

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

“Correlação da produtividade vegetal em função de atributos físico-químicos do solo na integração lavoura-pecuária”

MARIA CECÍLIA CAVALLINI DA SILVA

Ilha Solteira
2013

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

“Correlação da produtividade vegetal em função de atributos físico-químicos do solo na integração lavoura-pecuária”

MARIA CECÍLIA CAVALLINI DA SILVA

Orientador: Prof. Dr. Marcelo Andreotti

Tese apresentada à Faculdade de Engenharia -
UNESP – Campus de Ilha Solteira, para
obtenção do título de Doutora em Agronomia.
Especialidade: Sistemas de Produção

Ilha Solteira
2013

FICHA CATALOGRÁFICA

Desenvolvido pelo Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação

Silva, Maria Cecília Cavallini da.

S586c Correlação da produtividade vegetal em função de atributos físico-químicos do solo na integração lavoura-pecuária / Maria Cecília Cavallini da Silva. -- Ilha Solteira: [s.n.], 2013
100 f. : il.

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira. Especialidade: Sistema de Produção, 2013

Orientador: Marcelo Andreotti

Inclui bibliografia

1. Geoestatística. 2. Química do solo. 3. Física do solo.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
CAMPUS DE ILHA SOLTEIRA
FACULDADE DE ENGENHARIA DE ILHA SOLTEIRA

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: Correlação da produtividade vegetal em função de atributos físico-químicos do solo na integração lavoura-pecuária

AUTORA: MARIA CECÍLIA CAVALLINI DA SILVA

ORIENTADOR: Prof. Dr. MARCELO ANDREOTTI

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de DOUTOR EM AGRONOMIA ,
Área: SISTEMAS DE PRODUÇÃO, pela Comissão Examinadora:

Prof. Dr. MARCELO ANDREOTTI
Departamento de Fitossanidade, Engenharia Rural e Solos / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira

Prof. Dr. MOREL DE PASSOS E CARVALHO
Departamento de Fitossanidade, Engenharia Rural e Solos / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira

Prof. Dr. RAFAEL MONTANARI
Departamento de Fitossanidade, Engenharia Rural e Solos / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira

Prof. Dr. ZIGOMAR MENEZES DE SOUZA
Departamento de Água e Solo / Universidade Estadual de Campinas

Prof. Dr. CASSIANO GARCIA ROQUE
Universidade Federal de Mato Grosso do Sul - Câmpus de Chapadão do Sul

Data da realização: 12 de julho de 2013.

DEDICO

Aos meus pais, LUIZ AMÉRICO e ANÉSIA, exemplos de honestidade e dignidade, pelo amor e dedicação durante toda a minha vida. Que cada uma das minhas conquistas seja a realização de seus próprios sonhos.

Aos meus irmãos, LUIZ e LEANDRO, pela amizade e companheirismo.

Às minhas sobrinhas, JULIA e ALICE, por iluminar minha vida com tanta felicidade.

Ao meu marido, MATHEUS, pelo amor, carinho, apoio e compreensão.

“Por vezes sentimos que aquilo que fazemos não é senão uma gota de água no mar. Mas o mar seria menor se lhe faltasse uma gota.”

Madre Teresa de Calcutá

“Agradeço as dificuldades que enfrentei; não fosse por elas, eu não teria saído do lugar. As facilidades nos impedem de caminhar. Mesmo as críticas nos auxiliam muito.”

Chico Xavier

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por me fazer sentir mais segura e confiante para superar as dificuldades ao longo do caminho.

A Faculdade de Engenharia da Universidade Estadual Paulista, Campus de Ilha Solteira, pelo acolhimento e pelas condições de aprendizado oferecido ao longo do curso.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa concedida.

Ao meu orientador professor doutor Marcelo Andreotti pelos seus ensinamentos, competência, dedicação, amizade e exemplo de profissionalismo com que me orientou.

Aos professores, em especial professor doutor Morel de Passos e Carvalho, pela ajuda e ensinamentos.

Aos funcionários do Departamento de Fitossanidade, Engenharia Rural e Solos e os funcionários da Fazenda de Ensino e Pesquisa pela ajuda prestada, em especial ao técnico Valdivino.

Aos amigos:

Adriana, Cristiano, Daniela, Danila, Erica, Fernanda, Flávia, Francielle, Juliana, Letícia, Maila, Maurício, Maximiliano, Nídia, Vanessa e Veridiana, e a todos aqueles que, direta ou indiretamente, tiveram alguma participação na minha jornada. Muito obrigada.

RESUMO

Conhecer a variabilidade espacial dos atributos do solo que influenciam na produtividade do feijoeiro, num sistema plantio direto, é interessante, pois esta informação poderá auxiliar no manejo do mesmo. Portanto, o conhecimento da variabilidade do solo pode aperfeiçoar as aplicações de fertilizantes, reduzindo custos e a degradação ambiental. Assim, avaliar a produtividade vegetal de sistemas de integração lavoura pecuária, em função de atributos do solo, via uso da geoestatística, pode auxiliar na definição de quais atributos físico-químicos do solo mais interferem nesta produtividade e quais podem ser utilizados para determinar a qualidade do solo. O trabalho teve como objetivo avaliar a variabilidade e caracterizar a dependência espacial e temporal entre alguns atributos físicos e químicos do solo e a produção de forragem do capim-Marandu (*Urochloa brizantha* cv. Marandu), sobre a população de plantas e a produtividade do feijoeiro de inverno, bem como estudar as correlações lineares e espaciais entre tais atributos, visando identificar quais destes interferiram na produtividade da cultura do feijão, em um LATOSSOLO VERMELHO Distroférico do Cerrado. A pesquisa foi desenvolvida na Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira (FE/UNESP), localizada no município de Selvíria (MS). Foi realizada a análise estatística descritiva e geoestatística para os atributos, gerando semivariogramas, mapas de krigagem e cokrigagem. A quantidade de palhada remanescente do capim Marandu antecessor apresentou correlação linear inversa com a população e produtividade do feijoeiro de inverno. Entretanto, sem correlação espacial e temporal sobre tais atributos. A produtividade de feijão teve correlação linear direta com o pH e inversa com a macroporosidade na camada superficial do solo. Contudo, o ponto de vista agrônomo, o pH na camada de 0,10 a 0,20 m foi o melhor indicador da qualidade química do solo, com correlação espacial positiva no aumento da produtividade do feijoeiro de inverno no Cerrado.

Palavras-chave: Geoestatística. *Phaseolus vulgaris*. Capim-marandu. pH. Umidade volumétrica.

ABSTRACT

Knowing the spatial variability of soil attributes that influence the common bean yield in a no-tillage system is interesting because this information may assist in the management of the soil. Therefore, knowledge of soil variability can optimize fertilizer applications, reducing costs and environmental degradation. Thus, to evaluate the productivity of vegetable integrated crop livestock due to soil attributes via the use of geostatistics, can help define which physical and chemical attributes of the soil affect this more productivity and which can be used to determine the quality soil. The study aimed to evaluate the variability and characterize the spatial and temporal dependence between some physical and chemical soil properties and forage production of grass marandu (*Urochloa brizantha* cv Marandu) on plant population and grain common bean yield of winter and study the linear and spatial correlations between these attributes, to identify which of these interfere with the yield of the common bean in an Oxisol of the Brazilian Savannah. The research was conducted at the Faculdade de Engenharia of Ilha Solteira (FE / UNESP), located in Selvíria (MS). We performed a descriptive statistical analysis and geostatistics for attributes, generating semivariograms, kriging and cokriging maps. The amount of trash remaining palisadegrass predecessor correlated inversely related to population and common bean yield of winter. However, no correlation of such spatial and temporal attributes. The common bean yield of irrigated winter in the Brazilian Savannah had direct linear correlation with soil pH in the 0 to 0,10 m positive spatial correlation with the pH of the soil layer from 0,10 to 0,20 m.

Keywords: Geostatistics. *Phaseolus vulgaris*. Marandu grass. pH. Volumetric moisture.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 -	Exemplo de semivariograma experimental	22
Figura 2 -	Dados climatológicos coletados durante a condução do experimento no período compreendido entre janeiro de 2007 á outubro de 2007	29
Figura 3 -	Esquema de campo da malha experimental de coletas de resultados, sequencialmente, do ponto amostral 1 até o 124	32
Figura 4 -	Matéria seca da <i>Urochloa brizantha</i> cv. Marandu utilizada como palhada para a semeadura do feijoeiro de inverno	46
Figura 5 -	Equações de regressão entre a produtividade (PRO) e população de plantas (PP) do feijoeiro de inverno e a matéria seca da <i>Urochloa brizantha</i> (MSB)	56
Figura 6 -	Equações de regressão entre a produtividade de grãos do feijoeiro de inverno com alguns atributos de um Latossolo Vermelho Distroférico de Selvíria (MS)	57
Figura 7 -	Equações de regressão entre a população de plantas do feijoeiro de inverno com alguns atributos de um Latossolo Vermelho Distroférico de Selvíria (MS)	58
Figura 8 -	Equações de regressão entre a população de plantas do feijoeiro de inverno com alguns atributos de um Latossolo Vermelho Distroférico de Selvíria (MS)	59
Figura 9 -	Semivariogramas simples dos atributos PRO e PP do feijoeiro de inverno e MSB da <i>Urochloa brizantha</i> num Latossolo Vermelho Distroférico de Selvíria (MS)	64
Figura 10 -	Semivariogramas simples dos atributos DP1, #DP2, DS1 e DS2 num Latossolo Vermelho Distroférico de Selvíria (MS)	65
Figura 11 -	Semivariogramas simples dos atributos MA1, MA2, MI1 e MI2 num Latossolo Vermelho Distroférico de Selvíria (MS)	66
Figura 12 -	Semivariogramas simples dos atributos PTd1, PTd2, PTc1 e PTc2 num Latossolo Vermelho Distroférico de Selvíria (MS)	67
Figura 13 -	Semivariogramas simples dos atributos P1, P2, MO1, MO2, pH1 e pH2 num Latossolo Vermelho Distroférico de Selvíria (MS)	68
Figura 14 -	Semivariogramas simples dos atributos UG1, #UG2, UV1, UV2, RP1 e RP2 num Latossolo Vermelho Distroférico de Selvíria (MS)	69
Figura 15 -	Mapas de krigagem dos atributos PRO e PP do feijoeiro de inverno e MSB da	74

	<i>Urochloa brizantha</i> num Latossolo Vermelho Distroférico de Selvíria (MS)	
Figura 16 -	Mapas de krigagem dos atributos DP1, DS1 e DS2 num Latossolo Vermelho Distroférico de Selvíria (MS)	75
Figura 17 -	Mapas de krigagem dos atributos MA1, MI1 e MI2 num Latossolo Vermelho Distroférico de Selvíria (MS)	76
Figura 18 -	Mapas de krigagem dos atributos PTd1, PTd2, PTc1 e PTc2 num Latossolo Vermelho Distroférico de Selvíria (MS)	77
Figura 19 -	Mapas de krigagem dos atributos RP1, RP2, UG1 e UG2 num Latossolo Vermelho Distroférico de Selvíria (MS)	78
Figura 20 -	Mapas de krigagem dos atributos UV1, UV2 e pH2 num Latossolo Vermelho Distroférico de Selvíria (MS)	79
Figura 21 -	Mapas de krigagem dos atributos MO2, P1 e P2 num Latossolo Vermelho Distroférico de Selvíria (MS)	80
Figura 22 -	Semivariograma cruzado e mapas de cokrigagem da produtividade do feijoeiro de inverno em função da macroporosidade (MA1) e da umidade volumétrica (UV1) num Latossolo Vermelho Distroférico de Selvíria (MS)	83
Figura 23 -	Semivariograma cruzado e mapas de cokrigagem da produtividade do feijoeiro de inverno em função da porosidade total determinada (PTd2) e da porosidade total calculada (PTc1) num Latossolo Vermelho Distroférico de Selvíria (MS)	84
Figura 24 -	Semivariograma cruzado e mapas de cokrigagem da produtividade do feijoeiro de inverno em função do pH em CaCl ₂ num Latossolo Vermelho Distroférico de Selvíria (MS)	86

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 -	Características químicas do solo antes da implantação da <i>Urochloa brizantha</i>	30
Tabela 2 -	Caracterização da densidade do solo (DS), macro (MA), micro (MI) e porosidade total (PT) do solo antes da implantação da <i>Urochloa brizantha</i>	30
Tabela 3 -	Características químicas do solo após a dessecação química da <i>Urochloa brizantha</i>	31
Tabela 4 -	Caracterização da densidade do solo (DS), macro (MA), micro (MI) e porosidade total (PT) do solo após a dessecação química da <i>Urochloa brizantha</i>	31
Tabela 5 -	Análise descritiva inicial da produtividade e população de plantas do feijoeiro de inverno, matéria seca da <i>Urochloa brizantha</i> e alguns atributos de uma Latossolo Vermelho Distroférico de Selvíria (MS)	40
Tabela 6 -	Matriz de correlação linear simples entre a produtividade e população de plantas do feijoeiro de inverno, matéria seca da <i>Urochloa brizantha</i> e alguns atributos da camada de 0 m a 0,10 m de um Latossolo Vermelho Distroférico de Selvíria (MS)	51
Tabela 7 -	Matriz de correlação linear simples entre a produtividade e população de plantas do feijoeiro de inverno, matéria seca da <i>Urochloa brizantha</i> e alguns atributos da camada de 0,10 m a 0,20 m de um Latossolo Vermelho Distroférico de Selvíria (MS)	52
Tabela 8 -	Equações de regressão simples e coeficientes do ajuste entre atributos das plantas (<i>Urochloa brizantha</i> e feijoeiro de inverno) e de um Latossolo Vermelho Distroférico de Selvíria (MS).	55
Tabela 9 -	Parâmetros dos semivariogramas simples ajustados para produtividade e população de plantas do feijoeiro, matéria seca da <i>Urochloa brizantha</i> antecessora e de alguns atributos de um Latossolo Vermelho Distroférico de Selvíria (MS), na camada de 0 a 0,10 m	61
Tabela 10 -	Parâmetros dos semivariogramas simples ajustados para produtividade e população de plantas do feijoeiro de inverno, matéria seca da <i>Urochloa brizantha</i> antecessora e de alguns atributos de um Latossolo Vermelho Distroférico de Selvíria (MS), na camada de 0,10 a 0,20 m	62
Tabela 11 -	Parâmetros das validações cruzadas referentes às krigagens de alguns	71

atributos do feijoeiro de inverno, da matéria seca da *Urochloa brizantha* e de um Latossolo Vermelho Distroférico de Selvíria (MS), na camada de 0 a 0,10 m

- Tabela 12 -** Parâmetros das validações cruzadas referentes às krigagens de alguns atributos do feijoeiro de inverno, da matéria seca da *Urochloa brizantha* e de um Latossolo Vermelho Distroférico de Selvíria (MS), na camada de 0,10 a 0,20 m 72
- Tabela 13 -** Parâmetros dos semivariogramas cruzados ajustados para produtividade do feijoeiro de inverno e de um Latossolo Vermelho Distroférico de Selvíria (MS) 81
- Tabela 14 -** Parâmetros das validações cruzadas referentes às cokrigagens da produtividade do feijoeiro de inverno e de um Latossolo Vermelho Distroférico de Selvíria (MS) 85

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
2	REVISÃO DE LITERATURA	15
2.1	<i>Urochloa brizantha</i> CV. MARANDU UTILIZADA COMO PALHADA PARA O PLANTIO DIRETO NUM SISTEMA DE INTEGRAÇÃO LAVOURA PECUÁRIA	15
2.2	ASPECTOS GERAIS DA CULTURA DO FEIJÃO DE INVERNO (3ª ÉPOCA) E SUA UTILIZAÇÃO NO SISTEMA PLANTIO DIRETO NUM SISTEMA DE INTEGRAÇÃO LAVOURA PECUÁRIA	18
2.3	GEOESTATÍSTICA E ATRIBUTOS FÍSICOS E QUÍMICOS DO SOLO	20
3	MATERIAL E MÉTODOS	29
3.1	CARACTERIZAÇÃO DO LOCAL DE ORIGEM DOS RESULTADOS	29
3.2	CARACTERIZAÇÃO INICIAL DO SOLO PESQUISADO	30
3.3	IMPLANTAÇÃO E CONDUÇÃO DAS PLANTAS-TESTE PESQUISADAS (<i>Urochloa brizantha</i> CV. MARANDU E A CULTURA DO FEIJÃO DE INVERNO).	31
3.4	IMPLANTAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA MALHA EXPERIMENTAL UTILIZADA PARA COLETA DOS ATRIBUTOS PESQUISADOS	32
3.5	COLETA E METODOLOGIA DE DETERMINAÇÃO DOS ATRIBUTOS PESQUISADOS	33
3.6	ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS ATRIBUTOS ESTUDADOS	35
3.6.1	Análise descritiva inicial dos resultados	35
3.6.2	Análise de regressão	36
3.6.3	Análise geoestatística	36
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	39
4.1	ANÁLISE DESCRITIVA DOS DADOS	39
4.1.1	Variabilidade dos atributos	39
4.1.1.1	Atributos das plantas	39
4.1.1.2	Atributos do solo	39
4.1.2	Distribuição de frequências	44
4.1.2.1	Atributos das plantas	44
4.1.2.2	Atributos do solo	44
4.1.3	Valores médios dos atributos	45

4.1.3.1	Atributos das plantas	45
4.1.3.2	Atributos do solo	46
4.2	ANÁLISE DE REGRESSÃO LINEAR ENTRE OS ATRIBUTOS	49
4.2.1	Regressão linear simples	49
4.2.1.1	Matriz de correlação linear simples entre os atributos	49
4.2.1.1.1	Atributos da planta versus atributos da planta	49
4.2.1.1.2	Atributos do feijoeiro de inverno versus atributos do solo	49
4.2.1.1.3	Matéria seca da <i>Urochloa brizantha</i> versus atributos do solo	50
4.2.1.2	Regressão linear simples entre os atributos	53
4.3	ANÁLISE GEOESTATÍSTICA DOS ATRIBUTOS	59
4.3.1	Análise semivariográfica simples	59
4.3.1.1	Ajustes dos semivariogramas simples dos atributos	59
4.3.1.2	Validação cruzada dos semivariogramas simples ajustados	70
4.3.1.3	Mapas de krigagem dos atributos	72
4.3.2	Análise semivariográfica cruzada	80
4.3.2.1	Ajuste dos semivariogramas cruzados e mapas de cokrigagem dos atributos	80
5	CONCLUSÕES	87
	REFERÊNCIAS	88

1 INTRODUÇÃO

Na dieta bovina o componente mais importante e econômico são as pastagens que constituem a base da alimentação da pecuária de corte no Brasil. Entretanto, uma parte considerável se apresenta em áreas de menor fertilidade, como algumas regiões do Cerrado brasileiro, ou em processo de degradação devido à sua forma de exploração intensiva.

A integração lavoura pecuária proporciona a diversificação e rotação de diferentes atividades dentro da propriedade, harmoniosamente, fazendo com que haja benefício para ambas. Esta parceria possibilita uma exploração mais eficiente da área durante o ano todo a um custo mais baixo. Este sistema pode ser considerado como alternativa para a recuperação de pastagens degradadas e para produção de palhada para o sistema de plantio direto, alterando de forma positiva os atributos químicos, físicos e biológicos do solo.

A pastagem proporciona à lavoura um solo melhor estruturado, em função do abundante sistema radicular e do resíduo orgânico de alta relação C/N deixado na superfície e em subsuperfície do solo (LOSS et al., 2011; SILVA et al., 2011). Atrelado à dinâmica de palhada da pastagem, o sistema plantio direto tem sido muito utilizado no Brasil, também pela melhoria nos atributos químicos, físicos e biológicos do solo, principalmente na rotação de culturas com soja, milho e feijão.

A cultura do feijoeiro é muito importante para a alimentação brasileira, sendo constituinte de sua dieta básica e, conseqüentemente, uma importante fonte de proteína na alimentação da população. O desenvolvimento e a produção de grãos da cultura dependem de um apropriado fornecimento de nutrientes. Um dos entraves da produtividade da cultura do feijoeiro no Brasil é o baixo nível tecnológico utilizado pelos produtores e a baixa fertilidade dos solos onde é cultivada. Apesar disto, a produção de feijão no sistema plantio direto vem aumentando em todo território nacional. Por não apresentar sensibilidade ao fotoperiodismo, o feijoeiro pode ser cultivado no Brasil em três épocas do ano, desde que não ocorram limitações de temperatura e/ou água.

Em uma paisagem natural os solos possuem atributos físicos, químicos e biológicos variados. Todavia, em uma paisagem cultivada pelo homem a heterogeneidade do solo é aumentada devido ao seu próprio manejo, escolha da espécie a ser utilizada na área, entre outros. Assim, é muito importante o conhecimento desta variação para que se possa realizar o levantamento e classificação dos solos, esquemas de amostragem e definir práticas de manejo.

Segundo os princípios básicos da experimentação, a variabilidade espacial do solo ocorre de forma aleatória; no entanto, vários estudos relatam que a variabilidade dos atributos

químicos e físicos do solo apresenta correlação ou dependência espacial (CARVALHO et al., 1998).

As práticas de manejo do solo adotadas são cruciais para a variabilidade dos solos mesmo que estes apresentem similaridades pedológicas, assim sendo, os atributos de solos similares podem diferir-se de acordo com as práticas adotadas. Esta alteração química, física e/ou biológica do solo será notada principalmente nas primeiras camadas dos solos. Logo, conhecer a variabilidade espacial dos atributos do solo que influenciam na produtividade é um fator importante na tomada de decisões sobre práticas agrícolas.

Sem o conhecimento da variabilidade espacial dos atributos no solo tem-se o risco de aplicações excessivas de fertilizantes em uma determinada área e insuficientes em outras. Portanto, o conhecimento da variabilidade do solo pode aperfeiçoar as aplicações de fertilizantes, reduzindo custos e a degradação ambiental. Assim, avaliar a produtividade vegetal de sistemas de integração lavoura pecuária, em função de atributos do solo, via uso da geoestatística, pode auxiliar na definição de quais atributos físico-químicos do solo mais interferem nesta produtividade e quais podem ser utilizados para determinar a qualidade do solo.

Assim, na Fazenda de Ensino, Pesquisa e Extensão da FE/UNESP/Campus de Ilha Solteira, durante o ano agrícola de 2007/2008, objetivou-se avaliar a variabilidade e caracterizar a dependência espacial entre alguns atributos físicos e químicos do solo e a produtividade de forragem do capim-Marandu (*Urochloa brizantha* cv. Marandu), sobre a população de plantas e a produtividade do feijoeiro de inverno, bem como estudar as correlações lineares e espaciais entre tais atributos, visando identificar quais destes mais interferiram na produtividade da cultura do feijão, em um LATOSSOLO VERMELHO distroférico do Cerrado.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 *Urochloa brizantha* CV. MARANDU UTILIZADA COMO PALHADA PARA O PLANTIO DIRETO NUM SISTEMA DE INTEGRAÇÃO LAVOURA PECUÁRIA.

A introdução de pastagens de origem africana no Brasil, em especial as do gênero *Urochloa*, contribuiu para a ampliação das pastagens e, conseqüentemente, da produção animal no Brasil. Estas forrageiras possuem crescimento vigoroso e são adaptadas a diferentes regiões brasileiras (PORTES; CARVALHO; KLUTHCOUSKI, 2003). Dentre as espécies de *Urochloa*, a *Urochloa brizantha* vem se destacando, representando uma das espécies com maior destaque em área de cultivo.

O capim-marandu (*Urochloa brizantha* cv. Marandu) é uma gramínea forrageira perene de hábito de crescimento cespitoso, formando touceiras de até 1,0 m de diâmetro. Desenvolve-se bem em diversos tipos de solos, demonstrando boa adaptação aos solos arenosos e também em solos argilosos, porém, estes devem apresentar-se bem drenados (GOMIDE; GOMIDE, 2007). Possui boa adaptação e produção de forragem em solos de média fertilidade natural; bom desempenho em solos arenosos e não tolera alagamento; apresenta maior palatabilidade que as outras espécies do gênero *Urochloa* (COSTA et al., 2004).

Diversos fatores influenciam o desenvolvimento das gramíneas forrageiras e, por conseguinte a produtividade das pastagens. Por isso, são de fundamental importância as informações que permitam o manejo de forma racional e criteriosa. Entender o manejo forrageiro é indispensável para que possam ser elaboradas estratégias apropriadas para a exploração do potencial forrageiro, sendo o manejo do pasto à característica de maior impacto e mais significativo na eficiência global da produção animal em pastagens (DA SILVA; CORSI, 2003).

No sistema de integração lavoura-pecuária a forrageira tem o papel de prover alimento para os animais e, posteriormente, matéria seca para formação de palhada, para continuidade da produção de grãos em sistema plantio direto (BORGHI; CRUSCIOL, 2007). Assim, a *Urochloa brizantha* torna-se uma excelente forrageira para ser utilizada neste sistema (FREITAS et al., 2005).

A degradação de pastagens é ocasionada pelo processo evolutivo de manejo inadequado, perda de vigor, de produtividade, de capacidade de recuperação natural da espécie forrageira e acentuada por pastejos contínuos culminando com a sua degradação

(ALBUQUERQUE; SANGOI; ENDER, 2001; MACEDO, 2001). Pode-se citar como alternativa para a renovação destas pastagens degradadas o consórcio com culturas anuais, salientando que cerca de 60 % das áreas de pastagem apresentam algum grau de degradação em função do manejo inadequado (FREITAS et al., 2005).

A compreensão do valor da palhada no sistema plantio direto foi um dos fatores que determinaram o sucesso do sistema em condições tropicais e subtropicais. As vantagens desta camada de palha são inúmeras, podendo-se citar: a diminuição da temperatura do solo; a maior infiltração e retenção de água, a melhoria na atividade biológica do solo, o aumento da agregação e preservação da estrutura superficial do solo, a melhoria da ciclagem e aumento do fornecimento de nutrientes às plantas em sucessão, o controle da erosão pelo amortecimento do impacto da gota de chuva, entre outros. A formação e manutenção da palhada é um das principais barreiras ao estabelecimento do plantio direto no Cerrado, onde as altas temperaturas, conjuntamente à elevada umidade, geram a decomposição rápida dos resíduos vegetais (STONE et al., 2006).

O sistema plantio direto foi um dos adventos que possibilitou que fosse aumentada a sustentabilidade de atividades agropecuárias, porém deve-se atentar para que seja efetuada corretamente a rotação de culturas e mantida de forma adequada à cobertura dos solos (MACHADO; ASSIS, 2010).

O uso de pastagens em áreas ocupadas anteriormente por lavouras pode contribuir para a melhoria da qualidade física dos solos, pois caso haja aumento da densidade e compactação do solo na sua camada superficial (MARCHÃO et al., 2007), a concentração abundante de raízes existentes nesta mesma camada, provenientes da gramínea utilizada, poderá minimizar o problema (MACHADO; ASSIS, 2010).

Uma das vantagens da utilização de gramíneas no sistema plantio direto é que, mais que a metade da massa das raízes de espécies de *Urochloa* concentra-se na camada de 0–0,10 m do solo (SANTOS et al., 2007; SARMENTO et al., 2008). Outra vantagem dos resíduos de matéria seca das pastagens é que estes permitem recuperar os teores de matéria orgânica do solo a valores próximos ao solo sob vegetação original de cerrado (FREITAS et al., 2000; WENDLING et al., 2005). Além disso, resíduos vegetais são indispensáveis para aumentar o tamanho e a estabilidade dos agregados, favorecer o controle da erosão e a resistência do solo à compactação (MACHADO; ASSIS, 2010).

A espécie a ser utilizada como cobertura vegetal para posterior dessecação e formação de palhada para o plantio direto tem sido motivo de estudos, pois em regiões de altas temperaturas e pluviosidades, a decomposição é acelerada. Assim, a espécie para a formação

de palhada deve apresentar maior relação C/N (carbono/nitrogênio) porque quanto maior esta relação, mais lenta será a decomposição dos resíduos, logo, aumentando a permanência da palhada sobre o solo (CALEGARI, 1993). A boa formação de cobertura vegetal na superfície do solo antes da implantação da cultura é requisito indispensável ao sucesso do sistema plantio direto (ALVARENGA et al., 2001).

A utilização de espécies forrageiras como as do gênero *Urochloa* para a formação de palhada têm despertado o interesse de agricultores e pesquisadores (BERNARDES, 2003; TORRES, 2003; ANDRIOLI, 2004). Estas forrageiras possuem enorme potencial na manutenção da palhada sobre o solo devido a sua alta relação C/N, que retarda sua decomposição e aumenta a possibilidade de utilização em regiões mais quentes e de maior pluviosidade. Nestas regiões, a maior limitação na manutenção de palha sobre o solo é a rapidez com que a matéria vegetal se decompõe (PEREIRA, 1990; LANDERS, 1995).

Outra vantagem das plantas do gênero *Urochloa* é a sua boa adaptação a solos de baixa fertilidade, fácil estabelecimento e apreciável produção de biomassa durante o ano, proporcionando excelente cobertura vegetal do solo. Segundo Bernardes (2003), esta forrageira possui uma aceitabilidade maior entre os produtores rurais e também já está difundida entre os mesmos, fazendo com que sua eventual adoção para a produção de palha para a cobertura do solo em sistema plantio direto seja facilitada. Além disso, o gênero *Urochloa* possui um potencial de produção de matéria seca em torno de 15 t ha⁻¹ com uma permanência média de mais de seis meses sobre o solo (COBUCCI, 2001).

No Cerrado, a manutenção de palhada sobre a superfície do solo constitui um dos maiores entraves para o sistema plantio direto, pois o clima é caracterizado por inverno seco, altas temperaturas e estação seca prolongada (PACHECO et al., 2008). Nesta região, as taxas de decomposição podem ser de cinco a dez vezes superiores às taxas de regiões de clima temperado. Isto faz com que haja diminuição de palhada na superfície como comprovou Costa et al. (2012) utilizando os capins Xaraés e Ruziziensis que apresentaram potencial de produção de palhada acima de 4.000 kg ha⁻¹ na entressafra na região do Cerrado, com a manutenção de 15 a 60% dessa quantidade aos 120 dias após o manejo. Assim, os autores verificaram que a palhada protegeu o solo durante grande parte do desenvolvimento da cultura do feijoeiro em sucessão, fazendo com que houvesse menor variação na temperatura do solo, maior umidade e principalmente disponibilização de nutrientes durante o processo de decomposição da palhada.

Igualmente, Kliemann, Braz e Silveira (2006), pesquisando a taxa de decomposição de diversas espécies de cobertura, constataram que o capim-marandu (matéria seca de 12426 kg

ha⁻¹) exibiu perdas de massa que corresponderam a 48% até os 150 dias de avaliação, e de 62%, para um período de 360 dias. Assim, os mesmos autores observaram que as palhadas mais frágeis e menos persistentes, em ordem decrescente, foram do capim-mombaça, sorgo granífero, milheto, estilosantes, guandu e capim-marandu. Entretanto, Pariz et al. (2011), na região do Cerrado, verificaram que aos 90 dias após o manejo, restavam sobre a superfície do solo apenas 30% da palhada dos capins Marandu e Ruziziensis manejados no início do mês de novembro. A produtividade média de matéria seca da *Urochloa brizantha* varia entre 4000 a 8000 kg ha⁻¹, podendo chegar a 20000 kg ha⁻¹ (KLUTHCOUSKI, 2004).

2.2 ASPECTOS GERAIS DA CULTURA DO FEIJÃO DE INVERNO (3ª ÉPOCA) E SUA UTILIZAÇÃO NO SISTEMA PLANTIO DIRETO NUM SISTEMA DE INTEGRAÇÃO LAVOURA PECUÁRIA.

A cultura do feijão é muito importante para o Brasil, por ser uma das mais relevantes explorações agrícolas, não só pela área cultivada e sua rentabilidade, mas principalmente, por se tratar de uma fonte fundamental de proteína das camadas mais populares (SORATTO, 2002). O feijoeiro não apresenta sensibilidade ao fotoperiodismo, sendo assim, pode ser cultivado em qualquer época do ano, desde que não aconteçam limitações de água e/ou temperatura (MAEDA; MENDONÇA, 1990).

A cultura do feijão é cultivada em três épocas de semeadura distintas, sendo elas, feijão de 1ª época ou “feijão das águas” ou cultivo de primavera-verão; feijão de 2ª época ou “feijão da seca” ou cultivo de verão-outono; e o feijão de 3ª época ou “feijão de inverno” ou cultivo de outono-inverno. Os cultivos da cultura do feijão de 1ª e 2ª épocas correspondem a mais de 80% da produção nacional (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB, 2011).

No estado do Mato Grosso do Sul, a cultura do feijão é cultivada nas três épocas de semeadura, sendo a mais representativa a que compreende o período de verão-outono, ou seja, o “feijão da seca” (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE, 2011). A evolução das práticas culturais, aliada ao desenvolvimento de cultivares modernas e à adoção de tecnologias pelos agricultores brasileiros, permitiu expressivo ganho em produtividade, saindo de patamares de 500 kg ha⁻¹ de média nacional, no final da década de 1970, para 1000 kg ha⁻¹ na safra 2009/2010. Em alguns estados brasileiros, onde se utilizam níveis tecnológicos elevados, a produtividade supera os 2000 kg ha⁻¹ (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB, 2011).

O cultivo de feijoeiro de 3ª época na região sudeste e centro-oeste ocorre no período de maio a junho. O total de área cultivada com o feijoeiro de terceira época (cultura do feijão de inverno) na safra 2011/12 ficou em 626,1 mil hectares. A produtividade média desta safra de feijão foi de 989 kg ha⁻¹ (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB, 2012).

O feijoeiro é produzido em quase todos os estados brasileiros, com maior ou menor quantidade de área colhida e com os mais diferentes níveis tecnológicos em sistemas de produção (BORÉM; CARNEIRO, 2006). Os principais estados produtores do feijoeiro comum são o Paraná, Minas Gerais, São Paulo, Goiás e Bahia, os quais respondem por mais de 65% da produção nacional (RICHETTI; MELO; SOUSA, 2011).

Dentre os sistemas de produção, o plantio direto constitui uma técnica muito promissora para a cultura do feijão, sobretudo para o cultivo de inverno irrigado, que é semeado em um período que podem ocorrer veranicos prolongados na maior parte da região de Cerrado. A utilização de resíduos da cultura antecessora para cobertura do solo empregada no plantio direto conserva a umidade do mesmo por maior período e diminui a suscetibilidade da cultura ao déficit hídrico, uma vez que o sistema radicular do feijoeiro é bastante superficial, além de reduzir os custos com irrigação (SIMIDU et al., 2010). A cultura do feijão, quando semeada no período da entressafra, proporciona elevado retorno financeiro, por ser uma época em que o produto atinge preços mais elevados (BINOTTI et al., 2009).

O feijoeiro irrigado é uma alternativa econômica importante na entressafra para as regiões Centro-Oeste e Sudeste com clima tropical úmido com estação chuvosa no verão e seca no inverno. Todavia nestas regiões, o estabelecimento do plantio direto apresenta dificuldade devido às altas temperaturas conjuntamente à elevada umidade do solo no verão, que favorece a decomposição mais rápida da palhada, prejudicando a sua formação e/ou a permanência da mesma na superfície do solo (FREIXO et al., 2002). A cultura do feijão explora basicamente a camada superficial do solo, sendo, deste modo, muito sensível à falta de umidade e à compactação (VIEIRA; PAULA JÚNIOR; BORÉM, 2006). Assim, para viabilizar o sistema plantio direto, é necessária a utilização de plantas de cobertura que permitam, além da produção e sustentação de elevada quantidade de palhada sobre o solo, acréscimos de produtividade para as culturas em sucessão (SILVA; MIELNICZUK, 1997).

Conjuntamente ao plantio direto, o sistema de integração lavoura pecuária tem cooperado para a viabilidade do setor agropecuário, visto que permite o fornecimento de alimentos na época seca do ano para os animais (MELLO et al., 2004) e posteriormente, palhada para continuidade do sistema. No Brasil, dentre as diversas formas de emprego do

sistema de integração lavoura pecuária, destaca-se o cultivo consorciado ou em sucessão de espécies forrageiras tropicais, como a *Urochloa brizantha*, com culturas como milho, soja, arroz, feijão e sorgo (PORTES et al., 2000; JAKELAITIS et al., 2004).

No Cerrado brasileiro, considerando as condições de clima e solo, a utilização do plantio direto implica na definição e conhecimento das espécies para a cobertura, que devem possuir excelente produção de biomassa e ser satisfatoriamente persistentes, para que ocorra a proteção física do solo e a disponibilização de nutrientes, resultando em benefícios para a cultura subsequente. Logo, o conhecimento da técnica de plantio direto para a cultura do feijão é muito importante, não só como uma necessidade agrônômica, mas, sobretudo, social e econômica, para se conseguir uma agricultura sustentável e com menos impactos negativos ao ambiente (NUNES et al., 2006). A palhada das espécies do gênero *Urochloa* tem apresentado resultado excelentes para os dois pré-requisitos para formação de palhada no Cerrado, produzindo mais de 15 t ha⁻¹ de biomassa seca quando manejada de forma adequada e permanecendo por mais de seis meses na superfície do solo (COBUCCI, 2001).

A espécie produtora de palha desempenha ampla influência na produtividade de grãos do feijoeiro (OLIVEIRA; CARVALHO; MORAES, 2002). A cobertura do solo com capins do gênero *Urochloa* pode ser utilizada com sucesso para o plantio direto da cultura do feijão; pois maiores quantidades dessas coberturas podem aumentar a produção de sementes (LOLLATO; PARRA; SHIOGA, 2002). Considerando que a cultura do feijão apresenta baixa relação C/N, é de fundamental importância a introdução de espécies em rotação ou consorciação que proporcionem cobertura do solo para a viabilização do plantio direto (SILVA; LEMOS; TAVARES, 2006).

2.3 GEOESTATÍSTICA E ATRIBUTOS FÍSICOS E QUÍMICOS DO SOLO

A modernização da agricultura busca, principalmente, o desenvolvimento sustentável promovendo a otimização dos recursos de produção, aumento de produtividade e diminuição dos efeitos prejudiciais ao ambiente. Portanto, comumente, a aplicação de insumos é baseada em teores médios de fertilidade do solo, podendo subestimar ou superestimar esses teores, ocasionando excessos ou déficit nutricionais na área cultivada. Assim, o conhecimento da variabilidade espacial dos atributos do solo pode otimizar a aplicação localizada de corretivos e fertilizantes bem como de estratégias para seu manejo, aprimorando o controle do sistema de produção das culturas. A variabilidade dos atributos físico-químicos do solo são alguns dos

prováveis responsáveis pela influência na variação da produtividade agrícola (GANDAH et al., 2000).

O crescente custo da produção agrícola, em especial dos insumos, determina de forma incisiva a adoção de técnicas de cultivos apropriadas na produção das culturas. Logo, há tendência de integração de diversos dados, a fim de melhor gerenciar a produção agrícola, em virtude do reconhecimento cada vez maior de que as culturas e os solos não devem ser manejados individualmente e de forma homogênea (DALCHIAVON et al., 2011). Grego e Vieira (2005) asseguraram que a aplicação de tecnologia integrada à variabilidade espacial se faz necessária, especialmente na pesquisa agrícola, que estuda o solo e sua capacidade produtiva. Também Molin (2000), reforçando este ponto, salientou que a agricultura de precisão apareceu com um elenco de tecnologias e procedimentos empregados para que os sistemas de produção agrícolas sejam otimizados, tendo como elemento-chave, o gerenciamento da variabilidade espacial da produção e os fatores a ela relacionados. As variações espaciais dos atributos físico-químicos do solo podem ser analisadas com ferramentas geoestatísticas, que observam a relação entre várias amostras de uma mesma área, utilizando-se o estudo de variáveis regionalizadas (SILVA; CHAVES, 2001).

A agricultura de precisão que promove tanto a aplicação de insumos em taxa variada quanto à tomada de decisão de práticas de manejo físico-químico do solo, é uma alternativa para a aplicação de fertilizantes de maneira racional e/ou melhoria da aeração do solo, portanto, não prejudicando a produtividade das culturas de modo geral. Para isso, faz-se necessário a análise espacial da variabilidade dos atributos do solo e da planta (MONTANARI et al., 2005).

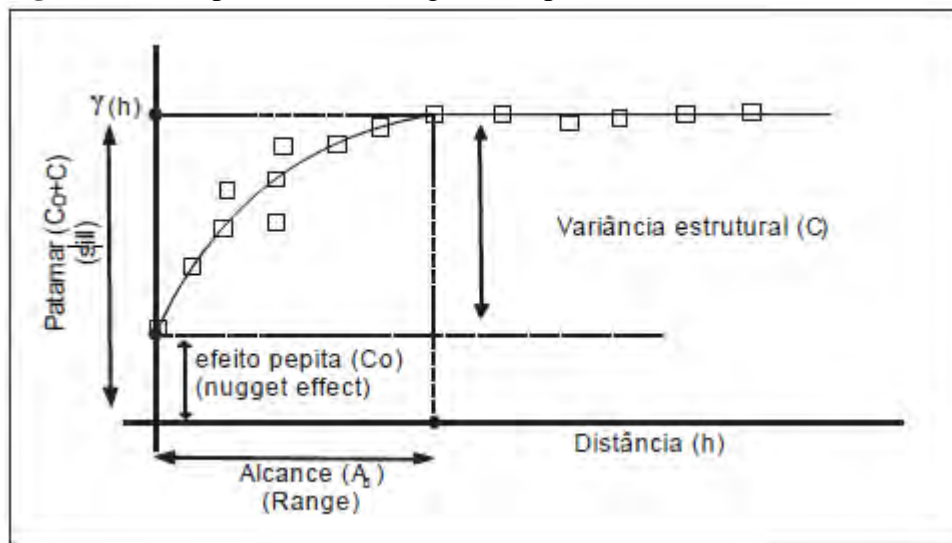
Assim, a geoestatística é utilizada como ferramenta na avaliação da variabilidade espacial do solo, uma ferramenta adequada e essencial para a análise dos atributos que diferem de um local para outro com algum grau de organização e continuidade, expresso pela dependência espacial. De acordo com os princípios da estatística clássica, usualmente, ao se analisarem os atributos do solo, as consequências da heterogeneidade espacial sobre a representatividade dos valores médios são ignoradas. Contudo, o método geoestatístico, além de analisar a dependência espacial desses valores, também proporciona meios para que sejam realizados os respectivos mapeamentos, por meio da krigagem e, ou, da cokrigagem. Além disso, a extensão multivariada da krigagem, conhecida como cokrigagem, é utilizada quando entre dois atributos quaisquer, do solo e/ou da planta, acontecer dependência espacial tanto para cada um deles como entre eles. Do mesmo modo, exclusivamente em relação à variável primária, que normalmente é subamostrada, essa técnica possibilita realizar a estimativa dos

seus valores não amostrados. A cokrigagem pode ser mais precisa que a krigagem de um atributo simples quando o semivariograma cruzado apresentar dependência entre dois atributos quaisquer (TRANGMAR; YOST; UEHARA, 1985; VIEIRA, 2000).

Um dos métodos mais antigos de se estimar a dependência no espaço ou no tempo de amostras vizinhas é pelo uso da autocorrelação. Porém, quando as amostras são referenciadas espacialmente para a interpolação entre locais medidos, será necessária, para a construção de mapas de isolinhas, uma ferramenta mais adequada para medir a dependência espacial. Esta ferramenta é o que chamamos de semivariograma. O semivariograma é uma ferramenta básica de suporte às técnicas de mapeamento por krigagem, permitindo representar quantitativamente a variação de um fenômeno regionalizado no espaço (DALCHIAVON et al., 2011) ou no tempo, definido por três parâmetros: o efeito pepita (C_0), o patamar ($C_0 + C$) e o alcance (A_0).

A Figura 1 apresenta o comportamento típico de um semivariograma que apresenta dependência espacial. Valores de atributos próximos são mais semelhantes que valores de atributos mais afastados (VIEIRA et al. 1981).

Figura 1- Exemplo de semivariograma experimental



Fonte: Vieira et al. (1981)

O efeito pepita (C_0) é representado por um valor da semivariância, diferente de zero, quando a distância entre pontos amostrais é nula. Assim, representa aquela variância que não pôde ser detectada pelo semivariograma, seja pela necessidade de coletas amostrais a distâncias menores, seja pela ocorrência de um erro qualquer em alguma etapa do trabalho. O patamar ($C_0 + C$) representa a distância na qual toda a semivariância da amostra é de influência aleatória, correspondendo à variância total, obtida pela estatística descritiva

(TRANGMAR; YOST; UEHARA, 1985). O alcance (A_0) da dependência espacial é o principal parâmetro fornecido pela geoestatística, representando a distância dentro da qual os valores de um determinado atributo são iguais entre si. Assim, valores de um atributo, localizados dentro da área cujo raio é igual ao seu valor, possuem entre si extrema semelhança em magnitude. Contudo, passam a assumir valores diferentes, maiores ou menores, somente para as distâncias estabelecidas a partir do seu valor. Seu conhecimento é de extrema importância à Agricultura de Precisão, uma vez que os programas computacionais o utilizam para, em função da inteligência artificial que o geoprocessamento desempenha via satélite, poder monitorar o trator agrícola, equipado com a semeadora/adubadora, e, assim, poder efetuar a distribuição de um determinado insumo com taxas variáveis na área (COELHO, 2003).

No ajuste dos modelos experimentais (linear, esférico, exponencial e gaussiano), que depende do atributo e da camada de solo analisada (REICHERT et al., 2008), são considerados: a) a menor soma dos quadrados dos desvios (**SQD**); b) o maior coeficiente de determinação (r^2) e c) o maior avaliador do grau da dependência espacial (**ADE**). O ajuste é validado pela técnica da validação cruzada, assim como também para a definição do tamanho da vizinhança que proporcionará a melhor malha de krigagem. Para cada atributo é estimado o efeito pepita (C_0), o alcance (A_0) e o patamar (C_0+C).

Por outro lado, sabe-se que a validação cruzada é uma ferramenta destinada a avaliar modelos alternativos de semivariogramas que efetuam a krigagem. Assim, trabalhando-se na obtenção do número ideal de vizinhos, são obtidos, por meio da interpolação por krigagem, os mapas de krigagem para a interpretação e o detalhamento da variabilidade espacial dos atributos pesquisados (DALCHIAVON, 2012).

Pelo método da krigagem ordinária, determinando-se o semivariograma da variável e havendo dependência espacial entre as amostras, podem-se interpolar linearmente valores em qualquer posição na área de estudo, sem tendência e com variância mínima. Este é o método de interpolação dos dados mais utilizado no mapeamento dos atributos do solo (SCHLOEDER; ZIMMERMAN; JACOBS, 2001).

Os resultados do estudo podem ser expressos em forma de mapa de isolinhas ou de superfície tridimensional. Porém, a maneira mais utilizada para representar a variabilidade espacial dos atributos do solo em uma área é por meio de mapas de isolinhas (CORÁ; BERALDO, 2006).

Em situações em que existe a correlação espacial entre duas propriedades, a estimativa de uma delas pode ser feita usando-se informações de ambas expressas no semivariograma

cruzado. Este método é chamado de cokrigagem, o qual pode ser mais preciso do que o da krigagem em si (VIEIRA, 2000).

A cokrigagem é uma técnica de avaliação geoestatística que permite estimar uma variável primária de interesse por intermédio de uma variável secundária. Para tanto, é necessário que exista a dependência espacial para cada uma e entre as variáveis primária e secundária. Essa estimativa pode ser mais precisa do que a krigagem de uma variável simples (DALCHIAVON et al., 2011), quando o semivariograma cruzado mostrar dependência entre as duas variáveis. Conforme Montanari (2009), a principal vantagem da cokrigagem é a sua utilização para estimar valores de uma propriedade do solo de difícil mensuração como, por exemplo, a condutividade hidráulica, com base em outra de medição mais fácil, como o teor de argila, desde que sejam correlacionadas espacialmente.

Conseqüentemente, de acordo com Coelho (2003), a cokrigagem permite definir se um atributo apresenta ou não estrutura espacial e, uma vez conhecido o modelo da dependência espacial, é possível mapear a área estudada. Assim, são constituídas as zonas específicas de manejo que são básicas à aplicação de insumos com taxas variadas ou estabelecidas decisões quanto a impedimentos físicos no solo.

A coleta de amostras de solo georreferenciadas comporta alocar no espaço os atributos químicos, com a ajuda das ferramentas de geoestatística, sendo comumente utilizada, visando identificar zonas com restrições químicas que possam estar limitando a produtividade. Porém, a caracterização e a espacialização dos atributos físicos do solo em áreas comerciais têm sido pouco empregadas, devido às dificuldades inerentes ao processo de coleta e análise de grande quantidade de amostras (SILVA et al., 2003).

Conjuntamente o estudo dos atributos do solo no tempo possibilita quantificar a intensidade e a duração das modificações provocadas pelos sistemas de manejos. Estes atributos são importantes para estabelecer se houve melhoria ou degradação da qualidade do solo em relação ao sistema de manejo adotado (REICHERT et al., 2008).

Variações sutis no declive do solo são suficientes para adicionar variabilidade ao mesmo (MARQUES JÚNIOR; LEPSCH, 2000; WANG et al., 2002). Os solos podem ser naturalmente férteis ou se tornarem férteis por meio de um manejo adequado. Por isso, é indispensável se conhecer e quantificar a variação das suas propriedades químicas, tanto horizontal como verticalmente, já que os mesmos estão em constante modificação, sendo heterogêneos.

Os solos do Cerrado Brasileiro passaram por diversos problemas de degradações físico-químicas devido ao uso intensivo, à erosão, redução do conteúdo de matéria orgânica,

perda da fertilidade e principalmente à formação de camadas compactadas. Esta compactação produz grande mudança da sua estrutura, ocasionando a reorganização das partículas e de seus agregados, podendo restringir as trocas gasosas, a infiltração e redistribuição de água, a absorção de nutrientes, e o crescimento do sistema radicular, culminando no decréscimo da produtividade das culturas (ROQUE et al., 2008).

A densidade da partícula sólida do solo, também conhecida apenas como densidade de partículas, é dada pela razão entre a massa de uma amostra deformada de solo, seca a 110 °C, e o seu volume de sólidos, sem considerar a porosidade, quantificada em kg dm^{-3} . Trata-se de um atributo muito pouco utilizado na pesquisa de manejo do solo, devido ao seu caráter imutável diante da ação antrópica que o preparo do solo desencadeia (CAMARGO; ALLEONI, 1997), entretanto, em sistemas conservacionistas e com grande deposição de palhada, o teor de matéria orgânica pode alterar os seus valores (KIEHL, 1979).

Quatro fatores físicos do solo necessitam ser considerados, prioritariamente, quando se avalia a resposta das culturas a determinado tipo de preparo do solo: o teor de água, temperatura, aeração e impedimento mecânico. A compactação do solo pode influenciar todos esses fatores, afetando a planta durante alguma fase do seu ciclo de desenvolvimento (GAMERO, 1985). Assim, dentre os fatores que afetam a compactação, os mais importantes são o teor de água no solo e a pressão aplicada pela maquinaria agrícola (SANTOS et al., 2005). Conseqüentemente, com a redução do teor de água do solo ocorre um aumento da RP, decorrente da maior coesão entre as partículas sólidas do solo.

A densidade do solo (DS) e a resistência do solo à penetração (RP) são os atributos mais utilizados para avaliar a compactação do solo, tendo a segunda estreita correlação com o crescimento radicular. Assim, os Latossolos Vermelhos distroféricos e eutroféricos, em condições naturais e com a mínima intervenção antrópica, apresentam na superfície (0–0,30 m) valores de densidade do solo entre 0,98 e 1,13 kg dm^{-3} (OLIVEIRA; MONIZ, 1975) e de RP em torno de 1,32 MPa (CARNEIRO et al., 2009). Por sua vez, Arshad, Lowery e Grossman (1996) relataram que valores de resistência do solo à penetração maiores que 2,00 MPa restringiram o desenvolvimento radicular das culturas agrícolas em geral.

Com a compactação do solo, ocorrem alterações nos atributos físicos, com destaque nas reduções do volume de macroporos e aeração, acompanhados do incremento na resistência do solo a penetração de raízes (TORMENA et al., 2002; SECCO et al., 2004). Essas alterações influenciam a infiltração de água, que esta relacionada diretamente com a macroporosidade do solo e resistência a penetração das raízes (NICOLOSO et al., 2008).

Segundo Carvalho et al. (2006), quando a RP variar entre 1,29 e 2,87 MPa, não haverá restrição a produtividade de grãos da cultura do feijão. Entretanto, conforme Bengough, Campbell e O'Sullivan (2001), visando atestar a correta interpretação final desta resistência, também é conveniente, na ocasião da amostragem, coletar concomitantemente os dados de densidade do solo e de umidade atual, uma vez que, em relação a eles, a RP varia de forma direta e inversamente proporcional, respectivamente.

A camada compactada pode ser percebida facilmente, quando se observar alguns fatores, a saber: redução do tamanho das plantas, coloração anormal da folha, sistema radicular superficial e mal formado, maior rapidez do efeito da estiagem sobre as plantas, empoçamento de água e aumento da erosão (SANTOS et al., 2005).

Martins (2002), estudando a RP de um Latossolo Vermelho distroférico de acordo com o grau de umidade, nas condições de Selvíria (MS), observou que, após o encharcamento completo do solo, com 4 dias e 5 h de secamento contínuo, o valor da umidade gravimétrica ficou ao redor de $0,211 \text{ kg kg}^{-1}$, muito próximo da capacidade de campo e equivalendo a uma resistência de 2,0 MPa.

A umidade do solo apresenta elevada variação no espaço como consequência da variabilidade de outras propriedades. O estudo detalhado do seu comportamento é necessário para o conhecimento de variação no campo, além de fornecer elementos essenciais ao estabelecimento ou aprimoramento de práticas de manejo agrícola que visem à otimização da produtividade (GREGO et al., 2006).

Grego et al. (2006), estudando um Latossolo Vermelho eutrófico sob plantio direto, citam que a dependência espacial é mais fraca quando se têm valores mais baixos de umidade do solo. Entretanto, Veronese Júnior et al. (2006) observaram que, próximo da capacidade de campo, os semivariogramas mostram efeito pepita puro para a umidade do solo, a qual depende da distribuição espacial dos macroporos e microporos.

A irregularidade da distribuição da precipitação pluvial e, conseqüentemente, da disponibilidade de água em períodos críticos tem sido reconhecida como um dos principais fatores responsáveis pela variabilidade temporal da produtividade da cultura de milho (BAKSH et al., 2001; MIAO; MULLA; ROBERT, 2006) e da cultura do feijão (KLUTHCOUSKI et al., 2000). A irrigação pode diminuir esta variabilidade, porém a eficiência desta prática em atender plenamente a demanda das plantas esta relacionada, entre outros fatores, com a taxa de infiltração, a capacidade de armazenamento no solo e a disponibilidade de água as plantas, sendo, portanto, influenciada pelo estado de compactação.

De acordo com Goedert, Schermack e Freitas (2002), a diminuição dos macroporos constitui um tema de crescente importância em face do aumento da mecanização nas atividades agrícolas, que acarreta em alteração no arranjo das partículas do solo, tornando-o mais denso.

Os principais efeitos negativos deste fato são o aumento da resistência mecânica ao crescimento radicular, a redução da aeração (macroporos) e a disponibilidade de água (microporos) e de nutrientes, e, conseqüentemente, decréscimo na produtividade agrícola. Alguns trabalhos têm mostrado que, quando a macroporosidade do solo é reduzida a valores inferiores a $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, o crescimento das raízes é prejudicado. Neste caso, somente a partir de densidade do solo equivalente a $1,4 \text{ kg dm}^{-3}$ ocorreria problema para as raízes (MEGDA et al., 2008). Além disso, ao diminuir a macroporosidade, segundo Kertzmann (1996), parte significativa da água fica retida nos microporos sob altas tensões e, portanto, indisponível às plantas.

Camargo e Alleoni (1997) em ensaio sobre compactação e desenvolvimento das plantas em um solo argiloso, relataram que o valor da densidade do solo de $1,55 \text{ kg dm}^{-3}$ torna limitante o desenvolvimento vegetativo. Este valor, assim como sua influência sobre o desenvolvimento das culturas, além de estar intimamente associado à textura e estrutura, por exemplo, também é dependente do cultivo e do manejo do solo (MONTANARI et al., 2010).

De acordo com Silva e Chaves (2001), excetuando o pH dos solos, os atributos químicos apresentam maior variação no solo que as propriedades físicas. Assim, após passarem por diversas mudanças geradas pelas atividades agrícolas e, portanto, pelos processos erosivos, os atributos químicos do solo comportam-se de forma bastante diferenciada ao longo da paisagem. Considerando essas variações e a dependência espacial, o emprego de amostragem aleatória seria insuficiente para representar toda uma classe de solo (PREVEDELLO, 1987).

Em um solo tido como ideal o valor encontrado de matéria orgânica é de 50 g dm^{-3} , no entanto, em solos arenosos o teor de matéria orgânica é de até 15 g dm^{-3} , porém, em solos de textura média o teor fica compreendido entre 16 a 30 g dm^{-3} e em solos argilosos de 31 a 60 g dm^{-3} , (RAIJ et al., 1997).

Tanto a matéria orgânica (MO) quanto o potencial hidrogeniônico (pH) exercem grande influência no crescimento e desenvolvimento das plantas, uma vez que estão diretamente ligados a disponibilidade de nutrientes (CANELLAS; SANTOS; AMARAL, 1999; SOUZA; MIRANDA; OLIVEIRA, 2007). O sistema plantio direto tem melhorado a

disponibilidade de matéria orgânica, pois privilegia o aporte orgânico contínuo, aumentando assim a ciclagem de nutrientes (ANDRADE et al., 2003).

O baixo teor de fósforo encontrado nos solos brasileiros, em especial nos Cerrados, limitam a produtividade da cultura do feijão que, frequentemente, apresenta resposta positiva a aplicação deste nutriente no solo (PASTORINI et al., 2000). O fósforo é muito importante para o feijoeiro principalmente no início do seu ciclo vegetativo, sendo assim, restrições deste elemento neste período podem resultar em limitações no desenvolvimento da planta afetando de tal maneira que esta não se recupera posteriormente (GRANT et al., 2001; SOUTO et al., 2009).

A cultura do feijão quando adubada com fósforo, de forma correta e equilibrada, possui condições de produzir sementes em maior quantidade e com melhor qualidade. O fósforo é o elemento exigido em quantidade cerca de 10 vezes menor que a do N, e está relacionado à formação da semente e do fruto (GRANT et al., 2001). Zucareli (2005) observou que o número de vagens e massa das sementes na cultura do feijão, que são as principais características determinantes no acréscimo da produtividade, aumenta conforme o aumento do fósforo na planta do feijoeiro. O pico da absorção de fósforo fica compreendido dos 30 aos 55 dias após a emergência do feijoeiro, coincidindo com o final do florescimento, quando já existem algumas vagens formadas, com absorção de 0,20 kg ha⁻¹ a 0,30 kg ha⁻¹ de P dia (ROSOLEM; MARUBAYASHI, 1994).

A elevação dos níveis de disponibilidade de fósforo até a faixa ótima pode ser feita de forma corretiva ou gradativa. A adubação corretiva com incorporação em todo o volume de solo é mais eficiente e, talvez, a única alternativa para a correção da carência de fósforo do solo das camadas subsuperficiais. A aplicação superficial de fertilizantes fosfatados no sistema plantio direto parece não ser uma boa alternativa econômica e pode se tornar um problema ambiental (DOS SANTOS; GATIBONI; KAMINSKIL, 2008).

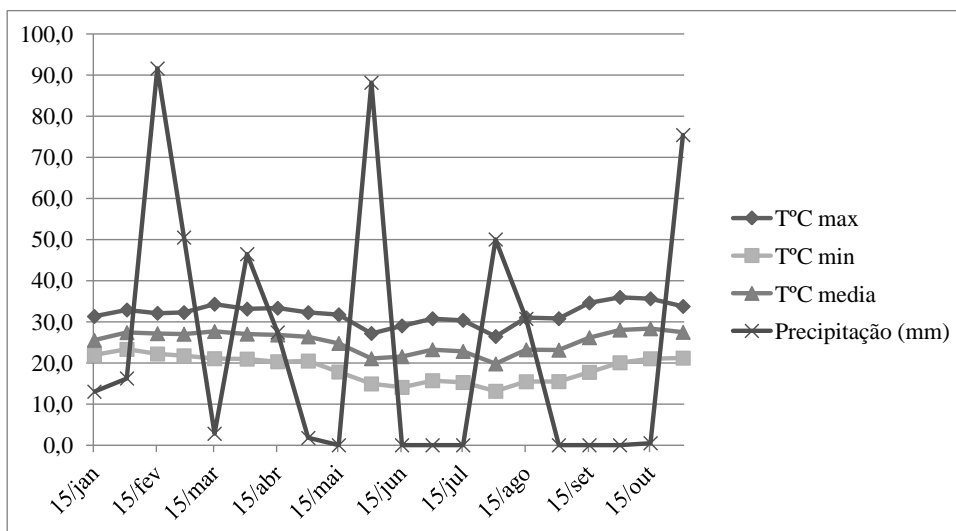
No Brasil o estudo geoestatístico dos atributos físico-químicos do solo com a produtividade do feijão vem se intensificando com o surgimento da agricultura de precisão (FREDDI et al., 2005; SANTOS et al., 2005; CARVALHO et al., 2006; KITAMURA; CARVALHO; LIMA, 2007; ROQUE et al., 2008; MARTINS et al., 2009; MONTANARI et al., 2010; DALCHIAVON et al., 2011; MONTANARI et al., 2013).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 CARACTERIZAÇÃO DO LOCAL DE ORIGEM DOS RESULTADOS

O trabalho foi desenvolvido na Fazenda de Ensino, Pesquisa e Extensão – Setor de Produção Vegetal, da Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira (FE/UNESP), localizada no município de Selvíria (MS), na latitude de 20°18'S e a longitude de 52°39'W. Sua precipitação média anual é de 1300 mm, enquanto que a temperatura média é de 23,7°C. O tipo climático é Aw, segundo Koeppen, caracterizado como tropical úmido com estação chuvosa no verão e seca no inverno. Os resultados climáticos referentes ao período de condução do experimento estão na Figura 2.

Figura 2- Dados climatológicos coletados durante a condução do experimento no período compreendido entre janeiro de 2007 á outubro de 2007.



Fonte: a própria autora

O solo no qual a malha experimental foi instalada, classificado segundo o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA-EMBRAPA, 2006), é um Latossolo Vermelho Distroférico típico argiloso, com declive homogêneo de 0,025 m m⁻¹.

3.2 CARACTERIZAÇÃO INICIAL DO SOLO PESQUISADO

O solo, no qual foi estabelecida a pesquisa, estava sendo utilizado em sistema de rotação em plantio direto, o qual foi ocupado por milho safrinha (*Zea mays*) (2004), com posterior semeadura de soja (*Glycine max*) (2004/2005), sorgo forrageiro (*Sorghum bicolor*) (2005), soja (2005/2006) e guandu anão (*Cajanus cajan*) (2006). Portanto, com objetivo de caracterizá-la inicialmente foram feitas análises antes da semeadura da *Urochloa brizantha* cv. Marandu e após sua dessecação, antecedendo a semeadura do feijoeiro de inverno. Foi efetuado um levantamento físico (densidade do solo, macro, micro e porosidade total), como também da situação de sua fertilidade (Tabelas 1, 2, 3 e 4) nas profundidades de 0-0,10 e 0,10-0,20 m. Para a avaliação física do solo foram coletadas amostras indeformadas em 20 pontos, sendo a densidade do solo (DS) determinada pelo Método do Anel Volumétrico, relacionada em kg dm^{-3} . Para a macroporosidade ($\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$), microporosidade ($\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$) e a porosidade total ($\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$) foi utilizado o Método da Mesa de Tensão (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUARIA-EMBRAPA, 1997). Da mesma forma, para caracterização química do solo, nos 20 pontos amostrais, as tradagens nas duas profundidades foram realizadas com um trado de caneca.

Tabela 1- Características químicas do solo antes da implantação da *Urochloa brizantha*.

Profundidade (m)	P_{resina}	MO	pH	CaCl ₂	K	Ca	Mg	H+Al	Al	SB	CTC	V	m
	mg dm^{-3}	g dm^{-3}						----- $\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ -----				%	
0 - 0,10	12,5	18,0	5,1	3,2	19	11	22,2	0,5	33,3	55,5	60	0,9	
0,10 - 0,20	6,7	14,1	4,6	1,9	10	6	25,5	1,8	17,9	43,4	41	4,1	

Fonte: a própria autora

Tabela 2- Caracterização da densidade do solo (DS), macro (MA), micro (MI) e porosidade total (PT) do solo antes da implantação da *Urochloa brizantha*.

Profundidade (m)	DS	MA	MI	PT
	kg dm^{-3}	----- $\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$ -----		
0 - 0,10	1,314	0,147	0,334	0,481
0,10 - 0,20	1,487	0,078	0,345	0,425

Fonte: a própria autora

Tabela 3- Características químicas do solo após a dessecação química da *Urochloa brizantha*.

Profundidade (m)	P _{resina}	MO	pH	CaCl ₂	K	Ca	Mg	H+Al	SB	CTC	V
	mg dm ⁻³	g dm ⁻³						mmol _c dm ⁻³			%
0 - 0,10	23,5	29,5	5,2	3,2	39	17	30,1	59,6	89,8	66	
0,10 - 0,20	12,2	22,2	4,7	1,3	21	10	42,1	32,3	75,1	44	

Fonte: a própria autora

Tabela 4- Caracterização da densidade do solo (DS), macro (MA), micro (MI) e porosidade total (PT) do solo após a dessecação química da *Urochloa brizantha*.

Profundidade (m)	DS	MA	MI	PT
	kg dm ⁻³	m ³ m ⁻³		
0 - 0,10	1,432	0,099	0,343	0,442
0,10 - 0,20	1,484	0,080	0,346	0,426

Fonte: a própria autora

3.3 IMPLANTAÇÃO E CONDUÇÃO DAS PLANTAS-TESTE PESQUISADAS (*Urochloa brizantha* CV. MARANDU E A CULTURA DO FEIJÃO DE INVERNO).

A *Urochloa brizantha* cv. Marandu foi semeada em 26 de janeiro de 2007 em área irrigada (pivô central), após a dessecação das plantas daninhas da área com o herbicida glyphosate, na dose de 1440 g do i. a. ha⁻¹. O capim foi semeado com espaçamento de 0,17 m entrelinhas, com utilização de 12 kg de sementes ha⁻¹ (36% de valor cultural), ou seja, 20 sementes viáveis m⁻². As plantas foram conduzidas por 46 dias (12/03/07) e ceifadas com auxílio de uma roçadora, a uma altura de 0,25 m para nivelamento da área. Após 52 dias desta ceifa de manejo inicial, as plantas foram dessecadas (02/05/07) com o herbicida glyphosate, na dose de 1440 g do i. a. ha⁻¹.

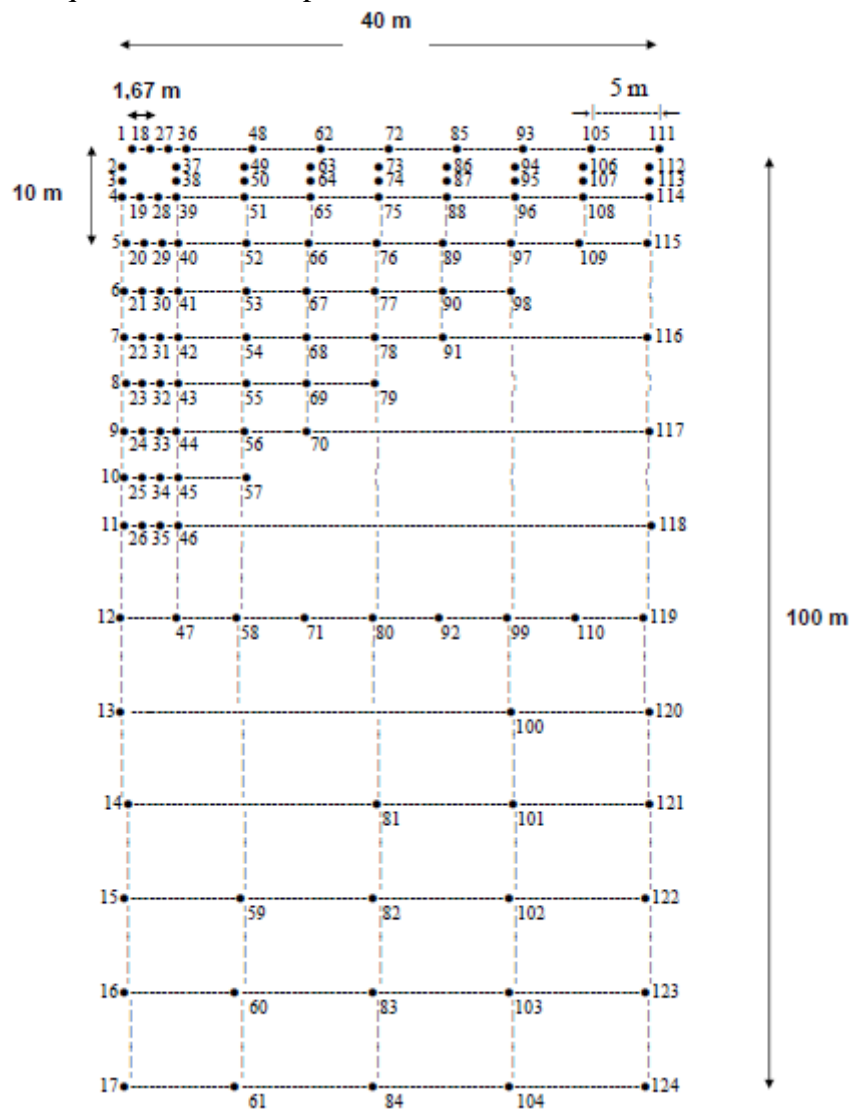
Em sucessão ao capim Marandu, após sua dessecação e coleta de solo para avaliação dos atributos físicos e químicos, bem como estimar sua produtividade de matéria seca da parte aérea, foi semeada a cultura de feijão de inverno (30/05/2007), cv. IAC Carioca, com espaçamento entrelinhas de 0,45 m. Como adubação de semeadura, com base na análise inicial do solo (Tabela 3), utilizou-se 250 kg ha⁻¹ do formulado 08-28-16. No dia 04/07/2007 foi realizada a adubação de cobertura com 70 kg ha⁻¹ de N na forma de ureia, sendo em

seguida aplicada uma lâmina d'água de 14 mm para minimizar as perdas de NH_3 por volatilização. Não foi necessário aplicar herbicidas, fungicidas ou inseticidas como tratamentos culturais do feijoeiro de inverno.

3.4 IMPLANTAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA MALHA EXPERIMENTAL UTILIZADA PARA COLETA DOS ATRIBUTOS PESQUISADOS

Foram definidas as direções x e y do sistema de coordenadas cartesianas, num lançante da cultura de feijão de inverno, estabelecido entre dois terraços agrícolas (Figura 3).

Figura 3- Esquema de campo da malha experimental de coletas de resultados, sequencialmente, do ponto amostral 1 até o 124.



Fonte: a própria autora

Para tanto, foi utilizado o nível ótico comum, efetuando-se o estaqueamento global da malha experimental após a semeadura das culturas (capim Marandu e feijoeiro de inverno). A grande malha experimental ficou constituída de cinco linhas e dez colunas, de formato retangular e contendo 44 pontos amostrais, com espaçamento entre pontos de 10,0 m x 10,0 m, numa área total de 4000 m² (100 m x 40 m). Tais eixos, que foram as maiores transeções e contendo 11 pontos cada, tiveram 100 m, cuja hipotenusa foi de 107,7 m. Entretanto, foram alocadas por sorteio, dentro da grande malha, sub-malhas de refinamento da distância entre os pontos, visando detalhar o estudo da dependência espacial dos resultados, para condições do espaçamento entre pontos menores do que 10,0 m. Cada sub-malha ficou posicionada entre quatro pontos da grande malha, constituindo-se de um ponto no seu centro e mais quatro estabelecidos no sentido dos eixos cartesianos e na metade entre cada par, com espaçamentos de 5,0 e 1,67 m entre eles, totalizando 124 pontos.

3.5 COLETA E METODOLOGIA DE DETERMINAÇÃO DOS ATRIBUTOS PESQUISADOS

Os atributos pesquisados foram do solo e das plantas, todos individualmente coletados no entorno de cada ponto amostral (delimitado por estacas) da malha experimental. Os atributos do solo foram: a) densidade da partícula (DP), b) densidade do solo (DS), c) macroporosidade (MA), d) microporosidade (MI), e) porosidade total do solo determinada (PTd), f) porosidade total do solo, calculada pela expressão: $PTc = [1 - (DS/DP)] (PTc)$, dada em m³ m⁻³, g) resistência mecânica à penetração (RP), h) umidade gravimétrica (UG), i) umidade volumétrica (UV), j) teor de fósforo (P), l) teor de matéria orgânica (MO) e m) pH em CaCl₂ (pH). O atributo da *Urochloa brizantha* cv. Marandu pesquisado foi a produtividade de matéria seca da parte aérea (MSB) e os atributos do feijoeiro de inverno foram a população de plantas (PP) e a produtividade de grãos (PRO).

Os atributos do solo foram calculados em função de amostras coletadas no entorno da estaca que determinaram o ponto amostral no campo, nos dias 15 e 16/05/2007. Tais amostras de solo foram originadas de monólitos com estrutura indeformada para a DS, MA, MI, PTd e UV, ao passo que para a DP, UG, P, MO e pH foram com estrutura deformada, com auxílio de um trado de caneca. Elas foram coletadas em duas profundidades do solo, a saber: a) 0-0,10 m e b) 0,10-0,20 m. Desta forma, a densidade do solo (DS) foi determinada pelo método do anel volumétrico, dada em kg dm⁻³, enquanto que a umidade gravimétrica do solo (UG) foi determinada com base na massa, dada em kg kg⁻¹ (EMPRESA BRASILEIRA

DE PESQUISA AGROPECUÁRIA-EMBRAPA, 1997). Para a macroporosidade, microporosidade e a porosidade total determinada foi utilizado o método da mesa de tensão, dadas em $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$, todas determinadas conforme Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária-Embrapa (1997). A densidade da partícula (DP) foi determinada pelo método do balão volumétrico, dada em kg dm^{-3} (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA-EMBRAPA, 1997), e a umidade volumétrica, dada em $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$, foi determinada pelo seguinte cálculo (KIEHL, 1979):

$$UV=UG \times DS \dots \dots \dots (2)$$

Os resultados da RP foram obtidos com o penetrômetro de impactos (STOLF, 1991), calculados segundo a expressão contida em Souza et al. (2001):

$$RP = \{5,581 + 6,891 \times [N / (P - A) \times 10]\} \times 0,0981 \dots \dots \dots (3)$$

onde: **RP** é a resistência mecânica à penetração (MPa), **N** é o número de impactos efetuados com o martelo do penetrômetro para obtenção da leitura, **A** e **P** são, respectivamente, as leituras antes e depois da realização dos impactos (cm).

A matéria orgânica foi determinada pela seguinte expressão:

$$MO = C \times 1,724 \times 10 \dots \dots \dots (4)$$

Onde: **MO** é o teor de matéria orgânica do solo, dada em g dm^{-3} , e **C** o teor de carbono orgânico, dado em %. Assim, o carbono orgânico foi determinado pelo método colorimétrico da combustão úmida (Raij et al., 2001). Para determinação do teor de P, dado em mg/dm^3 , e valor pH em CaCl_2 , também foi empregada a metodologia constante em Raij et al. (2001). Todos eles foram determinados no Laboratório de Análises Físicas e Químicas do Solo da Faculdade de Engenharia-FE/UNESP/Campus de Ilha Solteira.

A produtividade de matéria seca da *Urochloa brizantha* também foi obtida e calculada em função de amostras originadas no entorno do ponto amostral estaqueado no dia 02/05/2007. Tais amostras foram originadas da coleta de todas as plantas, no ponto amostral, utilizando-se para demarcação de área, um quadrado metálico de 0,50 x 0,50 m ($0,25 \text{m}^2$). As plantas foram ceifadas manualmente (à altura de 0,25 m), pesadas para determinação da matéria fresca e colocadas em estufa de circulação forçada de ar a 65°C até massa constante, para determinação da matéria seca por ponto amostral conforme metodologia contida em Silva e Queiroz (2002).

Posteriormente à dessecação do capim Marandu e do cultivo da cultura do feijão de inverno, ao final do ciclo (13/09/2007), foram coletadas todas as plantas no entorno de cada ponto amostral para determinação da produtividade de grãos (PRO), que foi corrigida para 13% de umidade. Tais amostras foram originadas da coleta de todas as plantas, quando

considerado que todo ponto amostral continha quatro linhas de semeadura, as quais numa largura de 1,00 m. Uma vez que foi considerada a mesma distância para o comprimento, a área de coleta de plantas de cada ponto amostral foi de 1,80 m². A produtividade de grãos foi calculada para kg ha⁻¹. Na determinação da população de plantas, no momento da colheita foram contadas todas as plantas na mesma área de 1,80 m², referentes ao ponto amostral e desta calculou-se a população de plantas por hectare.

Considerando que o solo estudado foi estratificado em duas profundidades, a relação final dos seus 24 atributos foi a seguinte: a) camada de 0-0,10 m: DP1, DS1, MA1, MI1, PTd1, PTc1, RP1, UG1, UV1, P1, MO1 e pH1 e b) camada de 0,10-0,20 m: DP2, DS2, MA2, MI2, PTd2, PTc2, RP2, UG2, UV2, P2, MO2 e pH2. Para os atributos das plantas ficaram assim referidas: MSB para produtividade de matéria seca da parte aérea do capim Marandu e PP e PRO, respectivamente, para população de plantas e produtividade de grãos da cultura do feijão de inverno.

3.6 ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS ATRIBUTOS ESTUDADOS

3.6.1 Análise descritiva inicial dos resultados

Para cada atributo estudado foi efetuada a análise descritiva inicial dos resultados pelo emprego da estatística clássica, utilizando-se o SAS (SCHLOTZHAVER; LITTEL, 1997), foram obtidos os valores de média, mediana, moda, erro padrão da média, valores mínimo e máximo, desvio padrão, variância, coeficiente de variação, curtose e assimetria. Posteriormente, realizou-se a análise da distribuição de frequência desses atributos. Desta forma, para testar a hipótese de normalidade, ou de lognormalidade dos resultados, foi utilizado o teste de Shapiro e Wilk (1965) a 1%. Nele, a estatística w testa a hipótese nula, que julga ser a amostra proveniente de uma população com distribuição normal. Assim, no caso de resultados transformados na forma logarítmica ($y = \log x$), w testa a hipótese nula de que os valores y_i provêm de uma distribuição normal, isto é, os resultados não transformados (w_i) ajustam-se a uma distribuição lognormal.

A correção dos *outliers* foi realizada anterior à transformação logarítmica dos resultados, atributo por atributo, da seguinte forma, exclusivamente na análise descritiva fornecida pelo SAS. Primeiramente, foi identificada a presença do *outlier*, no gráfico de ramos e folhas e no *boxplot*, pela localização da marca do asterisco com a designação do respectivo valor. Posteriormente, foi confirmada a existência deste *outlier* no gráfico de

probabilidade normal. Nele, a presença dos referidos *outliers* é caracterizada pelo posicionamento distanciado da nuvem de pontos amostrais obtidos. Finalmente, a correção do *outlier* foi procedida pelo cálculo da média aritmética dos valores dos pontos circunvizinhos na malha de estudo, em substituição ao valor deste *outlier*.

3.6.2 Análise de regressão

Foi montada a matriz de correlação de Pearson, objetivando efetuar as correlações lineares simples para as combinações, duas a duas, entre todos os atributos estudados (solo e planta). Assim, procurou-se selecionar aqueles de maior correlação linear, objetivando analisar aqueles que poderiam apresentar semivariograma cruzado e a consequente cokrigagem. Também, conjuntamente para todas as camadas estudadas do solo, foi efetuada a análise de regressão linear entre as variáveis dependentes da planta e as independentes do solo, objetivando selecionar aquelas que, nos devidos casos, proporcionariam as maiores relações entre causa e efeito, avaliadas pelo aumento do coeficiente de determinação. Para tanto, foram utilizados o programa Excel e o pacote computacional SAS.

3.6.3 Análise geoestatística

Para cada atributo, foi analisada a dependência espacial pelo cálculo do semivariograma, utilizando o pacote computacional *Gamma Design Sofyware 7.0* (ROBERTSON, 2004). Foram ajustados semivariogramas simples a todos os atributos estudados, das plantas (MSB, PP e PRO) e do solo (DP1, DP2, DS1, DS2, MA1, MA2, MI1, MI2, PTd1, PTd2, PTc1, PTc2, RP1, RP2, UG1, UG2, UV1, UV2, P1, P2, MO1, MO2, pH1 e pH2). Posteriormente, ajustaram-se semivariogramas cruzados entre os atributos: a) planta *versus* planta e b) planta *versus* solo. O objetivo foi definir os pares de melhor representatividade, isto é, qual o atributo, tido como variável secundária apresentou maior correlação espacial explicativa do atributo tido como variável primária.

Por outro lado, para aqueles em que ocorria a ausência de estacionaridade, retirou-se a tendência dos resultados por meio da técnica polinomial. Esta técnica baseia-se no fato da geoestatística ser uma ciência que trata da aplicação da teoria das variáveis regionalizadas, utilizada na estimativa de fenômenos geológicos que ocorrem na terra. Dessa forma, uma variável Z , que é distribuída ordenadamente no espaço “s”, é tida como uma variável regionalizada $Z(s)$. Portanto, pode ser representada espacialmente pelo semivariograma,

partindo-se do pressuposto de que seus valores sejam estacionários. Entretanto, em muitos casos ela não satisfaz essa condição, de forma a caracterizar o fenômeno por exibir uma tendência, isto é, não estacionária. Assim, por se tratar de variável não estacionária se decompõe em:

$$\mathbf{Z}(\mathbf{s}) = \mathbf{m}(\mathbf{s}) + \mathbf{R}(\mathbf{s}) \dots \dots \dots (5)$$

onde: $\mathbf{m}(\mathbf{s})$ é a tendência ou derivada e $\mathbf{R}(\mathbf{s})$ é o resíduo (MATHERON, 1963).

Segundo Davis (1986), a tendência $\mathbf{m}(\mathbf{s})$ da variável $\mathbf{Z}(\mathbf{s})$, que depende exclusivamente da localização geográfica (coordenadas cartesianas x e y) do ponto amostral, na qual o componente aleatório vai ficar modelado no resíduo, pode ser obtida pela técnica da regressão múltipla polinomial, quando $\mathbf{m}(\mathbf{s})$ é obtida em função dos valores das coordenadas cartesianas (x e y) do ponto. Conforme apresentada por Armesto (1999), as expressões testadas foram a linear, a quadrática e a cúbica, relacionadas a seguir:

$$\mathbf{m}(\mathbf{x},\mathbf{y}) = \mathbf{a}_0 + \mathbf{a}_1.\mathbf{x} + \mathbf{a}_2.\mathbf{y} \dots \dots \dots (6)$$

$$\mathbf{m}(\mathbf{x},\mathbf{y}) = \mathbf{a}_0 + \mathbf{a}_1.\mathbf{x} + \mathbf{a}_2.\mathbf{y} + \mathbf{a}_3.\mathbf{x}^2 + \mathbf{a}_4.\mathbf{y}^2 + \mathbf{a}_5.\mathbf{xy} \dots \dots \dots (7)$$

$$\mathbf{m}(\mathbf{x},\mathbf{y}) = \mathbf{a}_0 + \mathbf{a}_1.\mathbf{x} + \mathbf{a}_2.\mathbf{y} + \mathbf{a}_3.\mathbf{x}^2 + \mathbf{a}_4.\mathbf{y}^2 + \mathbf{a}_5.\mathbf{xy} + \mathbf{a}_6.\mathbf{x}^3 + \mathbf{a}_7.\mathbf{y}^3 + \mathbf{a}_8.\mathbf{x}^2\mathbf{y} + \mathbf{a}_9.\mathbf{y}^2\mathbf{x} \dots \dots \dots (8)$$

Dessa forma, a eleição da tendência $\mathbf{m}(\mathbf{s})$, efetuada pelo ajuste dos mínimos quadrados para cada modelo, é obtida pela escolha daquele que apresentar o maior coeficiente de determinação. Definido o modelo, pode-se calcular o resíduo $\mathbf{R}(\mathbf{x},\mathbf{y})$, a partir da equação (9), efetuando-se:

$$\mathbf{R}(\mathbf{x},\mathbf{y}) = \mathbf{Z}(\mathbf{x},\mathbf{y}) - \mathbf{m}(\mathbf{x},\mathbf{y}) \dots \dots \dots (9)$$

Portanto, com tais resíduos (atributo precedido do símbolo #), poderão ser efetuados os tratamentos necessários aos resultados, tais como o ajuste do semivariograma e sua validação. Finalmente, a soma dos resíduos aos respectivos desvios resultará na estimativa da variável $\mathbf{Z}^*(\mathbf{x},\mathbf{y})$, com a qual poderá ser efetuada a krigagem, conforme:

$$\mathbf{Z}^*(\mathbf{x},\mathbf{y}) = \mathbf{m}^*(\mathbf{x},\mathbf{y}) + \mathbf{R}^*(\mathbf{x},\mathbf{y}) \dots \dots \dots (10)$$

onde: $Z^*(x,y)$ é a estimativa da variável não estacionária $Z(s)$, $m(x,y)$ é a tendência da variável $m(s)$, e $R^*(x,y)$ é a estimativa do resíduo resultante da krigagem.

Desta forma, foi possível recalculiar os semivariogramas, com os resíduos obtidos deste procedimento, de forma a apresentar, agora, os atributos precedidos pelo símbolo £. Portanto, os ajustes dos semivariogramas (simples e cruzados), em função de seus modelos, foram efetuados pela seleção inicial de: a) a menor soma dos quadrados dos desvios (**SQD**); b) o maior coeficiente de determinação espacial (r^2) e c) o maior avaliador da dependência espacial (**ADE**). A decisão final do modelo que representou o ajuste foi realizada por meio da validação cruzada, assim como também para a definição do tamanho da vizinhança que proporcionou a melhor malha de krigagem e/ou cokrigagem.

A validação cruzada é uma ferramenta destinada a avaliar modelos alternativos de semivariogramas, simples e cruzados, que efetuarão, respectivamente, a krigagem e a cokrigagem. Assim, trabalhando-se na obtenção do número ideal de vizinhos foram obtidos, por meio de interpolação, os mapas de krigagem e de cokrigagem, para análise de dependência e da interdependência espacial entre os atributos pesquisados.

Para cada atributo foram relacionados o efeito pepita (C_0), alcance (a_0) e o patamar (C_0+C). A análise do avaliador da dependência espacial (**ADE**) foi conforme sugestões de Cambardella, Moorman e Novak (1994), modificada por Robertson (1998) conforme a seguinte expressão:

$$ADE = [C/(C+C_0)].100.....(4)$$

onde: **ADE** é o avaliador da dependência espacial; C é a variância estrutural; $C+C_0$ é o patamar. A interpretação proposta para o **ADE** foi a seguinte: a) $ADE \leq 25\%$ indicando variável espacial fracamente dependente; b) $25\% < ADE \leq 75\%$ indicando variável espacial moderadamente dependente, e c) $ADE > 75\%$ indicando variável espacial altamente dependente.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 ANÁLISE DESCRITIVA DOS DADOS

4.1.1 Variabilidade dos atributos

4.1.1.1 Atributos das plantas

Conforme Pimentel-Gomes e Garcia (2002), a variabilidade de um atributo pode ser classificada segundo a magnitude de seu coeficiente de variação (CV), sendo suas classes determinadas como baixa ($CV \leq 10\%$), média ($10\% < CV \leq 20\%$), alta ($20\% < CV \leq 30\%$) e muito alta ($CV > 30\%$). Portanto, a produtividade (PRO) e a população de plantas (PP) do feijoeiro de inverno e a matéria seca da *Urochloa brizantha* (MSB) apresentaram alta variabilidade (22,2%, 20,7% e 32,6% respectivamente) (Tabela 5). A variabilidade da PRO assemelhou-se com a obtida por Montanari et al. (2010) cujo CV foi de 21,1% e por Dalchiavon et al. (2011), cujo o CV foi de 20,3%, ambos em um Latossolo Vermelho distroférico sob plantio direto utilizando a cultura do feijão de inverno.

4.1.1.2 Atributos do solo

A variabilidade da densidade da partícula (DP) e densidade do solo (DS) nas duas camadas de solo estudadas foi baixa (Tabela 5), com coeficientes de variação entre 3,7% (DP2) e 5,8% (DS1). Assim, os dados de densidade do solo aproximam-se dos obtidos por Souza et al. (2001) e Montanari et al. (2010), os quais variaram de 4,8% a 7,9%, quando trabalharam com um Latossolo Vermelho distroférico sob plantio direto utilizando a cultura do feijão de inverno. Logo, constata-se que a DS e DP, nas primeiras camadas de latossolos, normalmente apresentam baixa variabilidade, principalmente pelo tempo de sistema plantio direto, onde o conteúdo de matéria orgânica e o manejo do solo tendem a homogeneizar essas camadas superficiais.

Tabela 5-Análise descritiva inicial da produtividade e população de plantas do feijoeiro de inverno, matéria seca da *Urochloa brizantha* e alguns atributos de uma Latossolo Vermelho Distroférrico de Selvíria (MS).

Atributo ^(a)	Valor					Coeficiente					Probabilidade do teste ^(b)	
	Média	Mediana	Mínimo	Máximo	Desvio Padrão	Variação (%)	Curtose	Assimetria	Pr<w	DF		
<i>Atributos da planta</i>												
PRO (kg ha ⁻¹)	3293	3219	1547	5599	730,2	22,2	0,164	0,426	0,112	NO		
PP (pl ha ⁻¹)	166280	164609	89506	235940	34414	20,7	-0,557	-0,155	0,121	NO		
MSB (kg ha ⁻¹)	12485	12400	3760	22400	4068	32,6	-0,532	0,293	0,097	NO		
<i>Densidade da partícula</i>												
DPI (kg dm ⁻³)	2,500	2,505	2,250	2,750	0,097	3,9	-	-	-	IN		
DP2 (kg dm ⁻³)	2,519	2,540	2,250	2,750	0,093	3,7	-	-	-	IN		
<i>Densidade do solo</i>												
DS1 (kg dm ⁻³)	1,441	1,455	1,250	1,590	0,083	5,8	-	-	-	IN		
DS2 (kg dm ⁻³)	1,476	1,480	1,300	1,620	0,064	4,3	0,287	-0,418	0,102	NO		
<i>Macroporosidade</i>												
MA1 (m ³ m ⁻³)	0,084	0,072	0,027	0,190	0,040	47,8	-	-	-	IN		
MA2 (m ³ m ⁻³)	0,067	0,067	0,028	0,117	0,018	27,2	0,290	0,351	0,081	NO		
<i>Microporosidade</i>												
MI1 (m ³ m ⁻³)	0,349	0,349	0,308	0,397	0,020	5,7	-0,565	0,034	0,252	NO		
MI2 (m ³ m ⁻³)	0,351	0,352	0,312	0,396	0,018	5,2	-0,344	0,227	0,389	NO		
<i>Porosidade total determinada</i>												
PTd1 (m ³ m ⁻³)	0,434	0,431	0,373	0,512	0,030	7,0	-0,630	0,313	0,041	TN		
PTd2 (m ³ m ⁻³)	0,420	0,416	0,380	0,485	0,024	5,7	-	-	-	IN		

^(a)PRO = produtividade do feijoeiro de inverno, PP = população de plantas do feijoeiro de inverno, MSB = matéria seca da *Urochloa brizantha*, DP = densidade da partícula, DS = densidade do solo, MA = macroporosidade, MI = microporosidade e PTd = porosidade total determinada. ^(b)DF= Distribuição de frequência, sendo NO, TN e IN, respectivamente do tipo normal, tendendo a normal e indeterminada.... continua.

Fonte: da própria autora

Continuação ... **Tabela 5-** Análise descritiva inicial da produtividade e população de plantas do feijoeiro de inverno, matéria seca da *Urochloa brizantha* e alguns atributos de um Latossolo Vermelho Distroférrico de Selvíria (MS).

Atributo ^(a)	Medidas estatísticas descritivas						Coeficiente			Probabilidade do teste ^(b)	
	Valor						Variação (%)	Curtose	Assimetria	Pr<w	DF
	Média	Mediana	Mínimo	Máximo	Desvio Padrão						
PTc1 (m ³ m ⁻³)	0,423	0,420	0,328	0,534	0,040	9,5	-0,229	0,184	0,861	NO	
PTc2 (m ³ m ⁻³)	0,413	0,416	0,305	0,490	0,033	8,0	0,600	-0,395	0,286	NO	
RP1 (MPa)	3,924	3,210	1,224	10,997	2,254	57,4	-	-	-	IN	
RP2 (MPa)	4,887	4,989	2,350	7,758	1,167	23,9	-0,519	0,066	0,360	NO	
UG1 (kg kg ⁻¹)	0,203	0,205	0,157	0,243	0,017	8,4	-	-	-	IN	
UG2 (kg kg ⁻¹)	0,209	0,209	0,173	0,247	0,013	6,2	0,827	0,114	0,077	NO	
UV1 (m ³ m ⁻³)	0,293	0,293	0,205	0,378	0,030	10,2	0,651	0,024	0,419	NO	
UV2 (m ³ m ⁻³)	0,308	0,307	0,244	0,378	0,023	7,6	0,502	-0,002	0,747	NO	
P1 (mg dm ⁻³)	23,1	22,5	5,0	41,0	6,197	26,9	0,675	0,259	0,119	NO	
P2 (mg dm ⁻³)	12,2	10,0	4,0	30,0	5,604	45,9	-0,282	0,258	0,057	LN	
MO1 (g dm ⁻³)	29,7	30,0	19,0	40,0	3,449	11,6	0,917	0,095	0,066	NO	
MO2 (g dm ⁻³)	23,0	23,0	18,0	31,0	2,784	12,1	-	-	-	IN	
pH1	5,3	5,3	4,4	6,3	0,421	8,0	-0,501	0,151	0,152	NO	
pH2	4,6	4,6	4,1	5,1	0,203	4,4	-	-	-	IN	

^(a)PTc = porosidade total calculada, RP = resistência do solo a penetração, UG = unidade gravimétrica, UV = unidade volumétrica, P = teor de fósforo, MO = matéria orgânica e valor de pH em CaCl₂; ^(b)DF = Distribuição de frequência, sendo NO, LN e IN, respectivamente do tipo normal, lognormal e indeterminada. Fonte: a própria autora.

A macroporosidade da camada de 0-0,10 m (MA1) apresentou variabilidade muito alta (47,8 %) e a MA2 apresentou variabilidade alta (27,2 %) (Tabela 5). Logo tais resultados diferiram dos obtidos por Souza et al. (2001), em que para as camadas de 0-0,05 m e 0,15-0,20 m encontraram média variabilidade (15,99 % e 11,66 %, respectivamente). Assim como da pesquisa de Megda et al. (2008) que obtiveram média variabilidade para duas camadas do solo MA1 (12,4 %) e MA2 (11,7%). Ambos os trabalhos foram desenvolvidos em um Latossolo Vermelho distroférico sob sistema plantio direto utilizando a cultura do feijão. Cabe destacar que, a alta variabilidade da macroporosidade, principalmente nas camadas superficiais, após cultivo de planta forrageira, pode ser atribuída ao efeito do sistema radicular fasciculado e agressivo da *Urochloa brizantha*, aumentando a quantidade de poros pela decomposição das raízes após o manejo.

A microporosidade (MI) apresentou baixa variabilidade em todas as camadas do solo avaliadas, sendo MI1 (5,7%) e MI2 (5,2%). Esses resultados corroboram aos verificados por Souza et al. (2001) e Megda et al. (2008) que pesquisando em um Latossolo Vermelho distroférico sob sistema plantio direto com a cultura do feijão, também observaram baixa variabilidade para ambas as camadas de solo, sendo que para a MI_{0-0,05 m} (5,92%), MI_{0,15-0,20 m} (4,25%), MI1 (6,3%) e MI2 (5,5%), respectivamente.

A porosidade total determinada (PTd) e a porosidade total calculada (PTdc) assemelharam-se nos resultados de variabilidade, sendo PTd1 (7,0%), PTd2 (5,7%), PTc1 (9,5%) e PTc2 (8,0%). Assim, ambas tiveram baixa variabilidade nas duas camadas. Cavallini et al. (2010), na mesma área em que foi instalado o atual experimento, com os dados retirados sob a cultura anterior (*Urochloa brizantha*) também encontraram baixa variabilidade para PTd1 (7,4%) e PTd2 (4,9%). Assim como, Megda et al. (2008), em um Latossolo Vermelho distroférico sob plantio direto utilizando a cultura do feijão, observaram também baixa variabilidade de PTd1 (3,9%) e PTd2 (5,4%), pelo efeito de sistema plantio direto há mais de 8 anos.

Em relação à resistência do solo à penetração (RP), umidade gravimétrica (UG) e umidade volumétrica (UV), os coeficientes de variação apresentaram-se entre baixo a muito alto. Constituindo variabilidade muito alta para o RP1 (57,4%) e alta para o RP2 (23,9%). A UG foi baixa nas duas profundidades UG1 (8,4%) e UG2 (6,2%). Todavia, a UV apresentou variabilidade distinta nas camadas, uma vez que a variabilidade foi média para UV1 (10,2%) e baixa para UV2 (7,6%). Cavallini et al. (2010), em um Latossolo Vermelho distróferrico sob *Urochloa brizantha*, que antecedeu ao feijão utilizado no atual experimento, obtiveram variabilidades semelhantes para RP1 (35,7%), RP2 (24,3%), UG1 (6,6%), UG2 (5,7%), UV1

(10,7%) e UV2 (7,2%). Também Montanari et al. (2010), na mesma classe de solo sob sistema plantio direto utilizando a cultura do feijão de inverno, constataram variabilidade semelhante para a RP, sendo muito alta para RP1 (46,6%) e alta para RP2 (27,2%). Em contrapartida, diferiu da variabilidade verificada para UG, que foi média para UG1 (13,9%) e UG2 (13,1%). Esta variabilidade da RP, UG e UV ocorre em função do sistema de manejo, textura do solo e tempo de cultivo e é de difícil padronização do coeficiente de variação quando se compara com trabalhos afins na literatura.

A variabilidade dos resultados para teor de fósforo no solo (P), matéria orgânica (MO) e pH em CaCl_2 (pH) apresentaram-se muito distintas (Tabela 5). Para o teor de P, a variabilidade foi entre alta para P1 (26,9%) e muito alta para P2 (45,9%). Para MO, em ambas as camadas, a variabilidade foi média tanto para MO1 (11,6%) quanto para MO2 (12,1%). Todavia, para o pH, a variabilidade foi baixa para pH1 (8%) e pH2 (4,4%). Também Dalchiavon et al. (2011) obtiveram variabilidade muito alta para P (64,5%), média para MO (13,9%) e baixa para pH (7,3%), na camada de 0-0,20 m. Em outra pesquisa, Dalchiavon et al. (2012) verificaram variabilidade semelhante ao presente trabalho para P2 (87,61%), MO1 (12,93%), MO2 (14,76%), pH1 (7,8%) e pH2 (6,91%), distinguindo apenas em P1 (57,82%) que a apresentou muito alta variabilidade.

Zanão Júnior, Lana e Guimarães (2007), observaram variabilidade baixa para pH1 (5,83%), pH2 (6,05%) e média para MO2 (10,29%) concordando com a presente pesquisa, porém, diferindo quanto aos valores de MO1 (9,28%) que apresentou variabilidade baixa. Ambas as pesquisas foram realizadas em um Latossolo Vermelho distroférico sob sistema plantio direto, sendo que as duas primeiras utilizando a cultura do feijão. De acordo com Salviano, Vieira e Sparovek (1998), a alta variabilidade para os teores de fósforo pode ser conferida à aplicação de fertilizantes em linha, ao efeito residual da adubação, à imobilidade do elemento no solo e à exposição de camadas mais pobres desse nutriente, pelo processo de erosão superficial. Entretanto, o teor de matéria orgânica, normalmente pelo maior tempo no sistema plantio direto, tende a ficar com valores mais homogêneos nas camadas superficiais do solo, por efeito principal da decomposição dos resíduos orgânicos. Todavia o pH, apresentará sempre o coeficiente de variação baixo, pois o valor do pH vêm de dados transformados em logaritmo.

4.1.2 Distribuição de frequências

4.1.2.1 Atributos das plantas

Todos os atributos das plantas (*Urochloa brizantha* cv. Marandu e cultura do feijão de inverno) apresentaram distribuição de frequência do tipo normal (Tabela 5), concordando com Freddi et al. (2005), Carvalho et al. (2006), Kitamura, Carvalho e Lima (2007), Megda et al. (2008), Montanari et al. (2010) e Dalchiavon et al. (2011), em relação a PRO, e discordando com Montanari et al. (2013), que apresentou a distribuição do tipo indeterminada, para matéria seca da *Urochloa decumbens*, entretanto em pastagem degradada instalada há mais de 20 anos, onde os ciclos de pastejo conferiram aumento da heterogeneidade de produção forrageira, diferindo da presente pesquisa, onde a *Urochloa brizantha* foi instalada com o intuito de produção de palha para continuidade do sistema plantio direto. Para a PP do feijoeiro não foram encontrados trabalhos referentes na literatura.

Os coeficientes de assimetria ficaram entre -0,155 (PP) e 0,426 (PRO). Para os coeficientes de curtose os valores ficaram entre -0,557 (PP) e 0,164 (PRO). Desta forma, os atributos foram significativos pelo teste de normalidade de Shapiro e Wilk (1965), uma vez que seus valores oscilaram entre 0,097 e 0,121. Segundo Cambardella, Moorman e Novak (1994), isto pode ser um indicativo de que as medidas de tendência central não refletem valores atípicos na distribuição.

4.1.2.2 Atributos do solo

Os atributos do solo DP1, DP2, DS1, MA1, PTd2, RP1, UG1, MO2 e pH2 não apresentaram distribuição de frequência do tipo normal (Tabela 5), sendo esta do tipo indeterminada, apresentando heterogeneidade dos dados. Todavia, o P2 apresentou distribuição de frequência do tipo lognormal, o que significa que suas medidas de tendência central deverão ser representadas pela mediana, cujo valor de coeficiente de assimetria foi de 0,258 e da curtose foi de -0,282, sendo significativo pelo teste de normalidade com o valor de 0,057. Entretanto para o atributo PTd1, a distribuição de frequência foi tendendo ao normal e os demais atributos apresentaram distribuição de frequência normal, com seus coeficientes de assimetria entre -0,418 (DS2) e 0,861 (PTc1). Os coeficientes de curtose ficaram entre -0,565 (MI1) e 0,917 (MO1), sendo significativo pelo teste de normalidade de Shapiro e Wilk (1965), uma vez que as probabilidades ficaram entre 0,066 (MO1) e 0,861 (PTc1). Também foi observada distribuição de frequência normal para a DS2 (SOUZA et al., 2001; MONTANARI et al., 2010), MI1 (SOUZA et al., 2001; MEGDA et al., 2008), MI2 (SOUZA et al., 2001; MEGDA et al., 2008), PT1 (SOUZA et al., 2001), RP2 e UG2 (MONTANARI et

al., 2010) e pH na camada de 0-0,20 m (DALCHIAVON et al., 2011) ao estudarem a variabilidade espacial de atributos de um Latossolo Vermelho distroférico sob cultivo da cultura do feijão.

4.1.3 Valores médios dos atributos

4.1.3.1 Atributos das plantas

A PRO (3293 kg ha⁻¹) encontrada (Tabela 5) foi superior à PRO de 2594 kg ha⁻¹ obtida por Freddi et al. (2005) ao trabalhar com a cultivar de feijoeiro IAC Carioca Eté, num Latossolo Vermelho distroférico em sistema plantio direto sob pivô central na região de Selvíria-MS e a PRO de 2201 kg ha⁻¹ constatada por Montanari et al. (2010). Todavia, assemelhou-se à PRO de 3044 kg ha⁻¹ obtido por Dalchiavon et al. (2011). Cabe salientar que ambos os estudos foram realizados num Latossolo Vermelho distroférico em SPD sob pivô central na região de Selvíria-MS.

A população média de 166280 plantas ha⁻¹ foi baixa pelo padrão desejado de 200 a 300 mil plantas ha⁻¹. Este resultado pode ser atribuído à grande quantidade de palha sobre a área (Figura 4), o que prejudicou o processo de semeadura, pela dificuldade de corte da palha pela semeadora, assim as sementes não tiveram um contato ideal com o solo para germinação, reduzindo o estande final de plantas na área.

O valor médio da matéria seca da *Urochloa brizantha* cultivar Marandu foi de 12485 kg ha⁻¹ (Figura 4), o que revela uma boa produtividade de palha visando à implantação ou manutenção do SPD, pois de acordo com Amado (2000) é necessária à produtividade de 10000 a 12000 kg ha⁻¹ para o bom manejo da palha em condições de Cerrado. Este valor de MSB de 12485 kg ha⁻¹ foi superior ao encontrado em estudos feitos por Silva Neto et al. (2012) na região de Araguaína – TO, em um clima quente úmido com estação seca de abril a outubro e com o solo classificado com Neossolo Quartzarênico, que utilizando a *Urochloa brizantha* cv. Marandu que constataram uma MSB de 8180 kg ha⁻¹. Discordando também de Grego et al. (2012), que em estudo na região de Nova Odessa – SP em um Latossolo Vermelho-Amarelo observaram, no outono, uma MSB de 6048 kg ha⁻¹.

Figura 4- Matéria seca da *Urochloa brizantha* cv. Marandu utilizada como palhada para a semeadura do feijoeiro de inverno



Fonte: a própria autora

4.1.3.2 Atributos do solo

De acordo com Kiehl (1979), em solos tropicais a DP fica próxima a $2,650 \text{ kg dm}^{-3}$. Uma maneira de modificar seu valor seria o aumento de teores de matéria orgânica no solo, devido aos seus constituintes minerais (CAVALLINI, 2009). Logo, como este estudo foi realizado sob SPD, o gradiente de MO em profundidade (MO1 de $29,7 \text{ g dm}^{-3}$ e MO2 de $23,0 \text{ g dm}^{-3}$) fez com que os valores da mediana de DP (DP1 de $2,505 \text{ kg dm}^{-3}$ e DP2 de $2,540 \text{ kg dm}^{-3}$) ficassem menores em relação ao valor considerado por Kiehl (1979). Montanari et al. (2010), em estudo com feijão cv. Pérola, em um Latossolo Vermelho distroférico sob plantio direto irrigado por pivô central, também verificaram valores medianos de DP (DP1 de 2,253 e DP2 de 2,233) semelhantes entre si nas diferentes camadas.

Os valores mediano e médio, respectivamente, de DS (DS1 de $1,455 \text{ kg dm}^{-3}$ e DS2 de $1,476 \text{ kg dm}^{-3}$), apresentados no Tabela 5, evidenciaram elevada compactação em subsuperfície, em relação ao levantamento pedológico detalhado dos solos da Estação Experimental do Instituto Agronômico do Estado de São Paulo, localizada em Ribeirão Preto, onde Oliveira e Moniz (1975) descreveram para um Latossolo Vermelho Distroférico e em solo virgem sob mata nativa, valores de DS do solo da secção de controle do perfil de 0,980 a

1,130 kg dm⁻³. Normalmente no SPD, a compactação na superfície e subsuperfície é decorrente do tráfego de máquinas e implementos agrícolas, preparo sempre a uma mesma profundidade, bem como do tempo da implantação deste sistema, sem que contudo haja preocupação em promover práticas conservacionistas do solo para reversão do problema (CAVALLINI, 2009). Montanari et al. (2010), em estudo com a cultura do feijão em SPD num Latossolo Vermelho Distroférico, constataram valores médios de DS (DS1 de 1,362 kg dm⁻³ e DS2 de 1,413 kg dm⁻³) que se assemelharam ao do presente estudo no que se refere ao aumento de DS em profundidade.

Os valores de MA (MA1 de 0,072 m³ m⁻³ e MA2 de 0,064 m³ m⁻³), PTd (PTd1 de 0,431 m³ m⁻³ e PTd2 de 0,416 m³ m⁻³) e PTc (PTc1 de 0,423 m³ m⁻³ e PTc2 de 0,413 m³ m⁻³) decresceram conforme o aprofundamento das camadas do solo (Tabela 5). Para MI (MI1 de 0,349 m³ m⁻³ e MI2 de 0,351 m³ m⁻³) os valores médios foram ligeiramente semelhantes nas duas profundidades. Considerando que o solo tido como ideal, na concepção agrônômica, precisaria apresentar 0,500 m³ m⁻³ de PT, com 0,330 m³ m⁻³ de MI, que é responsável pelo armazenamento de água, assim como 0,170 m³ m⁻³ de MA, responsável pela aeração do solo, conforme Kiehl (1979), estes atributos do solo estudado diferiram do considerado ideal, pois o solo em questão apresentava indícios de que estivesse compactado fazendo com que houvesse uma diminuição da PT e MA (abaixo do valor crítico de 0,10 m³ m⁻³), preconizado por Baver et al. (1973), Medina (1975) e Kiehl (1979), e concomitante aumento da microporosidade.

Se uma variável estatística qualquer apresentar distribuição de frequência normal, a medida de tendência central mais apropriada para representá-la deve ser a média. Porém, se não for este o caso, deverá ser a mediana ou a média geométrica (ROSA FILHO et al., 2009), portanto, de acordo com os resultados contidos na Tabela 5, para os valores de UG1 (0,205 kg kg⁻¹) e UG2 (0,209 kg kg⁻¹), de RP1 (3,210 MPa) e RP2 (4,887 MPa) podem ser considerados altos, o que, para a RP, representa restrições ao desenvolvimento radicular da maioria das culturas agrícolas, pois valores maiores que 2,0 MPa já comprometem o crescimento normal das raízes (ARSHAD; LOWERY; GROSSMAN, 1996). Os valores de RP elevados ao longo do tempo e principalmente em profundidade são efeitos da compactação do solo decorrentes do uso de maquinário em todas as etapas da produção agrícola (DALCHIAVON, 2012).

Souza et al. (2001), em um Latossolo Vermelho distroférico, estudando os atributos físicos do solo em SPD com a cultura do feijão observaram resultados de RP (RP1 de 2,21 MPa e RP2 de 2,57 MPa) discordantes dos encontrados na presente pesquisa, porém demonstrando certo grau de compactação, uma vez que apresentou resultados acima de 2

MPa. Santos et al. (2005), no mesmo tipo de solo em SPD e para a cultura do feijão, constataram valores de RP1 de 1,272 MPa com uma UG1 de 0,201 kg kg⁻¹, mostrando que a camada de 0-0,10 m encontrava-se pouco compactada. Todavia, a camada de 0,10 a 0,20 m apresentou RP2 de 2,860 MPa com um teor de umidade muito semelhante à primeira camada (0,205 kg kg⁻¹), demonstrando um provável efeito de compactação por implemento agrícola (“pé-de-arado ou pé-de-grade”).

Em relação ao teor de umidade volumétrica, Bengough, Campbell e O’Sullivan (2001) descreveram que a condição ideal de umidade do solo, para a coleta dos resultados de RP, deverá se encontrar entre a capacidade de campo e até com um terço a menos de água, ou seja, quando o solo ideal, conceituado por Kiehl (1979), exibir umidade volumétrica na microporosidade variando entre 0,330 e 0,220 m³ m⁻³. Sendo assim, os resultados da presente pesquisa foram coletados em boas condições de umidade volumétrica do solo, visto que seus valores foram de 0,293 m³ m⁻³ (UV1) e 0,308 m³ m⁻³ (UV2).

Em relação ao teor de P no solo, a média de P1 foi de 23,1 mg dm⁻³ e da mediana do P2 foi de 10 mg dm⁻³, demonstrando decréscimo do teor com o aprofundamento das camadas de solo, pois o elemento é pouco móvel, mesmo em condições de SPD. No mesmo tipo de solo e sob as mesmas condições de SPD utilizando a cultura do feijão, Dalchiavon et al. (2011), obtiveram o valor mediano de 23 mg dm⁻³ de P, na camada de 0 a 0,20 m.

O pH em CaCl₂ apresentou valor médio para pH1 de 5,3 e valor mediano para pH2 de 4,6, ou seja, com redução em profundidade, concordando com pesquisas realizadas por Carvalho, Silveira e Vieira (2002) num Latossolo Vermelho-Escuro distroférico em SPD, com a cultura do feijão de inverno, sob irrigação por aspersão em pivô central, onde os valores foram de 6,37 (pH1) e 5,40 (pH2), entretanto determinados em H₂O. Também Dalchiavon et al. (2012), num Latossolo Vermelho Distroférico sob sistema plantio direto com a cultura do feijão verificaram valores medianos de pH1 de 4,8 e pH2 de 4,6, confirmando a tendência de diminuição de pH em profundidade. O valor de pH1 (5,3) e pH2 (4,6) classificam o solo como de acidez média e alta, respectivamente (RAIJ et al., 1997).

4.2 ANÁLISE DE REGRESSÃO LINEAR ENTRE OS ATRIBUTOS

4.2.1 Regressão linear simples

4.2.1.1 Matriz de correlação linear simples entre os atributos

Nas Tabelas 6 e 7 constam as matrizes de correlação linear simples entre os atributos do feijoeiro de inverno (PRO e PP), da *Urochloa brizantha* (MSB) e os do solo (DP1, DP2, DS1, DS2, MA1, MA2, PTd1, PTd2, PTc1, PTc2, RP1, RP2, UG1, UG2, UV1, UV2, P1, P2, MO1, MO2, pH1 e pH2).

4.2.1.1.1 Atributos da planta versus atributos da planta

Dentre as correlações dos atributos da planta (Tabelas 6 e 7), foram significativos os pares PRO \times PP ($r = 0,229^*$), PRO \times MSB ($r = -0,236^{**}$) e PP \times MSB ($r = -0,330^{**}$), indicando que o aumento da PRO é diretamente proporcional ao aumento da PP, porém para a MSB houve correlação inversa tanto para a PP quanto para a PRO, devido a algumas áreas apresentarem excessiva quantidade de palha, o que prejudicou o processo de semeadura, pela dificuldade de corte da palha pela semeadora, assim as sementes não tiveram um contato ideal com o solo para germinação, reduzindo o estande final de plantas na área, e conseqüentemente da produtividade de grãos.

4.2.1.1.2 Atributos do feijoeiro de inverno versus atributos do solo

As correlações entre a PRO e os atributos físico-químicos do solo mostraram significância para os pares, na camada de 0 a 0,10 m, PRO \times MA1 ($r = -0,188^*$) e PRO \times pH1 ($r = 0,261^{**}$). A primeira correlação demonstra que com o aumento da MA1 houve uma diminuição da PRO, pois o aumento da MA pode interferir na disponibilidade de água para as plantas. Contudo, Megda et al. (2008) verificaram que para o par PRO \times MA1 ($r = 0,224^*$) houve correlação direta, diferindo da presente pesquisa. Cabe salientar que as culturas antecessoras na área desta pesquisa foram milho outonal e milho na safra de primavera/verão, enquanto que no presente trabalho a cultura antecessora foi o capim Marandu com sistema radicular mais denso pela semeadura em espaçamento mais estreito (0,34 m).

Na segunda correlação pode se observar que foi diretamente proporcional o aumento do pH1 com a PRO. Dalchiavon et al. (2011) avaliaram para o par PRO x pH ($r = 0,295^{**}$), na camada de 0 a 0,20 m, comportamento semelhante à presente pesquisa, demonstrando que com o aumento do pH possivelmente haverá aumento da PRO, por ser a cultura do feijão muito sensível à acidez do solo.

Na segunda camada (0,10 a 0,20 m), a PRO apresentou correlação para os pares PRO x DP2 ($r = -0,190^*$), PRO x UG2 ($r = 0,215^*$) e PRO x MO2 ($r = 0,178^*$) (Tabela 7). Significando que com a diminuição da DP2 haverá o aumento da PRO. Também Montanari et al. (2010) verificaram que para o par PRO x DP2 ($r = -0,253^{**}$) houve correlação inversa da DP com a produtividade de grãos de feijão em SPD irrigado. Cabe destacar que, de maior significância agrônômica, o aumento da UG2 fará com que haja uma maior PRO, assim como, com o aumento da MO2 também contribuirá para o aumento da PRO.

As correlações entre a PP e os atributos físico-químicos do solo estão apresentadas nas Tabelas 6 e 7. A PP apresentou correlações negativas para a primeira camada do solo (Tabela 6), sendo elas: 1) PP x DP1 ($r = -0,281^{**}$), 2) PP x RP1 ($r = -0,247^{**}$) e 3) PP x MO1 ($r = -0,229^*$). Entretanto, as correlações positivas, para mesma camada, foram: 5) PP x UG1 ($r = 0,312^{**}$), 6) PP x UV1 ($r = 0,248^{**}$), 7) PP x P1 ($r = 0,227^*$) e 8) PP x pH1 ($r = 0,309^{**}$). Porém, as correlações entre PP e os atributos físico-químicos do solo na camada de 0,10 a 0,20 m (Tabela 7), apresentaram relações negativas para os pares: a) PP x DP2 ($r = -0,312^{**}$), b) PP x MI2 ($r = -0,177^*$) e c) PP x PTc2 ($r = -0,258^{**}$). Assim, as correlações positivas para esta mesma camada foram: d) PP x UG2 ($r = 0,210^*$), e) PP x UV2 ($r = 0,205^*$) e PP x pH2 ($r = 0,269^{**}$).

4.2.1.1.3 Matéria seca da *Urochloa brizantha* versus atributos do solo

A MSB correlacionou-se com os atributos do solo de forma direta na camada de 0 a 0,10 m, com a MSB x DP1 ($r = 0,228^*$) e MSB x PTc1 ($r = 0,177^*$) e também, na camada de 0,10 a 0,20 m (Tabela 7), com a MSB x MA2 ($r = 0,201^*$), MSB x PTd2 ($r = 0,294^{**}$) e MSB x PTc2 ($r = 0,274^{**}$) (Tabela 6). Entretanto, a MSB correlacionou-se de forma inversa, na camada de 0,10 a 0,20 m (Tabela 7), com a MSB x DS2 ($r = -0,222^*$) e MSB x UV2 ($r = -0,208^*$).

Tabela 6- Matriz de correlação linear simples entre a produtividade e população de plantas do feijoeiro de inverno, matéria seca da *Urochloa brizantha* e alguns atributos na camada de 0 m a 0,10 m de um Latossolo Vermelho Distroférrico de Selvíria (MS).

	PRO	PP	MSB	DP1	DS1	MA1	MI1	PTd1	PTc1	RP1	UG1	UV1	PI	MO1
PP	0,229*													
MSB	-0,236**	-0,330**												
DP1	-0,056	-0,281**	0,228*											
DS1	0,125	-0,012	-0,059	-0,003										
MA1	-0,188*	0,080	0,054	0,009	-0,811**									
MI1	0,176	-0,051	0,040	-0,020	0,347**	-0,681**								
PTd1	-0,132	0,070	0,098	0,000	-0,845**	0,875**	-0,242**							
PTc1	-0,140	-0,141	0,177*	0,563**	-0,826**	0,672**	-0,288**	0,700**						
RP1	-0,021	-0,247**	0,109	0,110	-0,087	-0,033	0,119	0,038	0,136					
UG1	0,082	0,312**	-0,117	-0,310**	-0,083	0,063	-0,039	0,058	-0,106	-0,593**				
UV1	0,124	0,248**	-0,058	-0,267**	0,423**	-0,343**	0,140	-0,361**	-0,499**	-0,530**	0,799**			
P1	0,126	0,227*	-0,075	-0,176	-0,034	-0,056	0,088	-0,016	-0,070	0,028	0,151	0,107		
MO1	-0,004	-0,229*	0,046	0,053	0,109	-0,082	0,173	0,008	-0,055	0,221*	-0,068	0,009	0,034	
pH1	0,261**	0,309**	-0,115	-0,179*	0,073	-0,071	0,059	-0,054	-0,166	-0,123	0,098	0,101	0,169	0,077

(a) PRO, PP, MSB, DP, DS, MA, MI, PTd, PTc, RP, UG, UV, P, MO e pH de 1, são respectivamente, a produtividade e população de plantas do feijoeiro de inverno, matéria seca da *Urochloa brizantha*, densidade da partícula, densidade do solo, macroporosidade, microporosidade, porosidade total determinada, porosidade total calculada, resistência do solo a penetração, unidade gravimétrica, unidade volumétrica, fósforo, matéria orgânica e pH na profundidade de 1 (0-0,10 m) ^(b) ** significativo a 1%, * significativo a 5%.

Fonte: a própria autora

Tabela 7- Matriz de correlação linear simples entre a produtividade e população de plantas do feijoeiro de inverno, matéria seca da *Urochloa brizantha* e alguns atributos na camada de 0,10 m a 0,20 m de um Latossolo Vermelho Distroférico de Selvíria (MS).

	PRO	PP	MSB	DP2	DS2	MA2	MI2	PTd2	PTc2	RP2	UG2	UV2	P2	MO2
DP2	-0,190*	-0,312**	0,147											
DS2	-0,048	0,065	-0,222*	0,060										
MA2	-0,137	-0,086	0,201*	-0,043	-0,593**									
MI2	0,016	-0,177*	0,144	0,122	-0,106	-0,225*								
PTd2	-0,069	-0,127	0,294**	-0,042	-0,750**	0,606**	0,465**							
PTc2	-0,095	-0,258**	0,274**	0,625**	-0,739**	0,421**	0,162	0,552**						
RP2	-0,021	-0,118	0,004	0,040	-0,127	0,071	0,256**	0,246**	0,120					
UG2	0,215*	0,210*	-0,102	-0,221*	0,017	-0,071	0,029	-0,050	-0,163	-0,230*				
UV2	0,150	0,205*	-0,208*	-0,148	0,566**	-0,383**	-0,030	-0,452**	-0,543**	-0,258**	0,829**			
P2	-0,055	-0,135	0,143	0,201*	-0,025	-0,029	0,169	0,124	0,152	0,049	-0,076	-0,063		
MO2	0,178*	-0,088	0,104	-0,020	-0,097	0,005	0,374**	0,255**	0,048	0,354**	-0,062	-0,098	0,276**	
pH2	0,076	0,269**	-0,083	-0,249**	0,041	0,073	-0,061	-0,026	-0,196*	-0,004	-0,069	-0,022	-0,152	0,026

^(a) PRO, PP, MSB, DP, DS, MA, MI, PTd, PTc, RP, UG, UV, P, MO e pH de 2, são respectivamente a produtividade e população de plantas do feijoeiro de inverno, matéria seca da *Urochloa brizantha*, densidade da partícula, densidade do solo, macroporosidade, microporosidade, porosidade total determinada, porosidade total calculada, resistência do solo a penetração, umidade gravimétrica, umidade volumétrica, fósforo, matéria orgânica e pH na profundidade de 2 (0,10-0,20 m) ^(b) ** significativo a 1%, * significativo a 5%.

Fonte: a própria autora

4.2.1.2 Regressão linear simples entre os atributos

As principais equações de regressão linear simples entre os atributos estudados, tanto para planta *versus* planta quanto para planta (variável dependente) *versus* solo (variável independente), estão na Tabela 8 e nas Figuras 5, 6, 7 e 8. Logo, os modelos foram especificamente apresentados para os pares de atributos que proporcionaram correlações significativas, e também apresentaram coeficientes adjuntos significativos para as variáveis independentes.

Em relação às correlações entre atributos de planta *versus* planta (Tabela 8) foi observado que a equação de regressão da PRO em função da PP foi representada por um modelo exponencial (Eq.12; Figura 5), com um baixo, porém, significativo, coeficiente de correlação ($r = 0,234^{**}$). Este baixo valor observado foi dado pelo elevado número de observações utilizado na presente pesquisa ($n=124$). Logo, a variação da PRO pode ser explicada por somente 23,4% da variação dos dados da PP. Assim, quando a PP variar entre 89506 a 235940 plantas ha^{-1} , a PRO aumentará de 2858 a 3575 $kg\ ha^{-1}$. Logo quando utilizado o valor médio de 166280 plantas ha^{-1} poderá ser estimada a PRO média de 3214 $kg\ ha^{-1}$.

A PRO apresentou uma variação potencial inversa com MSB (Eq.13; Figura 5), ou seja, com o aumento da MSB houve diminuição da PRO, isto pode ser explicado pela grande quantidade de palhada remanescente da *Urochloa brizantha* no solo o que pode ter dificultado o processo de semeadura e impedido uma maior germinação da cultura do feijão, o que com menor estande de plantas, proporcionou menores PRO em áreas de maior quantidade de palha de *Urochloa brizantha*. Esta explicação do comportamento inverso da PRO com a MSB está diretamente aliada ao efeito verificado para PP, pois a equação de regressão da PP em função da MSB foi representada por um modelo exponencial (Eq. 14; Figura 5) com uma variação inversa também, logo, quanto maior a MSB menor a PP.

No que diz respeito à correlação dos atributos da planta *versus* solo (Tabela 8) ocorreram significativas regressões da PRO em função da DP2, MA1, MO2, pH1 e UG2 (Figura 6). Foi verificado que: a) A PRO apresentou uma variação exponencial negativa com a DP2 (Tabela 8, Figura 6). Assim sendo, quando ocorrer o mínimo valor de DP2 (2,250 $kg\ dm^{-3}$) implicará num valor máximo estimado da PRO (3681 $kg\ ha^{-1}$). Logo, para o máximo valor de DP2 (2,750 $kg\ dm^{-3}$), o valor mínimo de PRO (2861 $kg\ ha^{-1}$), com coeficiente de correlação $r = 0,208^{**}$; b) A PRO apresentou uma variação potencial negativa em relação a MA1 (Tabela 8, Figura 6), de tal modo que quando ocorrer a máxima MA1 (0,190 $m^3\ m^{-3}$) a PRO será mínima (2168 $kg\ ha^{-1}$), com coeficiente de correlação $r = 0,200^*$; c) a PRO

apresentou variação linear direta com a MO2 (Tabela 8, Figura 6), portanto, quando ocorrer o máximo valor de MO2 (31 g dm^{-3}) implicará, também, numa máxima estimada PRO (3664 kg ha^{-1}), com coeficiente de correlação $r = 0,178^*$; d) a PRO apresentou uma variação potencial direta com o pH1 (Tabela 8, Figura 6), assim sendo, quando o pH1 for máximo (6,3), a PRO estimada será de 3678 kg ha^{-1} , com coeficiente de correlação $r = 0,267^{**}$; e) a PRO apresentou variação linear direta com a UG2, assim quando ocorrer a máxima UG2 ($0,247 \text{ kg kg}^{-1}$) implicará numa máxima PRO estimada de 3758 kg kg^{-1} , com coeficiente de correlação $r = 0,215^*$. Dalchiavon et al. (2011) também para um Latossolo Vermelho Distroférico sob SPD com a cultura do feijão, verificaram variação linear direta entre PRO e pH (na camada de 0 a 0,20 m), sendo que quando o pH foi máximo (6,2) a PRO estimada também foi máxima (3600 kg ha^{-1}).

Para a correlação do atributo população de plantas (PP), as principais regressões estão apresentadas na Tabela 8 e Figuras 7 e 8. No geral as de maior interesse agrônomo seguiram os seguintes resultados: a) PP apresentou uma variação exponencial indireta com DP1, ou seja, com o aumento da DP1 houve uma menor PP; b) PP com variação linear também de forma indireta com DP2, indicando que com o aumento da DP2 houve uma menor PP; c) PP com variação linear indireta com a MO1; d) PP com variação potencial direta com o P1, assim, quando o P1 for máximo (41 mg dm^{-3}) a PP estimada também o será ($181846 \text{ plantas ha}^{-1}$), em contrapartida quando o P1 for mínimo (5 mg dm^{-3}), a PP mínima estimada será de $123886 \text{ plantas ha}^{-1}$; e) PP com variação linear direta com o pH1, logo, quando o pH1 for máximo (6,3) a PP máxima estimada será de $192009 \text{ plantas ha}^{-1}$; f) PP também com variação linear direta com o pH2, demonstrando que quando o pH2 for máximo (5,1) a PP estimada será máxima ($276697 \text{ plantas ha}^{-1}$); g) PP com variação linear inversa com a PTc2, assim, quando a PTc for máxima a PP estimada será mínima; h) PP com variação exponencial inversa com a RP1, com isto, quando a RP1 for máxima (10,99 MPa) a PP estimada será mínima ($136849 \text{ plantas ha}^{-1}$); i) PP com variação quadrática com a UG1, por isto, com o aumento da UG1 até o valor estimado de $0,213 \text{ kg kg}^{-1}$ haverá um aumento da PP estimada ($144002 \text{ plantas ha}^{-1}$), contudo, acima deste valor o excesso de umidade acarretará na redução da PP; j) PP com variação potencial direta com a UG2, assim, com o incremento da UG2 a PP também o será; l) PP com variação quadrática com a UV1, portanto, com o aumento da UV1 até o valor estimado de $0,319 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ haverá também o aumento da PP ($175087 \text{ plantas ha}^{-1}$), entretanto, quando acima deste valor a PP estimada será reduzida; m) PP com variação exponencial direta com UV2, deste modo, quando a UV2 for máxima ($0,378 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$), a PP estimada também será máxima de $186207 \text{ plantas ha}^{-1}$.

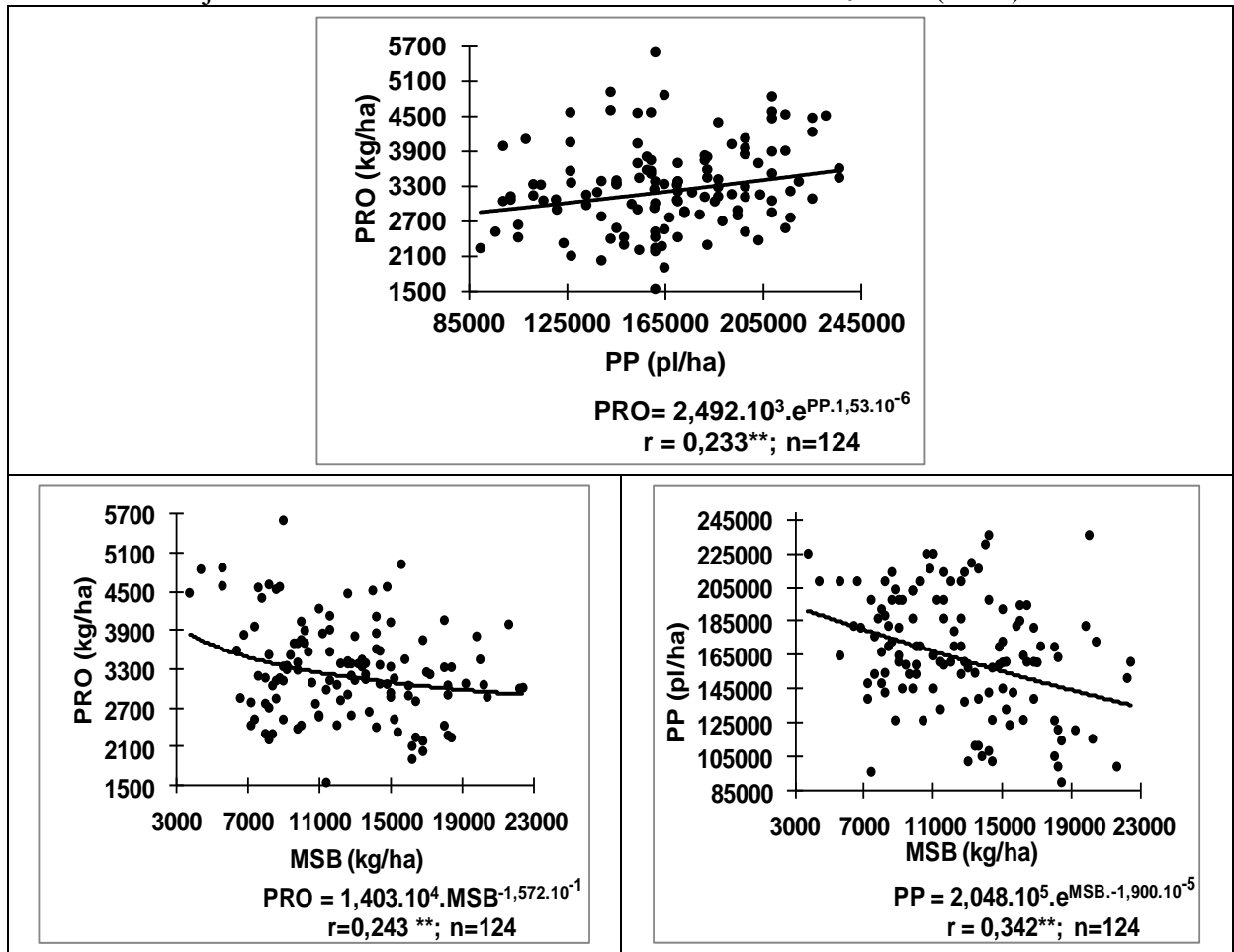
Tabela 8- Equações de regressão simples e coeficientes do ajuste entre atributos das plantas (*Urochloa brizantha* e feijoeiro de inverno) e de um Latossolo Vermelho Distroférico de Selvíria (MS).

Modelo matemático ^(a)	Coeficiente de ajuste ^(b)					Nº da eq. ^(c)
	a	b	c	r	r ²	
<i>Planta x planta</i>						
PRO = a. exp ^{PP2.b}	2,493.10 ³	1,530.10 ^{-6**}	-	0,234**	-	12
PRO = a. MSB ^b	1,403.10 ⁴	-1,572.10 ^{-1**}	-	0,243**	-	13
PP = a. exp ^{MSB.b}	2,048.10 ⁵	-1,900.10 ^{-5**}	-	0,342**	-	14
<i>Planta x solo</i>						
PRO = a. exp ^{DP2.b}	1,144.10 ⁴	-0,504*	-	0,208**	-	15
PRO = a. MA1 ^b	2,528.10 ³	-9,250.10 ^{-2*}	-	0,200*	-	16
PRO = a + b. MO2	2,219.10 ³	4,662.10*	-	0,178*	-	17
PRO = a. pH1 ^b	9,206.10 ²	7,526.10 ^{-1*}	-	0,267**	-	18
PRO = a + b. UG2	7,740.10 ²	1,208.10 ^{4*}	-	0,215*	-	19
PP = a. exp ^{DP1.b}	8,394.10 ⁵	-6,569.10 ^{-1**}	-	0,289**	-	20
PP = a + b. DP2	4,589.10 ⁵	-1,161.10 ^{5**}	-	0,312**	-	21
PP = a + b. MO1	2,340.10 ⁵	-2,281.10 ^{3*}	-	0,229*	-	22
PP = a. P1 ^b	9,237.10 ⁴	1,824.10 ^{-1**}	-	0,248**	-	23
PP = a + b. pH1	3,306.10 ⁴	2,523.10 ^{4**}	-	0,309**	-	24
PP = a + b. pH2	-4,429.10 ⁴	4,557.10 ^{4**}	-	0,269**	-	25
PP = a + b. PTc2	2,780.10 ⁵	-2,703.10 ^{5**}	-	0,258**	-	26
PP = a. exp ^{RP1.b}	1,788.10 ⁵	-2,433.10 ^{-2**}	-	0,249**	-	27
PP = a + b. UG1 + c. UG1 ²	-7,517.10 ⁵	8,704.10 ^{6**}	-2,046.10 ^{7**}	-	0,158**	28
PP = a. UG2 ^b	5,669.10 ⁵	7,959.10 ^{-1*}	-	0,226*	-	29
PP = a + b. UV1 + c. UV1 ²	-3,891.10 ⁵	3,533.10 ^{6**}	-5,531.10 ^{6**}	-	0,113**	30
PP = a. exp ^{UV2.b}	8,937.10 ⁴	1,942*	-	0,207*	-	31

^(a)PRO = produtividade e PP = população de plantas do feijoeiro de inverno; MSB = matéria seca da *Urochloa brizantha*; DP, MA, MO, pH, UG, P, PTc, RP e UV de 1 a 2, são respectivamente a densidade da partícula, macroporosidade, matéria orgânica do solo, pH, umidade gravimétrica, teor de fósforo, porosidade total calculada, resistência do solo à penetração e umidade volumétrica do solo; ^(b) ** significativo a 1%, * significativo a 5%; ^(c) Número da equação.

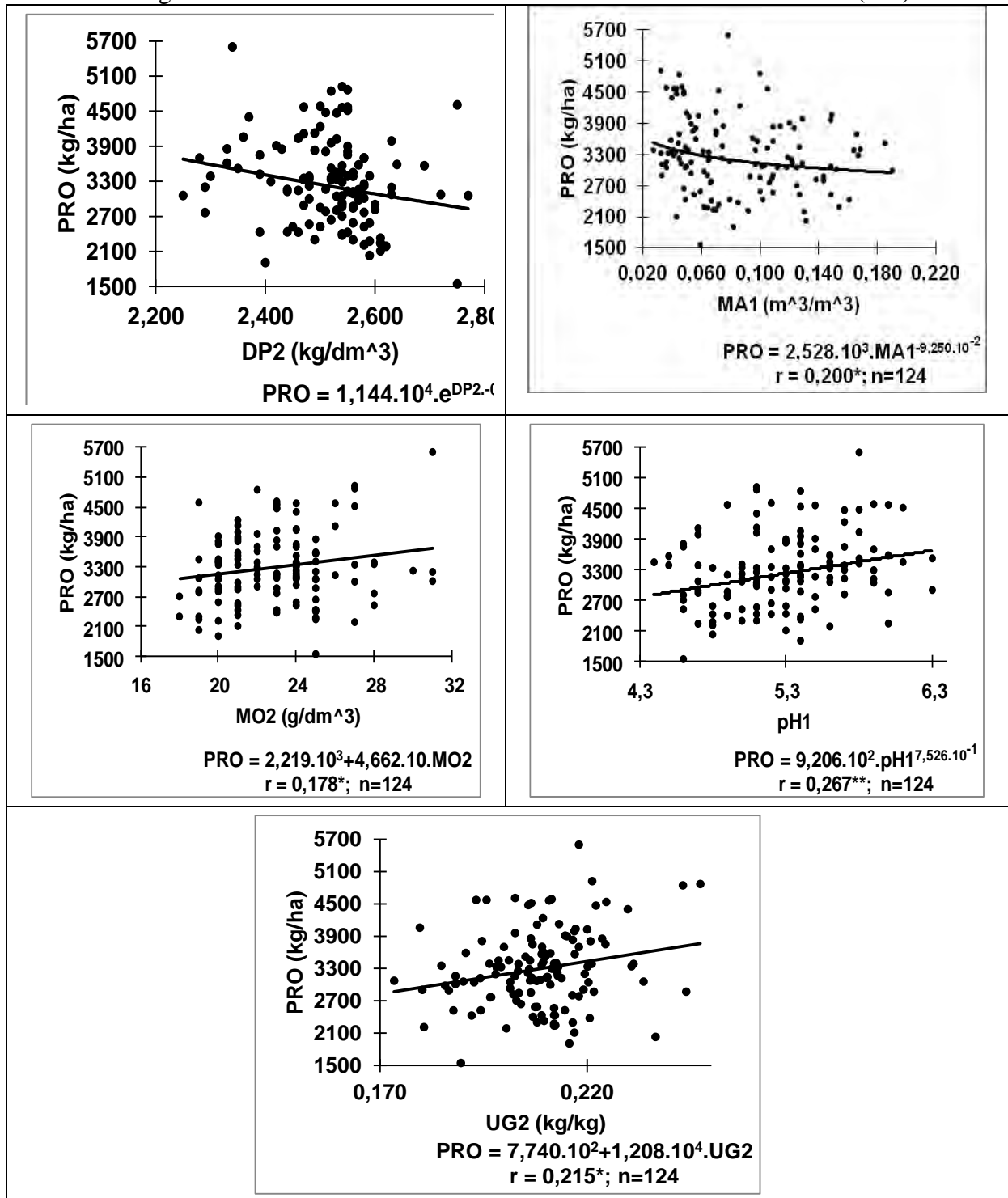
Fonte: a própria autora

Figura 5- Equações de regressão entre a produtividade (PRO) e população de plantas (PP) do feijoeiro de inverno e a matéria seca da *Urochloa brizantha* (MSB).



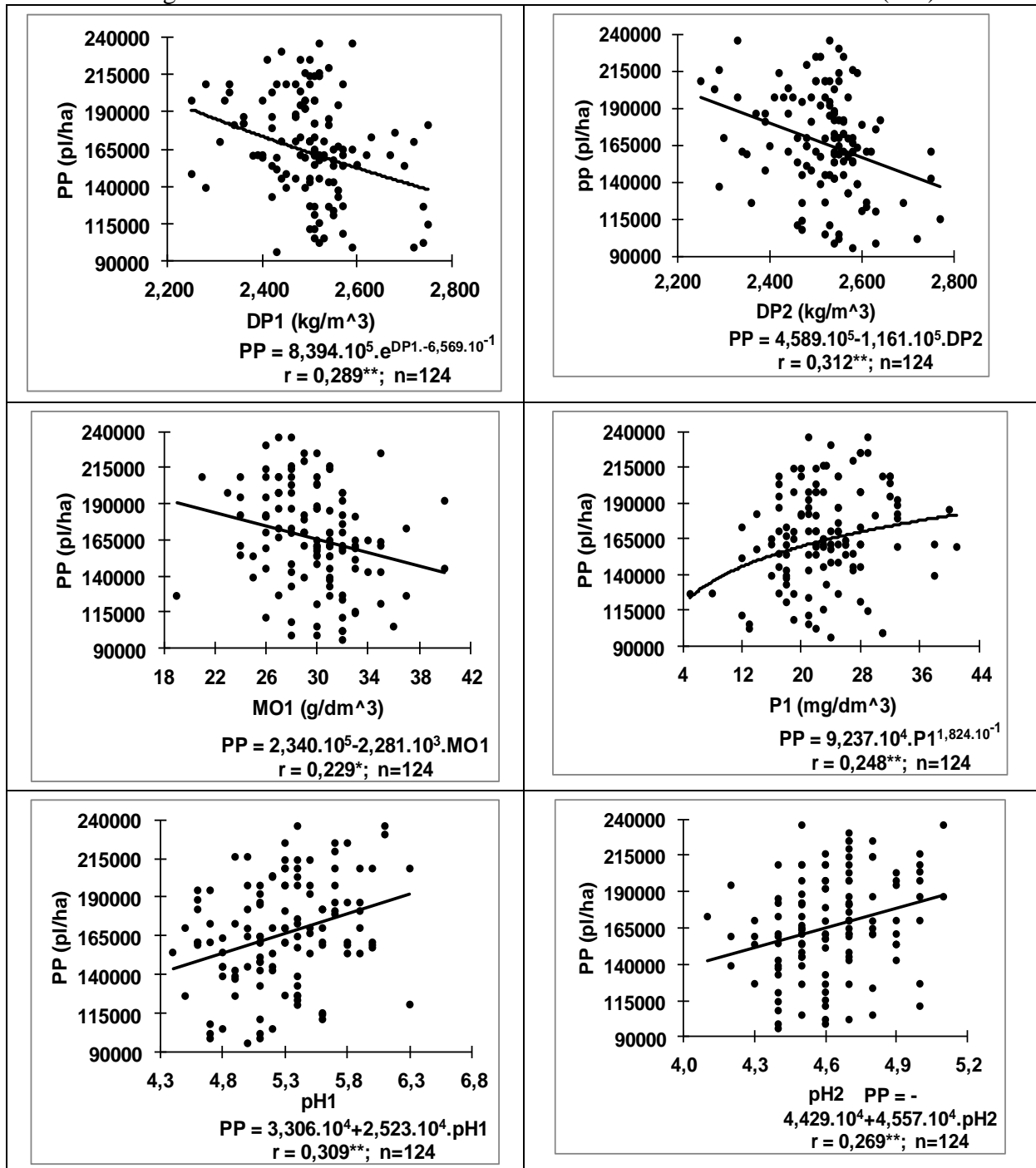
Fonte: a própria autora

Figura 6- Equações de regressão entre a produtividade de grãos do feijoeiro de inverno com alguns atributos de um Latossolo Vermelho Distroférico de Selvíria (MS).



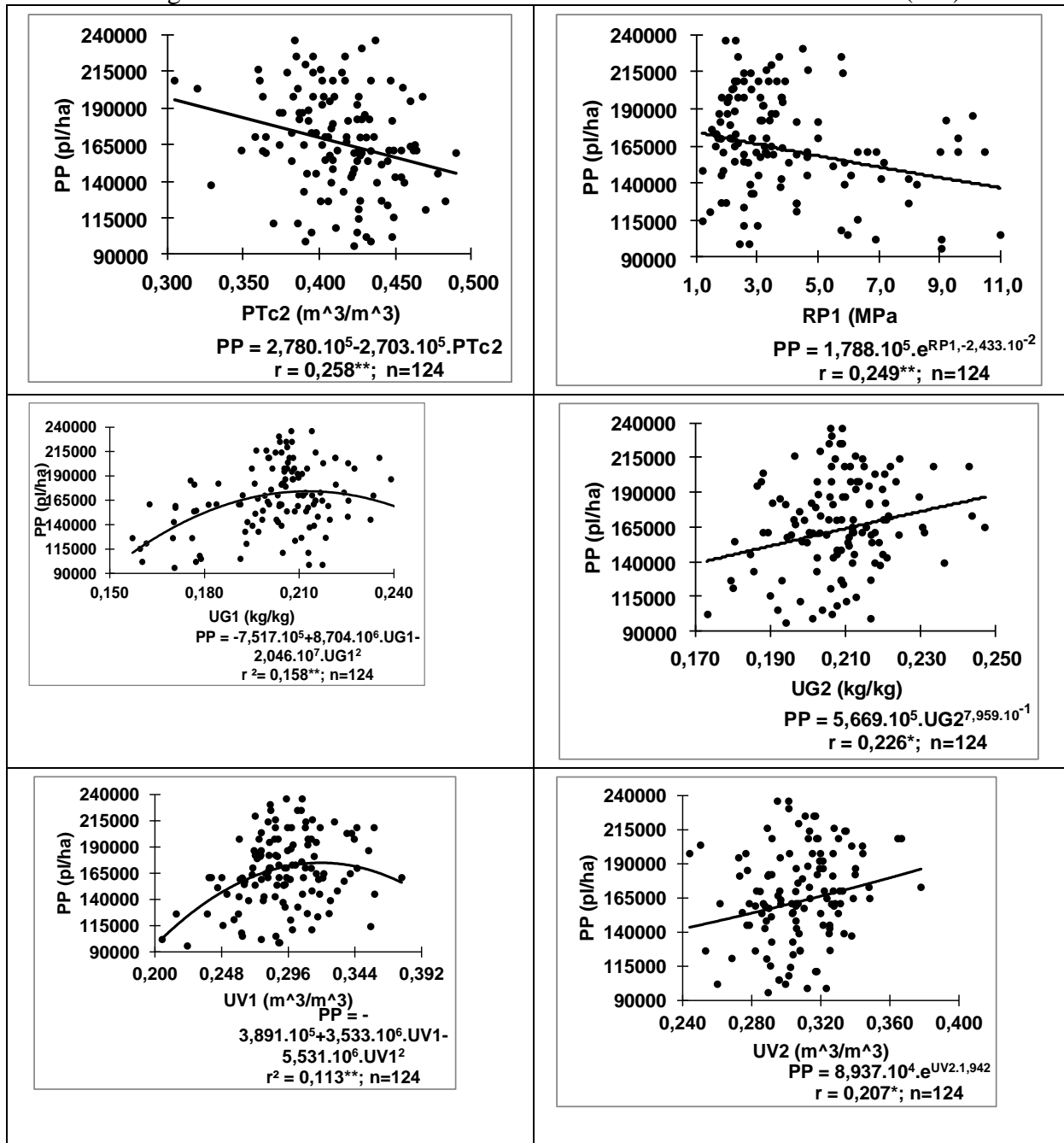
Fonte: a própria autora

Figura 7- Equações de regressão entre a população de plantas do feijoeiro de inverno com alguns atributos de um Latossolo Vermelho Distroférico de Selvíria (MS).



Fonte: a própria autora

Figura 8- Equações de regressão entre a população de plantas do feijoeiro de inverno com alguns atributos de um Latossolo Vermelho Distroférico de Selvíria (MS).



Fonte: a própria autora

4.3 ANÁLISE GEOESTATÍSTICA DOS ATRIBUTOS

4.3.1 Análise semivariográfica simples

4.3.1.1 Ajuste dos semivariogramas simples dos atributos

Embora a normalidade dos dados seja uma pressuposição da estatística clássica, ela não é uma exigência da geoestatística. Nesta, o que é mais importante é a ocorrência ou não do efeito proporcional em que a média e a variância dos dados não sejam constantes na área de estudo, sendo isto mais importante que a normalidade dos dados (ISAACS; SRIVASTAVA, 1989). Deste modo, nas Tabelas 9 e 10 estão apresentados os parâmetros dos semivariogramas simples ajustados para a produtividade e população do feijoeiro de inverno, matéria seca da *Urochloa brizantha* antecessora e de alguns atributos do solo no qual o experimento foi instalado. Nas Figuras 9, 10, 11, 12, 13 e 14, estão relacionados seus respectivos semivariogramas.

Assim, pode-se constatar que, com exceção da pH1 e MO1 (camada de 0 a 0,10 m), e DP2 e MA2 (na camada de 0,10 a 0,20 m), que apresentaram efeito pepita puro (epp), todos os demais atributos, em ambas camadas, apresentaram dependência espacial (Tabelas 9 e 10). O epp significa que o comportamento destas variáveis regionalizadas foi inteiramente aleatório, revelando a descontinuidade do semivariograma para distâncias menores que as amostradas.

A maioria dos ajustes semivariográficos obtiveram modelos esféricos (PRO, PP, MSB, MA1, PTd1, P1, RP1, UG1, UV1, MI2, PTd2, RP2, UG2, UV2, pH2 e MO2), seguido pelos modelos gaussianos (DP1, MI1, PTc1, DS2, PTc2 e P2), e por último o modelo exponencial (DS1).

Em relação ao ajuste dos semivariogramas dos atributos do solo, analisado pelos respectivos coeficientes de determinação espacial (r^2), a relação decrescente foi: 1) DP1 (0,937), 2) RP2 (0,933), 3) DS1 (0,932), 4) PTd2 (0,921), 5) pH2 (0,870), 6) RP1 (0,781), 7) UG1 (0,749), 8) UV1 (0,749), 9) P1 (0,736), 10) UV2 (0,711), 11) MO2 (0,691), 12) MI2 (0,675), 13) MI1 (0,655), 14) PTd1 (0,621), 15) MA1 (0,584), 16) PTc2 (0,541), 17) DS2 (0,538), 18) PTc1 (0,467), 19) #UG2 (0,452) e 20) P2 (0,185), conforme Tabela 9 e 10.

A DP1 foi o atributo de melhor ajuste semivariográfico (Tabela 9; Figura 10), com modelo gaussiano, alcance de dependência espacial de 62,5 m e avaliador de dependência espacial (ADE) classificado como moderada dependência (51,3%).

Tabela 9- Parâmetros dos semivariogramas simples ajustados para produtividade e população de plantas do feijoeiro, matéria seca da *Urochloa brizantha* antecessora e de alguns atributos de um Latossolo Vermelho Distroférrico de Selvíria (MS), na camada de 0 a 0,10 m.

Atributo ^(a)	Modelo ^(b)	Efeito Pepita (C ₀)	Patamar (C ₀ + C)	Alcance (a ₀) (m)	r ²	SQR ^(c)	Avaliador da dependência espacial	
							ADE (d)	Classe
<i>γ(h) simples dos atributos da planta</i>								
PRO (kg ha ⁻¹)	Esf	1,88.10 ⁵	3,80.10 ⁵	17,6	0,596	1,01.10 ¹⁰	50,6	moderada
PP (pl ha ⁻¹)	Esf	2,33.10 ⁸	1,51.10 ⁹	40,6	0,758	4,12.10 ¹⁷	84,5	alta
MSB (kg ha ⁻¹)	Esf	8,24.10 ⁶	1,65.10 ⁷	49,4	0,865	7,93.10 ¹²	50,0	moderada
<i>γ(h) simples dos atributos do solo</i>								
DP1 (kg dm ⁻³)	Gau	5,48.10 ⁻³	1,13.10 ⁻²	62,5	0,937	2,70.10 ⁻⁶	51,3	moderada
DS1 (kg dm ⁻³)	Exp	3,32.10 ⁻³	6,65.10 ⁻³	66,9	0,932	4,38.10 ⁻⁷	50,1	moderada
MA1 (m ³ m ⁻³)	Esf	8,30.10 ⁻⁵	1,45.10 ⁻³	7,2	0,584	5,93.10 ⁻⁷	94,3	alta
MI1 (m ³ m ⁻³)	Gau	1,56.10 ⁻⁴	4,13.10 ⁻⁴	6,9	0,655	2,31.10 ⁻⁸	62,4	moderada
PTd1 (m ³ m ⁻³)	Esf	1,10.10 ⁻⁵	7,79.10 ⁻⁴	7,2	0,621	8,63.10 ⁻⁸	98,6	alta
PTc1 (m ³ m ⁻³)	Gau	1,18.10 ⁻³	1,74.10 ⁻³	20,9	0,467	2,65.10 ⁻⁷	32,3	moderada
P1 (mg dm ⁻³)	Esf	3,15.10	4,05.10	30,0	0,736	1,84.10 ¹	22,2	baixa
RP1 (MPa)	Esf	1,34	4,92	33,8	0,781	2,14	72,8	moderada
UG1 (kg kg ⁻¹)	Esf	3,55.10 ⁻⁵	2,72.10 ⁻⁴	38,7	0,749	1,30.10 ⁻⁸	86,9	alta
UV1 (m ³ m ⁻³)	Esf	2,23.10 ⁻⁴	7,03.10 ⁻⁴	28,7	0,749	4,04.10 ⁻⁸	68,3	moderada
pH1	Epp	1,73.10 ⁻¹	1,73.10 ⁻¹	-	-	-	-	-
MO1 (g dm ⁻³)	Epp	1,13.10	1,13.10	-	-	-	-	-

^(a)PRO = produtividade do feijoeiro de inverno, PP = população de plantas do feijoeiro de inverno, MSB = matéria seca da *Urochloa brizantha* cv Marandu, DP = densidade da partícula, DS = densidade do solo, MA = macroporosidade, MI = microporosidade, PTd = porosidade total determinada, PTc = porosidade total calculada, P = teor de fósforo, RP = resistência a penetração, UG = umidade gravimétrica, UV = umidade volumétrica, pH = pH em CaCl₂ e MO = matéria orgânica; na camada de 0 a 0,10 m ^(b) esf = esférico, exp = exponencial, epp = efeito pepita puro, gau = gaussiano, ^(c) SQR = Soma dos quadrados dos resíduos; ^(d) ADE = avaliador da dependência espacial. Fonte: a própria autora

Tabela 10-Parâmetros dos semivariogramas simples ajustados para alguns atributos de um Latossolo Vermelho Distroférico de Selvíria (MS), na camada de 0,10 a 0,20 m.

Atributo ^(a)	Modelo ^(b)	Efeito Pepita (C ₀)	Patamar (C ₀ + C)	Alcance (a ₀) (m)	r ²	SQR ^(c)	Parâmetros	
							Avaliador da dependência espacial	Classe
ADE (d)								
<i>γ(h) simples dos atributos do solo</i>								
#DP2 (kg dm ⁻³)	Epp	1,17.10 ⁻⁵	1,17.10 ⁻⁵	-	-	-	-	-
DS2 (kg dm ⁻³)	Gau	2,90.10 ⁻³	4,10.10 ⁻³	16,0	0,538	5,33.10 ⁻⁷	29,3	moderada
MA2 (m ³ m ⁻³)	Epp	2,98.10 ⁻⁴	2,98.10 ⁻⁴	-	-	-	-	-
MI2 (m ³ m ⁻³)	Esf	1,07.10 ⁻⁴	2,41.10 ⁻⁴	37,5	0,675	6,13.10 ⁻⁹	55,8	moderada
PTd2 (m ³ m ⁻³)	Esf	2,55.10 ⁻⁴	5,54.10 ⁻⁴	21,7	0,921	4,29.10 ⁻⁹	54,0	moderada
PTc2 (m ³ m ⁻³)	Gau	5,69.10 ⁻⁴	8,56.10 ⁻⁴	22,0	0,541	5,15.10 ⁻⁸	33,5	moderada
P2 (mg dm ⁻³)	Gau	3,30.10	3,08.10	9,5	0,185	4,43.10	25,3	moderada
RP2 (MPa)	Esf	5,82.10 ⁻¹	1,43	50,5	0,933	4,28.10 ⁻²	59,3	moderada
#UG2 (kg kg ⁻¹)	Esf	7,10.10 ⁻⁵	1,16.10 ⁻⁴	35,1	0,452	1,49.19 ⁻⁹	38,8	moderada
UV2 (m ³ m ⁻³)	Esf	2,03.10 ⁻⁴	4,12.10 ⁻⁴	40,0	0,711	1,26.10 ⁻⁸	50,8	Moderada
pH2	Esf	2,91.10 ⁻²	4,07.10 ⁻²	51,5	0,870	6,77.10 ⁻⁵	28,6	Moderada
MO2 (g dm ⁻³)	Esf	1,64	8,01	29,5	0,691	9,77	79,5	alta

^(a)PRO = produtividade do feijoeiro de inverno, PP = população de plantas do feijoeiro de inverno, MSB = matéria seca da *Urochloa brizantha* cv Marandu, DP = densidade da partícula, DS = densidade do solo, MA = macroporosidade, MI = microporosidade, PTd = porosidade total determinada, PTc = porosidade total calculada, P = teor de fósforo, RP = resistência a penetração, UG = umidade gravimétrica, UV = umidade volumétrica, pH = pH em CaCl₂ e MO = matéria orgânica, na camada de 0 a 0,10 m ^(b) esf = esférico, exp = exponencial, epp = efeito pepita puro, gau = gaussiano, ^(c) SQR = Soma dos quadrados dos resíduos; (d) ADE = avaliador da dependência espacial. Fonte: a própria autora

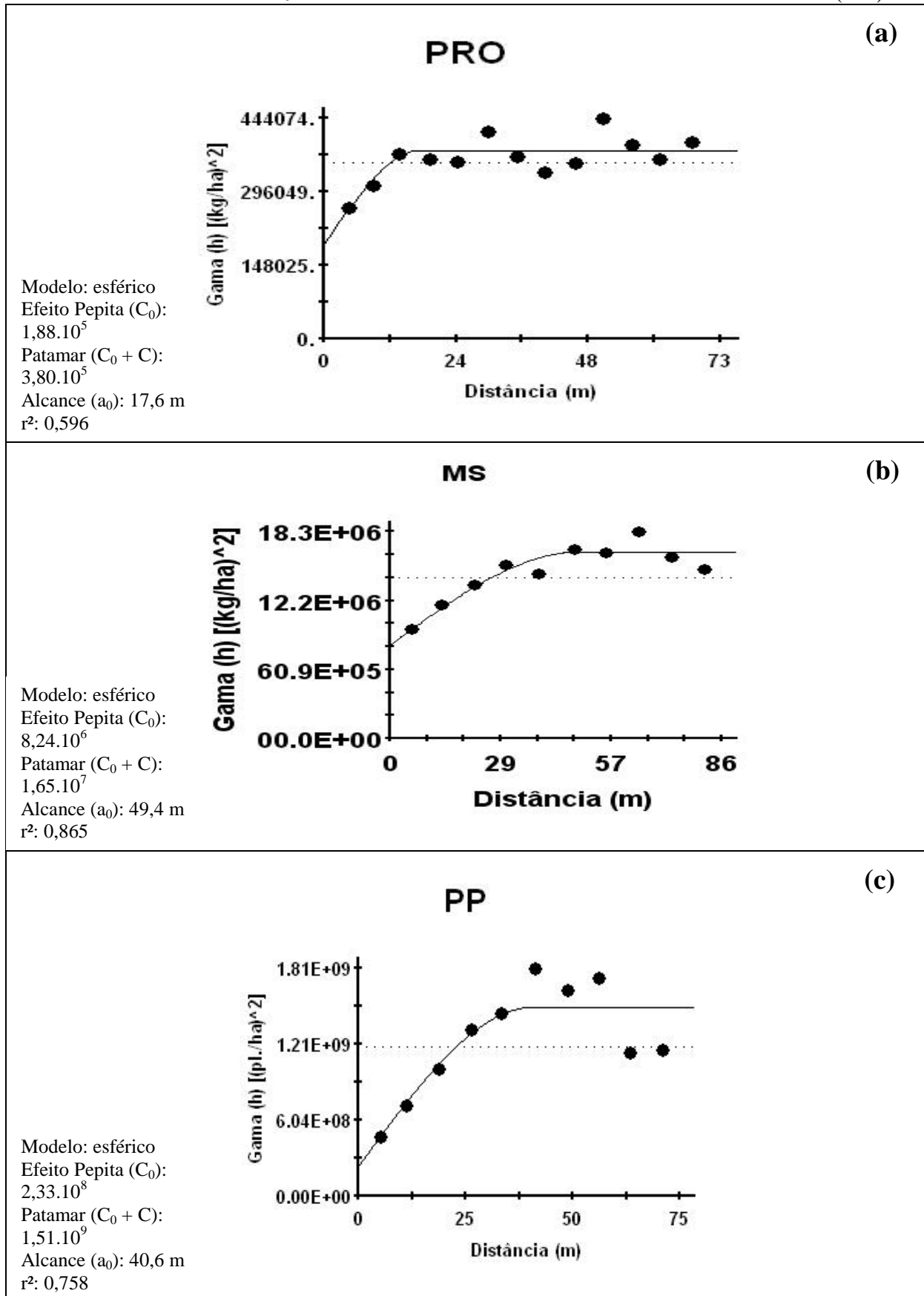
O atributo que apresentou segundo melhor ajuste semivariográfico foi o RP2 (Tabela 10, Figura 14), com modelo esférico, alcance de dependência espacial de 50,5 m e avaliador de dependência espacial (ADE) classificado como moderada dependência (59,3%). Santos et al. (2005), estudando correlação entre PRO de feijoeiro e RP num Latossolo Vermelho Distroférico, também ajustaram semivariograma esférico, alcance de 35,8 m e com moderada dependência (73,5%). Carvalho et al. (2006), pesquisando correlação da PRO da cultura do feijão com a RP sob SPD, ajustaram semivariograma esférico, alcance de 67,1 m e com moderada dependência (63,4%).

Na sequência a DS1 apresentou terceiro melhor ajuste semivariográfico (Tabela 9; Figura 10), com modelo exponencial, alcance de dependência espacial de 66,9 m e avaliador de dependência espacial (ADE) classificado como moderada dependência (50,1%). Souza et al. (2001), numa pesquisa com atributos físicos do solo em um Latossolo Vermelho distroférico sob SPD, apresentaram modelo, para $DS_{0-0,05m}$, esférico e com alcance de 13,12 m. Montanari et al. (2010), trabalhando com PRO da cultura do feijão correlacionada com atributos físicos do solo, apresentaram modelo gaussiano, com alcance de 10,5 m e com moderada dependência (62,3%).

Modelo esférico foi ajustado para a PTd2 (Figura 12), que apresentou alcance de 21,7 m e ADE moderado (54,0%), assemelhando-se aos resultados observados por Souza et al. (2001), que obteve para $PT_{0,15-0,20m}$, modelo esférico. Porém, Megda et al. (2008), encontraram modelo exponencial, todavia com ADE moderado (70,8%).

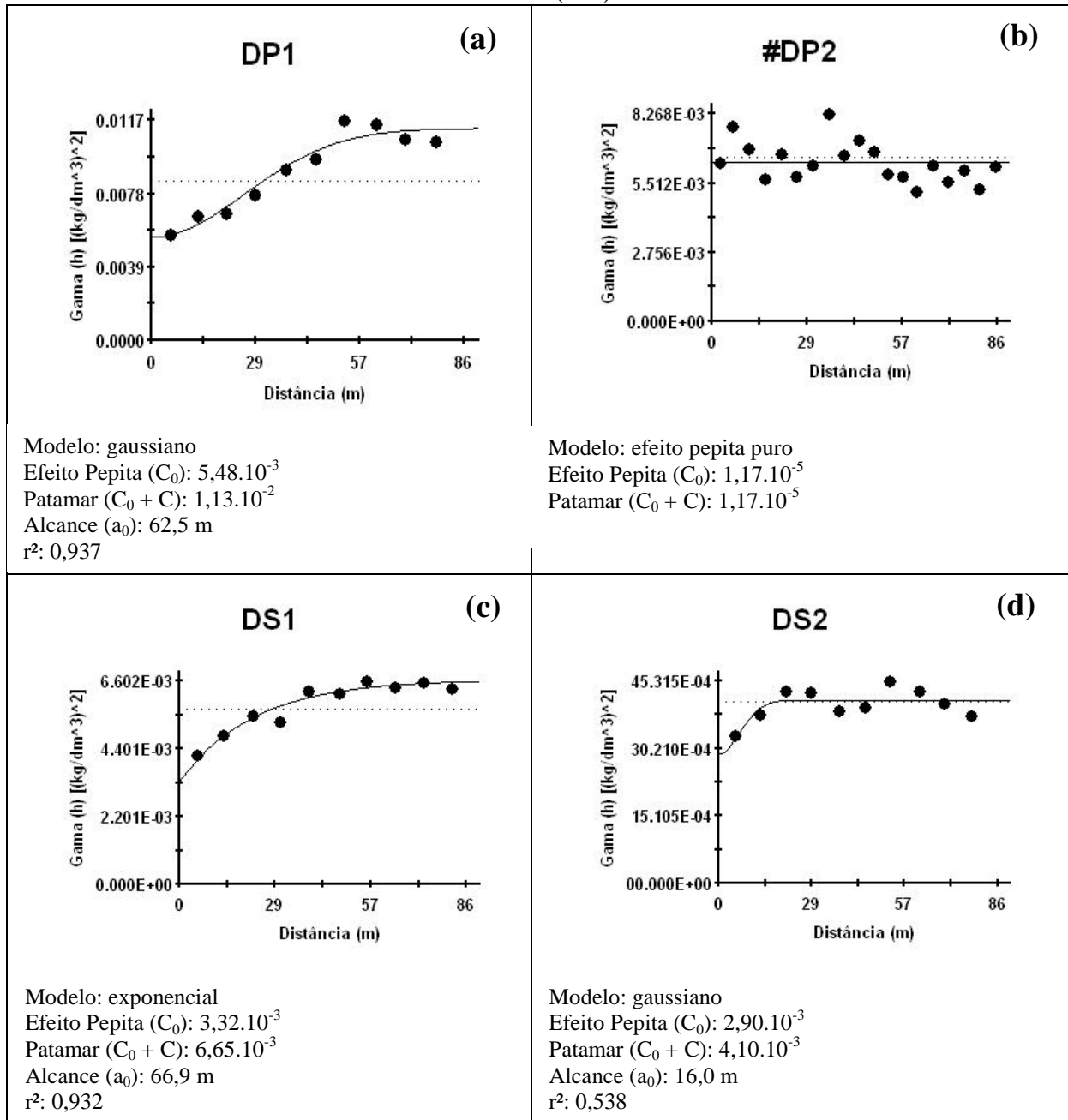
Em relação aos valores dos alcances dos atributos pesquisados foram classificados na seguinte ordem decrescente: 1) DS1 (66,9 m), 2) DP1 (62,5 m), 3) pH2 (51,5 m), 4) RP2 (50,5 m), 5) UV2 (40,0 m), 6) UG1 (38,7 m), 7) MI2 (37,5 m), 8) UG2 (35,1 m), 9) RP1 (33,8 m), 10) P1 (30,0 m), 11) MO2 (29,5 m), 12) UV1 (28,7 m), 13) PTc2 (22,0 m), 14) PTd2 (21,7 m), 15) PTc1 (20,9 m), 16) DS2 (16,0 m), 17) P2 (9,5 m), 18) PTd1 (7,2 m) e MA1 (7,2 m) e 19) MI1 (6,9 m), conforme Tabelas 9 e 10. O valor do alcance pode comprometer a qualidade da estimativa, visto que ele determina o número de valores usados na interpolação. Portanto, estimativas realizadas com interpolação por krigagem empregando valores de alcances maiores tendem a ser mais confiáveis, proporcionando mapas que representam melhor a realidade (CORÁ et al., 2004). Porém, o valor do alcance depende do espaçamento da malha amostral.

Figura 9- Semivariogramas simples dos atributos PRO e PP do feijoeiro de inverno e MSB da *Urochloa brizantha* num Latossolo Vermelho Distroférico de Selvíria (MS).



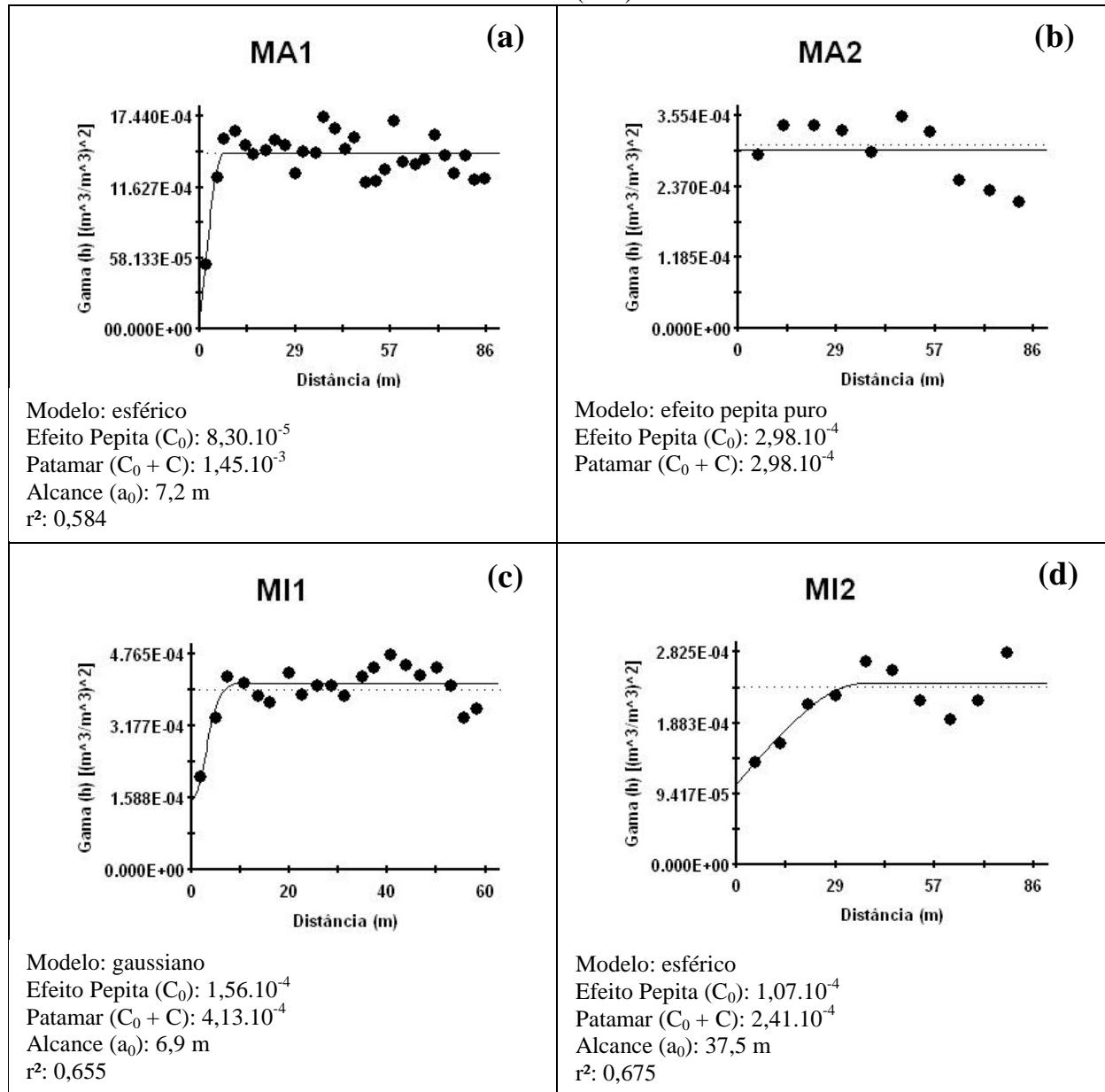
Fonte: a própria autora.

Figura 10- Semivariogramas simples dos atributos DP1, #DP2, DS1 e DS2 num Latossolo Vermelho Distroférico de Selvíria (MS).



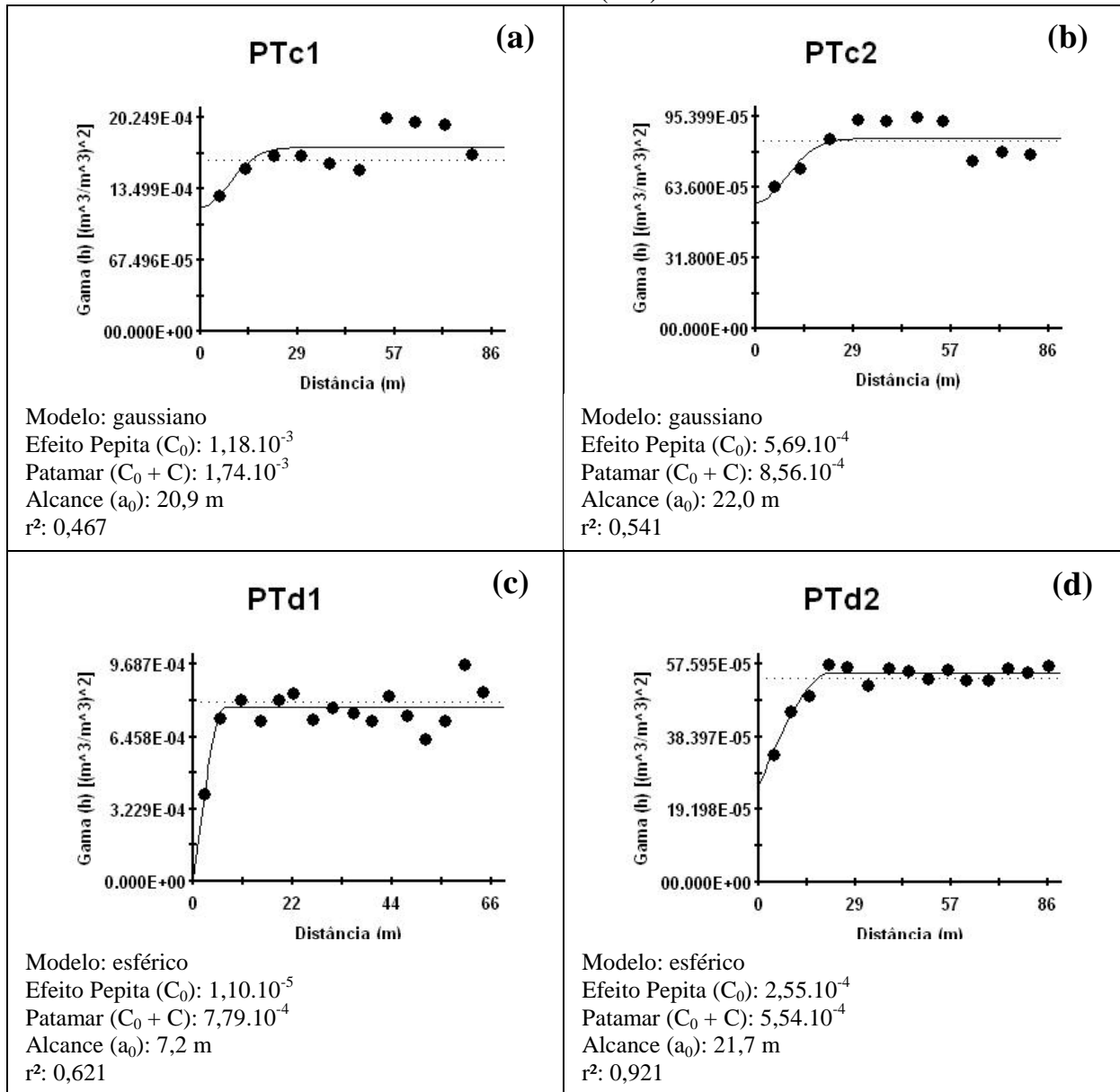
Fonte: a própria autora.

Figura 11- Semivariogramas simples dos atributos MA1, MA2, MI1 e MI2 num Latossolo Vermelho Distroférico de Selvíria (MS).



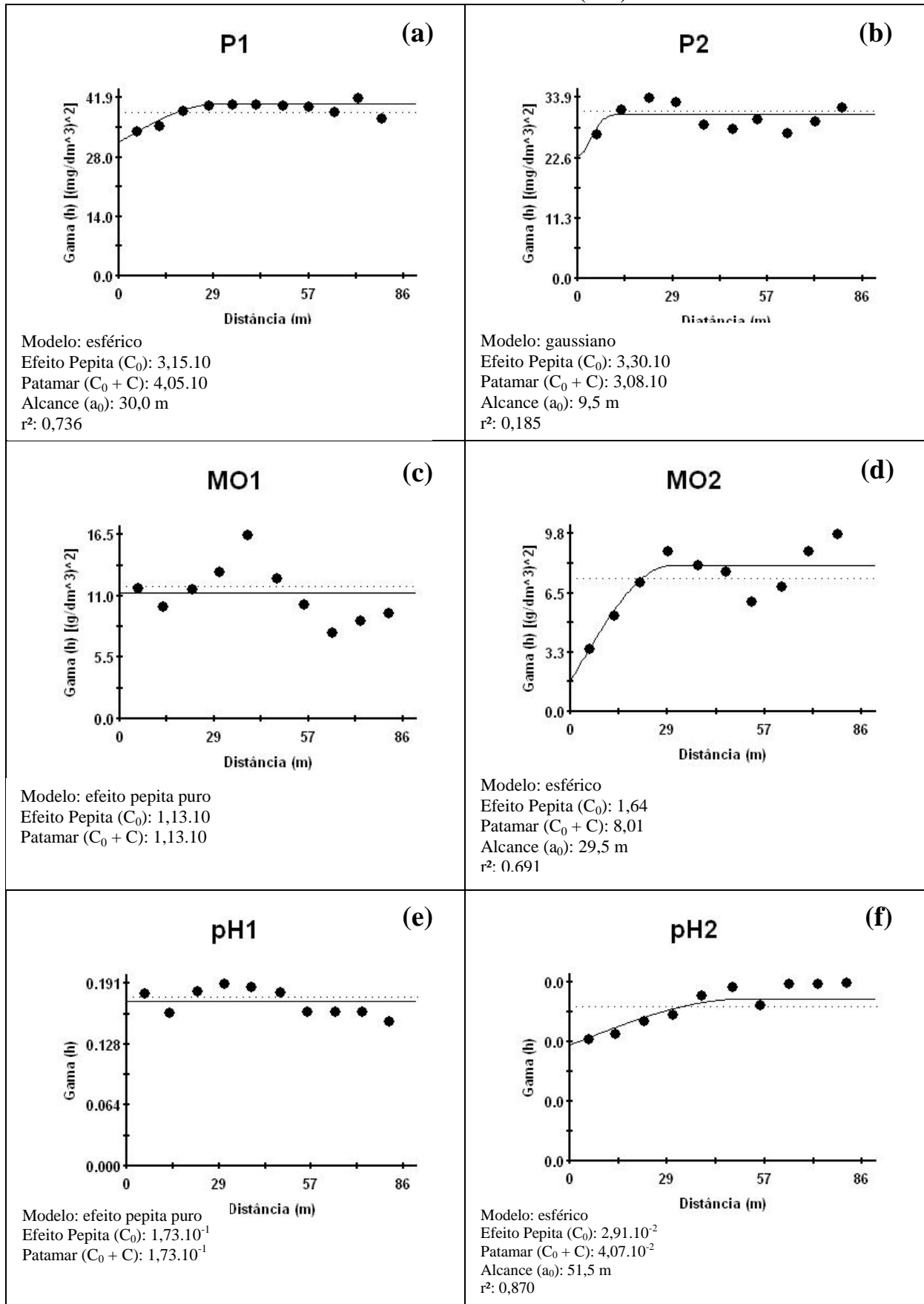
Fonte: a própria autora.

Figura 12- Semivariogramas simples dos atributos PTd1, PTd2, PTc1 e PTc2 num Latossolo Vermelho Distroférico de Selvíria (MS).



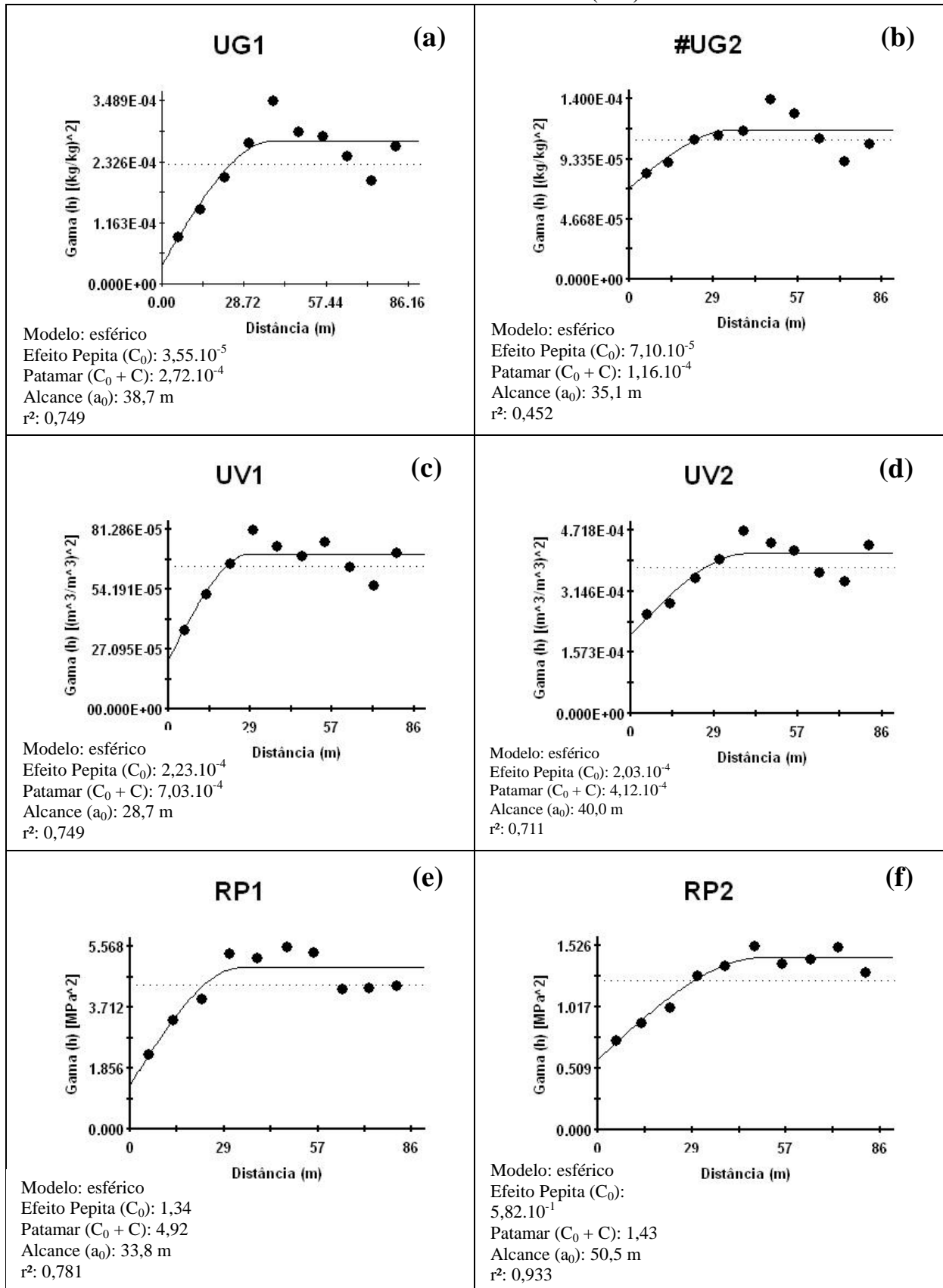
Fonte: a própria autora.

Figura 13- Semivariogramas simples dos atributos P1, P2, MO1, MO2, pH1 e pH2 num Latossolo Vermelho Distroférico de Selvíria (MS).



Fonte: a própria autora.

Figura 14- Semivariogramas simples dos atributos UG1, #UG2, UV1, UV2, RP1 e RP2 num Latossolo Vermelho Distroférico de Selvíria (MS).



Fonte: a própria autora.

4.3.1.2 Validação cruzada dos semivariogramas simples ajustados

Na Tabela 11 e 12 estão apresentados os parâmetros das validações cruzadas referentes às krigagens para alguns atributos do feijoeiro de inverno, da matéria seca da *Urochloa brizantha* e de um Latossolo Vermelho Distroférrico de Selvíria (MS). Assim, a ordem decrescente da grandeza do coeficiente de correlação (r), foi: 1) UG1 (0,782), 2) PP (0,709), 3) UV1 (0,644), 4) MO2 (0,617), 5) RP1 (0,588), 6) MI2 (0,587), 7) UV2 (0,523), 8) MI1 (0,520), 9) RP2 (0,511), 10) PTd2 (0,448), 11) PRO (0,436), 12) MA1 (0,430), 13) PTc2 (0,401), 14) MSB e #UG2 (0,386), 15) PTd1 (0,359), 16) DS1 (0,354), 17) PTc1 (0,345), 18) DP1 (0,315), 19) pH2 (0,298), 20) DS2 (0,207), 21) P2 (0,105) e 22) P1 (0,063). Os coeficientes angulares (b) das retas das validações cruzadas ficaram entre 0,219 (P1) e 1,001 (#UG2). Nota-se que o P2 resultou tanto segundo menor r^2 semivariográfico, quanto para a validação cruzada.

Tabela 11- Parâmetros das validações cruzadas referentes às krigagens de alguns atributos do feijoeiro de inverno, da matéria seca da *Urochloa brizantha* e de um Latossolo Vermelho Distroférico de Selvíria (MS), na camada de 0 a 0,10 m.

Atributo ^(a)	Coeficiente de correlação (r)	VO = a + b . VE ^(b)	
		a	b
<i>γ(h) simples dos atributos das plantas</i>			
PRO (kg ha ⁻¹)	0,436	2,94.10 ²	0,908
MSB (kg ha ⁻¹)	0,386	1,61.10 ³	0,870
PP (pl ha ⁻¹)	0,709	1,01.10 ⁴	0,939
<i>γ(h) simples dos atributos do solo</i>			
DP1 (kg dm ⁻³)	0,315	4,50.10 ⁻¹	0,819
DS1 (kg dm ⁻³)	0,354	1,10.10 ⁻¹	0,925
MA1 (m ³ m ⁻³)	0,430	1,50.10 ⁻²	0,804
MI1 (m ³ m ⁻³)	0,520	0,00	0,988
PTd1 (m ³ m ⁻³)	0,359	1,66.10 ⁻¹	0,617
PTc1 (m ³ m ⁻³)	0,345	1,00.10 ⁻²	0,970
RP1 (MPa)	0,588	4,30.10 ⁻¹	0,887
UG1 (m ³ m ⁻³)	0,782	2,00.10 ⁻³	0,988
UV1 (m ³ m ⁻³)	0,644	8,00.10 ⁻³	0,973
P1 (mg dm ⁻³)	0,063	1,80.10 ¹	0,219

^(a)PRO= produtividade do feijoeiro de inverno, MSB = massa seca da *Urochloa brizantha*, PP = população de plantas do feijoeiro de inverno, DP = densidade da partícula, DS = densidade do solo, MA = macroporosidade, MI = microporosidade, PTd = porosidade total determinada, PTc = porosidade total calculada, RP = resistência do solo a penetração, UG = umidade gravimétrica, UV = umidade volumétrica, P = teor de fósforo, MO = matéria orgânica e pH = pH em CaCl₂; ^(b) VO = valor observado e VE = valor estimado; ^(c) epp = efeito pepita puro.

Fonte: a própria autora.

Tabela 12- Parâmetros das validações cruzadas referentes às krigagens de alguns atributos do feijoeiro de inverno, da matéria seca da *Urochloa brizantha* e de um Latossolo Vermelho Distroférico de Selvíria (MS), na camada de 0,10 a 0,20 m.

Atributo ^(a)	Coeficiente de correlação (r)	VO = a + b . VE ^(b)	
		a	b
<i>γ(h) simples dos atributos das plantas</i>			
PRO (kg ha ⁻¹)	0,436	2,94.10 ²	0,908
MSB (kg ha ⁻¹)	0,386	1,61.10 ³	0,870
PP (pl ha ⁻¹)	0,709	1,01.10 ⁴	0,939
<i>γ(h) simples dos atributos do solo</i>			
DS2 (kg dm ⁻³)	0,207	5,90.10 ⁻¹	0,602
MI2 (m ³ m ⁻³)	0,587	2,00.10 ⁻²	0,949
PTd2 (m ³ m ⁻³)	0,448	6,00.10 ⁻²	0,856
PTc2 (m ³ m ⁻³)	0,401	6,00.10 ⁻²	0,844
RP2 (MPa)	0,511	4,10.10 ⁻¹	0,916
#UG2 (m ³ m ⁻³)	0,386	0,00	1,001
UV2 (m ³ m ⁻³)	0,523	3,20.10 ⁻²	0,898
P2 (mg dm ⁻³)	0,105	8,50	0,304
MO2 (g dm ⁻³)	0,617	2,55	0,889
pH2	0,298	5,10.10 ⁻¹	0,889

^(a)PRO= produtividade do feijoeiro de inverno, MSB = matéria seca da *Urochloa brizantha*, PP = população de plantas do feijoeiro de inverno, DP = densidade da partícula, DS = densidade do solo, MA = macroporosidade, MI = microporosidade, PTd = porosidade total determinada, PTc = porosidade total calculada, RP = resistência do solo a penetração, UG = umidade gravimétrica, UV = umidade volumétrica, P = teor de fósforo, MO = matéria orgânica e pH = pH em CaCl₂; ^(b) VO = valor observado e VE = valor estimado; ^(c) epp = efeito pepita puro.

Fonte: a própria autora.

4.3.1.3 Mapas de krigagem dos atributos

Na Figura 15 podem ser observados os mapas de krigagem simples para os atributos das plantas (PRO, MSB e PP). Na Figura 15a, que apresenta o mapa de krigagem da PRO, observa-se que os valores mais elevados de PRO (3301 a 3900 kg ha⁻¹) estão nas bordas do mapa no sentido sul - sudoeste. No entanto, nas demais regiões, principalmente as que

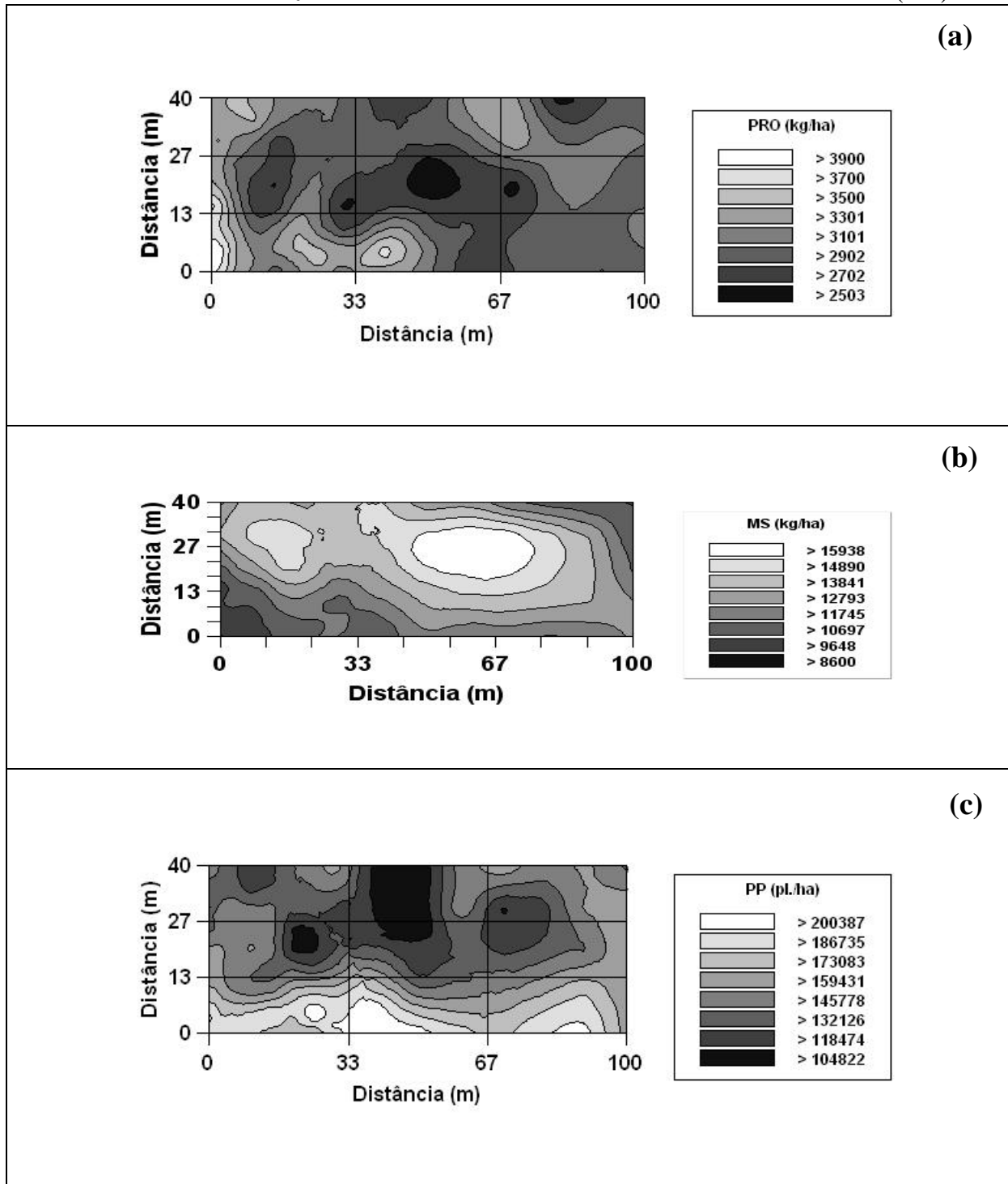
abranchem a região central do mapa, ocorreram os mais baixos valores da PRO (2503 a 3101 kg ha⁻¹).

Para as regiões de maiores valores da PRO, foram observadas semelhanças inversas com MSB (Figura 15 a, b), assim para as regiões onde ocorreram menores PRO (2503 a 3101 kg ha⁻¹) coincidiram com as regiões onde houve maior MSB (12793 a 15938 kg ha⁻¹).

Em se tratando do mapa de krigagem para o atributo MA1 (Figura 18a), ocorreram semelhanças inversas para os mapas de krigagem com a PRO, onde os maiores valores de PRO (3301 a 3900 kg ha⁻¹) coincidiram com os menores valores de MA1 (0,035 a 0,083 m³ m⁻³). O mapa de krigagem da UV1 (Figura 21a) também apresentou semelhança direta com a PRO. Sendo assim, onde houve maiores valores de UV1 (0,287 a 0,318 m³ m⁻³) incidiram maiores valores da PRO, em ambos os mapas próximo às bordas na região sul – sudoeste.

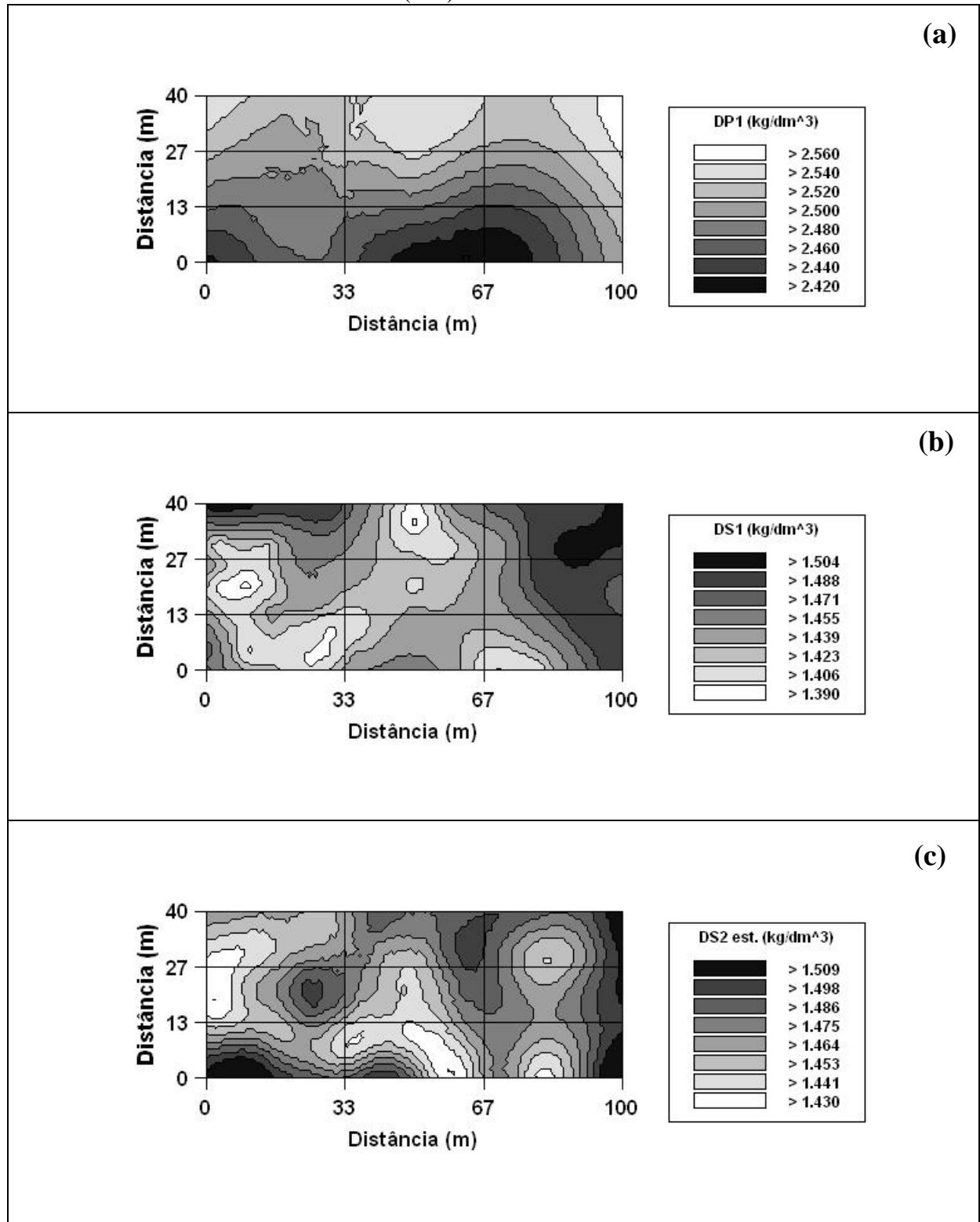
O mapa de krigagem para o atributo pH2 (Figura 21c), foi semelhante ao mapa de krigagem para a PRO na região inferior sul – sudoeste do mapa, onde foram verificados os maiores valores de pH2. Dalchiavon et al. (2011), para a cultura do feijão sob SPD num Latossolo Vermelho Distroférico, constataram tal semelhança entre os mapas de PRO e pH_{0-0,20m}, sendo que as regiões onde ocorreram maiores valores de PRO (3095 a 3676 kg ha⁻¹) houve também maiores valores de pH_{0-0,20m} (5,1 a 5,5).

Figura 15- Mapas de krigagem dos atributos PRO e PP do feijoeiro de inverno e MSB da *Urochloa brizantha* num Latossolo Vermelho Distroférico de Selvíria (MS).



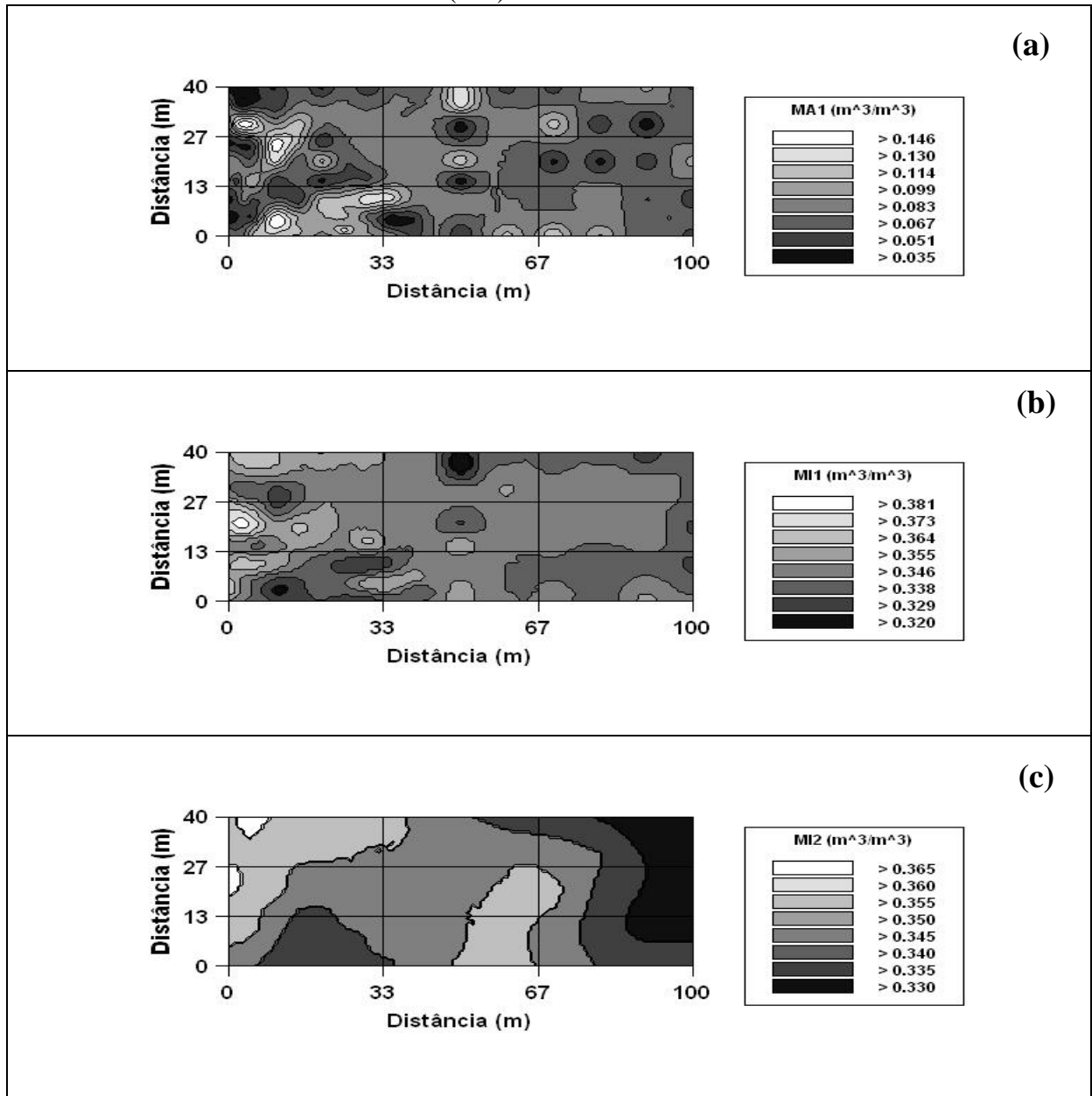
Fonte: a própria autora.

Figura 16- Mapas de krigagem dos atributos DP1, DS1 e DS2 num Latossolo Vermelho Distroférico de Selvíria (MS).



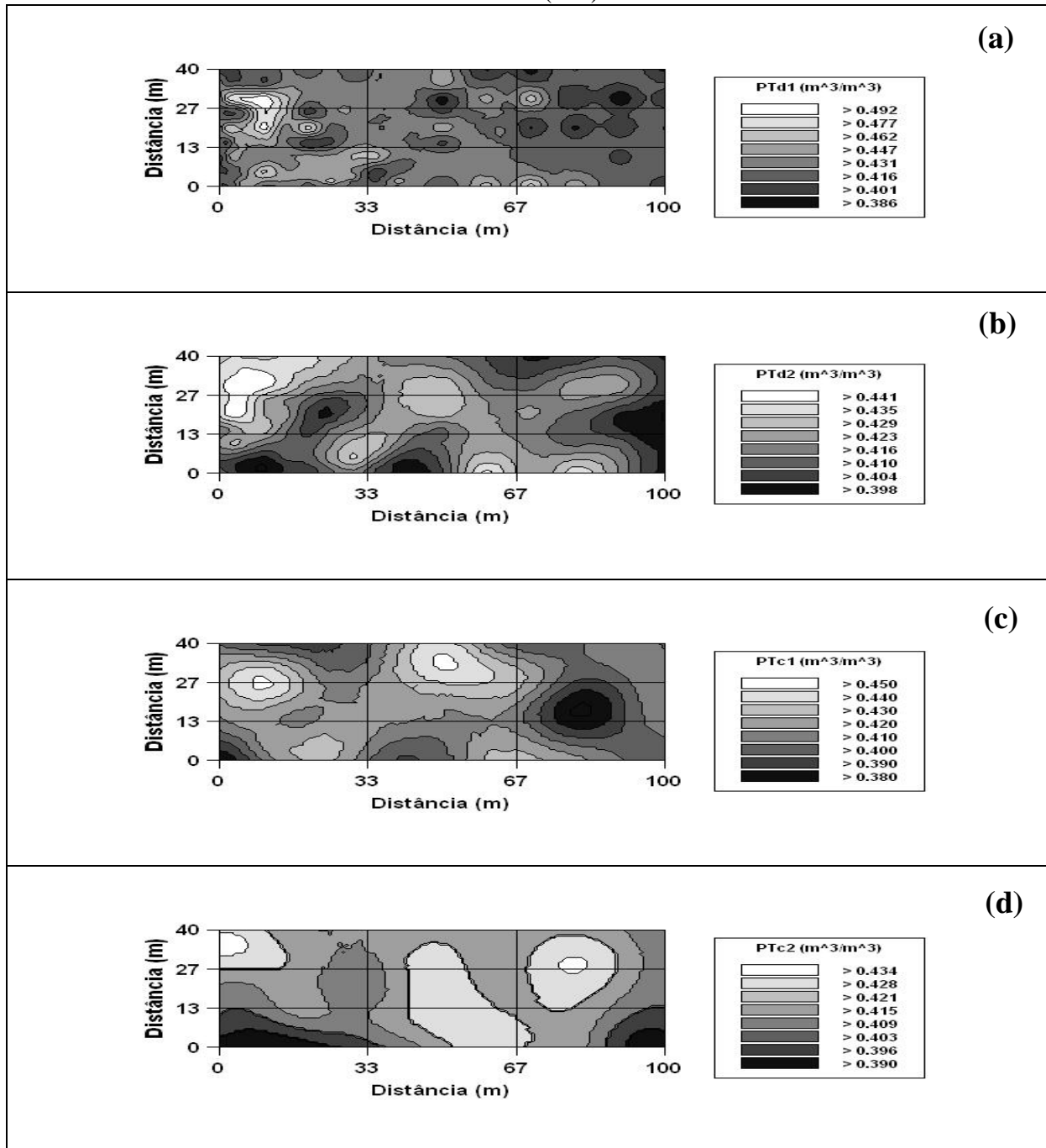
Fonte: a própria autora.

Figura 17- Mapas de krigagem dos atributos MA1, MI1 e MI2 num Latossolo Vermelho Distroférico de Selvíria (MS).



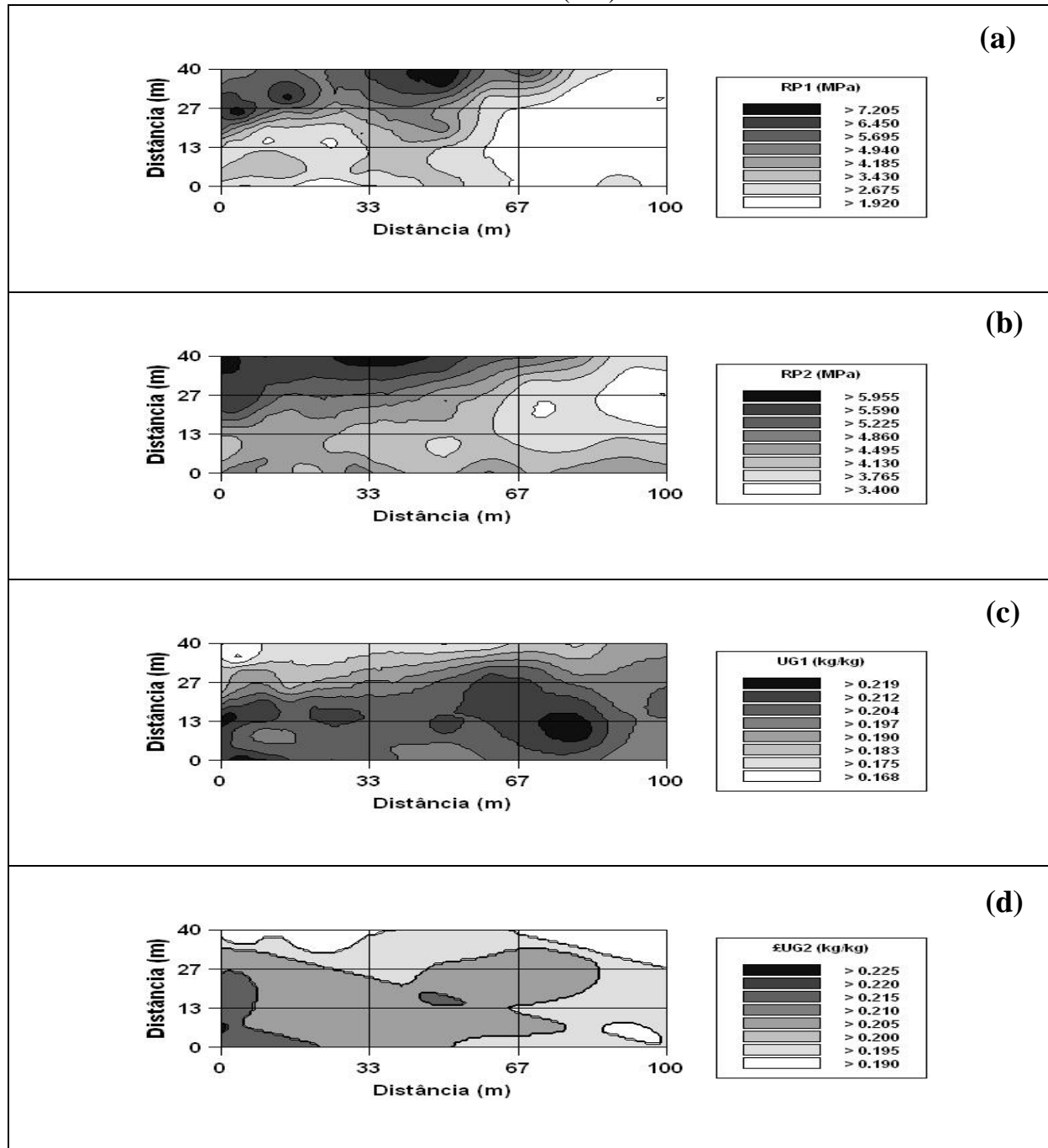
Fonte: a própria autora.

Figura 18- Mapas de krigagem dos atributos PTd1, PTd2, PTc1 e PTc2 num Latossolo Vermelho Distroférico de Selvíria (MS).



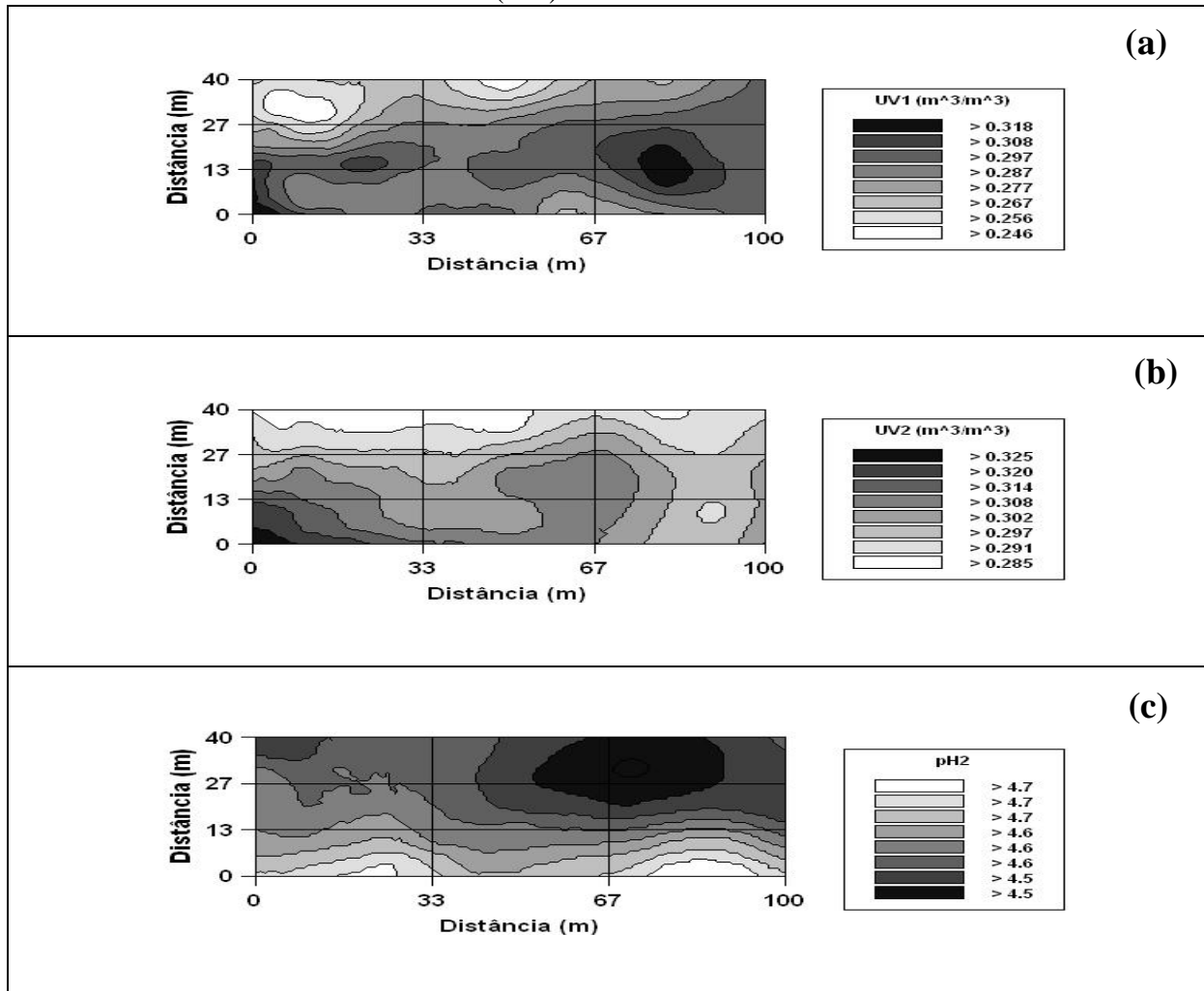
Fonte: a própria autora.

Figura 19- Mapas de krigagem dos atributos RP1, RP2, UG1 e £UG2 num Latossolo Vermelho Distroférico de Selvíria (MS).



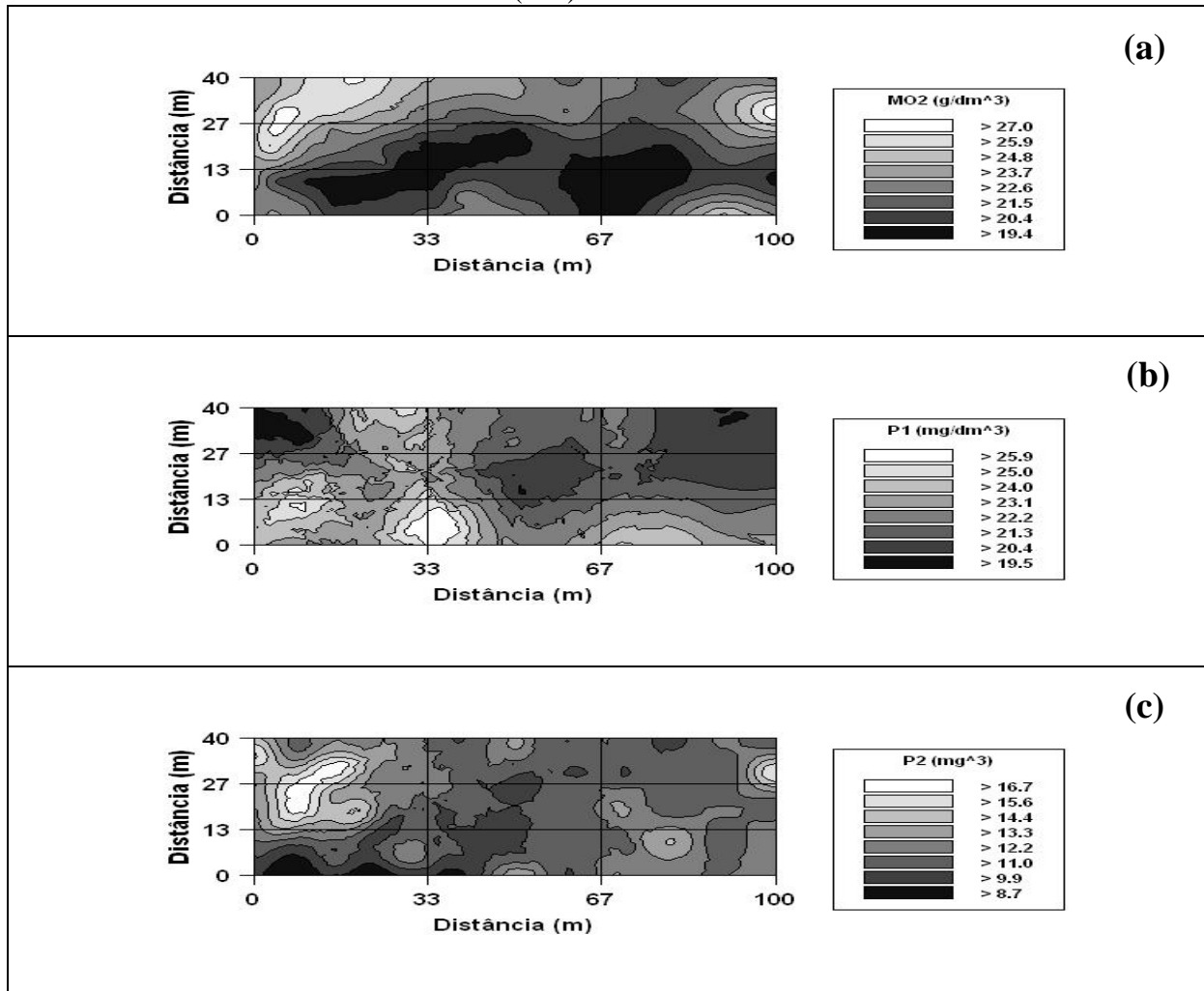
Fonte: a própria autora.

Figura 20- Mapas de krigagem dos atributos UV1, UV2 e pH2 num Latossolo Vermelho Distroférico de Selvíria (MS).



Fonte: a própria autora.

Figura 21- Mapas de krigagem dos atributos MO2, P1 e P2 num Latossolo Vermelho Distroférico de Selvíria (MS).



Fonte: a própria autora.

4.3.2 Análise semivariográfica cruzada

4.3.2.1 Ajuste dos semivariogramas cruzados e mapas de cokrigagens dos atributos

Na Tabela 13 estão apresentados os parâmetros dos semivariogramas cruzados, ajustados entre alguns atributos da produtividade do feijoeiro e de um Latossolo Vermelho Distroférico de Selvíria (MS). Nas Figuras 22, 23 e 24 estão contidos os semivariogramas cruzados e os mapas de cokrigagens entre a PRO *versus* alguns atributos do solo, ficando evidente que: $PRO=f(MA1)$, $PRO=f(PTd2)$, $PRO=f(PTc1)$, $PRO=UV1$ e $PRO=f(pH2)$ apresentaram dependência espacial.

Tabela 13- Parâmetros dos semivariogramas cruzados ajustados para produtividade do feijoeiro de inverno e de um Latossolo Vermelho Distroférico de Selvíria (MS).

Atributo ^(a)	Modelo ^(b)	Parâmetros					Avaliador da dependência espacial	
		Efeito Pepita (C ₀)	Patamar (C ₀ + C)	Alcance (A ₀) (m)	r ²	SQR ^(c)	ADE	Classe
		(d)						
<i>γ(h) cruzados entre PRO e atributos do solo</i>								
PRO=f(MA1)	Esf	-8,70.10 ⁻¹	-5,30	31,5	0,635	8,45	83,6	Alta
PRO=f(PTd2)	Esf	-9,75.10 ⁻¹	-3,34	31,1	0,608	2,53	70,8	Moderada
PRO=f(PTc1)	Gau	-1,00.10 ⁻²	-3,97	19,9	0,394	1,69.10	99,7	Alta
PRO=f(UV1)	Gau	1,00.10 ⁻³	2,39	28,6	0,596	7,17	99,9	Alta
PRO=f(pH2)	Esf	2,29	1,41. 10	23,7	0,443	7,15.10	83,7	Alta

^(a)PRO = produtividade do feijoeiro de inverno, MA = macroporosidade, PTd = porosidade total determinada, PTc = porosidade total calculada, UV = umidade volumétrica e pH = pH em CaCl₂; ^(b) esf = esférico, gau = gaussiano, ^(c) SQR = Soma dos quadrados dos resíduos; (d) ADE = avaliador da dependência espacial.

Fonte: a própria autora.

Em relação ao ajuste dos semivariogramas cruzados (Tabela 13), a relação decrescente deles, analisada pela grandeza do coeficiente de determinação espacial (r²) foi: 1) PRO=f(MA1) (0,635), 2) PRO=f(PTd2) (0,608), 3) PRO=f(UV1) (0,596), 4) PRO=f(pH2) (0,443) e 5) PRO=f(PTc1). A relação decrescente dos semivariogramas cruzados, analisada pela grandeza do coeficiente de correlação (r) (Tabela 14), foi: 1) PRO=f(pH2) (0,414), 2) PRO=f(MA1) e PRO=f(PTc1) (0,399), 3) PRO=f(UV1) (0,382) e 4) PRO=f(PTd2) (0,376). Os coeficientes angulares (b) das validações cruzadas variaram entre 0,558 [PRO=f(pH2)] e 0,503 [PRO=f(pH2)].

Assim, o melhor ajuste, atestado pelos coeficientes acima citados, foi a cokrigagem PRO=f(MA1) (Tabelas 13 e 14, Figuras 22 a,b). Desta forma, esta cokrigagem apresentou ajuste semivariográfico do tipo esférico inverso, cujo alcance da dependência espacial foi de 31,5 m e ADE alto (83,6%). Assim, foi constatado que 63,5% da variabilidade espacial da PRO foi explicada pela variabilidade espacial da MA1. Logo, do ponto de vista espacial da área pesquisada, onde a MA1 estiver entre 0,035 e 0,083 m³ m⁻³, a PRO esperada estará compreendida entre 3297 a 4224 kg ha⁻¹.

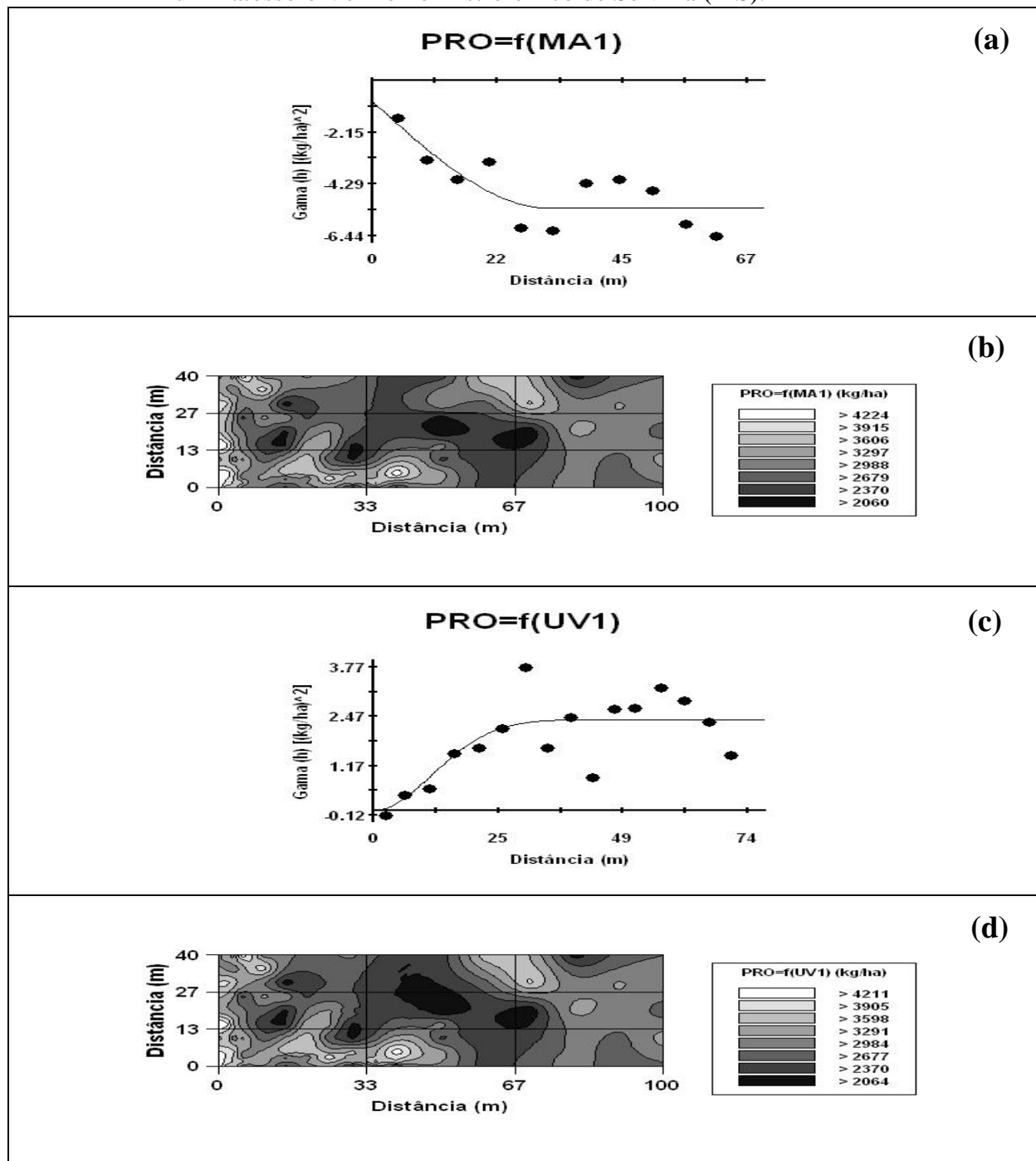
Do ponto de vista agrônômico este comportamento inverso está em desacordo ao que deveria ocorrer em áreas compactadas sobre a produtividade da cultura do feijão, onde os

principais efeitos negativos desta compactação levaria ao aumento da resistência do solo ao crescimento radicular, a redução da aeração (macroporos) e a disponibilidade de água (microporos) e de nutrientes, e, conseqüentemente, decréscimo na produtividade agrícola (MEGDA et al., 2008). Além disso, ao diminuir a macroporosidade, segundo Kertzmann (1996), parte significativa da água fica retida nos microporos sob altas tensões e, portanto, indisponível às plantas. Contudo, cabe salientar, que no presente trabalho, a água não foi limitante, pois foi irrigada durante todo o ciclo da cultura, e a grande quantidade de palha do capim Marandu antecessor pode ter diminuído o efeito de evaporação, comum em áreas sob sistema plantio direto.

Para cokrigagem $PRO=f(UV1)$, ajustou-se semivariograma de modelo gaussiano (Tabela 13, Figura 22c,d), de comportamento direto, indicando que nas regiões onde houver aumento da UV1, implicará igualmente aumento da PRO, e vice e versa. Normalmente, pela irregularidade da distribuição da precipitação pluvial e, conseqüentemente, da disponibilidade de água em períodos críticos tem sido verificada que a umidade do solo é um dos principais fatores responsáveis pela variabilidade temporal da produtividade das culturas (KLUTHCOUSKI et al., 2000; BAKHSH et al., 2001; MIAO; MULLA; ROBERT, 2006). Portanto, a irrigação pode diminuir esta variabilidade, e atender plenamente a demanda das plantas, como verificado no presente trabalho.

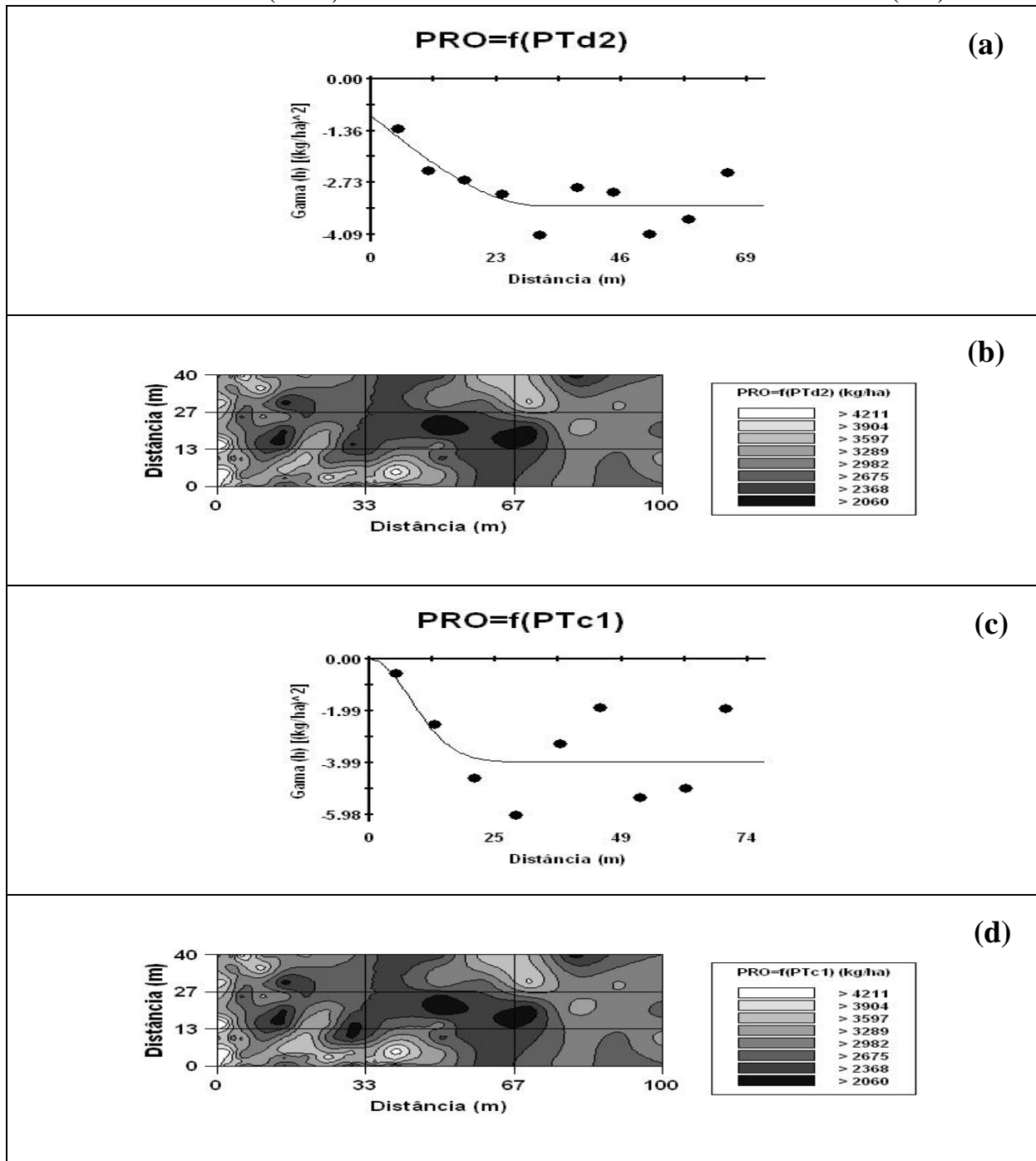
As cokrigagens $PRO=f(PTd2)$ e $PRO=f(PTc1)$ também apresentaram correlação inversa (Figura 23), ou seja, a redução da porosidade, tanto determinada na camada de 0,10 a 0,20 m, quanto calculada de 0 a 0,10 m coincidiram com o aumento da produtividade, portanto inversa do ponto de vista agrônômico. Este comportamento pode ser atribuído, em parte ao mesmo efeito verificado com a macroporosidade. Cabe destacar, que pelo efeito de maior disponibilidade de água (UV1), caracteriza que a cultura do feijão de inverno (em área irrigada) foi mais susceptível ao efeito da irrigação do que da compactação do solo, fato este provável apenas em casos onde com grande quantidade de palha na camada superficial do solo e em SPD em fase de consolidação (acima de 5 anos) como verificado no presente trabalho (8 anos em SPD).

Figura 22- Semivariograma cruzado e mapas de cokrigagem da produtividade do feijoeiro de inverno em função da macroporosidade (MA1) e da umidade volumétrica (UV1) num Latossolo Vermelho Distroférico de Selvíria (MS).



Fonte: a própria autora.

Figura 23- Semivariograma cruzado e mapas de cokrigagem da produtividade do feijoeiro de inverno em função da porosidade total determinada (PTd2) e da porosidade total calculada (PTc1) num Latossolo Vermelho Distroférico de Selvíria (MS).



Fonte: a própria autora.

O alcance da dependência espacial para a cokrigagem $PRO=f(UV1)$ foi de 28,6 m, com ADE alto (99,9%). Logo, nas regiões em que a UV1 apresentar valores elevados ($0,287$ a $0,318 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$), a PRO estará compreendida entre 3291 a 4211 kg ha^{-1} . Entretanto, naquelas regiões onde a UV1 estiver entre $0,246$ a $0,277 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, a PRO estará entre 2064 a 2984 kg ha^{-1} .

Tabela 14- Parâmetros das validações cruzadas referentes às cokrigagens da produtividade do feijoeiro de inverno e de um Latossolo Vermelho Distroférico de Selvíria (MS).

Atributo ^(a)	Coeficiente de correlação (r)	VO = a + b . VE ^(b)	
		a	b
<i>$\gamma(h)$ cruzados entre PRO e atributos do solo</i>			
PRO=f(MA1)	0,399	1,48.10 ³	0,542
PRO=f(PTd2)	0,376	1,61.10 ³	0,503
PRO=f(PTc1)	0,399	1,49.10 ³	0,538
PRO=f(UV1)	0,382	1,57.10 ³	0,514
PRO=f(pH2)	0,414	1,42.10 ³	0,558

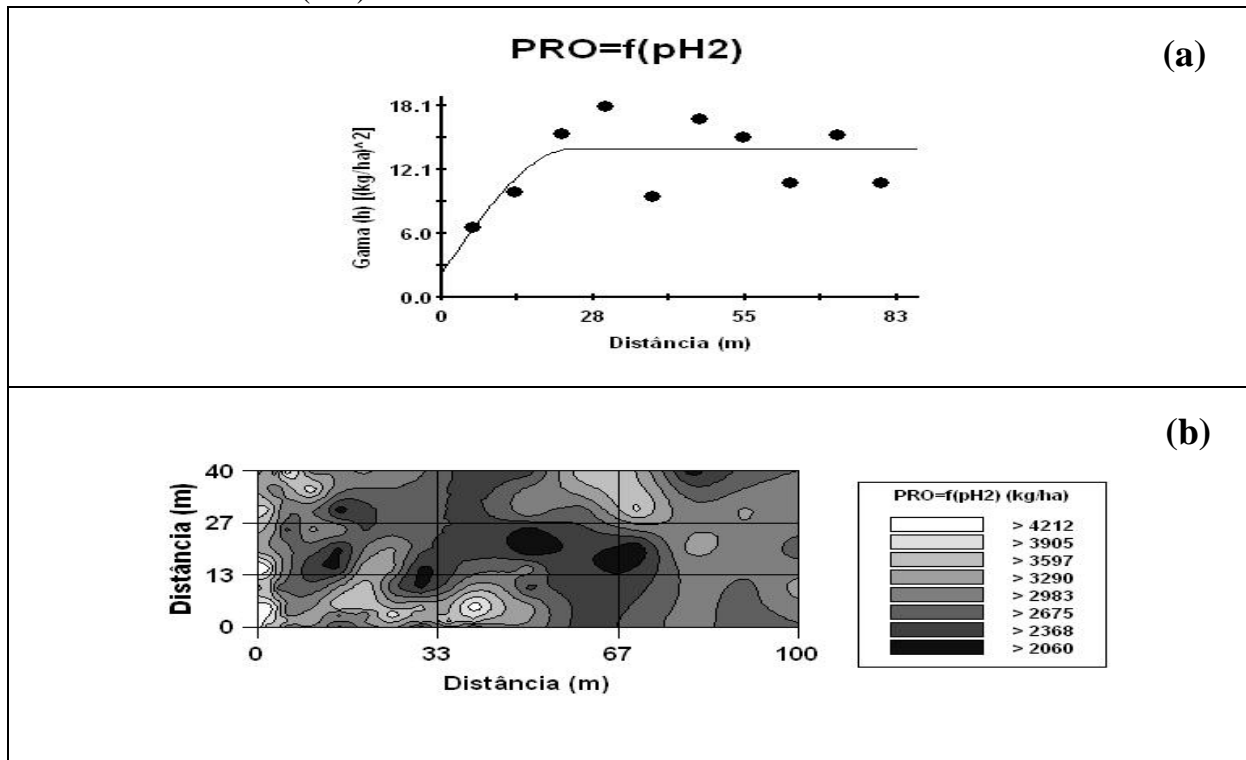
^(a)PRO = produtividade do feijoeiro de inverno, MA = macroporosidade, PTd = porosidade total determinada, PTc = porosidade total calculada, UV = umidade volumétrica e pH = pH em CaCl₂; ^(b) VO = valor observado e VE = valor estimado.

Fonte: a própria autora.

A cokrigagem PRO=f(pH2) apresentou ajuste semivariográfico do tipo esférico direto (Tabela 13, Figuras 24a,b), com alcance da dependência espacial de 23,7 m e ADE alto (83,7%). A mesma cokrigagem foi realizada por Dalchiavon et al. (2011), num Latossolo Vermelho Distroférico para a cultura do feijão sob SPD com a pH na camada de 0 a 0,20 m, sendo que estes autores observaram ajuste semivariográfico do tipo gaussiano, com alcance semelhante a presente pesquisa de 28,8 m e ADE alto (99,8%). Assim, do ponto de vista espacial na área estudada, nas regiões em que o pH2 estiver entre 4,6 a 4,7, a PRO esperada estará entre 3290 a 4212 kg ha⁻¹.

Portanto, do ponto de vista agrônomo, esta correlação direta do incremento do pH e da produtividade é a mais interessante, pois de acordo com Canellas, Santos e Amaral, (1999) e Souza, Miranda e Oliveira (2007), tanto matéria orgânica (MO) quanto o potencial hidrogeniônico (pH) exercem grande influência no crescimento e desenvolvimento das plantas, uma vez que estão diretamente ligados à disponibilidade de nutrientes. O sistema de plantio direto tem melhorado a disponibilidade de matéria orgânica, pois privilegia o aporte orgânico contínuo, aumentando assim a ciclagem de nutrientes (ANDRADE et al., 2003), explicando em parte as altas produtividades obtidas no presente trabalho.

Figura 24- Semivariograma cruzado e mapas de cokrigagem da produtividade do feijoeiro de inverno em função do pH em CaCl_2 num Latossolo Vermelho Distroférico de Selvíria (MS).



Fonte: a própria autora.

5 CONCLUSÕES

1. A quantidade de palhada remanescente do capim Marandu antecessor apresentou correlação linear inversa com a população e produtividade do feijoeiro de inverno. Entretanto, sem correlação espacial e temporal sobre tais atributos.

2. A produtividade de feijão teve correlação linear direta com o pH e inversa com a macroporosidade na camada superficial do solo. Contudo, o ponto de vista agrônomo, o pH na camada de 0,10 a 0,20 m foi o melhor indicador da qualidade química do solo, com correlação espacial positiva no aumento da produtividade do feijoeiro de inverno no Cerrado.

REFERÊNCIAS

- ALBUQUERQUE, J. A.; SANGOI, L.; ENDER, M. Efeitos da integração lavoura pecuária nas propriedades físicas do solo e características da cultura do milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, v. 25, n. 3, p. 717-723, 2001. Disponível em: <<http://sbcs.solos.ufv.br/solos/revistas/v25n3a21.pdf>>. Acesso em: 22 mar. 2013.
- ALVARENGA, R. C. et al. Plantas de cobertura de solo para sistema plantio direto. **Informe Agropecuário**. Belo Horizonte, v. 22, n. 208, p. 25-36, 2001. Disponível em: <<http://www.alice.cnptia.embrapa.br/handle/doc/485005>>. Acesso em: 22 mar. 2013.
- AMADO, T. J. Manejo da palha, dinâmica da matéria orgânica e ciclagem de nutrientes em plantio direto. In: ENCONTRO NACIONAL DE PLANTIO DIRETO NA PALHA, 7., 2000, Foz do Iguaçu. **Resumos...** Foz do Iguaçu: FBPDP, 2000. p. 105-111.
- ANDRADE, F. V. et al. Adição de ácidos orgânicos e húmicos em Latossolos e adsorção de fosfato. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 6, p. 1003-1011, 2003. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-06832003000600004&script=sci_arttext>. Acesso em: 20 jan. 2013.
- ANDRIOLI, I. **Plantas de cobertura em pré-safra à cultura do milho em plantio direto, na região de Jaboticabal-SP**. 2004. 78 f. (Tese de Livre-Docente)- Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinária, Jaboticabal, 2004.
- ARMESTO, M. V. **Variabilidade espacial e temporal da erosión en solos de cultivo**. 1999. 118 f. Tese (Doutorado)- Faculdade de Ciências, Universidade de La Coruña, La Coruña, 1999.
- ARSHAD, M. A.; LOWERY, B.; GROSSMAN, B. Physical tests for monitoring soil quality. In: DORAN, J. W.; JONES, A. J. **Methods for assessing soil quality**. Madison: Soil Science Society of America, 1996. p. 123-141.
- BAKSH, A. et al. Spatio-temporal analysis of yield variability for corn-soybean field in Iowa. **Transactions of the American Society of Agricultural Engineers**, Saint Joseph, v. 43, n. 1, p.31-38, 2001. Disponível em: <<http://naldc.nal.usda.gov/download/27077/PDF>>. Acesso em: 3 mar. 2013.
- BAVER, L. D. **Física de suelos**. México: Unión Tipográfica Editorial Hispano Americana, 1973. 529 p.
- BENGOUGH, A. G.; CAMPBELL, D. J.; O' SULLIVAN, M. F. Penetrometer techniques in relation to soil compaction and root growth. In: SMITH, K. A.; MULLINS, C. E. **Soil and environmental analysis: physical methods**. New York: Marcel Dekker, 2001. p. 377-403.
- BERNARDES, L. F. **Semeadura de capim-braquiária em pós-emergência da cultura do milho para obtenção de cobertura morta em sistema de plantio direto**. 2003. 42 f. Dissertação (Mestrado)- Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2003. Disponível em: <<http://www.acervodigital.unesp.br/handle/123456789/48599>>. Acesso em: 3 mar. 2013.

BINOTTI, F. F. S. et al. Fontes, doses e modo de aplicação de nitrogênio em feijoeiro no sistema plantio direto. **Bragantia**, Campinas, v. 68, n. 2, p. 473-481, 2009. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/brag/v68n2/22.pdf>>. Acesso em: 17 fev. 2013.

BORÉM, A.; CARNEIRO, J. E. S. A cultura. In: VIEIRA, C.; PAULA JÚNIOR, T. J.; BORÉM, A. **Feijão**. Viçosa: UFV, 2006. p. 13-18.

BORGHI, E.; CRUSCIOL, C. A. C. Produtividade de milho, espaçamento e modalidade de consorciação com no sistema plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 42, n. 2, p. 163-171, 2007. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/pab/v42n2/04.pdf>>. Acesso em: 23 jan. 2013.

CALEGARI, A. Manejo de adubação verde. In: ENCONTRO NACIONAL DE ROTAÇÃO DE CULTURAS, n.1, 1993, Campo Mourão. **Anais...** Campo Mourão: [s.n.], 1993. v. 2, p. 104-116.

CAMARGO, O. A.; ALLEONI, L. R. F. **Compactação do solo e desenvolvimento das plantas**. Piracicaba: Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiróz, 1997. 132 p.

CAMBARDELLA, C. A. et al. Field-scale variability of soil properties in Central Iowa Soil. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 58, n. 5, p. 1501-1511, 1994. Disponível em: <<http://naldc.nal.usda.gov/download/18168/PDF>>. Acesso em: 26 jan. 2013.

CANELLAS, L. P.; SANTOS, G. A.; AMARAL, N. M. B. Reações da matéria orgânica. In: SANTOS, G. A.; CAMARGO, F. A. O. **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre: Gênese, 1999. p. 69-90.

CARNEIRO, M. A. C. et al. Atributos físicos, químicos e biológicos de solo de cerrado sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, n. 1, p. 147-157, 2009.

CARVALHO, G. J. et al. Correlação da produtividade do feijão com a resistência à penetração do solo sob plantio direto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental**, Campina Grande, v. 10, n. 3, p. 765-771, 2006. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1415-43662006000300033>. Acesso em: 24 jan. 2013.

CARVALHO, J. R. P.; SILVEIRA, P. M.; VIEIRA, S. R. Geoestatística na determinação da variabilidade espacial de características químicas do solo sob diferentes preparos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, n. 8, p. 1151-1159, 2002. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/pab/v37n8/11675.pdf>>. Acesso em: 23 jan. 2013.

CARVALHO, O. S. et al. Variabilidade espacial de algumas propriedades químicas e físicas de um solo submetido a diferentes sucessões de cultivo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, v. 22, n. 3, p. 497-503, 1998. Disponível em: <<http://sbcs.solos.ufv.br/solos/revistas/v22n3a16.pdf>>. Acesso em: 2 fev. 2013.

CAVALLINI, M. C. **Correlação entre a produtividade e teor de proteína bruta do capim-Marandu com atributos físicos e químicos de um Latossolo do Cerrado Brasileiro**. 2009.

120 f. Dissertação (Mestrado)- Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2009.

CAVALLINI, M. C. et al. Relações entre a produtividade de *Brachiaria brizantha* e atributos físicos de um Latossolo do Cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, v. 34, n. 4, p. 1007-1015, 2010. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v34n4/01.pdf>>. Acesso em: 2 fev. 2013.

COBUCCI, T. Manejo integrado de plantas daninhas em sistema plantio direto. In: ZAMBOLIM, L. (Ed.). **Manejo integrado fitossanidade**: cultivo protegido, pivô central e plantio direto. Viçosa: UFV, 2001. p. 583-624.

COELHO, A. M. Agricultura de precisão: manejo da variabilidade espacial e temporal dos solos e da cultura. In: CURI, N. et al. **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2003. v. 3, p. 249-290.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira**: grãos: safra 2010/2011: décimo segundo levantamento: setembro/2011. Brasília: s.n.], 2011. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/11_09_19_09_49_47_boletim_setembro-2011.pdf>. Acesso em: 24 nov. 2012.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos da safra 2012/2013**: segundo levantamento: novembro/2012. Brasília: Brasília, 2012. Disponível em:<www.conab.gov.br>. Acessado em: 24 nov. 2013.

CORÁ, J. E. et al. Variabilidade espacial de atributos do solo para adoção do sistema de agricultura de precisão na cultura de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, n. 6, p.1013-1021, 2004. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-06832004000600010&script=sci_abstract&tlng=pt>. Acesso em: 23 jan. 2013.

CORÁ, J. E.; BERALDO, J. M. G. Variabilidade espacial de atributos do solo antes e após calagem e fosfatagem em doses variadas na cultura de cana-de-açúcar. **Engenharia Agrícola**. Jaboticabal, v. 26, n. 2, p. 374-387, 2006. Disponível em:<<http://www.scielo.br/pdf/eagri/v26n2/05.pdf>>. Acesso em: 12 jan. 2013.

COSTA, N. de L. et al. **Avaliação agronômica sob pastejo de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu consorciada com *Desmodium ovalifolium* CIAT-350**. Porto Velho: Embrapa Rondônia, 2004. 3 p. (Comunicado Técnico, 286). Disponível em: <http://www.cpafrro.embrapa.br/media/arquivos/publicacoes/cot286_pastagem.pdf>. Acesso em: 2 fev. 2013.

COSTA, N. R. et al. Adubação nitrogenada no consórcio de milho com duas espécies de braquiária em sistema plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 47, n. 8, p.1038-1047, 2012. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/pab/v47n8/47n08a03.pdf>>. Acesso em: 3 mar. 2013.

DA SILVA, S. C.; CORSI, M. Manejo do pastejo. In: PEIXOTO, A. M. et al. **Simpósio sobre manejo de pastagens**. Piracicaba: FEALQ, 2003. p. 155-186.

DALCHIAVON, F. C. **Correlação de Pearson e geoestatísticas entre a produtividade de cana-de-açúcar, estabelecida em dois métodos de colheita, e atributos físico-químicos do solo**. 2012. 107 f. Tese (Doutorado)- Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2012.

DALCHIAVON, F. C. et al. Variabilidade espacial da produtividade do feijoeiro correlacionada com atributos químicos de um Latossolo Vermelho Distroférrico sob sistema de semeadura direta. **Bragantia**, Campinas, v. 70, n. 4, p. 908-916, 2011. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/brag/v70n4/25.pdf>>. Acesso em: 23 fev. 2013.

DALCHIAVON, F. C. et al. Variabilidade espacial de atributos da fertilidade de um Latossolo Vermelho Distroférrico sob sistema plantio direto. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 43, n. 3, p. 453-461, 2012. Disponível em: <<http://www.ccarevista.ufc.br/seer/index.php/ccarevista/article/view/1538/705>>. Acesso em: 26 jan. 2013.

DAVIS, J. C. **Statistics and analysis in geology**. New York: John Wiley, 1986. 646 p.

DOS SANTOS, D. R.; GATIBONI, L. C.; KAMINSKIL, J. Fatores que afetam a disponibilidade do fósforo e o manejo da adubação fosfatada em solos sob sistema plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 38, n. 2, p. 576-586, 2008. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-84782008000200049>. Acesso em: 5 mar. 2013.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA- CNPS, 1997. 212 p. (Documentos, 1).

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro: Local de Edição(Editora), 2006. 306 p.

FREDDI, O. S. et al. Variabilidade espacial da produtividade do feijão em um Latossolo Vermelho Distroférrico sob preparo convencional e plantio direto. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 27, n. 1, p. 61-67, 2005. Disponível em: <<http://periodicos.uem.br/ojs/index.php/ActaSciAgron/article/view/1924>>. Acesso em: 5 mar. 2013.

FREITAS, F. C. L. et al. Formação de pastagem via consórcio de *Brachiaria brizantha* com milho para silagem no sistema de plantio direto. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 23, n. 1, p. 49-58, 2005. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-83582005000100007>. Acesso em: 5 mar. 2013.

FREITAS, P. L. et al. Nível e natureza do estoque orgânico de latossolos sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v. 35, n. 1, p. 157-170, 2000. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/pab/v35n1/6910.pdf>>. Acesso em: 3 mar. 2013.

FREIXO, A. A. et al. Estoques de carbono e nitrogênio e distribuição de frações orgânicas de Latossolo do cerrado sob diferentes sistemas de cultivo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, v. 26, n. 2, p. 425-434, 2002. Disponível em: <<http://sbcs.solos.ufv.br/solos/revistas/v26n2a16.pdf>>. Acesso em: 3 mar. 2013.

GAMERO, C. A. **Efeito dos tipos de preparo sobre características do solo e da cultura do milho (*Zea mays* – L)**. 1985. 102 f. Tese (Doutorado)- Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo-USP, Piracicaba, 1985.

GANDAH, M. et al. Dynamics of spatial variability of millet growth and yields at three sites in Niger, west Africa and implications for precision agriculture research. **Agricultural Systems**. Oxon, v. 63, n. 2, p. 123-140, 2000. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0308521X99000761>>. Acesso em: 3 mar. 2013.

GOEDERT, W. J.; SCHERMACK, M. J.; FREITAS, F. C. Estado de compactação do solo em áreas cultivadas no sistema de plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, n. 2, p. 223-227, 2002. Disponível em: <<http://seer.sct.embrapa.br/index.php/pab/article/view/6331>>. Acesso em: 25 jan. 2013.

GOMIDE, J. A.; GOMIDE, C. A. M. Escolha da forrageira para a formação da pastagem. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DA PASTAGEM, 24., 2007, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: FEALQ, 2007. p. 7-37.

GRANT, C. A. et al. The importance of early season phosphorus nutrition. **Canadian Journal of Plant Science**, Ottawa, v. 81, n. 1, p. 211-224, 2001. Disponível em: <<http://pubs.aic.ca/doi/pdf/10.4141/P00-093>>. Acesso em: 23 jan. 2013.

GREGO, C. R. et al. Geostatistical analysis for soil moisture content under the no tillage cropping system. **Scientia Agricola**. Piracicaba, v. 63, n. 4, p. 341-350, 2006. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/sa/v63n4/a05v63n4.pdf>>. Acesso em: 4 mar. 2013.

GREGO, C. R. et al. Variabilidade espacial do solo e da biomassa epígea de pastagem, identificada por meio de geostatística. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 47, n. 9, p.1404-1412, 2012. Disponível em: <<http://seer.sct.embrapa.br/index.php/pab/article/view/11484/8005>>. Acesso em: 2 fev. 2013.

GREGO, C. R.; VIEIRA, S. R. Variabilidade espacial de propriedades físicas do solo em uma parcela experimental. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 29, n. 2, p. 169-177, 2005. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v29n2/24153.pdf>>. Acesso em: 17 fev. 2013.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Sistema IBGE de recuperação automática - SIDRA**: banco de dados agregados, área plantada, área colhida e produção, por ano da safra e produto. Rio de Janeiro: Editora, 2011. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/tabela/listabl.asp?z=t&o=1&i=P&c=1618>>. Acesso em: 24 nov. 2012.

ISAAKS, E. H.; SRIVASTAVA, R. M. **An introduction to applied geostatistics**. New York: Oxford University Press, 1989. 561 p.

JAKELAITIS, A. et al. Manejo de plantas daninhas no consórcio de milho com capim-braquiária (*Brachiaria decumbens*). **Planta Daninha**. Viçosa, v. 22, n. 4, p. 553-560, 2004. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/pd/v22n4/a09v22n4.pdf>>. Acesso em: 3 mar. 2013.

KERTZMANN, F. F. **Modificações na estrutura e no comportamento de um Latossolo Roxo provocados pela compactação**. 1996. 153 f. Tese (Doutorado)- Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo- USP, 1996.

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

KITAMURA, A. E.; CARVALHO, M. P.; LIMA, C. G. R. Relação entre a variabilidade espacial das frações granulométricas do solo e a produtividade do feijoeiro sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, n. 2, p. 361-379, 2007. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-06832007000200018>. Acesso em: 17 fev. 2013.

KLIEMANN, H. J.; BRAZ, A. J. B. P.; SILVEIRA, P. M. Taxas de decomposição de resíduos de espécies de cobertura em Latossolo Vermelho distroférico. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 36, n. 1, p. 21-28, 2006. Disponível em: <<http://www.revistas.ufg.br/index.php/pat/article/view/2165>>. Acesso em: 3 mar. 2013.

KLUTHCOUSKI, J. et al. Manejo do solo e o rendimento de soja, milho, feijão e arroz em plantio direto. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 57, n. 1, p. 97-104, 2000. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-90162000000100016&lng=en&nrm=iso&tlng=pt>. Acesso em: 3 mar. 2013.

LANDERS, F. N. **Fascículo de experiências de plantio direto no cerrado**. Goiânia: APDC, 1995. 261 p.

LOLLATO, M. A.; PARRA, M. S.; SHIOGA, P. S. Efeitos de coberturas do solo com capins marmelada e braquiária sobre o desenvolvimento do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.). In: CONGRESSO NACIONAL DE PESQUISA DE FEIJÃO, 7., 2002, Viçosa. **Anais...** Viçosa: UFV/DFT, 2002. p. 610-611.

LOSS, A. et al. Agregação, carbono e nitrogênio em agregados do solo sob plantio direto com integração lavoura-pecuária. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 46, n. 10, p.1269-1276, 2011. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/pab/v46n10/46v10a21.pdf>>. Acesso em: 17 fev. 2013.

MACEDO, M. C. M. Integração lavoura-pecuária: alternativa para sustentabilidade da produção animal. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DA PASTAGEM, 18., 2001, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: FEALQ, 2001. p. 257-283.

MACHADO, L. A. Z.; ASSIS, P. G. G. Produção de palha e forragem por espécies anuais e perenes em sucessão à soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 45, n. 4, p. 415-422, 2010. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/pab/v45n4/a10v45n4.pdf>>. Acesso em: 3 mar. 2013.

MAEDA, S.; MENDONÇA, A. L. **Época de semeadura: a cultura do feijão no Mato Grosso do Sul**. Dourados: Embrapa, 1990. 102 p.

MARCHÃO, R. L. et al. Qualidade física de um Latossolo Vermelho sob sistemas de integração lavoura-pecuária no Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 42, n. 6, p. 873-882, 2007. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/pab/v42n6/v42n6a15.pdf>>. Acesso em: 13 mar. 2013.

MARQUES JÚNIOR, J.; LEPSCH, I. F. Depósitos superficiais neocenoicos, superfícies geomórficas e solos em Monte Alto - SP. **Geociência**, São Paulo, v. 19, n. 1, p. 90-106, 2000.

MARTINS, C. B. **Análise da resistência mecânica à penetração de um Latossolo Vermelho distrófico em função do grau de umidade**. 2002. 46 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia)- Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista Julio de Mesquita Filho-UNESP, Ilha Solteira, 2002.

MARTINS, M. V. et al. Correlação linear e espacial entre a produtividade do feijoeiro e atributos físicos de um Latossolo Vermelho distrófico de Selvíria, Estado de Mato Grosso do Sul. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 31, n. 1, p. 147-154, 2009. Disponível em: <<http://periodicos.uem.br/ojs/index.php/ActaSciAgron/article/view/6641>>. Acesso em: 17 fev. 2013.

MATHERON, G. Principles of geostatistics. **Economic Geology**, Stanford, v. 58, n.1, p. 1246-1266, 1963.

MEDINA, H. P. Constituição física. In: MONIZ, A. C. (Org.). **Elementos de pedologia**. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1975. p. 11-20.

MEGDA, M. M. et al. Correlação linear e espacial entre a produtividade de feijão e a porosidade de um Latossolo Vermelho de Selvíria (MS). **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 2, p. 781-788, 2008. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v32n2/32.pdf>>. Acesso em: 17 fev. 2013.

MELLO, L. M. M. et al. Integração agricultura-pecuária em plantio direto: produção de Forragem e resíduo de palha após pastejo. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 24, n.1, p.121-129, 2004. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/eagri/v24n1/v24n01a14.pdf>>. Acesso em: 3 mar. 2013.

MIAO, Y.; MULLA, D. J.; ROBERT, P. C. Spatial variability of soil properties, corn quality and yield in two Illinois, USA fields: implications for precision corn management. **Precision Agriculture**, Saint Paul, v. 7, n.1, p. 5-20, 2006. Disponível em: <<http://link.springer.com/article/10.1007%2Fs11119-005-6786-2#>>. Acesso em: 3 mar. 2013.

MOLIN, J. P. Agricultura de precisão: fundamentos e estado atual da arte. In: CÂMARA, G. M. Soja: **Tecnologia da produção II**. Piracicaba: ESALQ, Departamento de Produção Vegetal, 2000. p. 423-437.

MONTANARI, R. **Aspectos da produtividade do feijoeiro correlacionados com atributos do solo sob sistemas de manejo de elevado nível tecnológico**. 2009. 174 f. Tese

(Doutorado)- Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista Julio de Mesquita Filho, Ilha Solteira, 2009.

MONTANARI, R. et al. Forma da paisagem como critério para otimização amostral de latossolos sob cultivo de cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 40, n.1, p. 69-77, 2005. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/pab/v40n1/23244.pdf>>. Acesso em: 17 fev. 2013.

MONTANARI, R. et al. Aspectos da produtividade do feijão correlacionados com atributos físicos do solo sob elevado nível tecnológico de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, n. 6, p. 1811-1822, 2010. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v34n6/05.pdf>>. Acesso em: 17 fev. 2013.

MONTANARI, R. et al. Correlación de la productividad de un forraje con las propiedades físicas de un Ultisol en Aquidauana. **Revista Ceres**. Viçosa, v. 60, n.1, p.102-110, 2013. Disponível em:<<http://www.scielo.br/pdf/rceres/v60n1/15.pdf>>. Acesso em: 20 mar. 2013.

NICOLOSO, R. S. et al. Eficiência da escarificação mecânica e biológica na melhoria dos atributos físicos de um Latossolo muito argiloso e no incremento do rendimento de soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, v. 32, n. 4, p. 1723- 1734, 2008. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v32n4/a37v32n4.pdf>>. Acesso em: 27 mar. 2013.

NUNES, U. R. et al. A. Produção de palhada de plantas de cobertura e rendimento do feijão em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, n. 6, p. 943-948, 2006. Disponível em: < <http://www.scielo.br/pdf/pab/v41n6/30858.pdf>>. Acesso em: 18 fev. 2013.

OLIVEIRA, J. B.; MONIZ, A. C. Levantamento pedológico detalhado da estação experimental de Ribeirão Preto, SP. **Bragantia**, Campinas, v. 34, n. 2, p. 59-114, 1975. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/brag/v34nunico/02.pdf>>. Acesso em: 18 fev. 2013.

OLIVEIRA, T. K.; CARVALHO, G. J.; MORAES, R. N. S. Plantas de cobertura e seus efeitos sobre o feijoeiro em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, -Brasília, v. 37, n. 8, p. 1079-1087, 2002. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/pab/v37n8/11667.pdf>>. Acesso em: 3 mar. 2013.

PACHECO, L. P. et al. Desempenho de plantas de cobertura em sobressemeadura na cultura da soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v. 43, n. 7, p. 815-823, 2008. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/pab/v43n7/05.pdf>>. Acesso em: 3 mar. 2013.

PARIZ, C. M. et al. Straw decomposition of nitrogen-fertilized grasses intercropped with irrigated maize in an integrated crop-livestock system. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**. Viçosa, v. 35, n. 6, p. 2029-2037, 2011. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v35n6/a19v35n6.pdf>>. Acesso em: 3 mar. 2013.

PASTORINI, L. H. et al. Crescimento inicial de feijoeiro submetido a diferentes doses de fósforo em solução nutritiva. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 47, n. 270, p. 219-228, 2000. Disponível em: <<http://www.ceres.ufv.br/CERES/revistas/V47N270P02000.pdf>>. Acesso em: 18 fev. 2013.

PEREIRA, F. A. R. **Cultivo de espécies visando a obtenção de cobertura vegetal do solo na entressafra da soja (*Glycine max* L. Merrill) no cerrado**. 1990. 83 f. Dissertação (Mestrado)- Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista Julio de Mesquita Filho, Botucatu, 1990.

PIMENTEL-GOMES, F. P.; GARCIA, C. H. **Estatística aplicada a experimentos agrônômicos e florestais**. Piracicaba: FEALQ, 2002. 309 p.

PORTES, T. A. et al. Análise do crescimento de uma cultivar de braquiária em cultivo solteiro e consorciado com cereais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v. 35, n. 7, p. 1349-1358, 2000. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/pab/v35n7/1349.pdf>>. Acesso em: 23 fev. 2013.

PORTES, T. A.; CARVALHO, S. I. C.; KLUTHCOUSKI, J. Aspectos fisiológicos das plantas cultivadas e análise de crescimento da brachiaria consorciada com cereais. In: KLUTHCOUSKI, J.; STONE, L. F.; AIDAR, H. **Integração lavoura-pecuária**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2003. p. 303-330.

PREVEDELLO, B. M. S. **Variabilidade espacial de parâmetros de solo e planta**. 1987. 166 f. Tese (Doutorado)- Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo- USP, Piracicaba, 1987. Disponível em: <http://books.google.com.br/books/about/Variabilidade_espacial_de_parametros_de.html?id=UEADaAEACAAJ&redir_esc=y>. Acesso em: 3 mar. 2013.

RAIJ, B. van et al. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. Campinas: Instituto Agrônômico, 1997. 285 p.

RAIJ, B. van et al. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agrônômico, 2001. 285 p.

REICHERT, J. M. et al. Variabilidade espacial de planossolo e produtividade de soja em várzea sistematizada: análise geoestatística e análise de regressão. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 38, n. 4, p. 981-988, 2008. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/cr/v38n4/a12v38n4.pdf>>. Acesso em: 3 mar. 2013.

RICHETTI, A.; MELO, C. L. P.; SOUSA, J. P. B. **Viabilidade econômica da cultura do feijão comum, safra 2012, em Mato Grosso do Sul**. Dourados: Embrapa, 2011. (Comunicado técnico, 173). Disponível em: <<http://www.cpa0.embrapa.br/publicacoes/online/zip/COT2011173.pdf>>. Acesso em: 24 jan. 2013.

ROBERTSON, G. P. **GS+**: geostatistics for the enviromental sciences. Plainwell: Michigan, Gamma Design Software, 1998.

ROBERTSON, G. P. **GS+**: geostatistics for environmental sciences. Plainwell: Michigan, Gamma Desing Software, 2004. 169 p.

ROQUE, M. W. et al. Correlação linear e espacial entre a resistência do solo ao penetrômetro e a produtividade do feijoeiro irrigado. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**. Viçosa, v.

32, n. 5, p.1827-1835, 2008. Disponível em:<<http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v32n5/04.pdf>>. Acesso em: 24 jan. 2013.

ROSA FILHO, G. et al. Variabilidade da produtividade da soja em função de atributos físicos de um Latossolo Vermelho distroférico sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, v. 33, n. 2, p. 283-293, 2009. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v33n2/06.pdf>>. Acesso em: 5 mar. 2013.

ROSOLEM, C.; MARUBAYASHI, O. M. **Seja o doutor do seu feijoeiro**: encarte de informações agrônômicas. Piracicaba: Potafos, 1994. (Arquivo do agrônomo, 7). Disponível em <[http://brasil.ipni.net/ipniweb/region/brasil.nsf/0/69CAB152E9EC329A83257AA0003BC0D4/\\$FILE/Seja%20Feijoeiro.pdf](http://brasil.ipni.net/ipniweb/region/brasil.nsf/0/69CAB152E9EC329A83257AA0003BC0D4/$FILE/Seja%20Feijoeiro.pdf) >. Acesso em: 7 jan. 2013.

SALVIANO, A. A. C.; VIEIRA, S.R.; SPAROVEK, G. Variabilidade espacial de atributos de solo e de *Crotalaria juncea* L. em áreas severamente erodidas. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, v. 22, n. 1, p.115-122, 1998.

SANTOS, P. A. et al. Correlação linear e espacial entre o rendimento de grãos do feijoeiro e a resistência mecânica a penetração em um Latossolo Vermelho distrófico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, v. 29, n. 2, p. 287-295, 2005. Disponível em:<<http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v29n2/24165.pdf>>. Acesso em: 24 jan. 2013.

SANTOS, R. S. M. et al. Componentes da parte aérea e raízes de pastagens de *Brachiaria* spp. em diferentes idades após a reforma, como indicadores de produtividade em ambiente de Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Tropical**. Goiânia, v. 35, n. 2, p. 119-124, 2007. Disponível em: <<http://www.revistas.ufg.br/index.php/pat/article/view/1837>>. Acesso em: 3 mar. 2013.

SARMENTO, P. et al. Sistema radicular do *Panicum maximum* Jacq. cv. IPR-86 milênio adubado com nitrogênio e submetido à lotação rotacionada. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 37, n. 1, p. 27-34, 2008. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbz/v37n1/v37n1a04.pdf>>. Acesso em: 23 jan. 2013.

SCHLOEDER, C. A.; ZIMMERMAN, N. E.; JACOBS, M. J. Comparison of methods for interpolating soil properties using limited data. **Soil Science Society American Journal**, Madison, v. 65, n. 2, p. 470-479, 2001. Disponível em: <<https://www.soils.org/publications/sssaj/abstracts/65/2/470>>. Acesso em: 4 mar. 2013.

SCHLOTZHAVER, S. D.; LITTELL, R.C. **SAS system for elementary statistical analysis**. 2. ed. Cary: SAS. 1997. 441 p.

SECCO, D. et al. Produtividade de soja e propriedades físicas de um Latossolo submetido a sistemas de manejo e compactação do solo. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, v. 28, n. 5, p. 797-804, 2004. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v28n5/22814.pdf>>. Acesso em: 17 mar. 2013.

SHAPIRO, S. S.; WILK, M. B. An analysis of variance test for normality: complete samples. **Biometrika**, Oxford, v. 52,n. 1, p. 591-611, 1965.

SILVA NETO, S. P. et al. Variação espacial do teor de matéria orgânica do solo e produção de gramínea em pastagens de capim-Marandu. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 28, n. 1, p. 41-53, 2012. Disponível

em:<<http://www.seer.ufu.br/index.php/biosciencejournal/article/download/12587/8345>>.

Acesso em: 20 mar. 2013.

SILVA, D. J.; QUEIROZ, A. C. **Análise de Alimentos: métodos químicos e biológicos**. Viçosa: UFV, 2002. 235 p.

SILVA, I. F.; MIELNICZUK, J. Ação do sistema radicular de plantas na formação e estabilização de agregados do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 21, n. 1, p. 113-117, 1997.

SILVA, P. C. M.; CHAVES, L. H. G. Avaliação e variabilidade espacial de fósforo, potássio e matéria orgânica em Alissolos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 5, n. 3, p. 431-436, 2001. Disponível em:

<<http://www.scielo.br/pdf/rbeaa/v5n3/v5n3a11.pdf>>. Acesso em: 3 fev. 2013.

SILVA, R. F. et al. Análise conjunta de atributos físicos e biológicos do solo sob sistema de integração lavoura-pecuária. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 46, n. 10, p.1277-1283, 2011. Disponível em:

<<http://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/909475/1/AQUINOANALISEPAB20111.pdf>>. Acesso em: 25 jan. 2013.

SILVA, T. R. B.; LEMOS, L. B.; TAVARES, C. A. Produtividade e característica tecnológica de grãos em feijoeiro adubado com nitrogênio e molibdênio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, n. 5, p. 739-745, 2006. Disponível em:

<<http://www.scielo.br/pdf/pab/v41n5/30593.pdf>>. Acesso em: 16 mar. 2013.

SILVA, V. R. et al. Variabilidade espacial das características químicas do solo e produtividade de milho em um Argissolo Vermelho- Amarelo distrófico arênico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 6, p. 1013-1020, 2003. Disponível em:

<<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=180214033005>>. Acesso em: 26 jan. 2013.

SIMIDU, H. M. et al. Efeito do adubo verde e época de semeadura sobre a produtividade do feijão, em plantio direto em região do Cerrado. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 32, n. 2, p. 309-315, 2010. Disponível em:

<<http://periodicos.uem.br/ojs/index.php/ActaSciAgron/article/viewFile/2061/2061>>. Acesso em: 3 mar. 2013.

SORATTO, R. P. **Resposta do feijoeiro ao preparo do solo, manejo da água e parcelamento da adubação nitrogenada**. 2013. 69 f. Dissertação (Mestrado)- Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista Julio de Mesquita Filho, Ilha Solteira, 2002.

Disponível em:

<http://www.athena.biblioteca.unesp.br/exlibris/bd/bis/33004099079P1/2002/soratto_rp_me_iha.pdf>. Acesso em: 3 mar. 2013.

SOUTO, J. A. et al. Efeito da aplicação de fósforo no desenvolvimento de plantas de feijão guandu (*Cajanus cajan*). **Revista Verde**, Mossoró, v. 4, n.1, p. 135-140, 2009. Disponível

em: <<http://www.gvaa.com.br/revista/index.php/RVADS/article/viewFile/160/160>>. Acesso em: 26 jan. 2013.

SOUZA, D. M. G. S.; MIRANDA, L. N.; OLIVEIRA, S. A. V. A acidez do solo e sua correção. In: NOVAIS, R. F. et al. **Fertilidade do solo: a acidez do solo e sua correção**. Viçosa, Editora, 2007, p. 205-274.

SOUZA, Z. M. et al. Variabilidade espacial de atributos físicos em um latossolo vermelho distrófico sob semeadura direta em Selvíria (MS). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 25, n. 3, p. 699-707, 2001. Disponível em: <<http://sbcs.solos.ufv.br/solos/revistas/v25n3a19.pdf>>. Acesso em: 20 mar. 2013.

STOLF, R. Teoria e teste experimental de fórmulas de transformação dos dados de penetrômetro de impacto em resistência do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 15, n. 1, p. 229-235, 1991.

STONE, L. F. et al. Evapotranspiração do feijoeiro irrigado em plantio direto sobre diferentes palhadas de culturas de cobertura. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, n. 4, p. 577-582, 2006. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_pdf&pid=S0100-204X2006000400005&lng=en&nrm=iso&tlng=pt>. Acesso em: 3 mar. 2013.

TORMENA, C. A. et al. Densidade, porosidade e resistência à penetração em Latossolo Vermelho distrófico cultivado sob diferentes sistemas de preparo do solo. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 59, n. 4, p. 795-801, 2002. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/sa/v59n4/a26v59n4.pdf>>. Acesso em: 3 mar. 2013.

TORRES, J. L. R. **Estudo de plantas de cobertura na rotação milho-soja em sistema de plantio direto no cerrado, na região de Uberaba-MG**. 2003. 108f. Tese (Doutorado)- Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista Julio de Mesquita Filho, Jaboticabal, 2003. Disponível em: <<http://www.acervodigital.unesp.br/handle/123456789/48640>>. Acesso em: 3 mar. 2013.

TRANGMAR, B. B.; YOST, R. S.; UEHARA, G. Application of geostatistics to spatial studies of soil properties. **Advances Agronomy**, Orlando, v. 38, n. 1, p. 45-94, 1985. Disponível em: <<http://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=DBzQgLNYq7oC&oi=fnd&pg=PA45&dq=Application+of+geostatistics+to+spatial+studies+of+soil+properties&ots=9AtyELbu3l&sig=BS8bad3eT9YET53qPw8kGLuXvHY#v=onepage&q=Application%20of%20geostatistics%20to%20spatial%20studies%20of%20soil%20properties&f=false>>. Acesso em: 26 jan. 2013.

VERONESE JUNIOR., V. et al. Spatial variability of soil water content and mechanical resistance of Brazilian ferralsol. **Soil e Tillage Research**, Amsterdam, v. 85, n. 1, p. 166–177, 2006. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167198705000450>>. Acesso em: 3 mar. 2013.

VIEIRA, C.; PAULA JÚNIOR, T. J.; BORÉM, A. **Feijão: aspectos gerais e cultura no Estado de Minas**. 2. ed. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2006. 600 p.

VIEIRA, S. R. Geoestatística em estudo de variabilidade espacial do solo. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V.; SCHAEFER, C. E. G. R. **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. v. 1, p. 1-55.

WANG, G. et al. Spatial uncertainty in prediction of the topographical factor for the resided universal soil loss equation (RUSLE). **Transactions of the ASAE**, Saint Joseph, v. 45, n. 1, p. 109-18, 2002.

WENDLING, B. et al. Carbono orgânico e estabilidade de agregados de um Latossolo Vermelho sob diferentes manejos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 40, n. 5, p. 487-494, 2005. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/pab/v40n5/24431.pdf>>. Acesso em: 3 mar. 2013.

ZANÃO JUNIOR, L. A; LANA, R. M. Q.; GUIMARÃES, E. C. Variabilidade espacial do pH, teores de MO e micronutrientes em profundidades de amostragem num Latossolo Vermelho sob semeadura direta. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 37, n. 4, p. 1000-1007, 2007. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/cr/v37n4/a13v37n4.pdf>>. Acesso em: 20 mar. 2013.

ZUCARELI, C. **Adubação fosfatada, produção e desempenho em campo de sementes de feijoeiro CV. Carioca Precoce e IAC Carioca Tybatã**. 2005. 183f. Tese (Doutorado)- Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista Julio de Mesquita Filho, Botucatu, 2005. Disponível em:<<http://www.acervodigital.unesp.br/handle/123456789/50771>>. Acesso em: 27 jan. 2013.