.291	0.330	0.336	0.291	0.205
MODA	2.450	4.080	2.350	3.510	2.910
ER. PADR. (MEDIA)	0.113	0.128	0.130	0.113	0.079
QUI-QUADRADO	8.949	32.575	1585.284	10.934	3.989
NUMERO MIN. 95%	90	100	110	97	47
NUMERO MIN. 99%	157	174	190	168	82
SIMETRIA	0.389	0.613	1.225	0.418	0.196
CURTOSE	2.686	3.601	6.341	2.839	3.190

TABELA 8. Momentos Estatísticos da variável Massa das Folhas

PARAMETRO ESTATISTICO	GRID 1	GRID 2	GRID 3	GRID 4	GRID MEDIO
MEDIA	2.130	2.219	2.177	2.101	2.145
VARIANCIA	1.279	1.501	1.538	1.178	0.832
DESV. PADRAO	1.131	1.225	1.240	1.085	0.912
COEF. VAR. %	53.099	55.212	56.957	51.648	42.515
MEDIANA	2.000	2.040	2.070	1.990	2.165
MINIMO	0.060	0.150	0.200	0.180	0.240
MAXIMO	6.640	6.380	6.980	5.810	5.170
INT. CONF. 95%	0.144	0.159	0.162	0.141	0.113
INT. CONF. 99%	0.190	0.209	0.213	0.185	0.149
MODA	1.410	1.860	2.090	1.720	1.150
ER. PADR. (MEDIA)	0.074	0.081	0.082	0.072	0.058
QUI-QUADRADO	63.712	19.158	106.421	15.057	21.235
NUMERO MIN. 95%	108	117	125	102	69
NUMERO MIN. 99%	188	203	216	178	120
SIMETRIA	0.769	0.637	1.151	0.580	0.261
CURTUSE	3.832	3.037	4.950	3.001	2.823

TABELA 9. Momentos Estatísticos da variável Área Foliar

PARAMETRO ESTATISTICO	GRID 1	GRID 2	GRID 3	GRID 4	GRID MEDIO
MEDIA	427.273	445.550	437.051	421.439	430.318
VARIANCIA	53872.790	63217.430	64790.420	49618.250	35040.570
DESV. PADRAO	232.105	251.431	254.540	222.752	187.191
COEF. VAR. %	54.322	56.432	58.240	52.855	43.501
MEDIANA	400.650	408.860	415.020	398.600	434.260
MINIMO	2.470	20.940	31.200	27.100	38.380
MAXIMO	1353.010	1299.650	1422.800	1182.650	1051.810
INT. CONF. 95%	29.613	32.565	33.186	28.914	23.204
INT. CONF. 99%	38.981	42.867	43.684	38.060	30.545
MODA	279.550	371.920	419.120	343.180	538.170
ER. PADR. (MEDIA)	15.109	16.615	16.932	14.752	11.839
QUI-QUADRADO	62.903	21.626	104.933	13.337	93.812
NUMERO MIN. 95%	113	122	130	107	73
NUMERO MIN. 99%	196	212	226	186	126
SIMETRIA	0.769	0.637	1.151	0.580	0.261
CURTUSE	3.832	3.037	4.950	3.001	2.822

TABELA 10. Momentos Estatísticos das variáveis Produção Relativa e Densidade Global do Solo.

PARAM. ESTAT.	PRODUCAO RELATIVA	DENSIDADE GLOBAL
MEDIA	53.972	1.490
VARIANCIA	429.280	0.005
DESV.PADRAO	20.719	0.071
COEF.VAR.%	38.389	4.773
MEDIANA	56.000	1.490
MINIMO	7.000	1.270
MAXIMO	100.000	1.730
INT.CONF. 95%	2.568	0.009
INT.CONF. 99%	3.381	0.012
MODA	71.000	1.500
ER.PADR.(MEDIA)	1.318	0.004
QUI-QUADRADO	93.812	48.080
NUMERO MIN. 95%	57	1
NUMERO MIN. 99%	98	2
SIMETRIA	0.207	0.367
CURTOSE	2.270	4.320

FIGURA 13. Histograma de frequência absoluta da variável massa total da malha "gridmédio".

FIGURA 14. Histograma de frequência absoluta da variável massa dos grãos da malha "gridmédio".

FIGURA 15. Histograma de frequência absoluta da variável massa das folhas da malha "gridmédio".

FIGURA 16. Histograma de frequência absoluta da variável área foliar da malha "gridmédio".

FIGURA 17. Histograma de frequência absoluta da variável produção relativa.

FIGURA 18. Histograma de frequência absoluta da variável densidade global do solo.

comuns. Cabe ressaltar que nas tabelas 6 a 10, o parâmetro estatístico INT.CONF. 95 % e INT.CONF. 99 % refere-se à parte $t_{\alpha} s(x)$ (equação 2.16), com $\alpha = 95\%$ e 99% , que deve ser subtraída da média para obter o limite inferior do intervalo de confiança e; acrescido à média para o limite superior.

A transformação das quatro malhas à "gridmédio" homogeneizou os dados como pode ser visto nas tabelas 6 a 9 pela redução da variância, conseqüentemente do desvio padrão e do coeficiente de variação que apresentam valores altos, de 35 a 43 %, para todas as variáveis de planta, incluindo a produção relativa, 38 %. As malhas particularizadas apresentam coeficientes de variação no intervalo de 46 a 58 %. O maior coeficiente de variação foi manifestado pela massa das folhas (tabela 8). Evidentemente a área foliar (tabela 9) também apresenta um coeficiente da mesma ordem de grandeza, pois deriva da anterior. O leve acréscimo no coeficiente de variação da área foliar provavelmente deve-se à propagação dos erros. É provável que a grande variabilidade da massa das folhas seja em parte decorrência da queda das folhas inferiores, pois sendo este cultivar do tipo III, apresenta crescimento indeterminado, continuando seu desenvolvimento vegetativo após o início do florescimento, e a maturação das vagens não uniforme, logo as folhas inferiores, mais velhas, tendo completado seu ciclo tendem a cair, após translocação dos metabólitos.

A massa dos grãos (tabela 7), com estes ainda em formação, com massa em processo de acumulação, apresentam menor variabilidade.

Quanto à massa total, é provável que o coeficiente de variação apresente valor inferior ao da massa das folhas, devido ao fato de a primeira ser mais conservativo, tendo em vista a pequena contribuição da massa da folha que cai em relação à massa total da planta, pelo fato de ter havido o translocamento de assimilados daquela aos outros componentes do sistema dreno-fonte (PORTES, 1988).

As figuras 13 a 17, histogramas de distribuição de frequência, reforçam a análise acima. Todas as variáveis apresentaram histogramas com bases largas indicando grande amplitude de valores, que pode ser comprovado pelo já mencionado coeficiente de variação e pelos valores máximos e mínimos. As médias, as medianas e as modas, exibem valores bastante semelhantes, que podem ser comprovados pelas tabelas 6 a 10 e figuras 13 a 17 (nas quais a média está representada por um (x) e a mediana (!) no interior do retângulo acima do gráfico), indicando que as distribuições têm alguma tendência a simetria. Esse fato não se verifica com a variável massa total na malha "grid4", que manifesta um valor para a moda bastante discrepante da média e da mediana, que têm valores semelhantes.

Para avaliar a tendência da curva quanto à

normalidade, as figuras 19 a 24, mostram as denominadas retas de Henry, onde são locadas em papel aritmético-probabilístico as probabilidades acumuladas. Os valores do teste qui-quadrado e dos coeficientes de assimetria e curtose encontram-se nas tabelas 6 a 10.

As figuras 19 e 20 retratam o comportamento das variáveis massa total e massa dos grãos para a malha "gridmédio", mostrando uma tendência mais acentuada à normalidade. Isso pode ser confirmado pelas tabelas 6 a 10, já que são esses parâmetros que apresentam menores valores para o teste de qui-quadrado, inferiores aos tabelados à 95 % e 99 %, respectivamente 12,59 e 16,81, isto é com uma probabilidade de erro inferior a essas percentagens. Os valores dos coeficientes de assimetria apontam para uma distribuição quase simétrica, segundo a tabela 1. Como esses valores são positivos essa leve assimetria é à direita (tabela 2 e figura 1). Os coeficientes de curtose revelaram para a massa total um achatamento um pouco menor que para a massa de grãos.

Para as variáveis massa das folhas logo, também, para a área foliar, percebe-se que aparentemente a distribuição de frequências afasta-se um pouco da normal, quando comparada com as duas variáveis anteriores, que pode ser confirmado pelas oscilações das probabilidades acumuladas, no papel aritmético-probabilístico, das figuras 29 e 22. Os valores do qui-quadrado apontam para

FIGURA 19. Reta de Henry para a variável massa total da malha "gridmédio".

FIGURA 20. Reta de Henry para a variável massa dos grãos da malha "gridmédio".

FIGURA 21. Reta de Henry para a variável massa das folhas da malha "gridmédio".

FIGURA 22. Reta de Henry para a variável área foliar da malha "gridmédio".

FIGURA 23. Reta de Henry para a variável produção relativa.

FIGURA 24. Reta de Henry para a variável densidade global do solo.

a rejeição da hipótese da normalidade dos dados, enquanto os valores dos coeficientes de assimetria e curtose mostram uma quase simetria, e um achatamento próximo à normal, numa grandeza bastante semelhante ao apresentado pela massa total. Provavelmente a rejeição do teste de qui-quadrado deve-se a uma concentração inexplicada de eventos na segunda classe de frequência. O número de eventos esperados seria menor, gerando um grande valor de qui-quadrado para aquela classe de frequência.

A produção relativa conforme mostra a figura 17 sugere uma distribuição denominada bi-modal por existirem duas classes de frequência que se destacam pelo número de eventos nelas contidos. Da análise dos dados originais percebe-se que os eventos que mais se repetem são 71 % (48 ocorrências) e 45 % (33 ocorrências). Este fato não pôde ser explicado pela mudança de domínio da variável. O valor do teste de qui-quadrado se afastou bastante dos limites teóricos, concordando com a reta de Henry (figura 23) e embora o coeficiente de assimetria aponte para uma distribuição quase simétrica, o coeficiente de curtose distanciou-se da curva teórica normal. O grau de achatamento revelou-se relativamente grande.

A densidade global, ao contrário revelou um coeficiente de curtose que sugere para uma distribuição de frequências em que os valores se concentram em torno das medidas de tendência central. É o que pode ser comprovado

pela figura 18 , e um coeficiente de variação inferior a 5 % (tabela 9).

Numa abordagem geral nota-se pelas tabelas 6 a 9 que da mesma maneira que o artifício de estruturar a malha "gridmédio" reduziu as variações dos dados, diminuindo o coeficiente de variação, esse arranjo de dados também induziu-os a uma maior "normalização", pois nota-se que o coeficiente de assimetria aproximou-se de zero em todos os casos, bem como o coeficiente de curtose aproximou-se do valor 3.

Verificando as malhas individualizadas observa-se uma tendência geral da assimetria ser à direita (figura 1), exemplificada pelas variáveis massa de folhas da malha "grid1", figura 25 ; massa total da malha "grid3", figura 26 ; e massa de grãos da malha "grid4", figura 27 . Isto significa uma maior concentração de dados com valores mais baixos.

Uma ocorrência não explicada foi o caso da malha "grid3" que mais tendeu a se afastar da normalidade, com maiores valores no teste de qui-quadrado, com os coeficientes de assimetria apontando para uma distribuição pronunciadamente assimétrica, segundo a tabela 1, e com grandes valores de coeficiente de curtose. Um exemplo é mostrado na figura 26 . Para esta malha embora os valores do coeficiente de curtose sejam grandes, o coeficiente de variação é alto, provavelmente em função da assimetria

FIGURA 25. Histograma de frequência absoluta da variável massa de folhas da malha "grid1".

FIGURA 26. Histograma de frequência absoluta da variável massa total da malha "grid3".

FIGURA 27. Histograma de frequência absoluta da variável massa dos grãos da malha "grid4".

Esses comentários tecidos sobre a variabilidade dos dados de variáveis de planta estão de acordo com PREVEDELLO (1987), cuja variação para nutrientes em tecidos de arroz foi de 20 - 35 % para variáveis de produção na ordem de 20 - 40 %.

Buscando uma explicação para a alta variabilidade dos dados encontrados verificamos em DOURADO NETO (1988) que a variação no potencial mátrico da água do solo, durante o mesmo ciclo de cultura esteve na ordem de 50 - 100 %, além de a irrigação não ser uniforme em toda a área (figura 10), com regiões não-irrigadas e

sub-irrigadas. Aliando-se a variabilidade dos fatores químicos do solo que PREVEDELLO (1987), em outro instante, avaliou em 10 - 30 %, pode-se considerar que a heterogeneidade dos valores encontrados seja consistente.

De acordo com o exposto, as variáveis não apresentaram uma clara tendência à normalidade exceto a massa total e massa de grãos da malha, "gridmédio" e alguma variável de outra malha esporadicamente.

Embora com a validade duvidosa, efetuou-se o cálculo do número de amostras necessárias para estimar a média com 95 e 99 % de probabilidade e 10 % de variação admitida em torno da média (equação 2.17). Supôs-se que os pré-requisitos expressos em PIMENTEL GOMES (1987) estivessem aproximadamente satisfeitos.

Os resultados encontram-se nas tabelas 6 a 10. Para as variáveis de planta da malha "gridmédio" esse número situou-se entre 47 a 73 amostras para 95 % de confiabilidade e 82 a 126 amostras para 99 %. A produção relativa necessita de 57 e 98 amostras para os graus de confiabilidade anteriores. Com relação à densidade global, com a alta concentração de dados em torno da média com baixo coeficiente de variação o número para representar a área é mínimo, 1 e 2 respectivamente para os mesmos graus de probabilidade.

Como a variabilidade das variáveis nas malhas individualizadas é maior, necessitam evidentemente de maior

número de amostras para a estimativa das médias.

As figuras 28 a 33 apresentam algumas regressões lineares entre as variáveis da malha "gridmédio", incluindo a produção relativa e a densidade global do solo. A tabela 11 resume as correlações apresentando os respectivos coeficientes. Como pode-se perceber a melhor correlação ocorre entre a massa das folhas das plantas e a massa total da mesma (figura 29). O coeficiente da correlação, igual a 1.0, entre a massa das folhas e a área foliar, é evidente, decorre de esta derivar daquela pela equação (3.1).

Com relação à produção relativa a variável que melhor se correlacionou foi a massa das folhas, também a área foliar, que é uma estimativa, grosseira, da atividade fotossintética da planta. A pior correlação foi com a massa de grãos e aqui cabe uma suposição fisiológica.

O fato de a massa dos grãos na época da coleta das amostras não se correlacionar com a produção final, aparentemente, pode estar ligado à lenta translocação de fotoassimilados. Essa não se dá diretamente da folha à semente. Como o cultivar é de crescimento indeterminado boa parte dos fotoassimilados ficaria retido nas folhas jovens, de acordo com PORTES (1988). Outra parte desses fotossintetizados ainda não seria carregada aos grãos por estar temporariamente retida nas vagens. Dessa forma, o material que seria translocado aos grãos ainda estaria nos

FIGURA 28. Regressão linear entre as variáveis massa total e massa dos grãos da malha "gridmédio".

FIGURA 29. Regressão linear entre as variáveis massa total e massa das folhas da malha "gridmédio".

FIGURA 30. Regressão linear entre as variáveis massa total e produção relativa da malha "gridmédio".

FIGURA 31. Regressão linear entre as variáveis massa dos grãos e produção relativa da malha "gridmédio".

FIGURA 32. Regressão linear entre as variáveis massa das folhas e produção relativa da malha "gridmédio".

FIGURA 33. Regressão linear entre as variáveis massa total e densidade global do solo da malha "gridmédio".

processos de fotoassimilação e transporte no momento em que se procedeu a coleta das amostras.

Talvez a relação entre o número de grãos potencialmente produtivos, Variável não determinada neste trabalho, e a produção final apresentassem melhor correlação, pois a massa final dos grãos é relativamente constante.

As figuras 33 a 35 mostram que a densidade global não se correlaciona linearmente com nenhuma das variáveis de planta.

FIGURA 34 . Regressão linear entre as variáveis massa das folhas e densidade global do solo da malha "gridmédio".

FIGURA 35. Regressão linear entre as variáveis produção relativa e densidade global do solo.

FIGURA 36. Regressão linear entre as variáveis massa total e massa das folhas da malha "grid1".

FIGURA 37. Regressão linear entre as variáveis massa dos grãos e massa das folhas da malha "grid3".

FIGURA 38. Regressão linear entre as variáveis massa total e massa dos grãos da malha "grid4".

FIGURA 39. Regressão linear entre as variáveis massa dos grãos e produção relativa da malha "grid1".

FIGURA 40. Regressão linear entre as variáveis área foliar e produção relativa da malha "grid1".

TABELA 11. Coeficientes de correlação entre as variáveis da malha "gridmédio".

	MASSA TOTAL	MASSA GRAOS	MASSA FOLHAS	AREA FOLIAR	PROD.RELAT.	DENS.GLOBAL
MASSA TOTAL	XX					
MASSA GRAOS	0.782	XX				
MASSA FOLHAS	0.898	0.640	XX			
AREA FOLIAR	0.898	0.641	1.000	XX		
PROD.RELAT.	0.562	0.333	0.666	0.666	XX	
DENS.GLOBAL	1.0 (*)	1.0 (*)	0.014	0.014	1.0 (*)	XXXXXXXXXXXXXXXXXXXX

As representações gráficas encontram-se nas figuras 28 a 33 . O (*) indica que embora o coeficiente seja igual a 1 não existe correlação.

Quando relaciona-se as variáveis das malhas individualizadas entre si melhora-se as correlações, por tratarem-se das mesmas plantas. Entretanto essa melhora é pouco significativa. As figuras 36 e 37 ilustram essas correlações. A figura 38 mostra um caso inverso, onde o coeficiente de correlação entre massa total e de grãos para a malha "grid4" individualizada é inferior que o apresentado na malha "gridmédio". A correlação das variáveis de planta com a produção relativa perde consistência em função da variabilidade dos pontos próximos (figuras 39 e 40).

A distribuição dos dados segundo os quartis, na área indicam uma não aleatoriedade espacial dos dados, isto é, dados pertencentes a um mesmo quartil tendem a situar-se em locais próximos. Aparentemente, segundo as figuras 41 a 44 a direção Norte-Sul (figura 9) a

começar pelo ponto (0,0) é privilegiada, pois apresenta os maiores valores de massa total, e massa de folhas - área foliar - gerando um bom desempenho na produção relativa. A massa de grãos (figura 42), conforme já foi exaustivamente discutido, apresentou a maior aleatoriedade. Para as malhas individualizadas o mesmo é observado (figuras 47 e 48).

As razões desse desempenho pode em parte ser explicado pelas figuras 45 e 46. A figura 46 representa a distribuição da densidade global do solo segundo seus quartis na área experimental. A figura 45 é a representação das cotas do terreno (figura 8).

Pela figura 46 percebe-se uma zona de "alta" densidade na região do ponto (0,-45). Nesse local, relativamente alto, devido ao manejo do solo, ocorre o afloramento do horizonte Bt do solo, apresentando-se compactado. As leituras tensiométricas nessa região apresentavam-se particularmente altas, indicando baixa umidade. Além disso essa é uma região não irrigada ou sub-irrigada. As outras com baixa produção normalmente, ou também estão vinculadas à não-irrigação/sub-irrigação, ou ao deflúvio superficial. Dessa maneira devido ao microrelevo, áreas pouco irrigadas podem receber água por escoamento superficial, elevando seu potencial produtivo. Observando-se a figura 44, entretanto, percebe-se que para a produção final as regiões irrigadas foram as que apresentaram melhor desempenho.

1o. Quartil	1.060	< + <	6.765
2o. Quartil	6.765	< x <	9.335
3o. Quartil	9.335	< □ <	11.340
4o. Quartil	11.340	< * <	19.640

FIGURA 41. Distribuição dos valores, divididos em quartis, da variável massa total da malha "gridmédio".

1o. Quartil	0.330	< + <	2.720
2o. Quartil	2.720	< x <	3.470
3o. Quartil	3.470	< □ <	4.365
4o. Quartil	4.365	< * <	7.700

FIGURA 42. Distribuição dos valores, divididos em quartis, da variável massa dos grãos da malha "gridmédio".

1o. Quartil	0.240	< + <	1.340
2o. Quartil	1.340	< x <	2.165
3o. Quartil	2.165	< □ <	2.830
4o. Quartil	2.830	< * <	5.170

FIGURA 43. Distribuição dos valores, divididos em quartis, da variável massa das folhas da malha "gridmédio".

1o. Quartil	7.000	< + <	40.000
2o. Quartil	40.000	< x <	56.000
3o. Quartil	56.000	< □ <	71.000
4o. Quartil	71.000	< * <	100.000

FIGURA 44. Distribuição dos valores, divididos em quartis, da variável produção relativa.

10. Quartil	0.000	< + <	1.340
20. Quartil	1.340	< x <	1.760
30. Quartil	1.760	< □ <	1.870
40. Quartil	1.870	< * <	2.080

FIGURA 45. Distribuição dos valores, divididos em quartis, da variável cota.

10. Quartil	1.270	< + <	1.450
20. Quartil	1.450	< x <	1.490
30. Quartil	1.490	< □ <	1.530
40. Quartil	1.530	< * <	1.730

FIGURA 46. Distribuição dos valores, divididos em quartis, da variável densidade global do solo.

10. Quartil	0.170	< + <	5.455
20. Quartil	5.455	< x <	8.295
30. Quartil	8.295	< □ <	12.060
40. Quartil	12.060	< * <	23.100

FIGURA 47. Distribuição dos valores, divididos em quartis, da variável massa total da malha "grid1".

10. Quartil	0.150	< + <	1.185
20. Quartil	1.185	< x <	2.040
30. Quartil	2.040	< □ <	3.030
40. Quartil	3.030	< * <	6.380

FIGURA 48. Distribuição dos valores, divididos em quartis, da variável massa das folhas da malha "grid2".

4.3. OBSERVAÇÃO DOS DADOS NA PERSPECTIVA DA GEOESTATÍSTICA

Até este ponto da discussão as variáveis foram supostas independentes, satisfazendo aproximadamente os pré-requisitos básicos da estatística clássica, com o objetivo de aplicar seus conceitos (equação 2.2). (PIMENTEL GOMES, 1987).

Constatado, no entanto, que esses pressupostos, aparentemente, de maneira geral não foram satisfeitos e que a distribuição espacial dos dados na área, apresentaram uma tendência de se localizarem próximos a seus pares de mesma grandeza, essas mesmas variáveis passarão a serem supostas como regionalizadas (equação 2.18), isto é a variação em torno da média, esperada, tem uma componente aleatória e uma componente de dependência espacial.

Como descrito anteriormente, a geoestatística apresenta uma metodologia para estudar essa dependência espacial: a função semivariância, ou sua representação gráfica, o semivariograma. Neste trabalho optou-se por enfatizar o semivariograma sem estabelecer modelos precisos. O autor acredita que, mesmo não formalizando esses modelos matemáticos, é possível manter o rigor analítico.

As figuras 49 a 53 apresentam os semivariogramas, das variáveis da malha "gridmédio", incluindo a produção relativa para todas as direções, ou

seja, ângulo de direção de 90° e tolerância de 90° . Observa-se que, exceto a variável massa de grãos (figura 50), apresentam tendência a estrutura, com um patamar mais, ou menos, definido. A variável massa de grãos aparentemente indica efeito pepita puro. Esse fato também é confirmado nos semivariogramas das malhas individualizadas, exemplificados nas figuras 54 e 59. Essa constatação reforça a suposição no item anterior, de que as variações da massa de grãos nessa fase do desenvolvimento da planta tem alto grau de aleatoriedade, não se correlacionando intimamente com a produção final, em decorrência de estar em fase de enchimento. A presença do efeito pepita puro sugere que os dados sejam independentes no intervalo utilizado para cálculo (45 metros), conforme afirma GUERRA (1988). Isso não significa, entretanto, que não possa haver dependência a intervalos menores do que 5 metros, que corresponde ao intervalo mínimo da amostragem. A dependência espacial dos grãos provavelmente se manifestará mais tarde, na produção final (figura 53).

Como descrito acima os semivariogramas das demais variáveis, sugerem estruturas com alcance de aproximadamente 30 - 35 metros, raio da dependência espacial. Esse alcance, está de acordo com os obtidos por PREVEDELLO (1987), acima de 25 metros para variáveis de produção de arroz.

As variáveis das malhas individualizadas, a

FIGURA 49. Semivariograma da variável massa total, da malha "gridmédio", para todas as direções (ângulos de direção de 90° , e de tolerância de 90°)

FIGURA 50. Semivariograma da variável massa dos grãos, da malha "gridmédio", para todas as direções (ângulos de direção de 90° , e de tolerância de 90°)

FIGURA 51. Semivariograma da variável massa das folhas, da malha "gridmédio", para todas as direções (ângulos de direção de 90° , e de tolerância 90°).

FIGURA 52. Semivariograma da variável área foliar, da malha "gridmédio", para todas as direções (ângulos de direção de 90° , e de tolerância de 90°).

FIGURA 53. Semivariograma da variável produção relativa, para todas as direções (ângulos de direção de 90° , e de tolerância de 90°).

FIGURA 54. Semivariograma da variável massa dos grãos, da malha "grid2", para todas as direções (ângulos de direção de 90° , e de tolerância de 90°).

exemplo da já mencionada massa de grãos repetiram aproximadamente o observado para a malha "gridmédio". Essa similaridade pode ser confirmada pelas já mencionadas comparações entre as figuras (50) e (54 e 59), e também comparando as figuras (51) e (60 e 61). Aparentemente, houve uma maior estabilidade dos dados no caso da malha "gridmédio", a exemplo do exposto para a estatística clássica. Provavelmente essa maior estabilidade aparece com a distribuição de frequência se aproximando da simetria em torno da média, satisfazendo melhor a condição (i) da hipótese de estacionaridade de segunda ordem. Dois exemplos podem ser tanto a comparação entre a figura (51) com as figuras (55 e 56), como também entre a figura (49) com as figuras (57 e 58).

Esse cálculo da função semivariância, locada posteriormente num semivariograma, para todas as direções, considera que a dependência espacial dá-se numa figura geométrica circular. Preparando-se os semivariogramas para várias direções pode-se perceber as diferenças na dependência espacial, ou seja anisotropia, em função da direção consideradas (figura 11).

Considerando a variável massa total, observa-se nas figuras (62 a 65), que aparentemente na direção SE-NW (1°); N-S (135°) e NW-SE (179°) não sugerem um patamar definido até 45 metros. Observa-se que, a rigor, os ângulos de direção 1° e 179° representam a mesma direção dos dados,

FIGURA 55. Semivariograma da variável massa das folhas, da malha "grid3", para todas as direções (ângulos de direção de 90° , e de tolerância de 90°)

FIGURA 56. Semivariograma da variável massa das folhas, da malha "grid1", para todas as direções (ângulos de direção de 90° , e de tolerância de 90°)

FIGURA 57. Semivariograma da variável massa total, da malha "grid1", para todas as direções (ângulos de direção de 90° , e de tolerância de 90°)

FIGURA 58. Semivariograma da variável massa total, da malha "grid3", para todas as direções (ângulos de direção de 90° , e de tolerância de 90°)

FIGURA 59. Semivariograma da variável massa dos grãos, da malha "grid1", para todas as direções (ângulos de direção de 90° , e de tolerância de 90°).

FIGURA 60. Semivariograma da variável massa das folhas, da malha "grid2", para todas as direções (ângulos de direção de 90° , e de tolerância de 90°).

inverso, o que não representa alteração nos resultados pois o cálculo da função semivariância as diferenças entre os pares de comparação são elevados ao quadrado (equação 2.20). As demais direções E-W (45°) e NE-SW (90°), sugerem estruturas com alcances de 30 - 35 metros para a primeira e entre 25 - 30 metros para a outra. Para as malhas individualizadas os semivariogramas não apresentaram padrões semelhantes. Para a variável massa de grãos poderia-se pensar numa incipiente sugestão de estrutura com patamar na direção SE-NW (1°), e evidentemente NW-SE (179°). Pelas razões já expostas (figura 64), as demais direções indicam efeito pepita puro (figura 65).

Os semivariogramas para as variáveis massa das folhas e área foliar, concordando com a variável massa total, para as direções SE-NW (1°) e NW-SE (179°), figuras (66 e 70) não apresenta patamar definido. Para a direção N-S (135°), figura (69), sugere um patamar a aproximadamente 30 - 35 metros. A direção NE-SW (90°) sugere que o evento é periódico e necessitaria uma ampliação do estudo para explorar melhor o fenômeno. A figura (68) aponta para a periodicidade a 25 - 30 metros. A direção E-W (45°) apresenta uma tendência de periodicidade a 30 - 35 metros (figura 67). Esses indícios de periodicidade são confirmados pelos semivariogramas das malhas individualizadas.

FIGURA 61. Semivariograma da variável massa das folhas, da malha "grid4", para todas as direções (ângulos de direção de 90° , e de tolerância de 90°)

FIGURA 62. Semivariograma da variável massa total, da malha "gridmédio", para a direção 1° com 22.5° de tolerância.

FIGURA 63. Semivariograma da variável massa total, da malha "gridmédio", para a direção 45° com 22.5° de tolerância.

FIGURA 64. Semivariograma da variável massa total, da malha "gridmédio", para a direção 90° com 22.5° de tolerância.

FIGURA 65. Semivariograma da variável massa total, da malha "gridmédio", para a direção 135° com 22.5° de tolerância.

FIGURA 66. Semivariograma da variável massa das folhas, da malha "gridmédio", para a direção 1° com 22.5° de tolerância.

FIGURA 67. Semivariograma da variável massa das folhas, da malha "gridmédio", para a direção 45° com 22.5° de tolerância.

FIGURA 68. Semivariograma da variável massa das folhas, da malha "gridmédio", para a direção 90° com 22.5° de tolerância.

FIGURA 69. Semivariograma da variável massa das folhas, da malha "gridmédio", para a direção 135° com 22.5° de tolerância.

FIGURA 70. Semivariograma da variável massa das folhas, da malha "gridmédio", para a direção 179° com 22.5° de tolerância.

FIGURA 71. Semivariograma da variável produção relativa, para a direção 1° com 22.5° de tolerância.

FIGURA 72. Semivariograma da variável produção relativa, para a direção 45° com 22.5° de tolerância.

FIGURA 73. Semivariograma da variável produção relativa, para a direção 90° com 22.5° de tolerância.

FIGURA 74. Semivariograma da variável produção relativa, para a direção 135° com 22.5° de tolerância.

FIGURA 75. Semivariograma da variável produção relativa, para a direção 179° com 22.5° de tolerância.

A produção relativa (figuras 71 a 75) apresenta uma tendência a acompanhar as análises das variáveis anteriores, incluindo uma sugestão incipiente de periodicidade, a 25 - 30 metros, na direção NE-SW (90°), figura 73. Aparentemente, também não se estabelece um patamar definido para a direção NW-SE (1° e 179°) até 45 metros (figuras 71 e 75). A direção E-W (45°), figura 72, sugere um patamar a aproximadamente 30 metros enquanto a direção N-S (135°) (figura 74) a 30 - 35 metros.

As tabelas 12 a 16 apresentam os alcances

sugeridos pelos semivariogramas, para as direções calculadas.

Se compararmos os alcances obtidos neste trabalho com os mesmos dados obtidos por DOURADO NETO (1989) percebemos que a água no solo não explica a magnitude da variabilidade. O sistema da produção vegetal é muito complexo com um grande número de fatores envolvidos agindo em diferentes intensidades. Além da água no solo, a variabilidade da fertilidade química do solo, a competição por luz, CO₂, entre outros fatores também devem ser levadas em consideração.

Uma suposição a partir do exposto é que se ignorarmos a anisotropia e admitirmos um alcance da dependência espacial em torno de 30 metros, então uma amostra representará uma área de 707 m². Como a área total do experimento é de 6250 m², teríamos apenas 9 amostras independentes. Pelo exposto, tal raciocínio não se aplica à variável massa dos grãos, que, é provavelmente, independente nos intervalos amostrados. Neste caso o número de amostras exigido pela equação (2.17), cujos resultados estão expostos nas tabelas 6 a 10, seria incompatível, pois também abarcaria amostras espacialmente dependentes.

TABELA 12. Valores dos alcances sugeridos pelos semivariogramas para a malha "gridmédio".

VARIAVEL	! ANG ! TOL	90 90	1 22.5	45 22.5	90 22.5	135 22.5	179 22.5
MASSA TOTAL		30-35 ■	pnd	30-35 ■	30-35 ■	pnd	pnd
MASSA GRAOS		epp	iie	epp	epp	epp	iie
MASSA FOLHAS		30-35 ■	pnd	30-35 ■ (p*)	25-30 ■ (p*)	30-40 ■	pnd
AREA FOLIAR		30-35 ■	pnd	30-35 ■ (p*)	25-30 ■ (p*)	30-40 ■	pnd
PROD.RELATIVA		30-35 ■	pnd	25-35 ■	25-30 ■ (p*)	30-35 ■	pnd

pnd = patamar nao definido

epp = efeito pepita puro

(p*)= intervalo de periodicidade aparente

iie = indicio incipiente de estrutura

TABELA 13. Valores dos alcances sugeridos pelos semivariogramas para a malha "grid1".

VARIAVEL	! ANG ! TOL	90 90	1 22.5	45 22.5	90 22.5	135 22.5	179 22.5
MASSA TOTAL		pnd	20-25 ■	pnd	pnd	pnd	20-25 ■
MASSA GRAOS		epp	epp	epp	epp	epp	epp
MASSA FOLHAS		30-35 ■	25-30 ■	pnd	pnd	pnd	25-30 ■
AREA FOLIAR		30-35 ■	25-30 ■	pnd	pnd	pnd	25-30 ■

pnd = patamar nao definido

epp = efeito pepita puro

(p*)= intervalo de periodicidade aparente

iie = indicio incipiente de estrutura

TABELA 14. Valores dos alcances sugeridos pelos semivariogramas para a malha "grid2".

VARIAVEL	: ANG : TOL	90 90	1 22.5	45 22.5	90 22.5	135 22.5	179 22.5
MASSA TOTAL		25-30 ■	pnd	30-35 ■	pnd	epp	pnd
MASSA GRAOS		epp	epp	epp	epp	epp	epp
MASSA FOLHAS		30-35 ■	pnd	30-35 ■ (p*)	25-30 ■ (p*)	30-35 ■	pnd
AREA FOLIAR		30-35 ■	pnd	30-35 ■ (p*)	25-30 ■ (p*)	30-35 ■	pnd

pnd = patamar nao definido

epp = efeito pepita puro

(p*)= intervalo de periodicidade aparente

iie = indicio incipiente de estrutura

TABELA 15. Valores dos alcances sugeridos pelos semivariogramas para a malha "grid3".

VARIAVEL	: ANG : TOL	90 90	1 22.5	45 22.5	90 22.5	135 22.5	179 22.5
MASSA TOTAL		pnd	epp	30-35 ■ (p*)	epp	epp	epp
MASSA GRAOS		epp	epp	epp	epp	epp	epp
MASSA FOLHAS		25-35 ■ (p*)	pnd	30-35 ■ (p*)	20-25 ■ (p*)	30-35 ■	pnd
AREA FOLIAR		25-35 ■ (p*)	pnd	30-35 ■ (p*)	20-25 ■ (p*)	30-35 ■	pnd

pnd = patamar nao definido

epp = efeito pepita puro

(p*)= intervalo de periodicidade aparente

iie = indicio incipiente de estrutura

TABELA 16. Valores dos alcances sugeridos pelos semivariogramas para a malha "grid4".

VARIAVEL	! ANG	90	1	45	90	135	179
	! TOL	90	22.5	22.5	22.5	22.5	22.5
MASSA TOTAL		pnd	pnd	pnd	30-35 m	pnd	pnd
MASSA GRAOS		epp	epp	epp	epp	epp	epp
MASSA FOLHAS		30-35 m	pnd	35-40 m	25-30 m (p*)	35-40 m	pnd
AREA FOLIAR		30-35 m	pnd	35-40 m	25-30 m (p*)	35-40 m	pnd

pnd = patamar nao definido

epp = efeito pepita puro

p* = intervalo de periodicidade aparente

5. CONCLUSÕES

À partir dos resultados obtidos e da sua discussão pode-se concluir que:

- (i) As variáveis de produção analisadas apresentaram dependência espacial.
- (ii) O tamanho das parcelas experimentais para estudos com feijão deve ter no mínimo 60 x 60 metros, partindo do alcance determinado de 30 - 35 metros.
- (iii) A massa dos grãos em desenvolvimento não se comportou-se com um bom estimador da produção final, supõe-se por razões fisiológicas.
- (iv) As variáveis massa das folhas e produção relativa sugeriram periodicidade, necessitando ampliação dos estudos na área.
- (v) Da distribuição dos dados, especialmente observou-se uma direção privilegiada, Norte-Sul, onde as variáveis de produção mostraram os maiores valores.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVIM, P. de T. Desafio agrícola da região amazônica. *Ciência e Cultura*. São Paulo, 24 (5): 437-443. 1972.

BECKETT, P.H.T. & WEBSTER, R. Soil variability: a review. *Soils and Fertilizers*. Wallingford, 34: 1-15. 1971.

BRAGA, L.P. Geostatística e aplicações. IME-USP. São Paulo. 1990. 36 p.

CLARK, I. Practical Geostatistical. London, Applied Science Publ. Lt., 1979. 129 p.

DOURADO NETO, D. Variabilidade espacial das alturas de chuva e irrigação e de potenciais da solução do solo. Piracicaba, 1989. 180 p. (Mestrado - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"/USP)

FREIRE, M.S.; ZIMMERMANN, M.J.de O.; ZIMMERMANN, F.J.P.; OLIVEIRA, I.P.de; SEIJAS, C.A.R.; COSTA, J.G.C.da; FAGERIA, N.K.; WILCOX, G.E. Manual de Métodos de Pesquisa em Eeljaõ. EMBRAPA, Goiania, 1976. 80 p.

GOES, L.A.C. Estatística: uma abordagem decisorial. São Paulo. Ed. Saraiva, 1980. 427 p.

GROSSI SAD, J.H. Fundamentos sobre a variabilidade dos depósitos minerais. Rio de Janeiro, DNPM/CPRM-GEOSOL, 1986. 141 p.

GUERRA, P.A.G. Geostatística operacional. Brasília, DNPM/MMG, 1988. 145 p.

GUROVICH, L.A. Estructura de la variabilidad espacial de las propiedades hidrodinamicas de los suelos. *Ciencia e Investigacion Agraria*, Santiago, 2: 243-354, 1982.

HAMLETT, J. M.; HORTON, R.; CRESSIE, N.A.C. Resistant and exploratory techniques for use in semivariogram analysis. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 50(3): 868-875, 1986.

HEATH, O.C.S. A estatística na pesquisa científica. São Paulo, EDUSP, 1981. 95 p.

HOFFMANN, R. Estatística para economistas. São Paulo, Biblioteca Pioneira de Ciências Sociais, 1980. 379 p.

JOURNEL, A.G. & HUIBREGTS, C.H. Mining geostatistic. London, Academic Press, 1978. 600 p.

LANDIM, P.M.D. Introdução à geostatística. Rio Claro, UNESP, 1985. 85 p. (Publicação didática, 2)

LIBARDI, P.L.; PREVEDELLO, C.L.; PAULETTO, E.A.; MORAES, S.O. Variabilidade espacial da umidade, textura e densidade de partículas ao longo de uma transeção. *Rev. Bras. Ci. Solo*, Campinas, 10(2): 85-90, 1986.

- LOPES-HERNANDEZ, D. Phosphate adsorption variability within soil series and in diverse soil populations. *Soil Sci.*, Baltimore, 144(6): 400-411. 1987.
- LUCCHESI, A.A. Fatores da produção vegetal. In: CASTRO, P.R.C.; FERREIRA, S.O.; YAMADA, T., ed. *Ecofisiologia da produção agrícola*. Piracicaba, Associação Brasileira de Pesquisa da Potassa e do Fósforo, 1987. 249 p.
- MARTINS, G.A. e DONAIRE, D. *Princípios de Estatística*. São Paulo, Ed. Atlas, 4a. ed., 1990. 255 p.
- MATHERON, G. Principles of Geostatistics. *Econ. Geology*, El Paso, 58: 1246-1266, 1963.
- McBRATNEY, A.B. The role of geostatistics in the design and analysis of field experiments with references to the effect of soil properties on crop yield. In: WORKSHOP OF THE ISSS AND SSSA, Las Vegas, 1984. *Soil spatial variability; proceedings*, Netherlands, 1985. p. 3-8.
- McBRATNEY, A.B. & WEBSTER, R. Choosing functions for semivariograms of soil properties and fitting them to sampling estimates. *J. of Soil Sci.* 37: 617-639, 1986.
- MODA-CIRINO, V.; KRANZ, W.M.; LOLLATO, M.A.; OLIVARI, L.; RIBEIRO, P.G.F. Escolha e zoneamento de cultivares. In: IAPAR. *O feijão no Paraná*, Londrina, Circular 63. 1989. 303 p.

- NIELSEN, D.R.; BIGGAR, J.W.; ERH, K.T. Spatial variability of soil water properties. *Hilgardia*, Berkeley, 42 (7): 215-259, 1979.
- OMETTO, J.C. *Bioclimatologia Vegetal*. São Paulo, Ed. Agronômica Ceres Ltda, 1981. 440 p.
- PIMENTEL GOMES, F. *Curso de Estatística Experimental*. Piracicaba, Nobel, 11a. ed., 1985. 466 p.
- PIMENTEL GOMES, F. *A estatística moderna na pesquisa agropecuária*. POTAFOS, Piracicaba, 1987. 162 p.
- PORTES, T.A. *Ecofisiologia*. In: ZIMMERMANN, M.J. de O.; ROCHA, M.; YAMADA, T. *Cultura do Eucalipto: fatores que afetam a produtividade*. Piracicaba, Associação Brasileira de Pesquisa da Potassa e do Fósforo, 1988. 589 p.
- PREVEDELLO, B.M.S. *Variabilidade espacial de parâmetros de solo e planta*. Piracicaba, 1987. 166 p. (Doutorado - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"/USP)
- REICHARDT, K.; VIEIRA, S.R.; LIBARDI, P.L. Variabilidade espacial de solos e experimentação de campo. *Rev. Bras. Ci. Solo*, Campinas, 10 (1): 1-6. 1986.
- SILVA, A.P. *Variabilidade espacial de atributos físicos do solo*. Piracicaba, 1988. (Doutorado - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"/USP)

SPIEGEL, M.R. Probabilidade e Estatística. Mc.Graw-Hill, São Paulo, 1978. 518 p.

VAN GENUCHTEN, M. Th. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 44: 892-898. 1980.

VIEIRA, S.R.; HATFIELD, J.L.; NIELSEN, D.R.; BIGGAR, J.W. Geostatistical theory and application to variability of some agronomical properties. *Hilgardia, Berkeley*, 51(3): 1-75. 1983.

VAUCLIN, M.; VIEIRA, S.R.; BERNARD, R.; HATFIELD, J.L. Spatial variability of surface temperature along two transects of a bare soil. *Water Resources Research, Washington*, 18: 1677-1686, 1982.

VILLANOVA, N.A. Dados Meteorológicos do município de Piracicaba, ESALQ/USP/DFM, 1989.

WILDING, L.P. Spatial variability: its documentation, accomodation and implication to soil surveys. In: WORKSHOP OF THE ISSS AND SSSA, Las Vegas, 1984. *Soil spatial variability: proceedings. Netherlands*, 1985. p. 166-194.

YAMADA, T. Apresentação. In: PIMENTEL GOMES, F. A estatística moderna na pesquisa agropecuária, POTAFOS, Piracicaba, 1987. 162 p.