

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JULIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE ENGENHARIA
CAMPUS DE ILHA SOLTEIRA**

PAULO RICARDO TEODORO DA SILVA

**GEOESTATÍSTICA E ANÁLISE MÚLTIPLA DE ATRIBUTOS QUÍMICOS DE UM
LATOSSOLO CULTIVADO COM SOJA SOB DOIS SISTEMAS DE MANEJO**

Ilha Solteira

2017

PAULO RICARDO TEODORO DA SILVA

**GEOESTATÍSTICA E ANÁLISE MÚLTIPLA DE ATRIBUTOS QUÍMICOS DE UM
LATOSSOLO CULTIVADO COM SOJA SOB DOIS SISTEMAS DE MANEJO**

Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia do
Campus de Ilha Solteira - UNESP como parte dos
requisitos para obtenção do título de Mestre em
Agronomia. Especialidade: Sistemas de Produção.

Prof. Dr. Rafael Montanari
Orientador
Prof. Dr. César Gustavo da Rocha Lima
Co-Orientador

Ilha Solteira

2017

FICHA CATALOGRÁFICA
Desenvolvido pelo Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação

S586g Silva, Paulo Ricardo Teodoro da.
Geoestatística e análise múltipla de atributos químicos de um latossolo cultivado com soja sob dois sistemas de manejo / Paulo Ricardo Teodoro da Silva. -- Ilha Solteira: [s.n.], 2017
87 f. : il.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia. Área de conhecimento: Sistemas de Produção, 2017

Orientador: Rafael Montanari
Co-orientador: César Gustavo da Rocha Lima
Inclui bibliografia

1. Glycine max L. 2. Variabilidade espacial. 3. Sistema plantio direto. 4. Escarificação do solo. 5. Fertilidade do solo.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Câmpus de Ilha Solteira

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: Geoestatística e análise múltipla de atributos químicos de um latossolo cultivado com soja sob dois sistemas de manejo

AUTOR: PAULO RICARDO TEODORO DA SILVA

ORIENTADOR: RAFAEL MONTANARI

COORDENADOR: CESAR GUSTAVO DA ROCHA LIMA

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em AGRONOMIA, especialidade: SISTEMAS DE PRODUÇÃO pela Comissão Examinadora:

Prof. Dr. RAFAEL MONTANARI

Departamento de Fitossanidade, Engenharia Rural e Solos / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira

Prof. Dr. MARCELO ANDREOTTI

Departamento de Fitossanidade, Engenharia Rural e Solos / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira

Prof. Dr. VITOR CORRÊA DE MATTOS BARRETTO

Departamento de Agronomia / Faculdade de Ciências Agrárias e Tecnológicas de Dracena

Ilha Solteira, 17 de agosto de 2017

DEDICO

À minha mãe **Ângela Aparecida de Paula Silva** e ao meu pai **Valdivino Teodoro da Silva**, que me educaram e me possibilitaram mais essa conquista. Dedicção especial aos meus Avós **Clarice** e **Geraldo** que também me acolheram e me fizeram enxergar uma luz no fim do túnel.

AGRADECIMENTOS

À Deus pela vida, saúde, sabedoria e principalmente por ter me guiado durante o meu caminho.

À toda a minha família, pelo amor, carinho, compreensão, e por transmitir os princípios éticos que sempre me acompanharão.

Ao orientador Rafael Montanari e Co-orientador César Gustavo da Rocha Lima pela orientação e amizade durante os anos do mestrado. Sou muito grato, pela confiança, incentivo, dedicação e ensinamentos que contribuíram para minha formação profissional. Sou muito grato por tudo e me orgulho muito em tê-los como orientadores e amigos.

À Ligia Maria Lucas Videira, por ter sido minha parceira de trabalho no mestrado. Agradeço todo o apoio, carinho, dedicação, compreensão e ajuda, contribuindo muito para concluir essa etapa importante na minha vida.

À Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” - UNESP, Campus de Ilha Solteira, pela estrutura física e oportunidade de realização deste trabalho.

Aos Departamentos de Fitossanidade, Engenharia Rural e Solos e de Fitotecnia, Tecnologia de Alimentos e Sócio Economia pelo apoio.

Aos professores, Alan Rodrigo Panosso, Marco Eustáquio de Sá, Kátia Luciene Maltoni, Salatier Buzetti, Marcelo Carvalho Minhoto Teixeira Filho, Marcelo Andreotti, Marlene Cristina Alves, Samuel Ferrari, Omar Jorge Sabbag, Regina Maria Monteiro de Castilho e Ricardo Antônio Ferreira Rodrigues pelos ensinamentos ministrados no mestrado e contribuição fundamental na minha formação profissional.

À Fundação Capes pelo suporte financeiro através da bolsa de Mestrado.

À todos os funcionários da FE/UNESP - Campus de Ilha Solteira, sendo em especial: Carlinhos e João (técnicos do laboratório de fertilidade do solo), Diego e Valdivino (técnico e ex-técnico do laboratório de física do solo) e Marcelo (técnico do laboratório de nutrição de plantas) pela amizade e auxílio na realização de análises em seus respectivos laboratórios.

À Fazenda de Ensino, Pesquisa e Extensão da FE/UNESP - Campus de Ilha Solteira, assim como a todos os seus funcionários, pelo auxílio na concessão da área experimental e de condições para a realização do trabalho.

À todos os demais funcionários da FE/UNESP, pela prestatividade e pelo apoio, em especial aos funcionários da pós-graduação e serviço técnico de biblioteca.

Aos meus amigos, companheiros de república e de Faculdade: Hernandes Andrade Queiroz, Vagner do Nascimento, Epitácio José de Souza, Fabiana Aparecida Fernandes, Éder de Sousa, Poliana Aparecida Leonel Rosa, José Roberto Portugal, Éttore Santiago, Anderson Carpeleti, Lucas Mestre e tantos outros pelo auxílio na condução do experimente e conselhos fornecidos a fim de aprimorar este trabalho.

Obrigado!

“Uma jornada de duzentos quilômetros
começa com um simples passo”.

Provérbio chinês

RESUMO

No cerrado brasileiro o Sistema Plantio Direto tem sido adotado expressivamente por agricultores. Contudo, o tráfego de máquinas e implementos em condições de alto teor de água no solo e as sucessivas adubações superficiais, tem provocado problemas de compactação e acúmulo de nutrientes na superfície, o que pode levar ao aumento da variabilidade espacial de nutrientes e na baixa expressão do potencial produtivo das culturas. Com a escarificação do solo, como prática para aliviar a compactação do solo, pode haver alterações na variabilidade horizontal de nutrientes devido à mobilização parcial do solo. Desta forma, a pesquisa teve como objetivo avaliar a variabilidade espacial dos atributos químicos do solo proporcionada pela escarificação do solo em Sistema Plantio Direto, e identificar por técnicas multivariadas, os principais atributos químicos do solo que melhor se relacionam com os componentes de produção e produtividade da soja. O experimento foi realizado num LATOSSOLO VERMELHO Distrófico, no ano agrícola 2015/16, na Fazenda de Ensino, Pesquisa e Extensão da Faculdade de Engenharia - UNESP, Câmpus de Ilha Solteira, localizada no município de Selvíria - MS. O experimento consistiu-se em duas áreas de cultivo, uma sob Sistema Plantio Direto (SPD) implantado há 13 anos e outra em Cultivo Mínimo escarificado (CM). Para coleta dos dados, foram alocadas duas malhas geoestatísticas, uma em cada área de cultivo. Cada malha foi constituída de 51 pontos equidistantes com uma distância entre pontos de 10 m. Foram avaliadas a população final de plantas, a altura de inserção da primeira vagem, a altura de plantas, o número de vagens por planta, de grãos por planta, de grãos por vagem, a massa de 100 grãos, a produtividade de grãos e atributos químicos do solo. A produtividade de grãos de soja foi maior em SPD quando comparado ao CM escarificado. A escarificação diminuiu a variabilidade espacial dos atributos químicos do solo na camada de 0-0,10 m. Os valores de pH, teores de cálcio, magnésio e fósforo na camada de 0-0,10 m, bem como o teor de K de 0,10-0,20 m, são os atributos que mais contribuíram no aumento de produtividade da soja em SPD e em CM. Em SPD, a fertilidade do solo concentra-se na camada superficial, enquanto que no CM escarificado na camada de 0,10-0,20 m. Em SPD, a CTC apresentou cokrigagem positiva com a produtividade de grãos em superfície e subsuperfície do solo. Em CM, o pH e a saturação por bases apresentaram cokrigagem positiva com a produtividade de grãos na camada de 0-0,20 m, enquanto que a acidez potencial apresentou cokrigagem negativa.

Palavras-chave: *Glycine max* L. Variabilidade espacial. Sistema plantio direto. Escarificação do solo. Fertilidade do solo.

ABSTRACT

In the Brazilian cerrado the no-tillage system has been adopted expressively by farmers. However, the traffic of machines and implements in conditions of high water content in the soil and successive superficial fertilizations has caused problems of compaction and accumulation of nutrients on the surface, which can lead to increased spatial variability of nutrients and low expression potential of crops. With soil scarification, as a practice to alleviate soil compaction, there may be changes in the horizontal variability of nutrients due to partial soil mobilization. The objective of this research was to evaluate the spatial variability of soil chemical attributes provided by soil scarification in no - tillage system, and to identify by multivariate techniques, the main soil chemical attributes that best relate to soybean yield and productivity components. The experiment was carried out in a dystrophic Oxisol, in the agricultural year 2015/16, in the Experimental Farm belonging to the Faculty of Engineering - UNESP (Ilha Solteira), located in Selvíria - MS. The experiment consisted of two cultivation areas, one under no-tillage system (NT) implanted 13 years ago and another in minimal cultivation scarified (MCS). To collect the data, two geostatistical meshes were allocated, one in each cultivation area. Each mesh was made up of 51 equidistant points with a distance between points of 10 m. The final population of plants, the height of insertion of the first pod, the height of plants, the number of pods per plant, of grains per plant, of grains per pod, the mass of 100 grains, the grain yield and soil chemical attributes were evaluated. The yield of soybean grains was higher in NT when compared to scarified MCS. Soil scarification decreased the spatial variability of soil chemical attributes in the 0-0.10 m layer. The values of pH, calcium, magnesium and phosphorus contents in the 0-0,10 m layer, as well as the K content of 0,10-0,20 m layer, are the attributes that contributed the most to increase soybean productivity in NT and MCS. In NT, the soil fertility is concentrated in the superficial layer, whereas in the MCS in the layer of 0,10-0,20 m. In NT, the CEC presented positive cokrigagem with grain yield at the surface and subsurface soil. In MCS, the pH and base saturation showed positive cokrigagem with grain yield in the 0-0,20 m layer, while potential acidity showed negative cokrigagem.

Keywords: *Glycine max* L. Spatial variability. No-tillage system. Soil scarification. Soil fertility.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	- Precipitação pluvial, temperatura máxima e mínima do ar durante o período experimental. Selvíria, MS, 2015/16.....	21
Figura 2	- Identificação do local de estudo e esboço da malha de amostragem. Selvíria, MS, 2015.....	25
Figura 3	- Box-plot dos atributos produtividade e população final de plantas da cultura da soja em um LATOSSOLO VERMELHO Distrófico sob Plantio Direto e Cultivo Mínimo. Selvíria, MS, Brasil, 2015/16.....	31
Figura 4	- Biplot, à esquerda (a) na camada de 0-0,10 m e a direita (b) de 0,10-0,20 m, dos componentes principais CP1 e CP2, da análise de componentes principais com as amostras de solo, produtividade de grãos e população final de plantas.....	49
Figura 5	- Mapas de krigagem da altura de plantas (ALT), número de vagens por planta (NVP), de grãos por planta (NGP), massa de 100 grãos (MCG) e produtividade de grãos (PRG) da cultura da soja em um LATOSSOLO VERMELHO Distrófico sob Plantio Direto. Selvíria, MS, Brasil, 2015/16.....	50
Figura 6	- Mapas de krigagem da população final de plantas (POP), altura de plantas (ALT), número de vagens por planta (NVP), de grãos por planta (NGP), de grãos por vagem (NGV), massa de 100 grãos (MCG) e produtividade de grãos (PRG) da cultura da soja em um LATOSSOLO VERMELHO Distrófico sob Cultivo Mínimo. Selvíria, MS, Brasil, 2015/16.....	51
Figura 7	- Mapas de krigagem dos atributos químicos de um LATOSSOLO VERMELHO Distrófico, na camada de 0-0,10 m, após a cultura da soja sob Plantio Direto. Selvíria, MS, Brasil, 2015/16.....	52
Figura 8	- Mapas de krigagem dos atributos químicos de um LATOSSOLO VERMELHO Distrófico, na camada de 0,10-0,20 m, após a cultura da soja sob Plantio Direto. Selvíria, MS, Brasil, 2015/16.....	53
Figura 9	- Mapas de krigagem dos atributos químicos de um LATOSSOLO VERMELHO Distrófico, na camada de 0-0,10 m, após a cultura da soja sob Cultivo Mínimo. Selvíria, MS, Brasil, 2015/16.....	54
Figura 10	- Mapas de krigagem dos atributos químicos de um LATOSSOLO VERMELHO Distrófico, na camada de 0,10-0,20 m, após a cultura da soja sob Cultivo Mínimo. Selvíria, MS, Brasil, 2015/16.....	56
Figura 11	- Mapa de fertilidade do solo nas camadas de 0-0,10 e 0,10-0,20 m, para os dois sistemas de manejo do solo estudados. Selvíria, MS, 2016.....	58
Figura 12	- Mapas de cokrigagem da produtividade de grãos de soja em função dos teores de potássio e da capacidade de troca catiônica na camada 0-0,10 e 0,10-0,20 m, sob Plantio Direto. Selvíria, MS, 2015/16.....	60
Figura 13	- Mapas de cokrigagem da produtividade de grãos de soja em função dos atributos químicos de um LATOSSOLO VERMELHO Distrófico na camada 0-0,10m, sob Cultivo Mínimo. Selvíria. MS, 2015/16.....	61
Figura 14	- Mapas de cokrigagem da produtividade de grãos de soja em função dos atributos químicos de um LATOSSOLO VERMELHO Distrófico na camada 0,10-0,20m, sob Cultivo Mínimo. Selvíria. MS, 2015/16.....	61

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	- Histórico da área experimental dos últimos anos agrícolas, Selvíria, 2016..	22
Tabela 2	- Caracterização inicial dos atributos químicos do solo. Selvíria, MS, 2015..	22
Tabela 3	- Caracterização inicial dos atributos físicos do solo. Selvíria, MS, 2015.....	23
Tabela 4	- Estatística descritiva, média, desvio padrão (DP), valores mínimo (Mín), máximo (Máx), coeficiente de variação [CV(%)] e teste de Shapiro & Wilk ($Pr < w$) dos componentes de produção e produtividade de grãos da soja em um LATOSSOLO VERMELHO Distrófico sob Plantio Direto e Cultivo Mínimo. Selvíria, MS, 2015/16.....	29
Tabela 5	- Estatística descritiva, média, desvio padrão (DP), valores mínimo (Mín), máximo (Máx), coeficiente de variação [CV(%)] e teste de Shapiro & Wilk ($Pr < w$) dos atributos químicos de um LATOSSOLO VERMELHO Distrófico, na camada de 0-0,10 m, sob Plantio Direto e Cultivo Mínimo. Selvíria, MS, 2016.....	33
Tabela 6	- Estatística descritiva, média, desvio padrão (DP), valores mínimo (Mín), máximo (Máx), coeficiente de variação [CV(%)] e teste de Shapiro & Wilk ($Pr < w$) dos atributos químicos de um LATOSSOLO VERMELHO Distrófico, na camada de 0,10-0,20 m, sob Plantio Direto e Cultivo Mínimo. Selvíria, MS, 2016.....	34
Tabela 7	- Análise dos componentes principais que apresentaram escore $\geq 0,500$ (positivo ou negativo) com os componentes principais 1 e 2.....	38
Tabela 8	- Correlação de Pearson entre os atributos avaliados, na camada de 0-0,10 m, para os dois sistemas de manejo do solo. Selvíria, MS, 2015/16.....	40
Tabela 9	- Correlação de Pearson entre os atributos avaliados, na camada de 0,10-0,20 m, para os dois sistemas de manejo do solo. Selvíria, MS, 2015/16.....	42
Tabela 10	- Parâmetros dos modelos ajustados aos semivariogramas experimentais simples para os componentes de produção da soja, produtividade de grãos e atributos químicos, na camada de 0-0,10 e 0,10-0,20 m, de um LATOSSOLO VERMELHO Distrófico sob Plantio Direto. Selvíria, MS, Brasil, 2015/16.....	44
Tabela 11	- Parâmetros dos modelos ajustados aos semivariogramas experimentais simples para os componentes de produção da soja, produtividade de grãos e atributos químicos, na camada de 0-0,10 e 0,10-0,20 m, de um LATOSSOLO VERMELHO Distrófico sob Cultivo Mínimo. Selvíria, MS, 2015/16.....	47
Tabela 12	- Parâmetros dos modelos ajustados aos semivariogramas experimentais cruzados da produtividade de soja em função de atributos químicos de um LATOSSOLO VERMELHO Distrófico sob Plantio Direto. Selvíria, MS, Brasil, 2015/16.....	59
Tabela 13	- Parâmetros dos modelos ajustados aos semivariogramas experimentais cruzados da produtividade da soja em função de atributos químicos de um LATOSSOLO VERMELHO Distrófico sob Cultivo Mínimo. Selvíria, MS, 2015/16.....	60

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	14
2	REVISÃO DE LITERATURA.....	16
2.1	CULTIVO DA SOJA NA REGIÃO DO CERRADO BRASILEIRO.....	16
2.2	SOLO COMPACTADO EM SISTEMA PLANTIO DIRETO.....	17
2.3	VARIABILIDADE ESPACIAL DOS ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO.....	18
3	MATERIAL E MÉTODOS.....	21
3.1	LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL.....	21
3.2	CARACTERIZAÇÃO INICIAL DO SOLO.....	22
3.3	IMPLANTAÇÃO E CONDUÇÃO DA CULTURA DA SOJA.....	23
3.4	CARACTERIZAÇÃO DAS MALHAS EXPERIMENTAIS.....	24
3.5	COLETA E METODOLOGIA DE DETERMINAÇÃO DOS ATRIBUTOS DE PLANTA E SOLO.....	24
3.6	ANÁLISE ESTATÍSTICA E GEOESTATÍSTICA DOS ATRIBUTOS DE PLANTA E SOLO.....	26
3.7	ANÁLISE MULTIVARIADA DOS ATRIBUTOS DE PLANTA E SOLO.....	27
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	29
4.1	ANÁLISE DESCRITIVA.....	29
4.1.1	Componentes de produção e produtividade de grãos de soja.....	29
4.1.2	Fertilidade do solo.....	33
4.2	ANÁLISE MULTIVARIADA.....	38
4.3	CORRELAÇÃO ENTRE PRODUTIVIDADE DE GRÃOS E ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO.....	40
4.4	ANÁLISE GEOESTATÍSTICA.....	43
4.4.1	Mapas de krigagem dos atributos de planta e solo.....	48
4.4.1.1	<i>Mapa da qualidade química do solo da área.....</i>	<i>57</i>
5	CONCLUSÕES.....	61
	REFERÊNCIAS.....	62
	APÊNDICE.....	69
	ANEXO.....	87

1 INTRODUÇÃO

A soja [*Glycine max* (L.) Merrill] é a mais importante planta leguminosa cultivada no mundo, sendo o Brasil o maior exportador, seguido pelos Estados Unidos e Argentina (KIST et al., 2016). No Brasil, a região Centro-Oeste é a maior produtora com 43% da produção nacional (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO- CONAB, 2017). Apesar da expressividade da região Centro-Oeste na produção de soja há um predomínio de solos de reduzida fertilidade natural, com baixos teores de cátions trocáveis e elevado grau de acidez, características típicas do Bioma Cerrado (LEAL; VELLOSO, 1973; OLIVEIRA JÚNIOR et al., 2010).

O Sistema Plantio Direto (SPD) é uma das mais eficientes estratégias para melhoria da qualidade e do potencial produtivo do solo agrícola, pois, em decorrência do não revolvimento do solo e do acúmulo de matéria orgânica e resíduos vegetais na superfície do solo, esse sistema propicia maior disponibilidade de água e nutrientes para as plantas, melhorando as condições físicas do solo, pelo aumento da matéria orgânica, com reflexos positivos nas características químicas e biológicas (NASCIMENTO, 2015).

No entanto, alguns fatores importantes que vêm causando reduções na produtividade de grãos em áreas sob SPD no Cerrado está a compactação do solo e a aplicação superficial e à lanço de fertilizantes e corretivos, que devido ao aumento da resistência do solo à penetração e diminuição da permeabilidade ao ar e à água, vem levando à concentração das raízes na camada superficial do solo, com reflexos negativos sobre o volume de solo explorado e a absorção de água e nutrientes pelas plantas (KLEIN et al., 2008; MONTANARI, 2009; SECCO et al., 2009).

Uma opção para resolver esse problema é a mobilização do solo pelo uso da escarificação, seguida de adoção do sistema de semeadura direta, uma prática que alivia a compactação superficial em curto prazo, desagregando e desprotegendo a superfície do solo em um nível inferior comparativamente ao preparo convencional (GIRARDELLO et al., 2014). Assim, o uso de escarificadores (Cultivo Mínimo) além de romper a camada superficial compactada também proporciona maior infiltração de água no solo, crescimento radicular e exploração do solo pelas raízes (DEBIASI et al., 2013).

No SPD, devido ao não revolvimento do solo e ao efeito residual de adubações de cultivos anteriores, vem se verificando na camada superficial, um gradiente de concentração de nutrientes e aumento na variabilidade de atributos de fertilidade (ELTZ; PEIXOTO; JASTER, 1989; GIMÉNEZ; ZANCANARO, 2012; RODRÍGUEZ-GARAY; CAMACHO-TAMAYO; RUBIANO-SANABRIA, 2016). Com a realização da escarificação, como prática para aliviar

a compactação do solo, pode haver também alterações nesse gradiente devido à mobilização parcial do solo e assim, proporcionar modificações na variabilidade horizontal de nutrientes.

A análise quantitativa do solo usando a geoestatística tem sido o método mais comumente utilizado para determinar a distribuição espacial da disponibilidade de nutrientes para as plantas na lavoura (MOLIN et al., 2010), e seu uso é essencial para descrever e quantificar os fatores limitantes a obtenção de alta produtividade (VIEIRA et al., 2010b).

Desta forma, objetivou-se avaliar a variabilidade espacial dos atributos químicos do solo proporcionada pela escarificação do solo em Sistema Plantio Direto compactado para identificar por técnicas multivariadas os principais atributos químicos do solo que melhor se relacionam com os componentes de produção e produtividade da soja, visando o manejo específico para os sistemas estudados.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 CULTIVO DA SOJA NA REGIÃO DO CERRADO BRASILEIRO

Por sua importância no agronegócio, em área e dispersão geográfica, a cultura da soja ocupa posição de destaque entre as commodities brasileiras. Entre os principais produtores, o Brasil é o que possui a maior área cultivada sob condições tropicais e subtropicais. Nessas regiões, os solos variam significativamente em função do material de origem e das condições climáticas que, por sua vez, levam a maior ou menor grau de intemperismo (SEDIYAMA, 2016).

A partir de meados da década de 1970, em decorrência do desenvolvimento dos primeiros cultivares de soja com período juvenil longo, teve início a expansão da cultura para a região do Cerrado, em especial a região Centro-Oeste, na qual predominam solos originalmente com baixa fertilidade, em sua maioria Latossolos (OLIVEIRA JÚNIOR et al., 2010). Esses solos se caracterizam por apresentar baixos valores de pH e de CTC, baixos teores de nutrientes, elevada capacidade de fixação de fósforo (no caso de argilosos) e altos teores de alumínio trocável (LEAL; VELLOSO, 1973). Entretanto, essas áreas possuem relevo suave ondulado à plano, condições mais favoráveis ao cultivo da soja.

Com a consolidação da soja na região do Cerrado, o Brasil tornou-se o segundo produtor mundial da cultura, ficando atrás dos Estados Unidos. Em 47 anos de cultivo de soja no cerrado, a produção foi nove vezes maior, enquanto a área cultivada não chegou a aumentar cinco vezes. Na última safra, a produção brasileira foi de 113,9 milhões de toneladas, numa área cultivada de 33,8 milhões de hectares e produtividade média de 3.407 kg ha⁻¹ (CONAB, 2017).

Além da importância para a agricultura nacional, a expansão da soja, para a região do Cerrado, forneceu as bases para a alteração da condição socioeconômica da região, bem como deslocou o mapa de produção da cultura, antes concentrada na região Sul do país. Isso é facilmente comprovado tomando-se como exemplo a safra 2015/16, em que cerca de 43% da produção nacional de soja foi obtida na região Centro-Oeste (CONAB, 2017).

Em função da extensa área cultivada (33,8 milhões ha) e de ampla distribuição geográfica, desde o estado do Rio Grande do Sul até o estado de Roraima, é necessário se pesquisar medidas para diminuir perdas e custos, elevar a produtividade e aumentar a qualidade dos produtos da soja aliado a práticas conservacionistas de manejo do solo - sendo o Plantio Direto a principal delas - pois contribuiu para a melhoria da fertilidade do solo (BEZERRA et al., 2015).

2.2 SOLO COMPACTADO EM SISTEMA PLANTIO DIRETO

O SPD é, sem dúvida, o grande responsável pela expansão e continuidade da exploração agrícola dos solos brasileiros com sustentabilidade. Esse sistema de manejo do solo propicia maior disponibilidade de água e nutrientes para as plantas e aumenta os conteúdos de matéria orgânica no solo, com reflexos positivos nas suas características químicas, físicas e biológicas (NASCIMENTO, 2015).

Normalmente, após uma década com a utilização inadequada do SPD, em função do tráfego de máquinas, do não revolvimento do solo e baixa quantidade de palha, observa-se compactação da camada superficial do solo, principalmente nos primeiros 0,17 m (CÂMARA; KLEIN, 2005). Essa compactação do solo em áreas agrícolas manejadas em SPD tem sido apontada como um problema enfrentado por produtores, em especial nas áreas com solos argilosos (LIMA; PETTER; LEANDRO, 2015).

A compactação do solo aumenta a resistência do solo à penetração e diminui sua permeabilidade ao ar e à água, o que pode levar à concentração das raízes na camada superficial do solo, com reflexos negativos sobre o volume de solo explorado e a absorção de água e nutrientes pelas plantas (KLEIN et al., 2008; MONTANARI, 2009; SECCO et al., 2009). Na região de clima tropical do Brasil, principalmente no Cerrado, safras agrícolas têm sido frustradas pela degradação associada a solos mal manejados sob Sistema Plantio Direto (DENARDIN et al., 2008), em razão do comprometimento do bom desenvolvimento do sistema radicular.

Uma opção para resolver esse problema é a mobilização do solo pelo uso da escarificação, seguida de adoção do sistema de semeadura direta, uma prática que alivia a compactação em curto prazo, desagregando e desprotegendo a superfície do solo em um nível inferior comparativamente ao preparo convencional (GIRARDELLO et al., 2014). Assim, o uso de escarificadores (Cultivo Mínimo) além de romper a camada superficial compactada também proporcionam maior infiltração de água no solo, crescimento radicular e exploração do solo pelas raízes (DEBIASI et al., 2013).

Ferreras et al. (2001), verificaram redução de 48% na produtividade de grãos de soja em SPD em comparação as áreas escarificadas, em que os autores comentam que, provavelmente, o resultado pode ser atribuído à compactação no SPD, que reduziu o desenvolvimento radicular em função da resistência mecânica, alterando a absorção de água e nutrientes.

Câmara (2004), trabalhando com a cultura da soja, não observou diferenças de produtividade de grãos comparando Sistema Plantio Direto e Cultivo Mínimo escarificado. Tal resultado foi atribuído às condições climáticas favoráveis, uma vez que a distribuição pluvial

durante o ciclo da cultura foi de 999,8 mm, mantendo a umidade do solo nas condições ideais, o que minimizou o efeito da compactação em Sistema Plantio Direto. Câmara e Klein (2005) comentam que em solos compactados, a baixa aeração induz à ramificação das raízes adventícias superficiais, tornando-as menos eficientes na absorção de água e nutrientes.

De forma contrária, Debiasi (2008), verificou reduções na produtividade de soja em áreas submetidas à escarificação, que segundo o autor pode estar relacionado à diminuição da eficiência de utilização da água nas áreas escarificadas. Crusciol e Soratto (2010) destacam que em anos em que ocorre deficiência hídrica, quase sempre são registradas perdas de produtividade nas áreas onde há algum revolvimento do solo quando comparado ao SPD.

De maneira geral, a produtividade de grãos da soja sob diferentes sistemas de manejo do solo depende, entre outras, das condições climáticas do ano agrícola, da qualidade do manejo, do nível de fertilidade do solo e do estado sanitário da cultura (KLUTHCOUSKI et al., 2000). Por essas razões, na literatura há relatos de comportamento variável da soja sob diferentes manejos do solo.

2.3 VARIABILIDADE ESPACIAL DOS ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO

A variabilidade dos atributos do solo é consequência de complexas interações dos fatores e processos de sua formação, sendo influenciada pelas práticas de manejo e pelas culturas. Áreas pedologicamente similares podem apresentar diferença na variabilidade quando submetidas a diferentes práticas de manejo. E áreas pedologicamente diferentes, quando submetidas ao mesmo manejo, podem apresentar atributos semelhantes (CORÁ; BERALDO, 2006).

Os atributos de fertilidade química, física e biológica do solo expressam uma grande variabilidade espacial e influenciam o potencial produtivo nos ambientes agrícolas (VIEIRA et al., 2010a). Paralelamente, o manejo da fertilidade constitui um dos principais condicionantes da produtividade dos cultivos (MOLIN; AMARAL; COLAÇO, 2015). Uma boa caracterização da variabilidade espacial é o procedimento básico para orientar a tomada de decisões no gerenciamento agrônomo dos cultivos na agricultura moderna (RESENDE et al., 2006).

Nesse contexto, a ocorrência de variabilidade de produtividade dentro de uma área de cultivo é a suposição básica que justifica trabalhar com agricultura de precisão (RESENDE et al., 2006). A questão chave é delimitar a localização dessas variações e identificar suas causas, para então definir a melhor estratégia de manejo para cada local, com o intuito de realizar aplicações de insumos de forma variável, na tentativa de homogeneizar a produtividade e/ou

reduzir custos para consequentemente aumentar a rentabilidade da área (MONTANARI et al., 2010; MOLIN; AMARAL; COLAÇO, 2015).

Essas variações espaciais podem ser estudadas por meio de técnicas geoestatísticas, e a análise quantitativa do solo usando essas ferramentas tem sido o método mais comumente utilizado para determinar a distribuição espacial da disponibilidade de nutrientes para as plantas na lavoura (MOLIN et al., 2010), além de descrever e quantificar os fatores limitantes a obtenção de alta produtividade (VIEIRA et al., 2010a).

Klepker e Anghinoni (1995) verificaram que a variabilidade espacial dos índices de fertilidade do solo aumenta com a adoção do Sistema Plantio Direto, quer no sentido horizontal, pela distribuição irregular de insumos na superfície do solo, quer ainda no sentido vertical, pelas diferenças nos valores encontrados em uma camada mais superficial em relação à outra mais abaixo. Neste sistema, os resíduos dos vegetais levam a alterações nos atributos físicos, químicos e biológicos do solo, causando alterações no movimento e na redistribuição de compostos mais solúveis advindas da decomposição do material orgânico (AMARAL; ANGHINONI, 2001).

As frequentes adubações e calagens em superfície tendem a formar um gradiente de concentração superficial (ELTZ; PEIXOTO; JASTER, 1989), causando variabilidade dos índices de pH do solo e das quantidades de nutrientes. A matéria orgânica do solo também tem sido amplamente citada como um indicador-chave da qualidade do solo em áreas agrícolas (ZECH, 1997), pois exerce um papel fundamental no solo, agindo em sua estrutura pelo fornecimento de substâncias agregantes, no suprimento de macro e de micronutrientes, na capacidade de troca catiônica e no tamponamento do pH (ZANÃO JÚNIOR; LANA; GUIMARÃES, 2007).

Souza (1992) estudando a variabilidade espacial do solo em Sistema Plantio Direto e convencional verificou que o Plantio Direto apresentou maior variabilidade na quantidade de matéria orgânica e de nutrientes no perfil do solo do que o sistema convencional. O autor conclui que esses resultados podem estar relacionados com o não revolvimento da camada superficial do solo. Resultado diferente foi encontrado por Schlindwein e Anghinoni (2000) que observaram baixa variabilidade horizontal nos atributos de acidez do solo e nos teores de matéria orgânica desde que a distribuição de calcário e da palhada das culturas sejam uniformes. Os autores também verificaram acumulação de nutrientes menos móveis na camada superficial no perfil do solo, o que criou uma estratificação e variabilidade vertical.

Algumas pesquisas no Brasil têm indicado a necessidade de um grande número de pontos de amostragem para poder melhor identificar a dependência espacial do solo

(MACHADO; SILVA; BERNARDI, 2004; RESENDE et al., 2006; GIMÉNEZ; ZANCANARO, 2012). Em um Latossolo no Cerrado de Goiás, Resende et al. (2006) estudaram grades de amostragem em uma área de 97,5 hectares, considerando tamanhos que variaram de 0,25 a 9,0 hectares. Para grades de amostragem de até 4 hectares, a elaboração de mapas respeitando os princípios da geoestatística (obtenção de dependência espacial) foi possível para os atributos de matéria orgânica, potássio, cálcio e magnésio. No caso do fósforo, foi obtida dependência espacial apenas quando se utilizou a amostragem mais densa, com uma grade de 0,25 hectares. Ou seja, segundo os autores os atributos de matéria orgânica, pH, potássio, cálcio e magnésio apresentam maior continuidade espacial que o fósforo e os micronutrientes. Para estes últimos, há maior probabilidade de não encontrar dependência espacial em amostragens pouco densas.

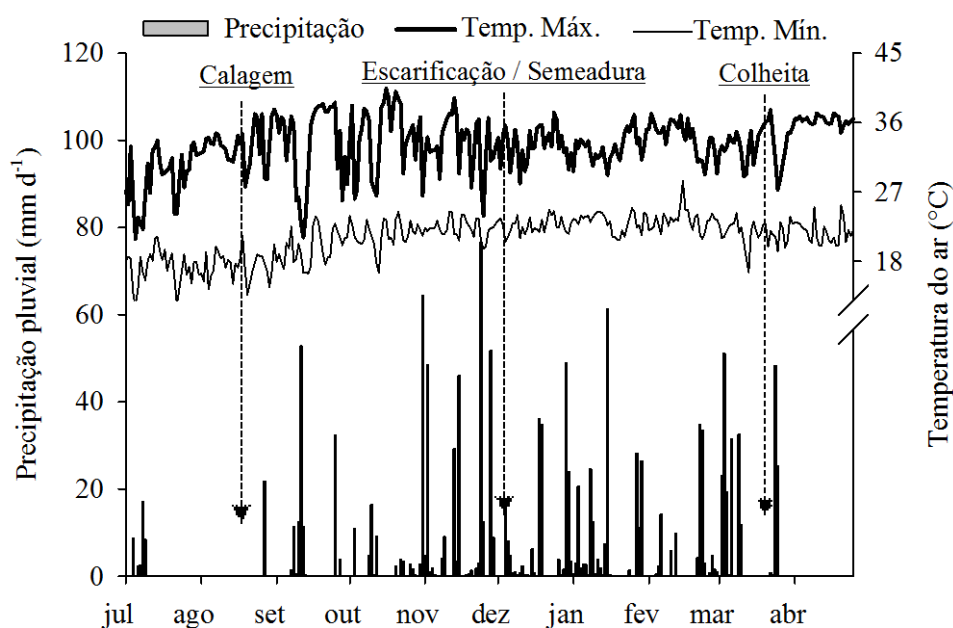
3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL

O trabalho de pesquisa foi realizado no ano agrícola 2015/16, em área experimental pertencente à Faculdade de Engenharia - UNESP, Campus de Ilha Solteira, localizada no município de Selvíria (MS), em região de Cerrado, situada nas coordenadas geográficas 51° 22' de longitude Oeste e 20° 22' de latitude Sul, com altitude de 335 m.

O tipo climático é Aw, conforme classificação de Köppen, caracterizado como tropical úmido, com estação chuvosa no verão e seca no inverno. A região apresenta como característica climática uma temperatura média anual de 23,5°C, com um máximo de 26,1°C e um mínimo de 15,3°C. A precipitação média anual é de 1.370 mm, com 75% ocorrendo de outubro a março e umidade relativa do ar ficando entre 70 e 80% durante o ano. Durante a condução do experimento foram coletados junto à Estação Meteorológica da Fazenda Experimental da UNESP - Ilha Solteira, os dados diários referentes às temperaturas máxima e mínima do ar e a precipitação pluvial, conforme pode ser observado na Figura 1. O fornecimento de água, quando necessário, foi realizado por meio de um sistema fixo de irrigação por aspersão do tipo pivô central, baseado na evaporação de água (ECA) obtida diariamente do tanque classe A.

Figura 1 - Precipitação pluvial, temperatura máxima e mínima do ar durante o período experimental. Selvíria, MS, 2015/16.



Fonte: Universidade Estadual Paulista - Unesp (2016).

O solo da área experimental é um LATOSSOLO VERMELHO Distrófico típico argiloso (DEMATTE, 1980; SANTOS et al., 2013), que estava sendo cultivado com culturas anuais e semi-perenes (milho, soja, sorgo forrageiro, guandu anão, *Urochloa brizantha* cv. Marandu,

Urochloa brizantha cv. Xaraés, *Megathyrus maximum* cv. Tanzânia, feijão e arroz) em SPD há 13 anos, sendo o milho, a cultura anterior (Tabela 1).

Tabela 1 - Histórico da área experimental dos últimos anos agrícolas, Selvíria, 2016.

Ano Agrícola	Estação			
	Primavera Set-Dez	Verão Dez-Mar	Outono Mar-Jun	Inverno Jun-Set
2010/11		Milho e Sorgo	Forrageiras ¹	Forrageiras
2011/12	Forrageiras	Milho e Sorgo	Forrageiras	Forrageiras
2012/13	Forrageiras	Soja	Pousio	Pousio
2013/14	Pousio	Milho	Milho/Feijão	Feijão
2014/15	Pousio	Milho	Milho	Pousio
2015/16 (Projeto)	Milheto	Soja ²		

Nota: ¹Espécies forrageiras *Urochloa brizantha* cv. Xaraés e *Megathyrus maximum* cv. Tanzânia; ²Escarificação mecânica do solo na profundidade de 0,30 m. **Fonte:** Elaborado pelo autor, baseado em Costa (2014).

3.2 CARACTERIZAÇÃO INICIAL DO SOLO

Antes da instalação do experimento, em 15/07/2015, foi realizado um levantamento da fertilidade do solo conforme metodologia proposta Raij et al. (2001), nas camadas estratificadas de 0-0,10; 0,10-0,20 e 0,20-0,30 m. Para isso, foram coletados vinte perfis de gradagem para a coleta do solo com estrutura deformada, realizados com o auxílio de um trado de caneco, cujos resultados são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 - Caracterização inicial dos atributos químicos do solo. Selvíria, MS, 2015.

Camada	P mg dm ⁻³	MO g dm ⁻³	pH CaCl ₂	K ⁺ -----	Ca ²⁺ -----	Mg ²⁺ -----	H+Al mmol _c dm ⁻³	Al ³⁺ -----	SB	CTC	V
0-0,10 m	31	27	5,1	5,0	27	20	38	0	52,0	90,0	58
0,10-0,20 m	20	19	4,7	2,4	16	10	42	4	28,4	70,4	40
0,20-0,30 m	10	16	4,9	1,8	14	11	34	2	26,8	60,8	44

P = fósforo disponível (resina); MO = matéria orgânica do solo; pH = pH do solo; K⁺ = potássio; Ca²⁺ = cálcio; Mg²⁺ = magnésio; Al³⁺ = alumínio; H+Al = acidez potencial; SB = soma de bases; CTC = capacidade de troca de cátions; V(%) = saturação por bases. **Fonte:** Dados da pesquisa do autor.

A análise granulométrica do solo da área experimental na camada de 0-0,20 m demonstrou valores de 440, 165 e 395 g kg⁻¹ das frações argila, silte e areia, respectivamente. Para a avaliação física da resistência do solo à penetração (RSP) foram tomados, de forma aleatória na área, vinte perfis utilizando um penetrômetro modelo Falker (PenetroLOG). Nestes mesmos pontos foram avaliadas a densidade do solo, macroporosidade, microporosidade e porosidade total do solo (Tabela 3) pelo método do anel volumétrico, com volume de 10⁻⁴ m³, e da mesa de tensão (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA-EMBRAPA, 1997), nas camadas de 0-0,10; 0,10-0,20 e 0,20-0,30 m.

Tabela 3 - Caracterização inicial dos atributos físicos do solo. Selvíria, MS, 2015.

Camada	DS	MA	MI	PT	RSP
	Mg m ⁻³		----- m ³ m ⁻³ -----		MPa
0-0,10 m	1,52	0,07	0,38	0,45	2,09
0,10-0,20 m	1,56	0,05	0,38	0,43	3,29
0,20-0,30 m	1,50	0,04	0,39	0,43	3,11

DS = densidade do solo; MA = macroporosidade; MI = microporosidade; PT = porosidade total; RSP = resistência do solo à penetração. **Fonte:** Dados da pesquisa do autor.

3.3 IMPLANTAÇÃO E CONDUÇÃO DA CULTURA DA SOJA

Após a análise química das amostras (Tabela 2), aplicou-se em 19/08/2015, em toda área experimental, 2.100 kg ha⁻¹ de calcário agrícola em superfície e sem incorporação (80,3% de PRNT, 28% de CaO e 20% de MgO) para neutralização da acidez, usando equipamento com distribuidor a lança. Foram realizados os cálculos de necessidade de calagem preconizada para o estado de São Paulo, com metas de saturação por bases para a calagem de 70%, tomando como base a cultura mais exigente no sistema de produção onde o experimento foi implantado (RAIJ et al., 1997).

À dessecação das plantas daninhas na área, foi realizada em 27/09/2015, com o uso dos herbicidas glifosato (1.440 g ha⁻¹ do i.a.) + carfentrazona etílica (30 g ha⁻¹ do i. a.). Posteriormente, realizou-se a semeadura da cultura do milheto (*Pennisetum glaucum*), no dia 06/10/2015, como planta de cobertura, visando a formação de palhada para continuidade do SPD, para posterior implantação da soja. O cultivar de milheto utilizado foi o BRS 1501, com espaçamento de 0,34 m entre linhas e densidade de semeadura de 30 kg ha⁻¹, sem adubação para o milheto.

Na área experimental foram utilizados dois sistemas de manejo, um em Sistema Plantio Direto (SPD) e outro em Cultivo Mínimo escarificado (CM). Na área em SPD, foi realizada apenas a dessecação do milheto (produção média de 4.294 kg ha⁻¹ de matéria seca) antecedendo a cultura da soja, utilizando os herbicidas glifosato (1.440 g ha⁻¹ do i.a.) + carfentrazona etílica (30 g ha⁻¹ do i. a.). Para área sob Cultivo Mínimo (CM) foi realizada a escarificação mecânica do solo antes da semeadura da soja no dia 03/12/2015 utilizando um escarificador da marca JAN, modelo Jumbo-Matic, de arrasto, composto por cinco hastes espaçadas de 0,3 x 0,30 m entre si, com ponteiros estreitos (0,075 m de largura), ângulo de ataque da ponteira em relação ao solo de 18°, equipado com rolo destorroador e discos lisos para corte da palha. A profundidade de trabalho do escarificador foi de 0,30 m. Na sequência, realizou-se uma operação com grade leve.

A soja cv. M7110 IPRO, de ciclo precoce e crescimento indeterminado, com tecnologia genética INTACTA RR2 PRO, que reúne tolerância ao herbicida glifosato e controle das principais lagartas (*Anticarsia gemmatilis*, *Pseudoplusia includens*, *Crociosema aporema* e *Heliothis virescens*) foi semeada no dia 03/12/2015 com uma semeadora-adubadora com mecanismo sulcador do tipo haste, em espaçamento de 0,45 m e aproximadamente 16 sementes m^{-1} de sulco. Momento antes da semeadura da cultura, as sementes foram tratadas com fungicida carboxin + thiram na dose de 50 + 50 g i.a. para 100 kg^{-1} de semente e em seguida realizada a inoculação líquida com *Bradyrhizobium japonicum* em dose para fornecer 600.000 células viáveis por semente. Na adubação de semeadura foram aplicados 250 $kg ha^{-1}$ da formulação 04-20-20 com base na recomendação de Raij et al. (1997).

A emergência das plântulas de soja ocorreu no dia 09/12/2015 e quando as plantas de soja encontravam-se no estágio V4 (19 DAE) foram aplicados os herbicidas glifosato e clorimuron etílico, na dose de 900 $g ha^{-1}$ do i.a. e 7,5 $g ha^{-1}$ i.a., respectivamente, visando o controle das plantas daninhas existentes na área. O manejo fitossanitário foi realizado para o controle de percevejos, lagartas do gênero *Spodoptera* e ferrugem asiática da soja, utilizando para isto, produtos registrados para a cultura, como imidacloprido + beta-ciflutrina, tiametoxam + lambda-cialotrina, acefato, clorantraniliprole e azoxistrobina + ciproconazol, nas respectivas doses recomendadas para a cultura de 56,25 $g ha^{-1}$ i.a., 49,4 $g ha^{-1}$ i.a., 750 $g ha^{-1}$ i.a., 8 $g ha^{-1}$ i.a. e 84 $g ha^{-1}$ i.a., respectivamente.

A colheita das plantas da soja ocorreu em 21/03/2016 (103 DAE), com arranquio manual das plantas e trilha em trilhadora estacionária.

3.4 CARACTERIZAÇÃO DAS MALHAS EXPERIMENTAIS

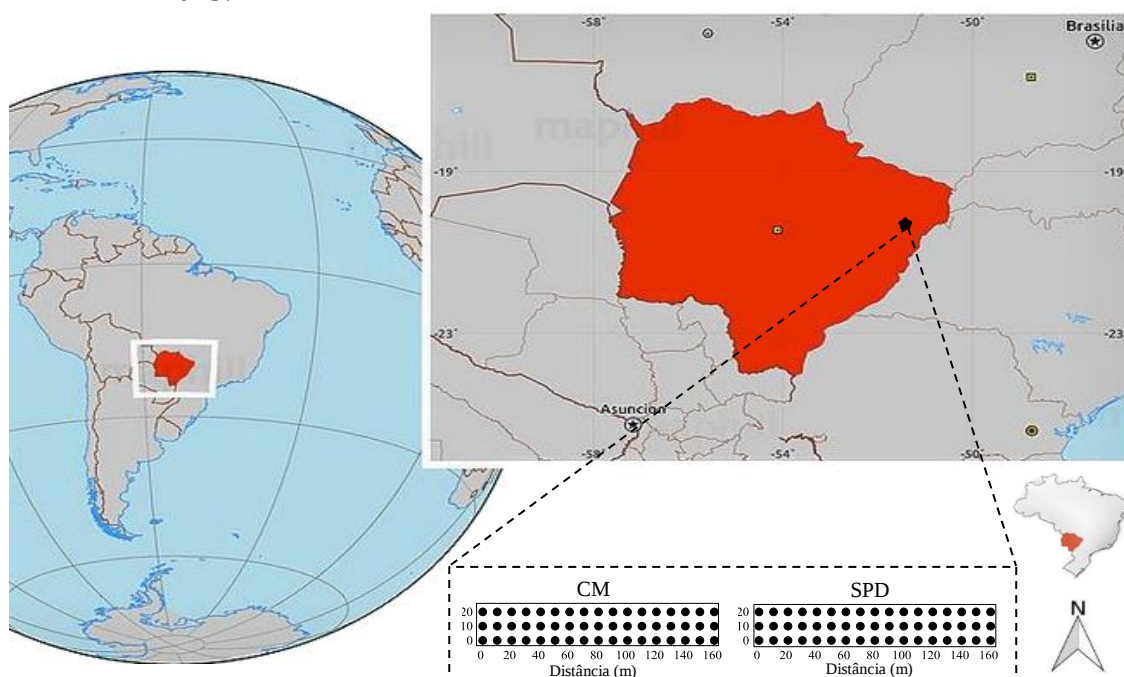
Para coleta dos dados, foram alocadas duas malhas geoestatísticas, uma em cada área de cultivo. Cada malha continha 51 pontos equidistantes, distribuídos em três transeções de forma a cobrir os 7500 m^2 da malha experimental. A distância entre pontos foi de 10 m e o comprimento da transeção de 160 m (Figura 2).

3.5 COLETA E METODOLOGIA DE DETERMINAÇÃO DOS ATRIBUTOS DE PLANTA E SOLO

No momento da colheita das plantas da soja, determinaram-se os componentes de produção e produtividade de grãos. Determinou-se a produtividade de grãos (PRG), colhendo-se todas as plantas contidas nas quatro linhas de 2 m de comprimento, ao redor de cada ponto amostral, as quais foram trilhadas mecanicamente e, posteriormente à pesagem dos grãos, os valores foram corrigidos para 13% de umidade. Para determinação dos componentes de

produção foram coletadas dez plantas próximas ao ponto amostral e avaliadas a altura de inserção da primeira vagem (AIV), altura de plantas (ALT), número de vagens por planta (NVP), de grãos por planta (NGP), de grãos por vagem (NGV) e massa de 100 grãos (MCG). A população final de plantas (POP) foi determinada mediante a contagem das plantas presentes nas duas linhas centrais (4 m) de cada ponto amostral e os valores obtidos foram extrapolados em plantas ha^{-1} .

Figura 2 - Identificação do local de estudo e esboço da malha de amostragem. Selvíria, MS, 2015.



Fonte: Elaborado pelo autor.

A coleta de solo para determinar os atributos químicos consistiu de uma amostra composta originada de três amostras simples por ponto amostral, nas camadas de 0-0,10 e 0,10-0,20 m. As amostras de solo foram coletadas na maturação plena da soja (estádio R8) para avaliação dos teores de fósforo (P), matéria orgânica do solo (MO), valores de acidez ativa (pH), teores de cálcio (Ca), magnésio (Mg), potássio (K), alumínio (Al), acidez potencial (H+Al), valores de soma de bases (SB), saturação por bases (V%), capacidade de troca catiônica (CTC) e saturação por alumínio (m%). A determinação dos atributos químicos do solo foi realizada conforme metodologia descrita por Raij et al. (2001) no laboratório de fertilidade da Faculdade de Engenharia da Unesp de Ilha Solteira.

3.6 ANÁLISE ESTATÍSTICA E GEOESTATÍSTICA DOS ATRIBUTOS DE PLANTA E SOLO

Para cada atributo estudado foi efetuada a análise descritiva auxiliada pela estatística clássica. Utilizando o *software* SAS (STATISTICAL ANALYSIS SYSTEM- SAS, 2003) foram calculados a média, desvio padrão, valores mínimo e máximo e coeficiente de variação. Em seguida, foram identificados os pontos anômalos (*outliers*), conforme identificação no gráfico de ramos e folhas, efetuando-se a substituição deles pelo valor médio dos circunvizinhos presentes na malha geoestatística. Também foi efetuada a análise da distribuição de frequência dos dados. Desta forma, para testar a hipótese de normalidade dos dados, foi utilizado o teste de Shapiro e Wilk a 1%.

Para verificar diferenças estatísticas dos componentes de produção, da produtividade de grãos e dos atributos químicos do solo, entre os dois sistemas de manejo, foi realizado o teste t de Student (5 e 10%), utilizando o *software* R (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2010). Para avaliar a correlação entre atributos utilizou-se o coeficiente de correlação de Pearson (r), calculados por meio do *software Excel*.

A análise espacial foi realizada pelo uso do pacote geoestatístico *Gamma Design Software 7.0* (GS+, 2004). Para cada atributo estudado, foi analisada sua dependência espacial pelo cálculo do semivariograma simples. Em seguida, ajustaram-se os semivariogramas cruzados entre as combinações de produtividade da soja com atributos químicos do solo como forma de avaliar a correlação espacial entre os atributos estudados. Para definição do melhor modelo semivariográfico simples e cruzado, levou-se em consideração a menor soma dos quadrados dos desvios (SQD), o maior coeficiente de determinação (R^2) e o maior avaliador da dependência espacial (ADE). A classificação do avaliador de dependência espacial (ADE) foi feita com base na razão entre o efeito pepita e o patamar ($C/C+Co$), e seguiu a interpretação proposta por Dalchiavon et al. (2012) sendo o ADE menor que 20%, entre 20 e 40%, entre 40 e 60%, entre 60 e 80% e entre 80 e 100% classificados como variável espacial de muito baixa dependência (MB), baixa dependência (BA), média dependência (ME), alta dependência (AL) e muito alta dependência (MA), respectivamente.

Os mapas dos atributos químicos do solo foram interpolados, utilizando-se a krigagem e, posteriormente foram selecionados os mapas que apresentaram mais de uma classe levando em consideração os limites de interpretação de teores sugeridos por Raij et al. (1997). Para o SPD, na camada de 0-0,10 m, os mapas selecionados foram o do pH do solo, MO, P e V%, esses mesmos atributos foram identificados para o CM na mesma camada. Na segunda camada estudada, 0,10-0,20 m, os mapas dos atributos selecionados foram P, K e pH para o SPD e P,

V% e pH para CM. Após a seleção, os mapas foram inseridos no programa Spring 5.4.1 para elaboração do mapa da qualidade química do solo para cada sistema de manejo do solo estudado.

Para cada mapa inserido no programa Spring, foi adotado uma classificação de qualidade baseado na distribuição espacial dos valores observados e classificação dos limites de interpretação de teores sugeridos por Raij et al. (1997). Assim, utilizando-se das operações de álgebra de mapas do sistema Spring (LEGAL), foi utilizado um algoritmo simples (Anexo 1) para cruzamento dos teores dos atributos em cada sistema de manejo.

Esse processo de álgebra de mapa possibilita a ponderação das faixas de valores de cada mapa individual e o resultado final é um novo mapeamento da interação entre as área de diferentes valores (classes). O resultado final é um mapa que representa a qualidade química do solo da área para o presente estudo.

3.7 ANÁLISE MULTIVARIADA DOS ATRIBUTOS DE PLANTA E SOLO

Foram aplicados três métodos estatísticos multivariados, visando classificar os acessos (cada um dos pontos amostrais) em grupos: análise de agrupamentos hierárquica, análise de agrupamentos não-hierárquica (k-means) e análise de componentes principais (ACP). Todas as análises multivariadas foram realizadas após a padronização dos atributos em que cada um ficou com média 0 e variância 1.

Primeiramente, fez-se a ACP de todos os atributos de solo e planta estudadas, esses componentes foram construídos pela combinação da correlação entre os atributos, sendo extraídas em ordem decrescente de importância, em termos de sua contribuição para a variação total dos dados (SILVA et al., 2010), utilizando-se o pacote estatístico *Statistica* (StatSoft. Inc., Tulsa, OK, EUA).

Estas correlações foram classificadas de acordo com Coelho (2003), onde o critério para classificação dos autovetores (valores que representam o peso de cada caractere, em cada componente e, variam de -1 a +1) foi: valor absoluto $< 0,30$, classificado como pouco significativo; $0,30-0,40$, considerado medianamente significativo; e $\geq 0,50$, tido como altamente significativo. E então os atributos que tiveram autovetores com peso $\geq 0,50$ (altamente significativo) foram submetidas a uma nova ACP, para ranquear os componentes com maior carga fatorial (escore).

Posteriormente, os dados foram submetidos ao processamento da análise de agrupamento por método hierárquico adotando a distância euclidiana como medida de semelhança entre as amostras e o método de Ward como método de ligação de grupos. Após

adotar uma quantidade de grupos que melhor caracterizou a estrutura de grupos contida nos dados originais foi feita a análise de agrupamento por método não-hierárquico utilizando o algoritmo k-means (HAIR JUNIOR et al., 2005) que permitiu caracterizar o padrão dos atributos por grupo considerado.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 ANÁLISE DESCRITIVA

4.1.1 Componentes de produção e produtividade de grãos de soja

Em ambos os sistemas de manejo há distribuição normal para a maior parte dos dados com exceção da altura de inserção da primeira vagem e número de grãos por vagem, ambos nos dois sistemas, e a altura de plantas em SPD (Tabela 4). Resultados semelhantes foram encontrados por Lovera (2015) para produtividade, número de grãos por planta e massa de 100 grãos em Plantio Direto em Cerrado de baixa altitude sem irrigação.

Tabela 4 - Estatística descritiva, média, desvio padrão (DP), valores mínimo (Mín), máximo (Máx), coeficiente de variação [CV(%)] e teste de Shapiro & Wilk (Pr<w) dos componentes de produção e produtividade de grãos da soja em um LATOSSOLO VERMELHO Distrófico sob Plantio Direto e Cultivo Mínimo. Selvíria, MS, 2015/16.

	Sistema Plantio Direto					Cultivo Mínimo				
	Média	DP	Mín/Máx	CV	Pr<w	Média	DP	Mín/Máx	CV	Pr<w
POP	282.10 ³ a	21.10 ³	239.10 ³ / 331.10 ³	7,4	0,484 ^{NO}	253.10 ³ b	18.10 ³	222.10 ³ / 294.10 ³	7,2	0,112 ^{NO}
AIV	0,16a	0,02	0,12/0,19	10,3	0,020 ^{IN}	0,15b	0,02	0,10/0,19	12,4	0,007 ^{IN}
ALT	0,95b	0,07	0,77/1,06	7,3	0,042 ^{TN}	1,00a	0,06	0,80/1,12	5,5	0,055 ^{NO}
NVP	48,9a	7,37	30,4/66	15,1	0,736 ^{NO}	49,5a	6,95	34,9/66,4	14,0	0,089 ^{NO}
NGP	112,1a	19,83	62,9/157,8	17,7	0,496 ^{NO}	114,3a	16,05	81,9/162	14,0	0,474 ^{NO}
NGV	2,3a	0,17	1,8/2,7	7,3	0,015 ^{IN}	2,3a	0,15	1,9/2,8	6,7	0,020 ^{IN}
MCG	16,2a	0,85	14,3/17,8	5,2	0,347 ^{NO}	16,2a	0,93	14,3/18,1	5,7	0,437 ^{NO}
PRG*	4434a	456,18	3736/5510	10,3	0,051 ^{NO}	4259b	507,29	3031/5537	11,9	0,798 ^{NO}

POP = população final de plantas (pl ha⁻¹); AIV = altura de inserção da primeira vagem (m); ALT = altura de plantas (m); NVP = número de vagens por planta; NGP = número de grãos por planta; NGV = número de grãos por vagem; MCG = massa de 100 grãos (g) e PRG = produtividade de grãos a 13% de umidade (kg ha⁻¹). Distribuição de frequência, sendo NO, TN e IN, respectivamente, do tipo normal, tendendo a normal e indeterminada. Médias seguidas da mesma letra nas linhas não diferem estatisticamente (teste t de Student, $p < 0,05$). * Significativo a 10% pelo teste t de Student. **Fonte:** Dados da pesquisa do autor.

O coeficiente de variação (CV %) obtido da análise de variância, e segundo classificação proposta por Pimentel-Gomes e Garcia (2002), apresentou CV classificados como baixos (CV < 10%) para população final de plantas, altura de plantas, número de grãos por vagem e massa de 100 grãos. Para a altura de inserção da primeira vagem, número de vagens por planta, número de grãos por planta e produtividade de grãos, os resultados observados nos dois sistemas de manejo, apresentaram coeficientes de variação médio (entre 10 e 20%). Para a produtividade da cultura, o coeficiente de variação (10,3% em SPD e 11,9% em CM) ficou abaixo do limite máximo aceitável para produtividade de grãos de soja definido por Carvalho et al. (2003) que é de 16%, o que demonstra que o tamanho da amostra utilizada na pesquisa foi adequada.

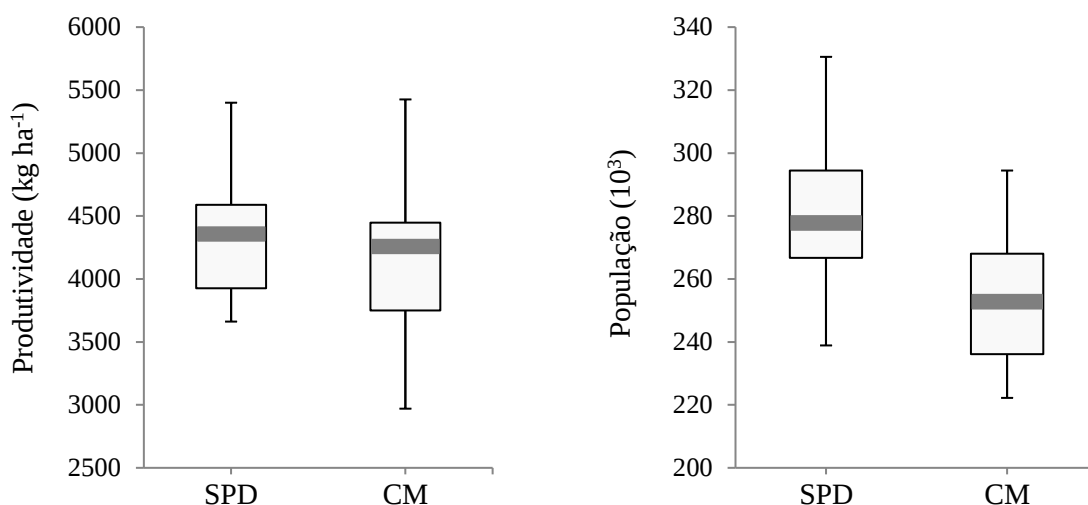
Nos componentes de produção verifica-se diferença ($p < 0,05$) para a população final de plantas e que o Plantio Direto (281 mil plantas ha^{-1}) aumentou em 11% a população em relação ao Cultivo Mínimo (253 mil plantas ha^{-1}). Esse resultado pode estar relacionado ao aumento da aeração do solo provocado pela escarificação, que faz com que a água drene e evapore mais rapidamente, de forma que a capacidade de retenção de umidade pelo solo diminua (KLEIN; LIBARDI, 2000; CAVALIERI et al., 2006). Dessa forma, a secagem mais rápida da superfície do solo na área escarificada pode ter prejudicado a germinação das sementes e emergência das plântulas de soja.

Ao mesmo tempo, para promover uma rápida germinação e uma adequada emergência das plântulas é preciso assegurar um bom contato do solo com as sementes (ORMOND, 2013). Veen et al. (1992) observaram que, na cultura do milho, o contato solo-raiz foi prejudicado com a escarificação do solo em semeaduras realizadas no mesmo dia, o que dificulta a absorção de água e nutrientes. Comportamento também verificado por Debiasi (2008) com a escarificação alterando negativamente o estabelecimento, principalmente, das plântulas de aveia preta em relação ao Sistema Plantio Direto, e concluiu que nas áreas escarificadas esse resultado foi devido ao mal contato solo-semente. Assim, estas afirmações são reforçadas quando se considera que a semeadura da soja foi realizada no mesmo dia da escarificação. Hamza e Anderson (2005) recomendam que esta operação seja realizada com antecedência à semeadura, de forma a permitir o “assentamento do solo” e, assim, facilitar o controle da profundidade de deposição das sementes e o contato das mesmas com o solo.

Em geral, populações que variam entre 160 e 360 mil plantas de soja por hectare pouco interferem na produtividade de grãos (Figura 3), desde que as plantas estejam distribuídas uniformemente (LUCA; HUNGRIA, 2014). Nos dois sistemas de manejo do solo adotados, as populações máximas e mínimas estiveram dentro desse limite e foram adequadas para realização do experimento.

Verifica-se que a AIV foi 7% maior ($p < 0,05$) em SPD quando comparado ao CM. Novamente por efeito da semeadura realizada no mesmo dia da escarificação, em solo mais mobilizado e desuniforme houve redução da qualidade de semeadura, ao colocar as sementes em diferentes profundidades e como consequência ter realizado uma semeadura um pouco mais profunda, com maior gasto energético na emergência o resultado foi uma AIV menor. Valadão Junior et al. (2008) recomendam que, em terrenos planos, os cultivares de soja devem apresentar altura de inserção da primeira vagem igual ou superior a 0,10 m para melhor rendimento operacional da colhedora e mínima perda na colheita da soja, valores que foram encontrados nessa pesquisa.

Figura 3 - Box-plot dos atributos produtividade e população final de plantas da cultura da soja em um LATOSSOLO VERMELHO Distrófico sob Plantio Direto e Cultivo Mínimo. Selvíria, MS, Brasil, 2015/16.



Fonte: Dados da pesquisa do autor.

A altura de plantas foi maior ($p < 0,05$) na área escarificada em comparação ao SPD. Uma das hipóteses para explicar esse resultado pode ser a melhoria nas condições físicas do solo para o crescimento das raízes de soja, após a escarificação, que fez com que a planta diminuísse a produção de raízes laterais, comum quando há limitações físicas à penetração das raízes no perfil do solo (ZONTA et al., 2006). Essa economia em fotoassimilados para a produção de raízes pode ter sido convertida em fitomassa da parte aérea, o que proporcionou maior altura de planta (CALONEGO, 2007). Outra possível explicação pode estar relacionada na menor população final de plantas observada em CM, o efeito da menor POP pode ter resultado em menor competição entre plantas o que proporcionou plantas mais altas.

A produtividade de grãos foi influenciada ($p < 0,10$) pelo sistema de manejo do solo, e o Plantio Direto (4434 kg ha⁻¹) aumentou em 4% a produtividade em relação ao Cultivo Mínimo (4259 kg ha⁻¹). Como as características químicas do solo, entre os sistemas de manejo, se assemelham na primeira camada (Tabela 5), mas apresenta menores teores de cátions trocáveis na segunda camada (Tabela 6) para o SPD, esse aumento de produtividade de soja pode estar ligado a uma maior absorção de água e nutrientes pela cultura, decorrente da maior umidade disponível no solo sob SPD, que é reflexo da presença de cobertura do solo por resíduos vegetais e, matéria orgânica encontrados em superfície (CAIRES; FONSECA, 2000).

Outra hipótese para explicar esse resultado pode estar associada à irrigação por pivô central que ameniza os efeitos negativos da compactação do solo em SPD (DEBIASI, 2008; COLLARES et al., 2011), pois, o aumento do teor de água diminui a resistência do solo à

penetração, de forma que, em solos suficientemente úmidos, as raízes podem atravessar camadas compactadas sem grandes dificuldades (CAVALIERI et al., 2006). Essa constatação é respaldada pelo fato de, na avaliação realizada na caracterização inicial da área, a densidade do solo e a resistência do solo à penetração, encontrarem-se acima dos limites críticos ao crescimento das plantas em Latossolo argiloso sugeridos por Silva (2003) e Reichert et al. (2009) que é de $1,43 \text{ Mg m}^{-3}$ e 2 MPa, respectivamente.

No entanto, essa não é a única explicação, outra provável está relacionada à mineralização dos resíduos vegetais. Câmara et al. (2002) verificaram que a escarificação do solo em SPD sob resteva de milho e milheto incorpora cerca de 30% da cobertura do solo. A escarificação favorece a aeração que, concomitantemente à incorporação dos resíduos vegetais, acelera a atividade microbiana e eleva a reciclagem e liberação de nutrientes oriundos da decomposição (CRUSCIOL; SORATTO, 2010). Assim, o resultado é o aumento da disponibilidade de N mineral, em função da decomposição dos resíduos do milheto, o que deste modo, pode ter reduzido a infecção das plântulas de soja pelos rizóbios e, consequentemente, prejudicado a nodulação e a fixação biológica de N (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA- EMBRAPA, 2006), diminuindo a produtividade de grãos na área escarificada. No entanto, uma outra possível explicação pode estar relacionada ao sincronismo entre manejo e liberação dos nutrientes pela decomposição do material orgânico.

Uma das principais formas para a soja compensar a menor população de plantas observadas para a escarificação seria a fixação de um maior número de vagens por planta (NVP), grãos por planta (NGP), grãos por vagem (NGV) e massa de cem grãos (MCG) (SEDIYAMA, 2016). Verifica-se um acréscimo do NVP e do NGP na área escarificada, no entanto, esse resultado não foi estatisticamente significativo. Essas diferenças também não foram encontradas para o NGV e MCG. Esses resultados foram decorrentes, provavelmente, do cultivar de soja escolhido, que possui ciclo superprecoce e, baixa capacidade de emitir novas ramificações, assim a planta destina a maior parte dos fotoassimilados à produção de vagens e grãos, e menos para as ramificações, o que diminui um pouco a plasticidade da cultura. Silva (2005) comenta que essas características agronômicas possuem alta herdabilidade, normalmente relacionando-se mais com o cultivar utilizado do que com as práticas culturais adotadas, o que pode ajudar a explicar o fato de não ter sido detectado influência dos manejos de solo sobre esses componentes de produção estudados e sim sobre a produtividade.

Em ambos os sistemas de manejo de solo, a média de produtividade de grãos ficou acima da média 2.988 kg ha^{-1} nacional (CONAB, 2016). As elevadas produtividades de soja alcançadas podem ser explicadas pelas precipitações regulares durante o ciclo da cultura, pela

suplementação hídrica por pivô central, pela boa fertilidade do solo da área e pelo cultivar de soja utilizado, que possui excelente potencial produtivo.

4.1.2 Fertilidade do solo

Os sistemas de manejo do solo influenciaram de forma distinta os atributos químicos nas duas camadas amostradas (Tabelas 5 e 6). Nos resultados referentes à estatística descritiva dos atributos químicos, observou-se normalidade dos dados no SPD para MO, pH, K, H+Al, CTC e V% na camada de 0-0,10 m e para o pH, K, Mg, SB, CTC e V% na camada de 0,10-0,20 m. Para o CM observou-se normalidade dos dados para a MO, pH, K, Ca e V% na camada de 0-0,10 m e para a MO, pH, K e V% na camada de 0,10-0,20 m.

Tabela 5 - Estatística descritiva, média, desvio padrão (DP), valores mínimo (Mín), máximo (Máx), coeficiente de variação [CV(%)] e teste de Shapiro & Wilk (Pr<w) dos atributos químicos de um LATOSSOLO VERMELHO Distrófico, na camada de 0-0,10 m, sob Plantio Direto e Cultivo Mínimo. Selvíria, MS, 2016.

	Sistema Plantio Direto					Cultivo Mínimo					CI
	Média	DP	Mín/Máx	CV	Pr<w	Média	DP	Mín/Máx	CV	Pr<w	
P*	20,2b	11,03	9/52	54,6	0,000 ^{IN}	23,6a	35,00	10/46	35,0	0,018 ^{TN}	31
MO	23,6a	2,25	17/29	9,5	0,057 ^{NO}	22,1b	10,10	17/28	10,0	0,288 ^{NO}	27
pH	5,4a	0,31	4,9/6,3	5,6	0,254 ^{NO}	5,4a	6,60	4,7/6,1	6,6	0,085 ^{NO}	5,1
K ⁺	3,8b	1,27	1,5/6,7	33,6	0,710 ^{NO}	5,2a	18,80	3,2/7,7	18,8	0,615 ^{NO}	5,0
Ca ²⁺	35,8a	12,06	14/70	33,7	0,034 ^{TN}	36,4a	35,50	14/70	35,5	0,191 ^{NO}	27
Mg ²⁺	32,1a	10,68	12/57	33,3	0,008 ^{IN}	33,6a	38,60	14/66	38,6	0,004 ^{IN}	20
H+Al	28,9a	6,17	16/42	21,3	0,059 ^{NO}	30,2a	21,20	20/47	21,2	0,003 ^{IN}	38
Al ³⁺	0b	0,00	0/0	-	- ^{IN}	0,3a	219,50	0/2	219,5	0,000 ^{IN}	0
SB	71,6a	22,66	27,5/130,5	31,6	0,020 ^{TN}	75,2a	34,30	33,5/142,8	34,3	0,047 ^{TN}	52
CTC	100,6a	21,74	55,5/158,5	21,6	0,104 ^{NO}	105,4a	21,40	71,5/164,8	21,4	0,032 ^{TN}	90
V	69,9a	9,05	50/84	13,0	0,068 ^{NO}	69,6a	14,90	47/87	14,9	0,076 ^{NO}	58
m	0,0b	0,00	0/0	-	- ^{IN}	0,3a	216,10	0/2	216,1	0,000 ^{IN}	0

P (resina) = fósforo disponível (mg dm⁻³); MO = matéria orgânica do solo (g dm⁻³); pH = pH do solo; K⁺ = potássio (mmol_c dm⁻³); Ca²⁺ = cálcio (mmol_c dm⁻³); Mg²⁺ = magnésio (mmol_c dm⁻³); Al³⁺ = alumínio (mmol_c dm⁻³); H+Al = acidez potencial (mmol_c dm⁻³); SB = soma de bases (mmol_c dm⁻³); CTC = capacidade de troca de cátions (mmol_c dm⁻³); V = saturação por bases (%) e m = saturação por alumínio (%). Distribuição de frequência, sendo NO, TN e IN, respectivamente, do tipo normal, tendendo a normal e indeterminada. Médias seguidas das mesmas letras nas linhas não diferem estatisticamente (teste t de Student, p < 0,05). * Significativo a 10% pelo teste t de Student. CI = caracterização inicial. **Fonte:** Dados da pesquisa do autor.

Os coeficientes de variação foram baixos (CV < 10) para a MO e pH, ambos nas duas camadas e nos dois sistemas de manejo do solo. A distribuição superficial uniforme de calcário e da palhada das culturas antecessoras leva à baixa variabilidade horizontal nos atributos de acidez do solo e nos teores de matéria orgânica (SCHLINDWEIN; ANGHINONI, 2000). Entre os sistemas de manejo, as maiores variabilidades para P e K foram observadas no SPD, em

ambas as camadas. As frequentes adubações e calagens em superfície tendem a formar um gradiente de concentração superficial e favorecem a variabilidade horizontal de nutrientes como fósforo e potássio, que ficam disponíveis por mais de uma cultura em SPD (ELTZ; PEIXOTO; JASTER, 1989; RODRÍGUEZ-GARAY; CAMACHO-TAMAYO; RUBIANO-SANABRIA, 2016). Assim, o revolvimento parcial do solo com a escarificação, nas camadas estudadas, resultou certa reuniformização do solo e redução na variabilidade, em comparação com o Plantio Direto.

Tabela 6 - Estatística descritiva, média, desvio padrão (DP), valores mínimo (Mín), máximo (Máx), coeficiente de variação [CV(%)] e teste de Shapiro & Wilk (Pr<w) dos atributos químicos de um LATOSSOLO VERMELHO Distrófico, na camada de 0,10-0,20 m, sob Plantio Direto e Cultivo Mínimo. Selvíria, MS, 2016.

	Sistema Plantio Direto					Cultivo Mínimo					CI
	Média	DP	Mín/Máx	CV	Pr<w	Média	DP	Mín/Máx	CV	Pr<w	
P	15,1b	8,04	4/33	53,3	0,005 ^{IN}	22,5a	10,46	7/52	46,6	0,006 ^{IN}	20
MO	18,1b	1,40	14/21	7,7	0,022 ^{TN}	19,0a	1,78	15/23	9,3	0,089 ^{NO}	19
pH	4,9a	0,31	4,2/5,8	6,4	0,099 ^{NO}	4,9a	0,41	4,1/5,7	8,2	0,190 ^{NO}	4,7
K ⁺	2,4b	1,04	0,6/5,1	42,8	0,463 ^{NO}	3,8a	0,93	1,8/6,2	24,4	0,914 ^{NO}	2,4
Ca ²⁺	17,3b	5,72	6/31	33,1	0,047 ^{TN}	22,1a	9,21	8/42	41,7	0,005 ^{IN}	16
Mg ²⁺	14,8b	3,95	6/25	26,6	0,262 ^{NO}	20,2a	8,89	7/42	44,1	0,002 ^{IN}	10
H+Al	37,4b	7,74	22/58	20,7	0,001 ^{IN}	40,9a	9,74	22/64	23,8	0,021 ^{TN}	42
Al ³⁺	1,5b	1,05	0/4	68,4	0,000 ^{IN}	2,4a	2,52	0/8	107,1	0,000 ^{IN}	4
SB	34,5b	9,77	14,3/58,7	28,3	0,444 ^{NO}	46,1a	18,22	17,9/85,8	39,6	0,013 ^{IN}	28,4
CTC	71,9b	9,87	48,6/100,6	13,7	0,763 ^{NO}	86,9a	13,17	57,9/118,4	15,1	0,033 ^{TN}	70,4
V*	47,5b	10,07	20/72	21,2	0,738 ^{NO}	51,7a	14,18	22/73	27,4	0,065 ^{NO}	40
m*	4,6b	3,38	0/12	73,1	0,010 ^{IN}	6,8a	8,17	0/27	120,4	0,000 ^{IN}	12

P (resina) = fósforo disponível (mg dm⁻³); MO = matéria orgânica do solo (g dm⁻³); pH = pH do solo; K⁺ = potássio (mmol_c dm⁻³); Ca²⁺ = cálcio (mmol_c dm⁻³); Mg²⁺ = magnésio (mmol_c dm⁻³); Al³⁺ = alumínio (mmol_c dm⁻³); H+Al = acidez potencial (mmol_c dm⁻³); SB = soma de bases (mmol_c dm⁻³); CTC = capacidade de troca de cátions (mmol_c dm⁻³); V = saturação por bases (%) e m = saturação por alumínio (%). Distribuição de frequência, sendo NO, TN e IN, respectivamente, do tipo normal, tendendo a normal e indeterminada. Médias seguidas das mesmas letras nas linhas não diferem estatisticamente (teste t de Student, p < 0,05). * Significativo a 10% pelo teste t de Student. CI = caracterização inicial. **Fonte:** Dados da pesquisa do autor.

No Cultivo Mínimo verifica-se maiores variabilidades para Ca, Mg, Al, V% e m%, em relação ao SPD. A escarificação incorpora parte do calcário e do material orgânico da superfície, o que juntamente com a redistribuição dos nutrientes reciclados dos resíduos favorece essa variabilidade horizontal (ALVAREZ; GUARÇONI, 2003; SILVA et al., 2015).

De acordo com os limites sugeridos por Raij et al. (1997), os teores de P disponível foram considerados médios (Tabelas 5 e 6) para as duas camadas do CM e primeira do SPD, e baixo na segunda camada do SPD. Nas duas camadas, os teores de P disponível foram maiores (p < 0,10) no CM em relação ao SPD, resultado que pode estar associado a maior produtividade

de grãos em SPD e proporcionalmente maior exportação do nutriente na área. Outra possível explicação, está relacionado à escarificação do solo em SPD sob resteva de milho e milheto incorporar cerca de 30% da cobertura do solo, e aumentar a aeração do solo que, juntamente com a incorporação dos resíduos vegetais, acelera a atividade microbiana e a decomposição (CÂMARA et al., 2002; CRUSCIOL; SORATTO, 2010), o que resulta no aumento do P liberado na decomposição de restos culturais.

Por outro lado, Debiasi et al. (2013) e Costa et al. (2010), verificaram maiores concentrações de P disponível do solo sob SPD, e concluíram que a não-mobilização do solo nas lavouras cultivadas no SPD evita a exposição de novos sítios de adsorção das formas lábeis de fósforo, o que justifica os maiores teores do elemento. Nascimento (2015) ao estudar os efeitos do manejo do solo no Sistema Plantio Direto em Latossolo de Cerrado, não verificou ($p < 0,05$) incremento dos teores de P disponível em áreas escarificadas, apesar de se observar um pequeno aumento nos teores do elemento nos doze primeiros meses após a escarificação contudo estatisticamente não significativa. O autor ainda ressalta que em longo prazo (24 meses após a escarificação) o que se verifica é uma redução dos teores de P nas áreas escarificadas e acúmulo nas áreas sob SPD, devido a não mobilização do solo.

Para a Matéria Orgânica do Solo (MO), na camada de 0-0,10 m, o SPD (23,6 g dm⁻³) apresentou um teor 7% maior ($p < 0,05$) em relação ao CM (22,1 g dm⁻³). Isso pode ser explicado pela permanência do material orgânico na superfície do solo, que reduz o contato com os microrganismos do solo e, como consequência, a decomposição é mais lenta, o que em longo prazo resulta no aumento dos teores da MO no solo (DEBIASI, 2008; FRANCHINI et al., 2009; DEBIASI et al., 2013; NASCIMENTO, 2015).

Na camada de 0,10-0,20 m, verifica-se ($p < 0,05$) efeito contrário à primeira camada, com os maiores teores de MO agora observados no CM. Crusciol e Soratto (2010) destacam que a quantidade de matéria orgânica e material orgânico que permanece no solo sob Sistema Plantio Direto é a mesma que no solo escarificado, porém, no primeiro, este material permanece na superfície, enquanto que no segundo, uma parte é incorporado. Assim, o que se verifica não é um aumento de MO em profundidade, mas um deslocamento/incorporação da MO da primeira para segunda camada. Fato comprovado ao se observar a média realizada entre as duas camadas no SPD (20,9 g dm⁻³) e CM (20,6 g dm⁻³) que foi muito pouco alterada.

Vale ressaltar que o aumento da MO nos solos acontece quando há redução na taxa de decomposição dos resíduos vegetais adicionados por cultivos anuais e, consequente, acúmulo obtido pela diminuição do revolvimento do solo e pela adição suficiente de carbono orgânico ao solo para que o balanço anual deste elemento seja positivo (CALEGARI et al., 2013). Sá et

al. (2010) ainda complementam que o balanço positivo entre produção e decomposição anual de resíduos orgânicos deve ficar acima de 12 Mg ha⁻¹ em solos de Cerrado, o que não foi observado no experimento, pois a resteva do milho (6,8 Mg ha⁻¹) e palhada do milheto (aos 35 DAE produziu 4,2 Mg ha⁻¹) produziram 11 Mg ha⁻¹. Por isso se observa uma redução nos teores de MO quando comparados à caracterização inicial do solo (Tabela 1).

Os teores de K foram considerados altos para as duas camadas do CM e primeira do SPD, e médio na segunda camada do SPD (RAIJ et al., 1997). Nas duas camadas, os teores de K foram maiores ($p < 0,05$) no CM em relação ao SPD. Como observado anteriormente para o P, supõem-se que os menores teores de K, em área sob SPD, seja decorrente da maior exportação do nutriente na área e, o aumento nos teores de K, em área sob CM, esteja relacionado à incorporação e consequente mineralização mais rápida dos resíduos orgânicos. Isso pode ser explicado, pois o milheto utilizado como planta de cobertura antecessora, é uma das espécies que libera mais rapidamente os nutrientes contidos no resíduo vegetal (CRUSCIOL, 2007). O autor relatou que, aos 68 dias após o manejo químico, restava menos de 50% da palhada do milheto e, havia sido liberado da palhada aproximadamente, 78% do nitrogênio, 98% do fósforo, 95% do potássio, 68% do cálcio e 75% do magnésio, respectivamente.

Os teores de Ca e Mg foram considerados altos para as duas camadas em ambos sistemas de manejo (RAIJ et al., 1997). Verifica-se ($p < 0,05$) que, na camada de 0,10-0,20 m, na área sob CM, os teores de Ca e Mg foram maiores em comparação com a área sob SPD. O que pode estar relacionado à incorporação do calcário realizado pelo escarificador, que proporcionou uma distribuição do corretivo em profundidade, e também, à textura argilosa do solo, o que poderia explicar a menor movimentação do calcário aplicado na superfície em SPD. De acordo com Debiasi et al. (2013), ao estudar o impacto de sistemas de preparo do solo nos atributos químicos em Latossolo argiloso verificaram que a escarificação do solo proporcionou incorporação do calcário até a profundidade de 24 cm. Resultados diferentes foram encontrados por Nascimento (2015), que verificou maiores teores de Ca e Mg na camada superficial do SPD em comparação ao CM. O autor atribuiu o resultado à aplicação superficial e não incorporação do calcário em SPD. No entanto, não se verificou diferenças entre os sistemas de manejo na camada de 0,10-0,20 m.

Caires (2010) constatou que, em SPD, a ação do calcário é mais acentuada no local de aplicação, mas a calagem também pode ter efeito em camadas mais profundas. A manutenção de resíduos culturais na superfície em SPD melhora o estado de agregação do solo com o incremento do teor de carbono orgânico, cujos agregados, maiores e menos densos, aumentam

a infiltração de água no solo e proporciona um deslocamento vertical das partículas finas de calcário pela movimentação descendente da água por meio de canais e espaços que se mantiveram intactos no solo.

Ressalta-se ainda que mesmo com a ausência de incorporação de calcário em SPD, a calagem realizada na superfície do solo foi suficiente para manter um ambiente quimicamente favorável ao crescimento das raízes da soja em profundidade. Dados que são reforçados ao se verificar na camada de 0,10-0,20 m, em SPD, aumento dos teores de Ca e Mg, e redução dos teores de alumínio trocável, em comparação aos verificados antes da instalação do experimento (Tabela 1).

Para os teores de alumínio (Al) trocável e, consequentemente, saturação do elemento no solo (m), verifica-se que, em ambas as camadas, na área sob CM, os teores de Al e m foram maiores em comparação com a área sob SPD. No SPD, na camada de 0-0,10 m, os menores teores de Al e m são reflexos da calagem que é aplicada na superfície e sem incorporação. Outra possível explicação está relacionada com a permanência de resíduos vegetais e a ausência de revolvimento do solo que reduzem a taxa de decomposição dos ligantes orgânicos por microrganismos (CAIRES, 2010; DALCHIAVON et al., 2012). Com a disponibilidade de água, os compostos orgânicos são solubilizados e podem ser lixiviados. Esses compostos orgânicos contêm ácidos orgânicos que formam grupos funcionais, principalmente dos tipos carboxílicos e fenólicos, que participam na complexação ácido orgânico-metal, o que leva a redução dos teores de Al no solo e sua toxidez para as raízes das plantas (FRANCHINI et al., 2003; ZANÃO JÚNIOR et al., 2007; CAIRES, 2010). Dessa forma, além de complexarem o Al tóxico, esses compostos aumentam a mobilidade, no perfil do solo, dos produtos originados da dissolução do calcário aplicado em superfície, auxiliando na redução do Al também na camada de 0,10-0,20 m. Importante ressaltar também que a decomposição da MO aumenta acidez do solo.

Como os teores de K, Ca e Mg foram maiores no CM, na camada de 0,10-0,20 m, a SB, V e CTC apresentaram comportamentos semelhantes.

4.2 ANÁLISE MULTIVARIADA

Os componentes de produção, a produtividade de grãos e os atributos químicos do solo que apresentaram escores maiores que 0,50 (altamente significativo) foram selecionados e agrupados por camada de solo (Tabela 7). Na camada de 0-0,10 m, os atributos foram agrupadas em 2 fatores, e o ajuste do modelo foi capaz de explicar 74,57% das variâncias dos atributos com autovalores maiores que 1. A representação gráfica e a correlação dos atributos nos componentes principais permitiram associar os atributos em 2 grupos (Figura 4a). A V% (0,97),

teor de Ca (0,93), teor de Mg (0,91), pH (0,85), CTC (0,82) e teor de P (0,60) foram responsáveis pela formação do grupo I, localizado à direita de CP1 (correlações positivas), enquanto a H+Al (0,69) e o Al (0,67) foram responsáveis pelo do grupo II, localizado à esquerda (correlações negativas). Assim, o grupo I, o de maior produtividade, é caracterizado por plantas que estão em regiões na área experimental onde o solo apresenta maiores teores de P, Ca, Mg e maiores valores de CTC, V% e pH, enquanto o grupo II, de menor produtividade, caracteriza-se por plantas que estão em regiões com maiores teores de Al trocável e H+Al.

Tabela 7 - Análise dos componentes principais que apresentaram escore $\geq 0,500$ (positivo ou negativo) com os componentes principais 1 e 2.

Componentes da variância	Componentes principais		Componentes principais		
	1	2	1	2	3
Autovalores	5,06	1,65	5,30	1,99	1,05
Proporção (%)	56,26	18,31	52,98	19,91	10,53
Proporção Acumulada (%)	56,26	74,57	52,98	72,89	83,42
Atributos	0-0,10 m		0,10-0,20 m		
Produtividade de grãos	0,226	0,621⁽¹⁾	0,264	-0,344	0,577⁽¹⁾
População final de plantas	-	-	0,139	-0,675⁽¹⁾	0,437
Fósforo	0,598⁽¹⁾	-0,128	-	-	-
pH	0,853⁽¹⁾	0,348	0,897⁽¹⁾	-0,173	-0,224
Potássio	-	-	0,522	0,552⁽¹⁾	-0,312
Cálcio	0,934⁽¹⁾	-0,297	0,919⁽¹⁾	0,241	0,207
Magnésio	0,910⁽¹⁾	-0,317	0,901⁽¹⁾	0,261	0,175
Acidez potencial (H+Al)	-0,692⁽¹⁾	-0,498	-0,728⁽¹⁾	0,550	0,342
Alumínio	-0,351	-0,672⁽¹⁾	-0,799⁽¹⁾	0,429	0,143
Capacidade de troca catiônica	0,822⁽¹⁾	-0,485	0,587	0,682⁽¹⁾	0,407
Saturação por bases	0,974⁽¹⁾	0,024	0,981⁽¹⁾	-0,064	-0,073

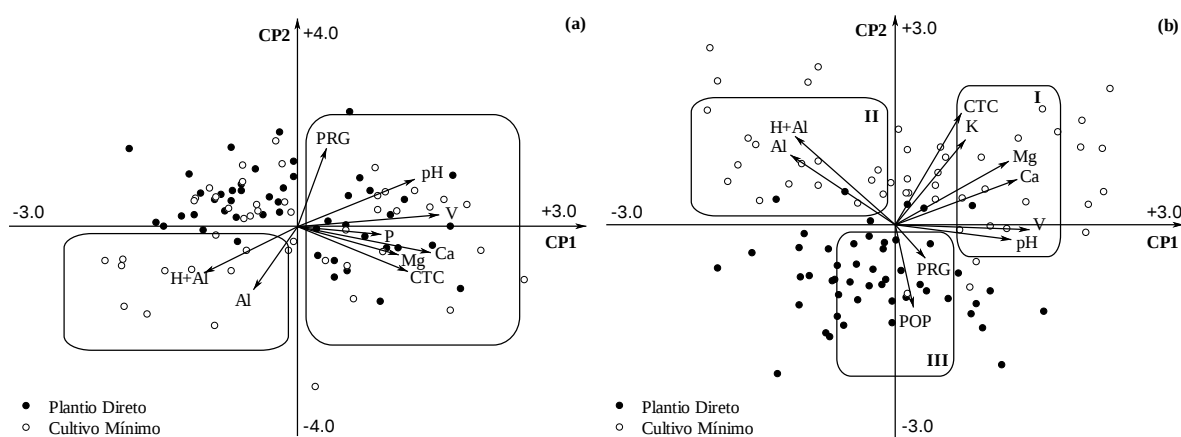
⁽¹⁾ Caracteres com maiores cargas fatoriais (escores) selecionadas dentro de cada fator. O critério para classificação foi: valor absoluto $< 0,30$, considerado pouco significativo; $0,30 - 0,40$, mediantemente significativo; e $\geq 0,50$, altamente significativo, de acordo com Coelho (2003). **Fonte:** Dados da pesquisa do autor.

Santi et al. (2012) avaliando os componentes principais de atributos químicos limitantes à produtividade de grãos em Latossolo Vermelho também verificaram que, na camada 0-0,10 m, os teores de P, K, Ca, Mg, CTCefetiva e V% apresentaram escores positivos e altamente significativos. Os autores ainda concluem que cuidados devem ser tomados com os teores de K, Ca e Mg, pois relações não equilibradas entre esses nutrientes diminuem a produtividade da cultura da soja.

Para a camada de 0,10-0,20 m, os atributos foram agrupados em 3 fatores, e o ajuste do modelo foi capaz de explicar 83,42% da variabilidade dos dados presente na área. Para a

segunda camada, verificou-se a formação de 3 grupos (Figura 4b). No grupo I, foram responsáveis pela sua formação a V% (0,98), Ca (0,92), Mg (0,90), pH (0,90), CTC (0,59) e K (0,52), localizados à direita de CP1 (correlações positivas), enquanto que o Al (0,80) e H+Al (0,73), foram responsáveis pela formação do grupo II, localizados à esquerda de CP1 (correlações negativas). Assim, o grupo I, o de maior produtividade, é caracterizado por plantas que estão em regiões na área experimental onde no solo há maiores valores de pH, maiores teores de K, Ca, Mg, CTC e V%, enquanto o grupo II, o de menor produtividade, caracteriza-se por plantas que estão em regiões com maiores teores de Al e H+Al.

Figura 4 - Biplot, à esquerda (a) na camada de 0-0,10 m e a direita (b) de 0,10-0,20 m, dos componentes principais CP1 e CP2, da análise de componentes principais com as amostras de solo, produtividade de grãos e população final de plantas.



PRG = produtividade de grãos; POP = população final de plantas; P = fósforo disponível (resina); pH = pH do solo; K^+ = potássio; Ca^{2+} = cálcio; Mg^{2+} = magnésio; Al^{3+} = alumínio; H+Al = acidez potencial; CTC = capacidade de troca de cátions; V = saturação por bases e m = saturação por alumínio. **Fonte:** Dados da pesquisa do autor.

No grupo III, somente a população final de plantas, identificou acessos localizados na parte inferior do gráfico biplot (Figura 4b), indicando que esses acessos apresentam maior população de plantas do que aqueles localizados na parte superior.

É importante ressaltar que a saturação por bases foi a variável com maior escore positivo, em ambas as camadas, e o teor de alumínio o elemento com maior escore negativo. Caires (2010) e Raij (2011) comentaram que a saturação por bases indica o quão perto o estado nutricional está do potencial de fertilidade para a cultura e que, em geral, os efeitos prejudiciais do alumínio refletem-se nas raízes, que se tornam menos alongadas. Ainda segundo os autores, por causa das interferências do alumínio no processo de divisão celular, as raízes paralisam seu crescimento, engrossam e não se ramificam normalmente, o que resulta em reduções expressivas na capacidade de exploração de água e nutrientes das camadas subsuperficiais do solo, induzindo mais suscetibilidade das plantas à deficiência hídrica e nutricional, causando reflexos negativos na produtividade.

4.3 CORRELAÇÃO ENTRE PRODUTIVIDADE DE GRÃOS E ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO

Verifica-se que dos componentes de produção, o único que apresentou correlação com a produtividade de grãos foi a massa de 100 grãos em ambos os sistemas de manejo (Tabela 8). A correlação foi positiva, ou seja, há efeito direto no aumento da MCG e o aumento da produtividade, resultados estes similares aos verificados por Dalchiavon e Carvalho (2012). Para os demais atributos supõem-se que a não detecção da correlação com a produtividade de grãos esteja relacionado ao efeito compensatório desses atributos.

Tabela 8 - Correlação de Pearson entre os atributos avaliados, na camada de 0-0,10 m, para os dois sistemas de manejo do solo. Selvíria, MS, 2015/16.

	Sistema Plantio Direto							Cultivo Mínimo						
	PRG	NVP	NGP	NGV	ALT	AIV	POP	PRG	NVP	NGP	NGV	ALT	AIV	POP
MCG	0,49**	-0,02	-0,03	-0,03	0,36**	0,27	0,22	0,67**	-0,23	-0,26	-0,07	0,11	0,18	0,32*
P	0,18	-0,28*	-0,22	0,07	0,10	0,23	0,22	0,07	0,25	0,17	-0,15	0,23	0,04	0,10
MO	-0,06	0,05	0,06	0,02	-0,08	0,20	0,16	-0,07	0,22	0,05	-0,33*	-0,05	-0,09	-0,14
pH	0,20	-0,23	-0,21	-0,03	-0,10	0,14	0,09	0,35*	0,19	0,11	-0,14	0,12	0,15	0,44**
K ⁺	0,13	-0,15	-0,10	0,07	0,17	0,06	0,01	-0,22	0,28*	0,18	-0,20	0,41**	0,16	-0,16
Ca ²⁺	0,13	-0,11	-0,14	-0,11	-0,11	0,04	0,21	0,06	0,14	-0,02	-0,29*	0,06	0,05	0,36**
Mg ²⁺	0,11	-0,01	-0,06	-0,13	-0,13	-0,04	0,15	0,07	0,09	-0,06	-0,26	0,01	0,07	0,40**
H+Al	-0,05	0,19	0,18	0,05	0,01	-0,05	0,15	-0,36**	-0,29*	-0,27	0,04	-0,21	-0,22	-0,49**
Al ³⁺	-	-	-	-	-	-	-	-0,46**	0,02	0,04	0,01	-0,16	-0,10	-0,19
SB	0,13	-0,07	-0,11	-0,11	-0,11	0,01	0,18	0,06	0,12	-0,03	-0,28*	0,05	0,07	0,38**
CTC	0,12	-0,02	-0,06	-0,11	-0,11	-0,01	0,23	-0,04	0,06	-0,11	-0,31*	0,00	0,01	0,29*
V	0,13	-0,16	-0,17	-0,08	-0,07	0,04	0,06	0,21	0,19	0,08	-0,19	0,09	0,11	0,45**
m	-	-	-	-	-	-	-	-0,41**	0,00	0,07	0,12	-0,09	-0,01	-0,16

PRG = produtividade de grãos; NVP = número de vagens por planta; NGP = número de grãos por planta; NGV = número de grãos por vagem; ALT = altura de plantas; AIV = altura de inserção da primeira vagem; POP = população final de plantas; MCG = massa de 100 grãos; P = fósforo disponível (resina); MO = matéria orgânica do solo; pH = pH do solo; K⁺ = potássio; Ca²⁺ = cálcio; Mg²⁺ = magnésio; Al³⁺ = alumínio; H+Al = acidez potencial; SB = soma de bases; CTC = capacidade de troca de cátions; V = saturação por bases e m = saturação por alumínio. * Significativo a 5% e ** Significativo a 1%. **Fonte:** Dados da pesquisa do autor.

Realizando a regressão linear entre os componentes de produção que apresentaram correlação com a produtividade de grãos, observa-se modelo linear para a MCG nos dois sistemas de manejo (Apêndice 1), com um baixo coeficiente de determinação, porém, significativo (SPD = 0,2389**; CM = 0,4461**). Assim, em SPD, pela aplicação dessa equação linear, pode-se ressaltar que a PRG teve seus valores mais baixos (3936-4437 kg ha⁻¹) quando a MCG variou entre 14,3-16,2 g. Em contrapartida, os valores mais elevados (4437-4859 kg ha⁻¹) quando a MCG variou entre 16,2-17,8 g. Da mesma forma, explorando a equação contida no Apêndice 1 agora no CM, pode-se observar que a PRG apresentou seus valores mais elevados

(4242-4937 kg ha⁻¹) quando a MGP variou entre 16,2-18,1g. Por outro lado, apresentou os mais baixos valores (3547-4242 kg ha⁻¹) quando a MCG variou entre 14,3-16,2 g. Cabe ressaltar que mesmo em áreas de menor produtividade, em ambos os sistemas de manejo, são consideradas excelentes produtividades em relação a média nacional (CONAB, 2016).

A correlação entre a produtividade de grãos e atributos químicos do solo em SPD (Tabela 8 e 9), foi significativo apenas para a CTC ($r = 0,33^{**}$) da camada de 0,10-0,20 m, indicando função crescente entre causa e efeito. Assim, com o aumento da CTC na segunda camada, ocorreu um aumento da produtividade de grãos. A CTC é considerada uma característica fundamental ao manejo da fertilidade do solo, pois quanto maior o seu valor, mais cátions esse solo pode reter (RAIJ, 2011).

Para o SPD, a PRG apresentou variação potencial direta com a CTC da segunda camada (Apêndice 2). Assim, quando a CTC for inferior a 48,6 mmol_c dm⁻³, a produtividade de grãos será de 4.018 kg ha⁻¹, produtividade essa maior que média nacional estabelecida para o ano agrícola de 2015/16, que foi 2.988 kg ha⁻¹ (CONAB, 2016). Esse resultado evidencia que para alcançar excelentes produtividades não basta ter apenas uma alta CTC no solo, mas também possuir teores de nutrientes adequados para o bom desenvolvimento da cultura.

No âmbito da correlação entre produtividade de grãos de soja e atributos químicos no CM foi verificado na primeira camada do solo, regressão significativa, com o pH do solo, H+Al, Al e m% (Apêndice 3). Para o pH, a PRG apresentou variação potencial direta, portanto, uma variação do pH de 5,0 para 6,0 levaria a uma variação na produtividade de 4.010 a 4.528 kg ha⁻¹, ou seja, aumento de produtividade em 518 kg ha⁻¹ (8,6 sc ha⁻¹). Avaliando H+Al, Al e m% verificou-se variação exponencial indireta para os três atributos. Assim, quando ocorrer redução da acidez do solo em todos seus componentes implicaria num máximo valor da PRG. Como descrito anteriormente, é conhecido na literatura o efeito negativo do Al no sistema radicular das plantas, que retarda o crescimento e desenvolvimento, aumentando o diâmetro das raízes e promovendo a diminuição do número de raízes laterais, as principais responsáveis pela absorção de água e nutrientes (SEDIYAMA, 2016). Considera-se que 2 mg L⁻¹ de Al³⁺ na solução do solo constitui uma concentração tóxica para muitas plantas cultivadas, podendo esta concentração ocorrer a pH 4,5 (em CaCl₂), mas não a 5,0 ou maior, pois haverá a neutralização do Al na forma de Al(OH)₃, principalmente (GUIMARÃES et al., 2016).

Para a segunda camada no CM, foi verificado regressão significativa com o pH do solo, teores de Ca, Mg, H+Al, Al, valores de SB, V% e m% (Apêndice 4). Resultados também observados por Reichert et al. (2008) em praticamente todos os atributos de solo descritos anteriormente que são influenciados pelo pH. O aumento do pH, correlaciona-se positivamente

com os teores de Ca, Mg, valores de SB e V% e negativamente com a H+Al, Al e saturação por Al (m%).

Tabela 9 - Correlação de Pearson entre os atributos avaliados, na camada de 0,10-0,20 m, para os dois sistemas de manejo do solo. Selvíria, MS, 2015/16.

	Sistema Plantio Direto							Cultivo Mínimo						
	PRG	NVP	NGP	NGV	ALT	AIV	POP	PRG	NVP	NGP	NGV	ALT	AIV	POP
MCG	0,49**	-0,02	-0,03	-0,03	0,36**	0,27	0,22	0,67**	-0,23	-0,26	-0,07	0,11	0,18	0,32*
P	0,17	-0,20	-0,15	0,08	-0,08	0,06	-0,03	-0,07	0,12	-0,01	-0,23	0,07	-0,20	-0,07
MO	-0,01	0,10	0,15	0,17	0,38**	0,37**	0,18	-0,10	0,22	0,06	-0,31*	-0,05	-0,21	-0,03
pH	0,07	-0,34*	-0,24	0,15	0,28*	0,46**	0,20	0,32*	0,20	0,12	-0,15	0,09	0,05	0,29*
K ⁺	0,26	-0,15	-0,08	0,13	0,15	0,26*	0,00	-0,10	0,31*	0,14	-0,33*	0,35*	0,07	-0,05
Ca ²⁺	0,23	-0,20	-0,17	0,02	0,20	0,26	0,37**	0,30*	0,26	0,14	-0,24	0,05	-0,06	0,33*
Mg ²⁺	0,10	-0,13	-0,15	-0,11	0,25	0,41**	0,35*	0,31*	0,17	0,06	-0,23	-0,02	-0,01	0,38**
H+Al	0,17	0,33*	0,24	-0,10	-0,15	-0,38**	-0,05	-0,43**	-0,15	-0,07	0,16	-0,16	-0,18	-0,36**
Al ³⁺	0,09	0,34*	0,22	-0,20	-0,31*	-0,46**	-0,19	-0,42**	-0,11	0,00	0,23	-0,14	-0,07	-0,25
SB	0,20	-0,19	-0,17	-0,02	0,24	0,35*	0,36**	0,30*	0,23	0,10	-0,25	0,04	-0,03	0,35*
CTC	0,33*	0,07	0,02	-0,10	0,12	0,05	0,32*	0,09	0,21	0,09	-0,23	-0,07	-0,17	0,21
V	0,05	-0,29*	-0,22	0,05	0,25	0,44**	0,28*	0,39**	0,20	0,08	-0,24	0,09	0,04	0,38**
m	-0,04	0,35*	0,24	-0,16	-0,30*	-0,48**	-0,25	-0,42**	-0,08	0,04	0,24	-0,14	-0,06	-0,29*

PRG = produtividade de grãos; NVP = número de vagens por planta; NGP = número de grãos por planta; NGV = número de grãos por vagem; ALT = altura de plantas; AIV = altura de inserção da primeira vagem; POP = população final de plantas; MCG = massa de 100 grãos; P = fósforo disponível (resina); MO = matéria orgânica do solo; pH = pH do solo; K⁺ = potássio; Ca²⁺ = cálcio; Mg²⁺ = magnésio; Al³⁺ = alumínio; H+Al = acidez potencial; SB = soma de bases; CTC = capacidade de troca de cátions; V = saturação por bases e m = saturação por alumínio. * Significativo a 5% e ** Significativo a 1%. **Fonte:** Dados da pesquisa do autor.

Verifica-se que para o pH, a PRG apresentou variação linear direta. Assim, uma variação do pH de 4,0 para 5,0 levaria à uma variação na produtividade de 3.888 a 4.290 kg ha⁻¹, ou seja, 402 kg ha⁻¹ (6,7 sc ha⁻¹). Avaliando o Ca, Mg, SB e V% verificou-se variação potencial direta para quatro atributos. Enquanto que para a H+Al, Al e m% verificou-se variação exponencial indireta para os três atributos. Assim como verificado anteriormente no SPD, quando ocorrer o mínimo teor desses atributos de acidez no solo haveria máximo valor da PRG, nas áreas escarificadas.

Os resultados apresentados no presente trabalho estão de acordo com os de Montezano et al. (2006) e Silva et al. (2015). Estes autores verificaram que, em escala de campo, as correlações lineares dos atributos de fertilidade do solo com a produtividade de grãos geralmente são baixos (menores que 0,50), pois a produtividade também é influenciada por outros atributos, como os físicos do solo, além dos bióticos e abióticos, o que não foi avaliado nesse experimento.

Essas constatações apontam para a necessidade de estudar outros atributos, como físicos do solo, o desenvolvimento do sistema radicular, nodulação, teores de nutrientes nas folhas e/ou planta inteira, que poderiam auxiliar na interpretação dos resultados de futuros trabalhos no conceito de fertilidade ampla do solo.

4.4 ANÁLISE GEOESTATÍSTICA

Para o SPD, a análise dos parâmetros semivariográficos simples (

Tabela **10** e Apêndice 5) para componentes de produção e produtividade de grãos, revelou que, com exceção da POP, AIV e NGV, que apresentaram efeito pepita puro, todos os demais atributos apresentaram dependência espacial. Tal fato denotou que o comportamento desses atributos regionalizados que apresentaram dependência espacial não foi aleatório e que as distâncias entre pontos utilizadas na malha geoestatística foram suficientes para o estudo da variabilidade espacial.

Segundo Dalchiavon et al. (2017), uma das maneiras de avaliar o desempenho dos semivariogramas, é a análise a partir dos seus respectivos coeficientes de determinação espacial (R^2), de modo que o comportamento pela relação decrescente dos melhores ajustes, em SPD, seguiu: NGP (0,957), ALT (0,929), NVP (0,839), PRG (0,815) e MCG (0,632). O NGP em SPD indicou ser o atributo de melhor ajuste semivariográfico, resultado diferente ao observado por Lovera (2015), que teve na MCG (0,936) o atributo de maior coeficiente de determinação, ao estudar atributos do solo e cultivo da soja em área sem irrigação em LATOSSOLO VERMELHO em SPD.

Verifica-se, para maior parte dos atributos, elevada dependência espacial ($ADE > 75\%$), exceção à ALT, NVP, NGV e MCG, os quais apresentaram ADEs menores. O alcance de um semivariograma é o principal parâmetro fornecido pela geoestatística, representando a distância na qual uma variável regionalizada apresenta continuidade espacial, sendo que a partir desta distância, o comportamento espacial da variável passa a ser totalmente aleatório (VIEIRA, 2000). Os alcances variaram de 21,1 m (PRG) a 94,6 m (ALT). Há na literatura pesquisas que mostram alcances diferentes para o mesmo atributo de planta em Latossolo Vermelho textura argilosa (DALCHIAVON et al., 2017; LOVERA, 2015), isso acontece porque a variabilidade dos componentes de produção e da produtividade da cultura está associada a vários fatores como o cultivar utilizado, o histórico de uso e manejo da área, o relevo, as adubações e, as condições climáticas do ano agrícolas serem diferentes. Assim é pouco provável que existam dois locais que tenham recebido a mesma combinação ou interação de fatores.

Tabela 10 - Parâmetros dos modelos ajustados aos semivariogramas experimentais simples para os componentes de produção da soja, produtividade de grãos e atributos químicos, na camada de 0-0,10 e 0,10-0,20 m, de um LATOSSOLO VERMELHO Distrófico sob Plantio Direto. Selvíria, MS, Brasil, 2015/16.

Atributo	Modelo	Efeito Pepita (C ₀)	Patamar (C ₀ + C)	Alcance (m)	R ²	SQR	ADE		Validação cruzada		
							%	Classe	a	b	r
POP	epp.	4,19.10 ⁸	4,19.10 ⁸	-	-	-	-	-	-	-	-
AIV	epp.	2,63.10 ⁻⁴	2,63.10 ⁻⁴	-	-	-	-	-	-	-	-
ALT	esf (69)	2,21.10 ⁻³	5,44.10 ⁻³	94,6	0,929	7,57.10 ⁻⁷	59,4	ME	3,00.10 ⁻²	0,97	0,578
NVP	esf (75)	2,19.10	5,60.10	32,0	0,839	6,07.10	60,9	AL	8,91	0,82	0,386
NGP	esf (72)	1,64.10 ²	3,36.10 ²	36,4	0,957	4,41.10 ²	51,1	ME	2,11.10	0,81	0,338
NGV	epp.	2,90.10 ⁻²	2,90.10 ⁻²	-	-	-	-	-	-	-	-
MCG	esf (64)	3,31.10 ⁻¹	6,72.10 ⁻¹	31,1	0,632	1,75.10 ⁻²	50,7	ME	1,07	0,93	0,356
PRG	esf (70)	8,30.10 ³	1,85.10 ⁵	21,1	0,815	7,53.10 ⁸	95,5	MA	4,88.10	0,99	0,484
P1	gau (75)	8,30	1,29.10 ²	20,1	0,866	5,11.10 ²	93,6	MA	-2,19	1,11	0,675
P2	exp (67)	1,00.10 ⁻¹	6,16.10	33,0	0,943	3,72.10	99,8	MA	-1,02	1,07	0,522
MO1	exp (67)	9,70.10 ⁻¹	4,87	73,2	0,898	7,87.10 ⁻¹	80,1	MA	-7,70.10 ⁻¹	1,03	0,512
MO2	esf (69)	8,41.10 ⁻¹	2,18	49,9	0,978	2,48.10 ⁻²	61,4	AL	-1,50	1,08	0,510
pH1	esf (76)	7,10.10 ⁻³	9,92.10 ⁻²	26,5	0,524	1,61.10 ⁻³	92,8	MA	8,50.10 ⁻¹	0,84	0,524
pH2	esf (82)	6,30.10 ⁻³	8,92.10 ⁻²	26,7	0,971	3,91.10 ⁻⁵	92,9	MA	5,20.10 ⁻¹	0,89	0,559
K1	exp (82)	4,80.10 ⁻²	1,51	21,0	0,788	2,99.10 ⁻²	96,8	MA	-3,80.10 ⁻¹	1,10	0,405
K2	exp (71)	9,40.10 ⁻²	8,45.10 ⁻¹	29,1	0,767	2,19.10 ⁻²	88,9	MA	-1,00.10 ⁻²	1,01	0,390
Ca1	esf (66)	1,22.10	1,52.10 ²	26,3	0,947	2,24.10 ²	92,0	MA	1,14.10 ¹	0,68	0,377
Ca2	esf (72)	1,52.10	3,73.10	59,6	0,985	3,81	59,4	ME	3,08	0,82	0,407
Mg1	esf (67)	1,08.10	1,23.10 ²	22,6	0,842	2,83.10 ²	91,2	MA	9,62	0,70	0,336
Mg2	exp (74)	1,31	1,47.10	38,4	0,963	1,37	91,1	MA	5,10.10 ⁻¹	0,97	0,506
H+Al1	epp.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
H+Al2	esf (68)	1,00.10 ⁻¹	4,54.10	22,8	0,967	8,84	99,8	MA	2,30.10 ⁻¹	0,99	0,564
Al1	epp.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Al2	exp (69)	2,50.10 ⁻²	1,03	35,4	0,921	1,53.10 ⁻²	97,6	MA	5,00.10 ⁻²	0,97	0,567
SB1	esf (67)	4,70.10	5,53.10 ²	25,4	0,905	4,55.10 ³	91,5	MA	2,66.10	0,63	0,339
SB2	esf (65)	3,73.10	1,09.10 ²	58,9	0,973	8,42.10	65,8	AL	1,49	0,96	0,529
CTC1	esf (66)	3,40.10	4,68.10 ²	23,9	0,835	5,92.10 ³	92,7	MA	2,77.10	0,73	0,361
CTC2	exp (66)	1,00.10 ⁻¹	6,45.10	33,3	0,965	2,43.10	99,8	MA	-2,28.10	1,32	0,611
V1	epp.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
V2	exp (82)	2,80	9,58.10	31,2	0,918	1,03.10 ²	97,1	MA	1,05	0,98	0,513
m1	epp.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
m2	esf (79)	4,81	1,03.10	53,8	0,916	1,67	53,5	ME	-2,10.10 ⁻¹	1,05	0,586

POP = população final de plantas; AIV = altura de inserção da 1^o vagem; ALT = altura de plantas; NVP = número de vagens por planta; NGP = número de grãos por planta; NGV = número de grãos por vagem; MCG = massa de 100 grãos; PRG = produtividade de grãos; P = fósforo disponível (resina); MO = matéria orgânica do solo; pH = pH do solo; K = potássio; Ca = cálcio; Mg = magnésio; Al = alumínio trocável; H+Al = acidez potencial; SB = soma de bases; CTC = capacidade de troca de cátions; V = saturação por bases; m = saturação por alumínio. Números 1 e 2 precedidos correspondem a primeira (0-0,10 m) e segunda camada (0,10-0,20 m). Esf, gau e exp são respectivamente, modelos esférico, gaussiano e exponencial. Entre parênteses o número de pares no 1^o lag; epp = efeito pepita puro; R² = coeficiente de determinação; SQR = soma dos quadrados dos resíduos; ADE = avaliador da dependência espacial, sendo ME, AL e MA, dependência espacial média, alta e muito alta. **Fonte:** Dados da pesquisa do autor.

Molin, Amaral e Colaço (2015) explica que a análise do alcance pode indicar qual a distância mínima exigida entre amostras para que a variabilidade de um determinado atributo seja fielmente modelada pela krigagem, e recomenda que essa distância deva ser igual ou inferior à metade do alcance. Assim para uma fiel descrição da produtividade de grãos na área, as distâncias entre amostras não poderiam ser maiores que 10,5 m. Portanto, visando auxiliar pesquisas futuras, em áreas mais extensas, na qual os mesmos atributos estejam envolvidos, esses resultados mostram que para gerar informações com essa quantidade de detalhes o interessante seria trabalhar com monitores de produtividade de grãos embarcados em colhedoras de grãos, pois, uma colhedora de grãos com plataforma de 10 m de largura e que se desloca a uma velocidade de $1,4 \text{ m s}^{-1}$ (5 km h^{-1}) com frequência de coleta de um ponto a cada dois segundos proporcionará a coleta de um ponto de produtividade a cada 2,8 m, o que resultaria em um mapa de produtividade extremamente detalhado, confiável e com distância mínima menor que a sugerida nessa pesquisa.

No SPD, a análise semivariográfica dos atributos químicos do solo estudados (

Tabela 10, Apêndice 7 e 8), revelou efeito pepita puro para H+Al, Al, V% e m% da primeira camada, os demais atributos apresentaram dependência espacial. Tal resultado pode estar relacionado à aplicação de calcário na superfície do solo três meses antes da semeadura da soja. Analisando o coeficiente de determinação (R^2) dos semivariogramas e realizando uma relação decrescente deles, verifica-se na primeira camada do solo a sequência: Ca (0,947), SB (0,905), MO (0,898), P (0,866), Mg (0,842), CTC (0,835), K (0,788), pH (0,524). Enquanto na segunda camada a sequência foi Ca (0,985), MO (0,978), SB (0,973), pH (0,971), H+Al (0,967), CTC (0,965), Mg (0,963), P (0,943), Al (0,921), V (0,918), m (0,916) e K (0,767).

O teor de cálcio no solo no SPD, nas duas camadas, indicou ser o atributo de melhor ajuste semivariográfico, resultado diferente ao observado por Dalchiavon et al. (2012), que teve na V% (0,996) e a MO (0,993) os atributos de maiores coeficientes de determinação, na primeira e segunda camada, respectivamente.

Verifica-se para maior parte dos atributos elevada dependência espacial ($ADE > 75\%$), exceção a MO, Ca e SB da segunda camada em SPD (Tabela 10), os quais apresentaram ADEs menores. Os alcances variaram de 20,1 m (P) a 73,2 m (MO) para os atributos químicos, na camada de 0-0,10 m, e de 26,7 m (pH) a 59,6 m (Ca) na camada de 0,10-,20 m. Novamente, para um bom levantamento dos teores de P na área experimental, seria necessário nos próximos trabalhos utilizar distância mínima entre pontos de 10 m. No entanto, devido aos elevados custos de amostragem e de análise de fertilidade, há dificuldade em harmonizar o rigor geoestatístico com a viabilidade econômica e operacional para a caracterização da fertilidade

do solo em escala comercial. O que abriria a oportunidade para trabalhar com sensores de solo embarcados em máquina para determinação da fertilidade do solo com maior detalhamento. Atualmente, já existem sensores com capacidade de realizar até 400 leituras ha⁻¹ de MO, pH e condutividade elétrica do solo (GIMENEZ, 2013).

Para o CM, a análise dos parâmetros semivariográficos simples (Tabela 11 e Apêndice 6) para os componentes de produção e produtividade de grãos da soja, revelou que, com exceção da AIV, que apresentou efeito pepita puro, todos os demais atributos apresentaram dependência espacial. Analisando os coeficientes de determinação espacial (R^2), a ordem decrescente foi: NVP (0,980), MCG (0,966), ALT (0,959), POP (0,901), PRG (0,863), NGV (0,845) e NGP (0,709). O NVP, sob CM, indicou ser o atributo de melhor ajuste semivariográfico, resultado diferente observado por Montanari (2009) que não observou ajustes dos componentes de produção e produtividade de grãos para a cultura do feijão em solo escarificado sob SPD.

Verifica-se dependência espacial para maior parte dos atributos, com elevada dependência espacial ($ADE > 75\%$), exceção da altura de plantas, número de vagens por planta e massa de 100 grãos, os quais apresentaram ADEs menores. Para o alcance dos atributos, verifica-se o menor valor para o NGV (23,4 m) e o maior para a MCG (56,5 m). Esses resultados mostram que a escarificação do solo em SPD proporcionou menor variabilidade nos componentes de produção e na produtividade de grãos, o que refletiu em um maior alcance e dependência espacial, em comparação a área em SPD.

Na análise semivariográfica dos atributos químicos do solo estudados em CM (Tabela 11, Apêndice 9 e 10), verifica-se efeito pepita puro, na camada de 0-0,10 m, para Al e m%, e na camada de 0,10-0,20m, para K e Ca. Os demais atributos apresentaram dependência espacial. Analisando o coeficiente de determinação (R^2) dos semivariogramas e realizando uma relação decrescente deles, verifica-se na primeira camada do solo a sequência: H+Al (0,936), pH (0,929), MO (0,866), Mg (0,846), P (0,844), Ca (0,834), SB (0,831), CTC (0,782), K (0,708) e V (0,526). Enquanto na segunda camada a sequência foi: H+Al (0,979), V (0,936), m (0,925), MO (0,922), pH (0,87), CTC (0,866), Al (0,784), P (0,725), Mg (0,713) e SB (0,564).

Verifica-se para a maior parte dos atributos elevada dependência espacial ($ADE > 75\%$), exceção na camada de 0-0,10 m para o K e V% e na camada de 0,10-0,20 m para o P, Mg e SB os quais apresentaram ADEs menores. Os alcances variaram de 20,7 m (V) a 101,4 m (K) na primeira camada, enquanto que na segunda foram de 19,5 m (SB) a 73,3 m (V).

Tabela 11 - Parâmetros dos modelos ajustados aos semivariogramas experimentais simples para os componentes de produção da soja, produtividade de grãos e atributos químicos, na camada de 0-0,10 e 0,10-0,20 m, de um LATOSSOLO VERMELHO Distrófico sob Cultivo Mínimo. Selvíria, MS, 2015/16.

Atributo	Modelo	Efeito Pepita (C_0)	Patamar ($C_0 + C$)	Alcance (m)	R^2	SQR	ADE		Validação cruzada		
							%	Classe	a	b	r
POP	exp (67)	$4,01.10^7$	$2,88.10^8$	30,3	0,901	$8,97.10^{14}$	86,1	MA	$-4,87.10^3$	1,02	0,410
AIV	epp.	$3,69.10^{-4}$	$3,69.10^{-4}$	-	-	-	-	-	-	-	-
ALT	esf (67)	$8,21.10^{-4}$	$2,57.10^{-3}$	43,9	0,959	$5,56.10^{-8}$	68,1	AL	$9,00.10^{-2}$	0,91	0,451
NVP	esf (66)	1,96.10	4,02.10	43,7	0,980	3,83	51,2	ME	1,03.10	0,79	0,361
NGP	exp (67)	2,36.10	$1,78.10^2$	24,9	0,709	$7,34.10^2$	86,8	MA	2,41	0,98	0,407
NGV	exp (66)	$2,62.10^{-3}$	$1,54.10^{-2}$	23,4	0,845	$2,03.10^{-6}$	83,0	MA	3,02	-0,32	0,095
MCG	esf (82)	$4,22.10^{-1}$	1,13	56,5	0,966	$1,00.10^{-2}$	62,7	AL	1,19	0,93	0,492
PRG	esf (79)	$5,75.10^4$	$2,47.10^5$	31,3	0,863	$1,43.10^9$	76,7	AL	$3,61.10^2$	0,92	0,546
P1	exp (67)	9,20	5,02.10	41,4	0,844	6,65.10	81,7	MA	$-9,40.10^{-1}$	1,05	0,496
P2	exp (66)	9,20	8,85.10	23,4	0,725	$1,67.10^2$	89,6	MA	9,42	0,57	0,212
MO1	exp (64)	$3,90.10^{-1}$	4,61	28,5	0,866	$2,87.10^{-1}$	91,5	MA	2,80	0,88	0,370
MO2	esf (74)	1,62	3,27	46,8	0,922	$1,02.10^{-1}$	50,5	ME	$-1,40.10^{-1}$	1,01	0,453
pH1	exp (77)	$1,86.10^{-2}$	$1,35.10^{-1}$	31,2	0,929	$1,26.10^{-4}$	86,2	MA	$-7,50.10^{-1}$	1,14	0,387
pH2	exp (62)	$1,66.10^{-2}$	$1,53.10^{-1}$	24,6	0,870	$2,34.10^{-4}$	89,2	MA	$-6,40.10^{-1}$	1,13	0,385
K1	esf (70)	$4,56.10^{-1}$	$9,13.10^{-1}$	101,4	0,708	$8,06.10^{-2}$	50,1	ME	$-2,90.10^{-1}$	1,06	0,512
K2	epp.	$8,45.10^{-1}$	$8,45.10^{-1}$	-	-	-	-	-	-	-	-
Ca1	esf (68)	6,25.10	$1,45.10^2$	37,0	0,834	$5,18.10^2$	56,8	ME	3,65	0,90	0,362
Ca2	epp.	8,53.10	8,53.10	-	-	-	-	-	-	-	-
Mg1	esf (75)	3,89.10	$1,66.10^2$	25,7	0,846	$5,23.10^2$	76,6	AL	1,34	0,97	0,415
Mg2	exp (68)	8,30	6,80.10	21,3	0,713	8,48.10	87,8	MA	9,93	0,50	0,145
H+Al1	esf (72)	5,20	4,37.10	22,4	0,936	1,12.10	88,1	MA	1,07.10	0,65	0,266
H+Al2	exp (69)	3,08.10	$1,07.10^2$	65,7	0,979	4,17.10	71,3	AL	9,34	0,77	0,385
Al1	epp.	$1,72.10^{-1}$	$1,72.10^{-1}$	-	-	-	-	-	-	-	-
Al2	esf (67)	3,29	6,85	55,0	0,784	2,22	52,0	ME	$4,90.10^{-1}$	0,78	0,329
SB1	exp (78)	$6,60.10^1$	$6,66.10^2$	21,9	0,831	$4,69.10^3$	90,1	MA	4,56	0,94	0,255
SB2	exp (69)	$3,00.10^1$	$2,95.10^2$	19,5	0,564	$2,35.10^3$	89,8	MA	7,12	0,84	0,212
CTC1	exp (82)	$5,10.10^1$	$5,16.10^2$	24,3	0,782	$5,29.10^3$	90,1	MA	-1,60	1,02	0,322
CTC2	exp (69)	$1,01.10^1$	$1,36.10^2$	20,7	0,866	$1,20.10^2$	92,6	MA	2,74.10	0,68	0,205
V1	exp (68)	$1,09.10^1$	9,52.10	20,7	0,526	$3,58.10^2$	88,6	MA	1,39.10	0,80	0,182
V2	esf (65)	$1,10.10^2$	$2,20.10^2$	73,3	0,936	$6,45.10^2$	50,0	ME	1,43.10	0,72	0,321
m1	epp.	$5,28.10^{-1}$	$5,28.10^{-1}$	-	-	-	-	-	-	-	-
m2	esf (68)	$3,76.10^1$	7,52.10	48,5	0,925	5,80.10	50,0	ME	3,36	0,51	0,210

POP = população final de plantas; AIV = altura de inserção da 1ª vagem; ALT = altura de plantas; NVP = número de vagens por planta; NGP = número de grãos por planta; NGV = número de grãos por vagem; MCG = massa de 100 grãos; PRG = produtividade de grãos; P = fósforo disponível (resina); MO = matéria orgânica do solo; pH = pH do solo; K = potássio; Ca = cálcio; Mg = magnésio; Al = alumínio trocável; H+Al = acidez potencial; SB = soma de bases; CTC = capacidade de troca de cátions; V = saturação por bases; m = saturação por alumínio. Números 1 e 2 precedidos correspondem a primeira (0-0,10 m) e segunda camada (0,10-0,20 m). Esf e exp são respectivamente, modelos esférico e exponencial. Entre parênteses o número de pares no 1º lag; epp = efeito pepita puro; R^2 = coeficiente de determinação; SQR = soma dos quadrados dos resíduos; ADE = avaliador da dependência espacial, sendo ME, AL e MA, dependência espacial média, alta e muito alta. **Fonte:** Dados da pesquisa do autor.

Cabe destacar que os alcances da dependência espacial foram menores para o SPD, na camada de 0-0,10 m, em comparação a área escarificada, apresentando alcances maiores apenas para a MO e SB. Assim, pode-se concluir que a escarificação diminuiu a variabilidade dos atributos químicos na primeira camada o que proporcionou maiores alcances. Como discutido anteriormente, estes resultados podem estar associados à redução do gradiente de concentração superficial observado em SPD (ELTZ; PEIXOTO; JASTER, 1989; RODRÍGUEZ-GARAY; CAMACHO-TAMAYO; RUBIANO-SANABRIA, 2016). No entanto, na camada de 0,10-0,20 m, verifica-se o oposto, com maiores alcances no SPD em relação ao CM, exceção à H+Al, Al e V%. Souza (1992) avaliando a variabilidade espacial do solo em sistemas de manejo verificou que camadas e áreas que possuem menor efeito antrópico, como as camadas subsuperficial em SPD, apresentam menor variabilidade espacial de atributos químicos e maiores alcances.

4.4.1 Mapas de krigagem dos atributos de planta e solo

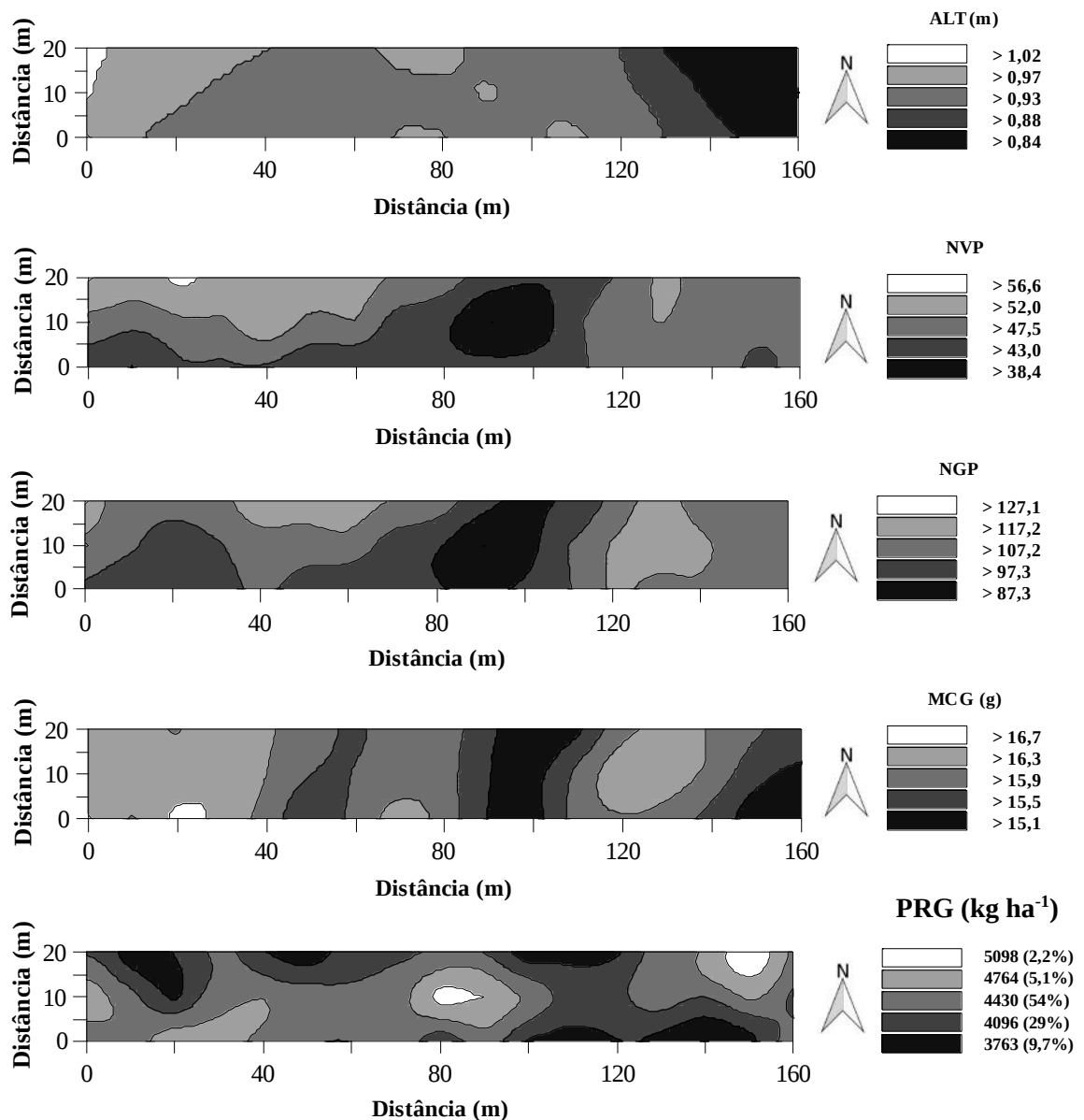
Nas Figuras 5 e 6, são apresentados os mapas de krigagem para componentes de produção e produtividade de grãos de soja para SPD e CM, respectivamente. Verifica-se que a produtividade média (4434 kg ha^{-1}) em SPD representou 54% da área, enquanto que no CM (4259 kg ha^{-1}) foi de 40% do mapa. Esses resultados complementam os verificados anteriormente, que além de ser verificada maior produtividade de grãos em SPD também se observa áreas mais extensas com a mesma escala de produtividade. Esses resultados podem estar relacionados com uma maior absorção de água e nutrientes pela cultura, decorrente da maior umidade disponível no solo sob SPD, que é reflexo da presença de cobertura do solo por resíduos vegetais e, da distribuição superficial uniforme da palhada das culturas, que leva a uma baixa variabilidade da matéria orgânica em superfície (CAIRES; FONSECA, 2000).

Verifica-se ainda que, as maiores produtividade de grãos em SPD (5.098 kg ha^{-1}) foram localizadas na região central e nordeste do mapa, onde se encontram os maiores valores de CTC e maior disponibilidade de nutrientes como Ca e Mg (Figuras 7 e 8). Enquanto que as menores produtividades foram constatadas nas extremidades do talhão, tanto na parte superior quanto na inferior, onde observa-se maior acidez do solo e menores teores de nutrientes na primeira (P, K, Ca e Mg) e segunda camada (P). Alcântara (2015) ao estudar a variabilidade espacial e temporal da produtividade de milho e soja e sua relação com atributos do solo também verificou menores produtividades nas bordas dos talhões. O autor conclui essas regiões estão mais sujeitas a manobras de máquinas agrícolas e, conseqüentemente, a maior compactação do solo.

Analizando o mapa de krigagem da PRG no CM (Figura 6), verificam-se maiores produtividades (4.618 kg ha^{-1}) na região nordeste do mapa, onde observa-se menor acidez do

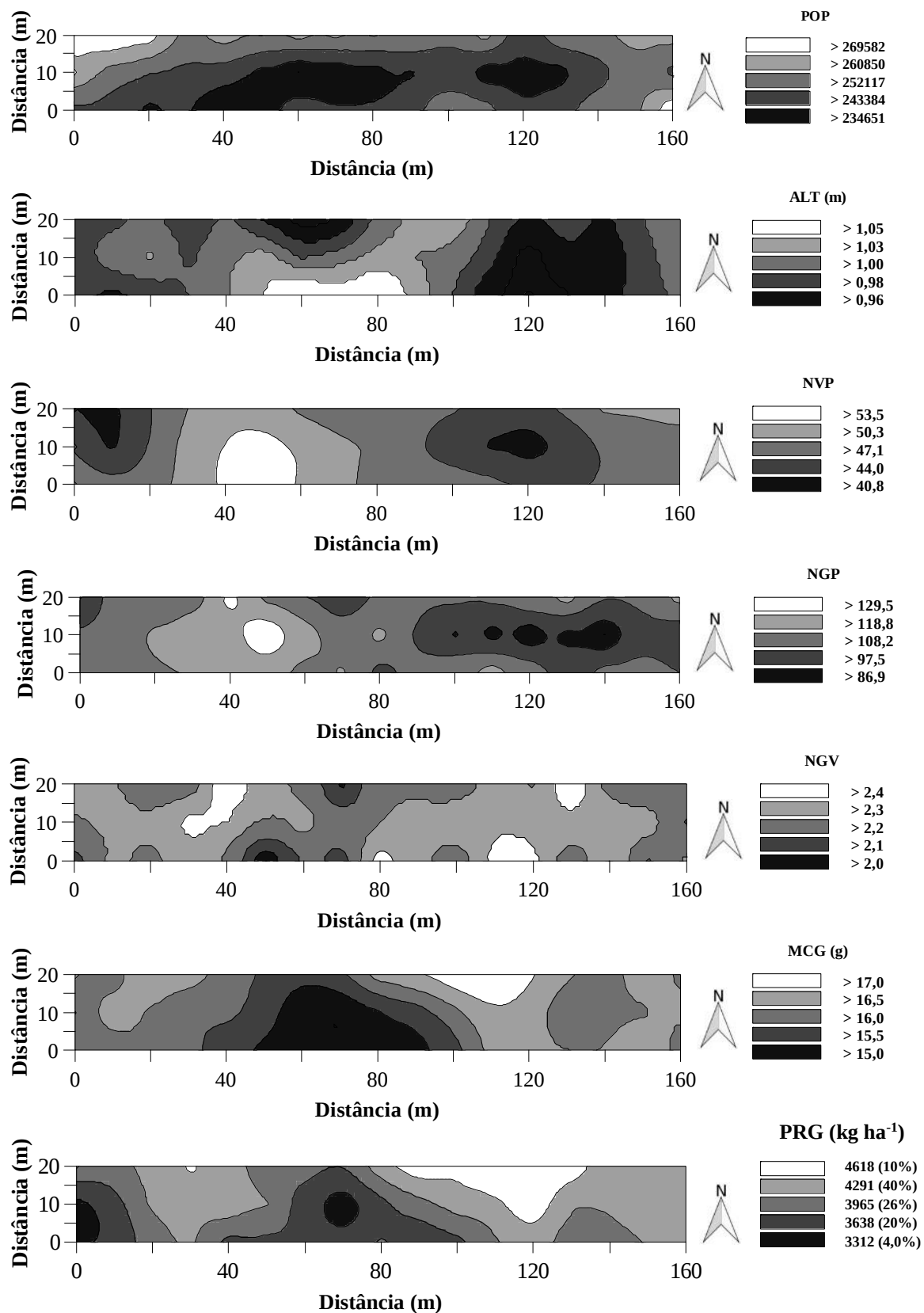
solo e maiores teores de nutrientes na primeira (Ca) e V% na segunda camada (Figuras 9 e 10). Enquanto que as menores produtividades foram encontradas no centro e na borda a esquerda, regiões de maior acidez trocável (Al) e potencial (H+Al). Verifica-se também que essa região de baixa produtividade a esquerda é localizada próxima a estrada e entradas de máquinas onde também são feitas as manobras, reposição de insumos agrícolas e sujeito também à deriva de herbicidas aplicados em talhões próximos como foi observado no CM. Nas regiões menos produtivas também foi observado menor MCG e POP.

Figura 5 - Mapas de krigagem da altura de plantas (ALT), número de vagens por planta (NVP), de grãos por planta (NGP), massa de 100 grãos (MCG) e produtividade de grãos (PRG) da cultura da soja em um LATOSSOLO VERMELHO Distrófico sob Plantio Direto. Selvíria, MS, Brasil, 2015/16.



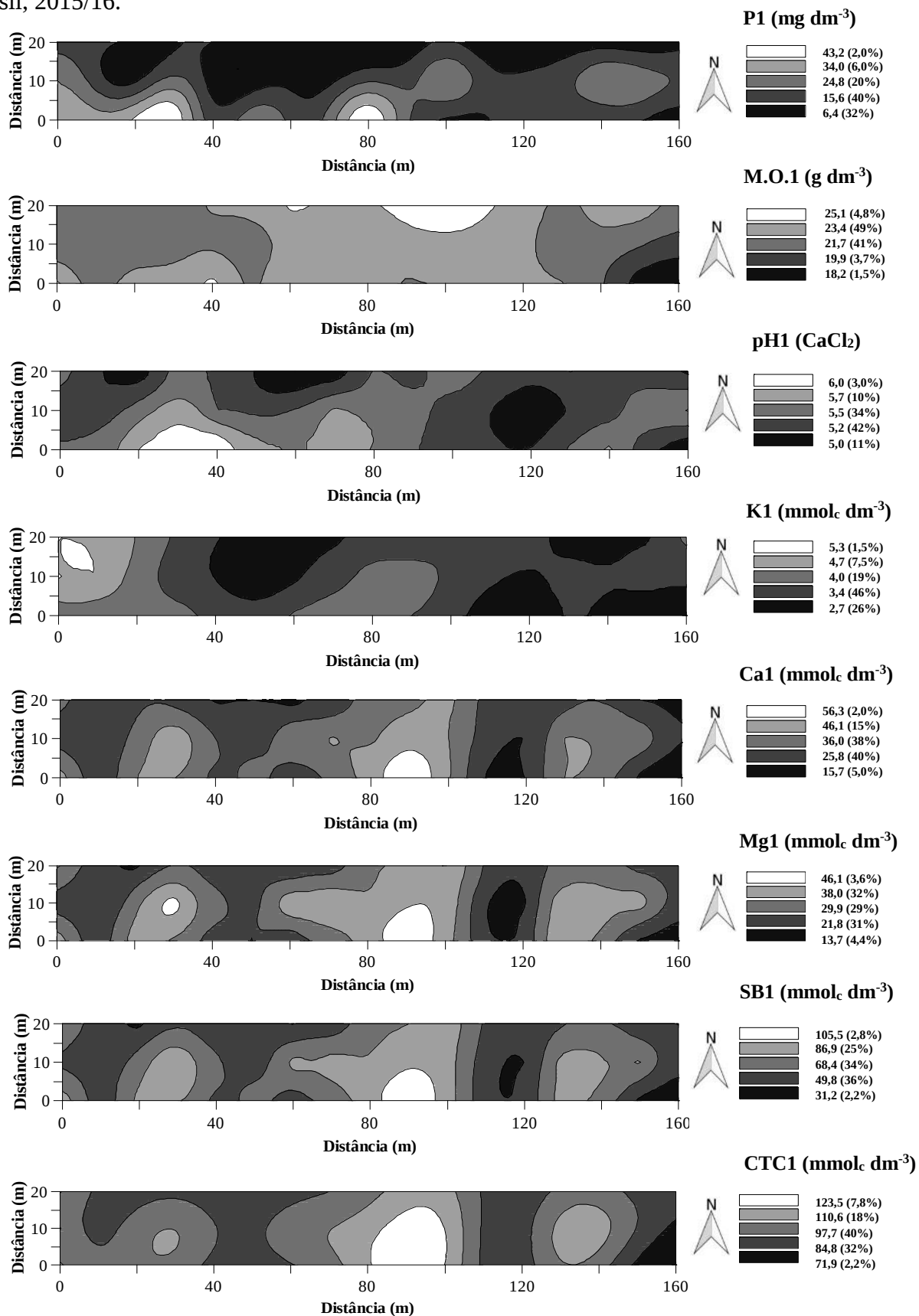
Fonte: Dados da pesquisa do autor.

Figura 6 - Mapas de krigagem da população final de plantas (POP), altura de plantas (ALT), número de vagens por planta (NVP), de grãos por planta (NGP), de grãos por vagem (NGV), massa de 100 grãos (MCG) e produtividade de grãos (PRG) da cultura da soja em um LATOSSOLO VERMELHO Distrófico sob Cultivo Mínimo. Selvíria, MS, Brasil, 2015/16.



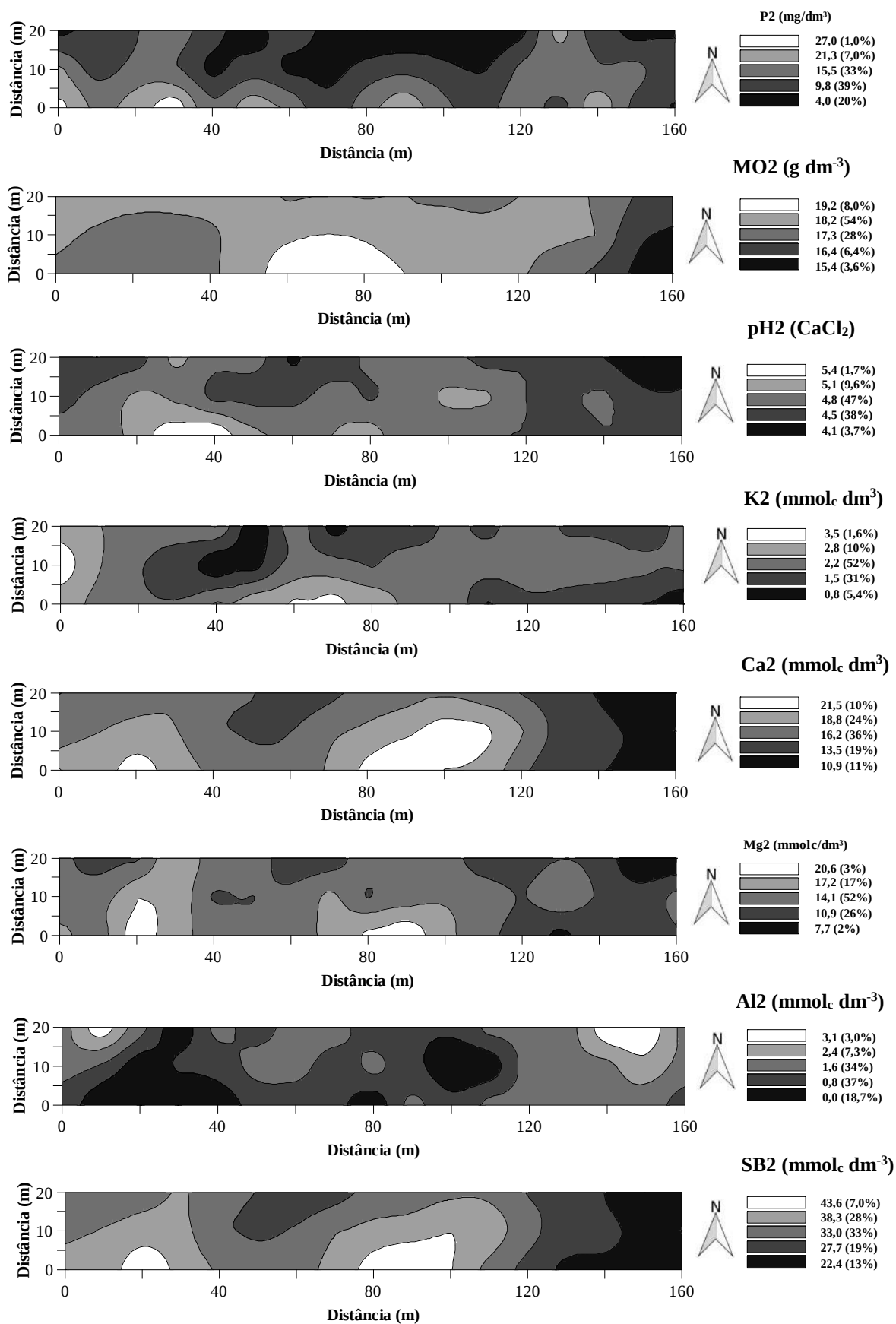
Fonte: Dados da pesquisa do autor.

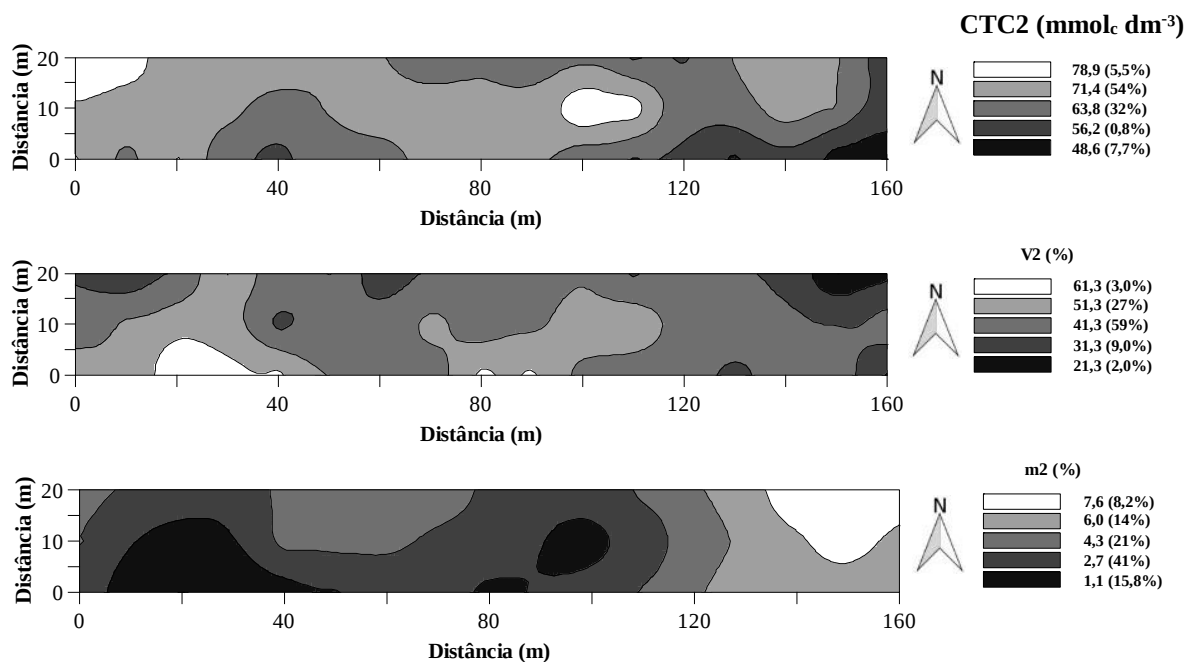
Figura 7 - Mapas de krigagem dos atributos químicos de um LATOSSOLO VERMELHO Distrófico, na camada de 0-0,10 m, após a cultura da soja sob Plantio Direto. Selvíria, MS, Brasil, 2015/16.



Fonte: Dados da pesquisa do autor.

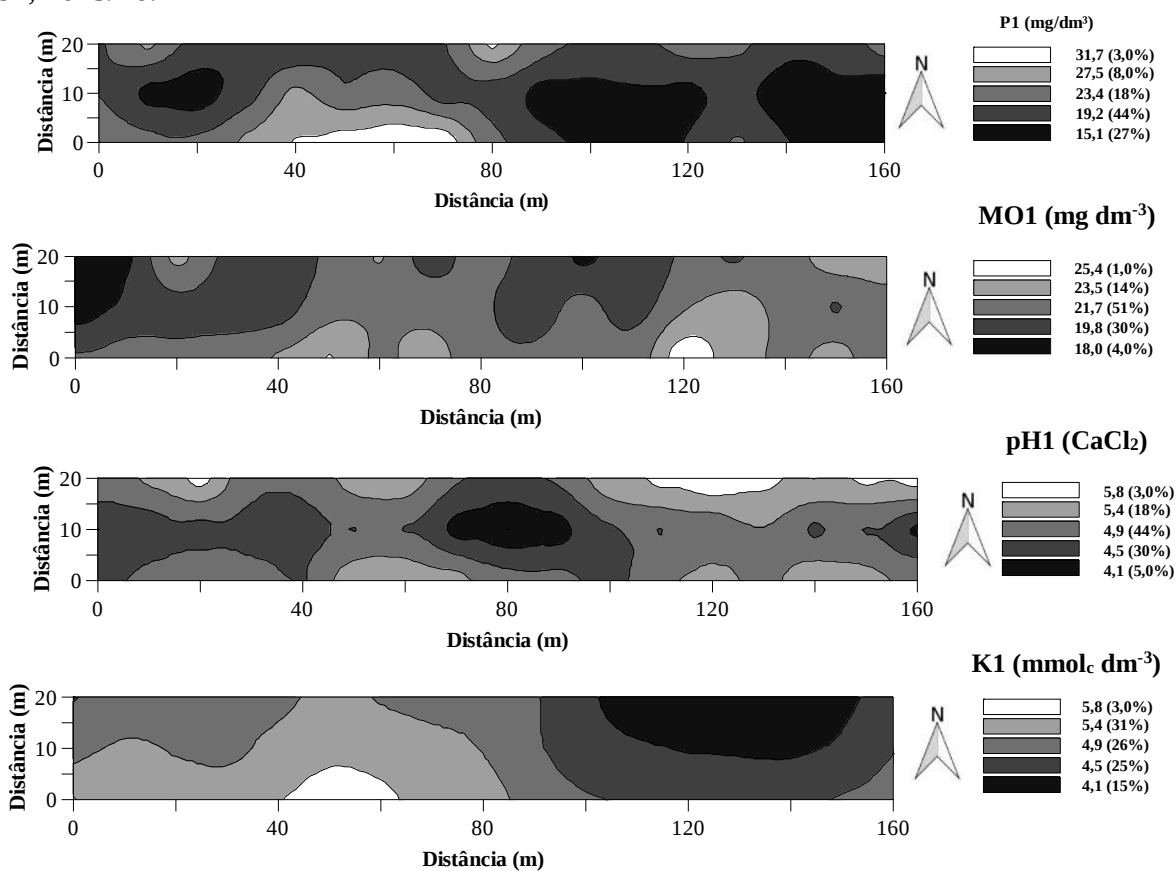
Figura 8 - Mapas de krigagem dos atributos químicos de um LATOSSOLO VERMELHO Distrófico, na camada de 0,10-0,20 m, após a cultura da soja sob Plantio Direto. Selvíria, MS, Brasil, 2015/16.

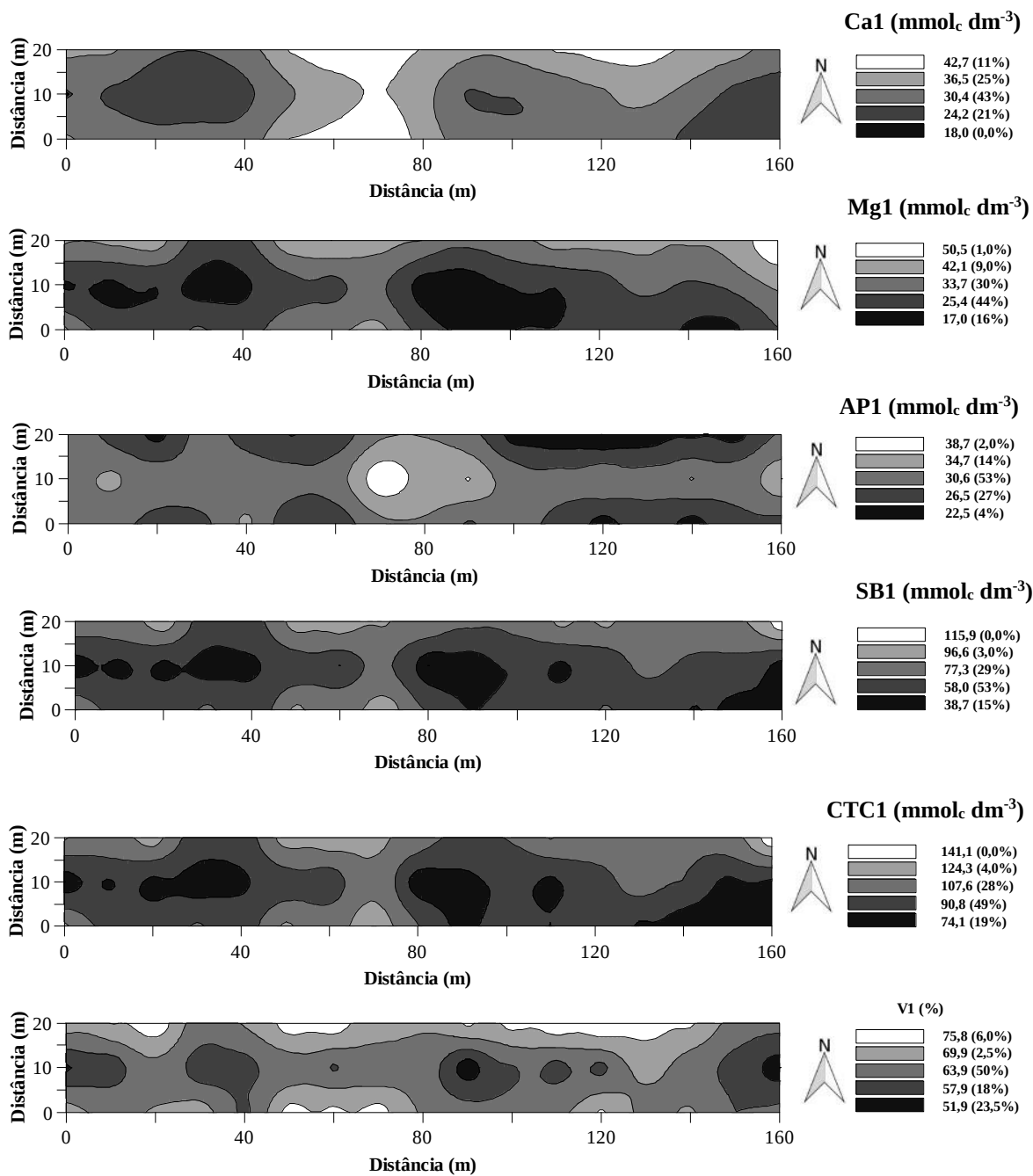




Fonte: Dados da pesquisa do autor.

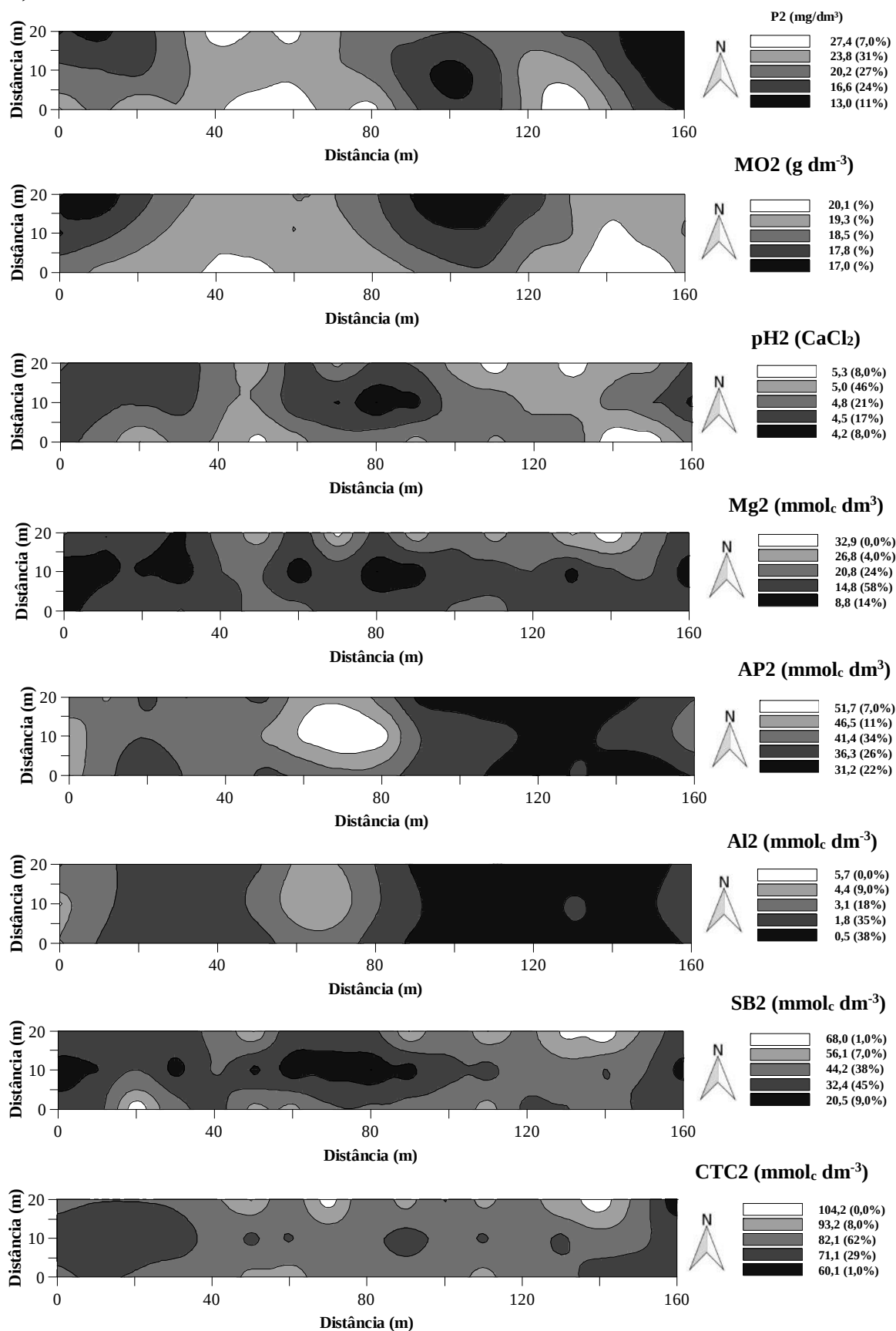
Figura 9 - Mapas de krigagem dos atributos químicos de um LATOSSOLO VERMELHO Distrófico, na camada de 0-0,10 m, após a cultura da soja sob Cultivo Mínimo. Selvíria, MS, Brasil, 2015/16.

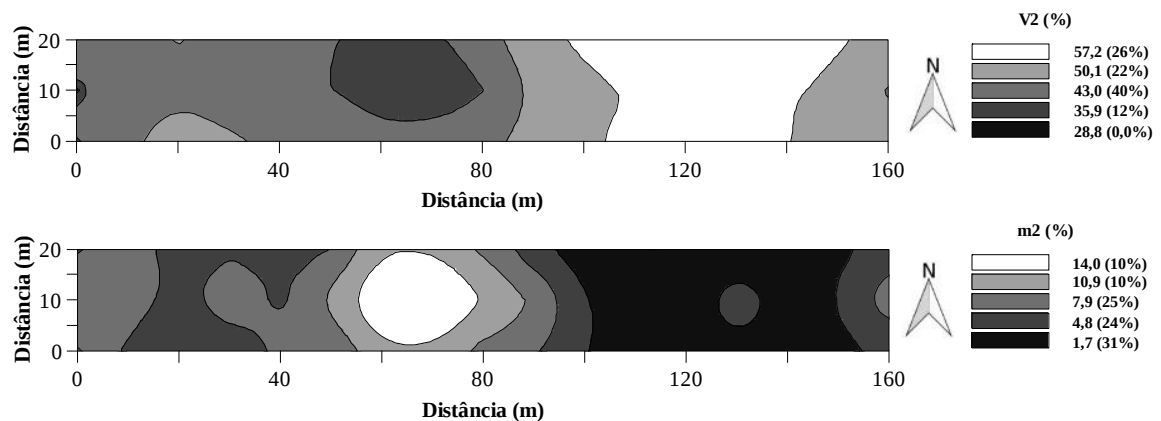




Fonte: Dados da pesquisa do autor.

Figura 10 - Mapas de krigagem dos atributos químicos de um LATOSSOLO VERMELHO Distrófico, na camada de 0,10-0,20 m, após a cultura da soja sob Cultivo Mínimo. Selvíria, MS, Brasil, 2015/16.





Fonte: Dados da pesquisa do autor.

4.4.1.1 Mapa da qualidade química do solo da área

Verifica-se no mapa resultante da sobreposição dos mapas de krigagem dos atributos químicos (Figura 11) que, na área sob SPD, a camada de 0-0,10 m é a que apresenta a maior fertilidade, com 89% da área apresentando teores de nutrientes que variam de médio a alto, enquanto que no CM, esse valor foi de apenas 48% da área. Esses resultados comprovam que em SPD há uma dinâmica diferenciada de atributos químicos do solo decorrente do acúmulo superficial de matéria orgânica e nutrientes no tempo de 13 anos de Plantio Direto (NOLLA; ANGHINONI, 2006).

Na camada de 0,10-0,20 m acontece o inverso, com o SPD apresentando apenas 14% dos teores de nutrientes na faixa de médio a alto e o CM com 93%. Verifica-se, portanto que a escarificação incorporou parte do calcário e dos nutrientes concentrados na superfície em SPD, aumentando a fertilidade subsuperficial e diminuindo o gradiente de concentração na superfície do solo em SPD. Esses resultados foram importantes para determinar a dinâmica na fertilidade do solo em ambos os sistemas. Deste modo, o manejo localizado em cada área pode auxiliar a evitar aplicações de doses superestimadas em determinadas áreas e insuficientes em outras o que pode levar a um estado de nutrição diferenciado nas plantas, incrementando a variação na produção, tendo em vista a relação entre teores de nutrientes no solo e o crescimento da planta.

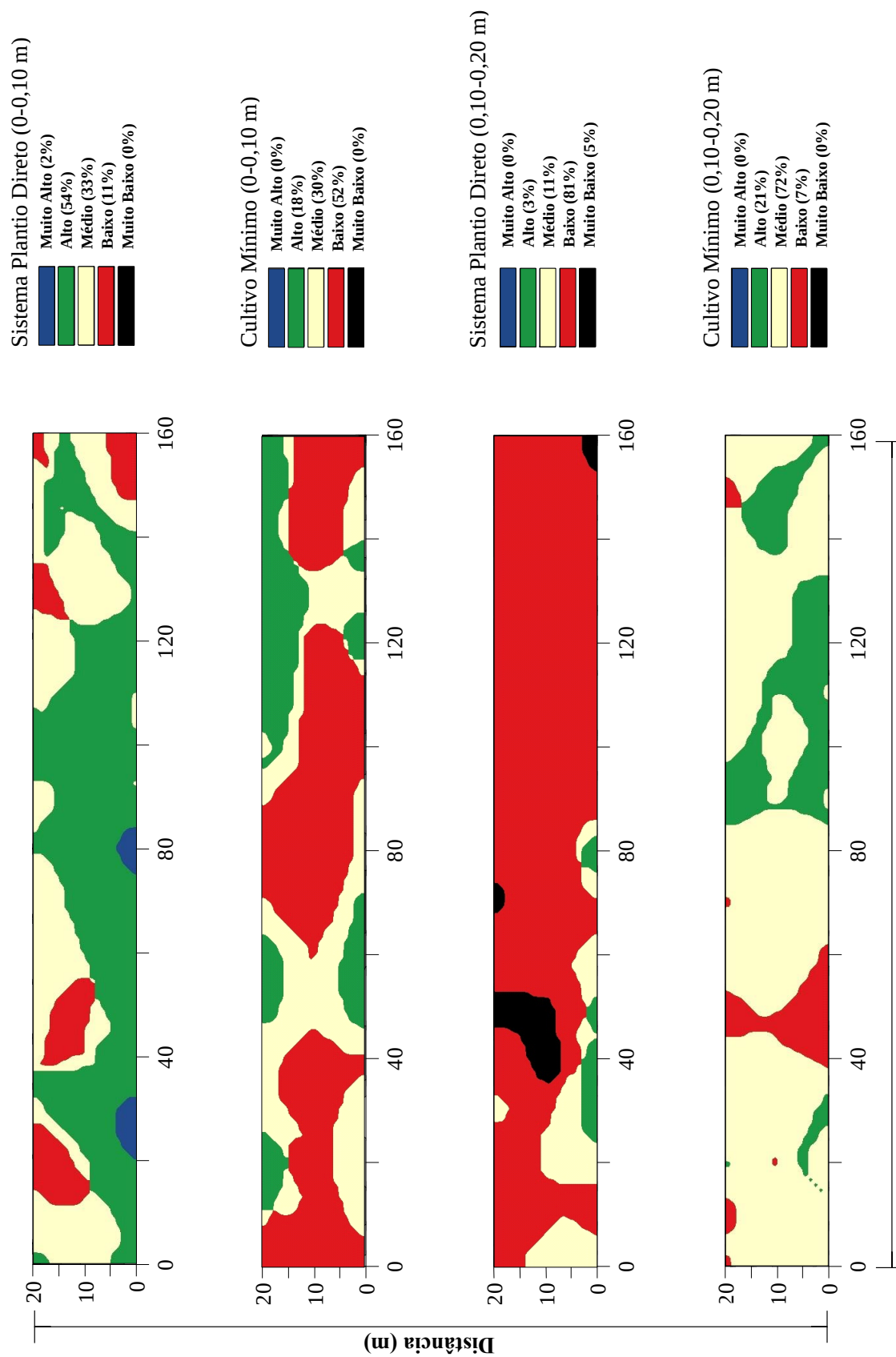


Figura 11 - Mapa de fertilidade do solo nas camadas de 0-0,10 e 0,10-0,20 m, para os dois sistemas de manejo do solo estudados. Selvíria, MS, 2016.

4.3.2 Semivariogramas cruzados da produtividade de grãos de soja com atributos químicos do solo

A análise da correlação espacial na camada de 0-0,10 m, para o SPD (Tabela 12 e Figura 12), revelou interação entre a produtividade de grãos e os teores de K e valores de CTC. Enquanto que, na camada de 0,10-0,20 m, a correlação espacial da produtividade de grãos foi apenas com a CTC. Ambas as correlações foram positivas, indicando uma correspondência entre maiores produtividades de soja e maiores valores de K e CTC no solo e vice-versa. Deste modo, verifica-se que a CTC além de apresentar correlação linear apresentou correlação espacialmente com a produtividade de grãos, o que pode ser usado em trabalhos futuros na mesma área de pesquisa, para definição de zonas específicas de manejo por apresentar forte influência na produtividade de grãos da soja cultivada em SPD.

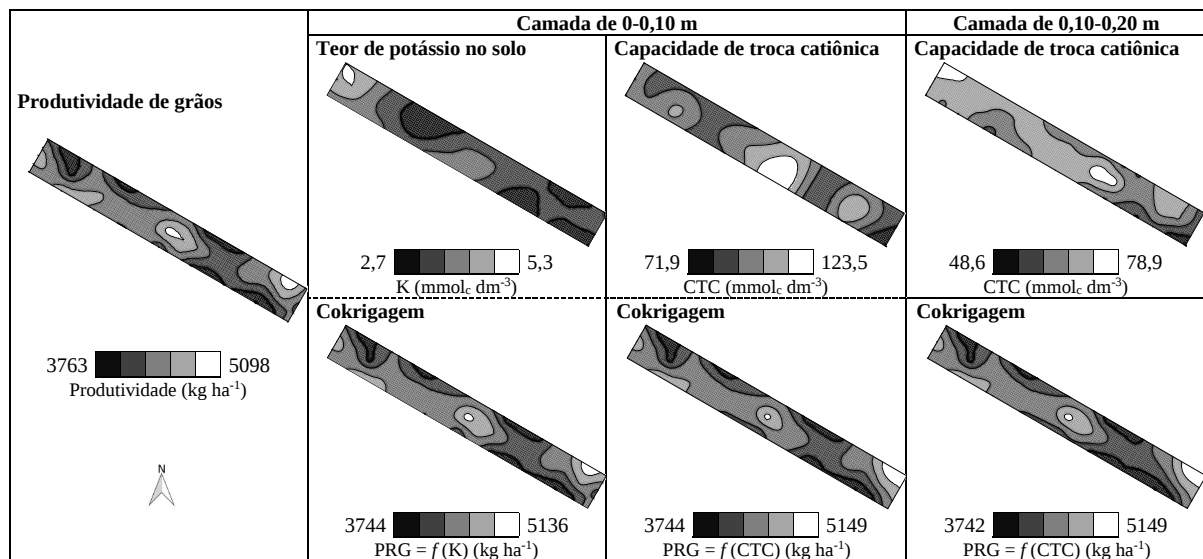
Tabela 12 - Parâmetros dos modelos ajustados aos semivariogramas experimentais cruzados da produtividade de soja em função de atributos químicos de um LATOSSOLO VERMELHO Distrófico sob Plantio Direto. Selvíria, MS, Brasil, 2015/16.

Atributo	Modelo	Efeito Pepita (C_0)	Patamar ($C_0 + C$)	Alcance (m)	R^2	SQR	ADE		Validação cruzada		
							%	Classe	A	b	r
PRG = $f(K1)$	esf (63)	4,62.10	1,32.10 ²	33,5	0,957	8,20.10	64,9	AL	1,42.10 ³	0,68	0,459
PRG = $f(CTC1)$	gau (56)	1,00	2,81.10 ³	28,4	0,913	2,90.10 ⁵	100,0	MA	9,28.10 ²	0,79	0,494
PRG = $f(CTC2)$	esf (59)	7,90.10	9,81.10 ²	30,6	0,979	4,60.10 ³	91,9	MA	4,07.10 ²	0,91	0,587
PRG	esf (70)	8,30.10 ³	1,85.10 ⁵	21,1	0,815	7,53.10 ⁸	95,5	MA	4,88.10	0,99	0,484

PRG = produtividade de grãos; K = potássio; CTC = capacidade de troca de cátions. Números 1 e 2 precedidos correspondem a primeira (0-0,10 m) e segunda camada (0,10-0,20 m). Esf e gau são respectivamente, modelos esférico e gaussiano. Entre parênteses o número de pares no 1º lag; R^2 = coeficiente de determinação; SQR = soma dos quadrados dos resíduos; ADE = avaliador da dependência espacial, sendo AL e MA, dependência espacial alta e muito alta. **Fonte:** Dados da pesquisa do autor.

No CM, (Tabela 13 e Figuras 13 e 14), na primeira camada, a correlação espacial revelou interação entre a produtividade de grãos e os teores de MO, pH, K, H+Al e V%. Enquanto que na camada de 0,10-0,20 m, a correlação espacial da produtividade de grãos foi com os atributos P, pH, H+Al, Al, SB e V%. As correlações foram positivas para MO, P, pH, K, SB e V%, indicando que melhores condições dos atributos evidenciariam maiores produtividades de grãos de soja. Enquanto que as correlações para H+Al e Al foram negativas, indicando que a produção diminui sempre que a acidez potencial do solo e a concentração de alumínio aumentam. Portanto, tanto linear quanto espacialmente, o pH, V% e H+Al do solo se destacaram como apreciáveis indicadores para definição das zonas específicas de manejo por apresentar forte influência na produtividade da soja cultivada sob Cultivo Mínimo.

Figura 12 - Mapas de cokrigagem da produtividade de grãos de soja em função dos teores de potássio e da capacidade de troca catiônica na camada 0-0,10 e 0,10-0,20 m, sob Plantio Direto. Selvíria, MS, 2015/16.



Fonte: Dados da pesquisa do autor.

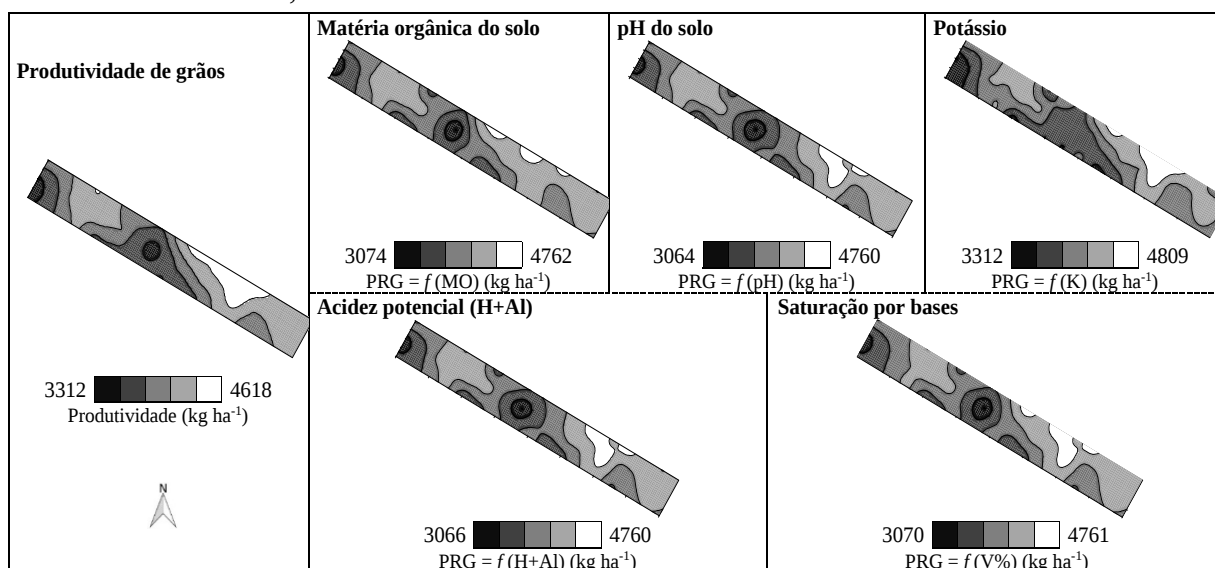
Tabela 13 - Parâmetros dos modelos ajustados aos semivariogramas experimentais cruzados da produtividade da soja em função de atributos químicos de um LATOSSOLO VERMELHO Distrófico sob Cultivo Mínimo. Selvíria, MS, 2015/16.

Atributo	Modelo	Efeito Pepita (C ₀)	Patamar (C ₀ + C)	Alcance (m)	R ²	SQR	ADE		Validação cruzada		
							%	Classe	a	b	r
PRG = f(MO1)	esf (61)	-4,20	-2,68.10 ²	39,5	0,710	1,00.10 ⁴	98,4	MA	1,62.10 ³	0,62	0,473
PRG = f(pH1)	gau (74)	4,20	7,73.10	53,0	0,933	3,30.10 ²	94,6	MA	1,26.10 ³	0,70	0,547
PRG = f(K1)	esf (67)	-4,16.10	-3,07.10 ²	147,5	0,732	3,78.10 ⁴	86,4	MA	1,51.10 ³	0,65	0,495
PRG = f(H+Al1)	esf (69)	-1,00	-1,46.10 ³	41,9	0,942	1,00.10 ⁵	99,9	MA	1,46.10 ³	0,65	0,515
PRG = f(V1)	esf (65)	3,88.10 ²	1,08.10 ³	54,5	0,895	2,79.10 ⁴	64,2	AL	1,41.10 ³	0,67	0,515
PRG = f(P2)	gau (63)	-1,00	-4,36.10 ²	26,3	0,531	7,36.10 ⁴	99,8	MA	1,33.10 ³	0,69	0,508
PRG = f(pH2)	esf (60)	1,00.10 ⁻¹	5,64.10	51,7	0,804	6,09.10 ²	99,8	MA	1,18.10 ³	0,72	0,573
PRG = f(H+Al2)	esf (66)	-1,00	-2,84.10 ³	61,3	0,985	6,92.10 ⁴	100,0	MA	1,31.10 ³	0,69	0,533
PRG = f(Al2)	gau (64)	-3,60.10	-5,88.10 ²	34,3	0,985	2,24.10 ³	93,9	MA	1,44.10 ³	0,66	0,513
PRG = f(SB2)	esf (66)	3,42.10 ²	3,06.10 ³	50,6	0,949	2,13.10 ⁵	88,8	MA	1,22.10 ³	0,71	0,546
PRG = f(V2)	esf (62)	2,80.10 ²	3,68.10 ³	53,8	0,966	2,48.10 ⁵	92,4	MA	8,81.10 ²	0,79	0,620
PRG	esf (79)	5,75.10 ⁴	2,47.10 ⁵	31,3	0,863	1,43.10 ⁹	76,7	AL	3,61.10 ²	0,92	0,546

PRG = produtividade de grãos; P = fósforo disponível (resina); MO = matéria orgânica do solo; pH = pH do solo; K = potássio; Al = alumínio trocável; H+Al = acidez potencial; SB = soma de bases; V = saturação por bases. Números 1 e 2 precedidos correspondem a primeira (0-0,10 m) e segunda camada (0,10-0,20 m). Esf e gau são respectivamente, modelos esférico e gaussiano. Entre parênteses o número de pares no 1º lag; R² = coeficiente de determinação; SQR = soma dos quadrados dos resíduos; ADE = avaliador da dependência espacial, sendo AL e MA, dependência espacial alta e muito alta.

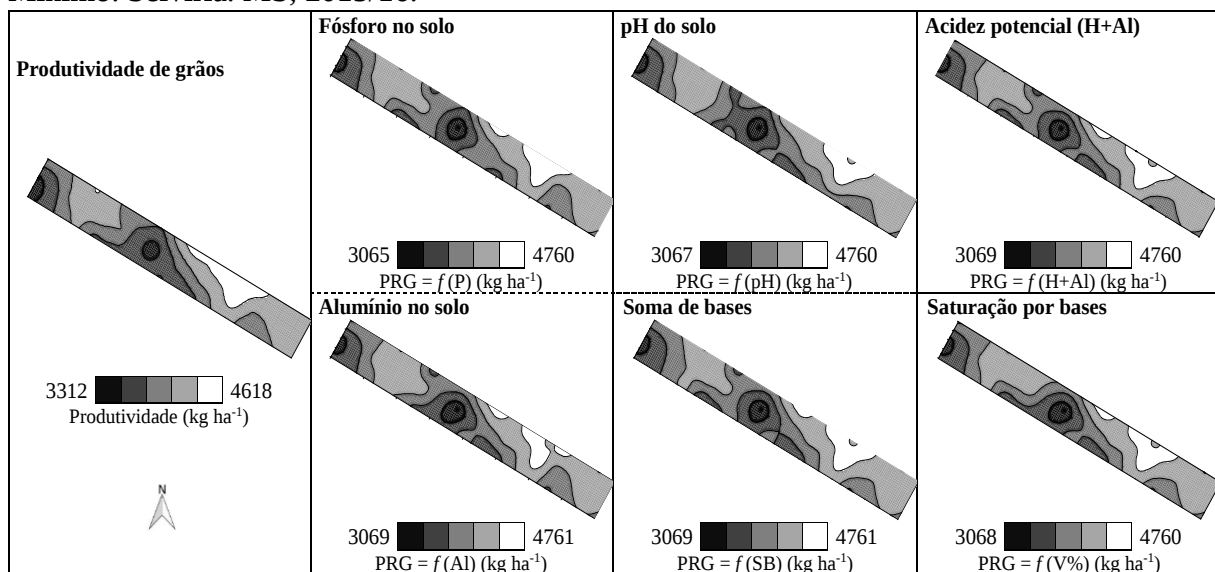
Fonte: Dados da pesquisa do autor.

Figura 13 - Mapas de cokrigagem da produtividade de grãos de soja em função dos atributos químicos de um LATOSSOLO VERMELHO Distrófico na camada 0-0,10m, sob Cultivo Mínimo. Selvíria. MS, 2015/16.



Fonte: Dados da pesquisa do autor.

Figura 14 - Mapas de cokrigagem da produtividade de grãos de soja em função dos atributos químicos de um LATOSSOLO VERMELHO Distrófico na camada 0,10-0,20m, sob Cultivo Mínimo. Selvíria. MS, 2015/16.



Fonte: Dados da pesquisa do autor.

CONCLUSÕES

A produtividade de grãos de soja foi maior em SPD quando comparado ao CM escarificado.

A escarificação diminuiu a variabilidade espacial dos atributos químicos do solo na camada de 0-0,10 m.

Os valores de pH, teores de cálcio, magnésio e fósforo na camada de 0-0,10 m, bem como o teor de K de 0,10-0,20 m, são os atributos que mais contribuíram no aumento de produtividade da soja em SPD e em CM.

Em SPD, a fertilidade do solo concentra-se na camada superficial, enquanto que no CM escarificado na camada de 0,10-0,20 m.

Em SPD, a CTC apresentou cokrigagem positiva com a produtividade de grãos em superfície e subsuperfície do solo.

Em CM, o pH e a saturação por bases apresentaram cokrigagem positiva com a produtividade de grãos na camada de 0-0,20 m, enquanto que a acidez potencial apresentou cokrigagem negativa.

SUGESTÕES PARA AS PRÓXIMAS PESQUISAS

Com base nos resultados obtidos nessa pesquisa é possível fazer alguns questionamentos.

1) O Sistema Plantio Direto não é eterno. Tempo e rotação para estabilização é muito variável. Deduz que a análise de 0-0,20 m não expressa a realidade do Plantio Direto sendo necessário a estratificação.

2) Cultivo Mínimo em área irrigada mascara os efeitos. Como seria em área de sequeiro? Fica a dúvida. A amostragem de 0-0,20 m em áreas escarificadas não é recomendado. Sendo necessário a estratificação. Será que nas camadas mais profundas (maior que 0,20 m) há algum efeito da escarificação na variabilidade dos nutrientes?

REFERÊNCIAS

- ALCÂNTARA, G. R. **Variabilidade espacial e temporal da produtividade de milho e soja e sua relação com atributos do solo**. 2015. 82 f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2015.
- ALVAREZ, V. V. H.; GUARÇONI, M. A. Variabilidade horizontal da fertilidade do solo de uma unidade de amostragem em sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 2, p. 297-310, 2003.
- AMARAL, A. S.; ANGHINONI, I. Alterações de parâmetros químicos do solo pela reaplicação superficial de calcário no sistema plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 36, n. 4, p. 695-702, 2001.
- CAIRES, E. F. Manejo da acidez do solo. In: PROCHNOW, L. I.; CASARIN, V.; STIPP, S. R. (Ed.). **Boas práticas para o uso eficiente de fertilizantes: contexto mundial e práticas de suporte**. Piracicaba: IPNI - Brasil, 2010. v. 1, p. 277-347.
- CAIRES, E. F.; FONSECA, A. F. D. Absorção de nutrientes pela soja cultivada no sistema de plantio direto em função da calagem na superfície. **Bragantia**, Campinas, v. 59, n. 2, p. 213-220, 2000.
- CALEGARI, A.; TIECHER, T.; HARGROVE, W. L.; RALISCH, R.; TESSIER, D.; TOURDONNET, S.; GUIMARÃES, M. F.; SANTOS, D. R. Long-term effect of different soil management systems and winter crops on soil acidity and vertical distribution of nutrients in a Brazilian Oxisol. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 133, n. 7, p. 32-39, 2013.
- CALONEGO, J. C. **Uso de plantas de cobertura na recuperação de solo compactado**. 2007. 140 f. Tese (Doutorado) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita Filho”, Botucatu, 2007.
- CÂMARA, R. K. **Influência da escarificação do solo sob sistema plantio direto nas propriedades do solo e na cultura da soja**. 2004. 96 f. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, 2004.
- CÂMARA, R. K.; KLEIN, V. A. Escarificação em plantio direto como técnica de conservação do solo e da água. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 29, n. 5, p. 789-796, 2005.
- CÂMARA, R. K.; KLEIN, V. A.; SIMON, M. A.; LAJÚS, C. R. Dinâmica de restos culturais na superfície do solo em plantio direto escarificado. In: REUNIÃO SUL-BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO, 4., 2002, Porto Alegre. **Resumo...** Porto Alegre: UFRGS, 2002. p. 43.
- CARVALHO, C. G. P.; ARIAS, C. A. A.; TOLEDO, J. F. F.; ALMEIDA, L. A. A.; KIIHL, R. A. S.; OLIVEIRA, M. F.; HIROMOTO, D. M.; TAKEDA, C. Proposta de classificação dos coeficientes de variação em relação à produtividade e altura da planta de soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 38, n. 2, p. 187-193, 2003.
- CAVALIERI, K. M. V.; TORMENA, C. A.; VIDIGAL FILHO, P. S.; GONÇALVES, A. C. A.; COSTA, A. C. S. Efeitos de sistemas de preparo nas propriedades físicas de um Latossolo Vermelho distrófico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 30, n. 1, p. 137-147, 2006.

COELHO, A. M. Agricultura de precisão: manejo da variabilidade espacial e temporal dos solos e das culturas. In: CURI, N.; MARQUES J. J.; GUILHERME, L. R. G.; LIMA, J. M.; LOPES, A. S.; ALVAREZ V., V. H. (Ed.). **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2003. p. 259-290.

COLLARES, G. L.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M.; KAISER, D. R. Compactação superficial de Latossolos sob integração lavoura-pecuária de leite no noroeste do Rio Grande do Sul. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 41, n. 2, p. 246-250, 2011.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO- CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira: grãos, terceiro levantamento: safra 2015/16**. Brasília: Conab, 2016. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br>>. Acesso em: 10 jan 2017.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira: grãos, décimo levantamento: safra 2016/17**. Brasília: Conab, 2017. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br>>. Acesso em: 20 jul 2017.

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

COSTA, N. R. **Desempenho técnico e econômico da produção de milho e sorgo para silagem e soja em sucessão em sistema irrigado de integração lavoura-pecuária no Cerrado**. 2014. 226 f. Tese (Doutorado)- Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Ilha Solteira, 2014.

COSTA, S. E. V. G. A.; SOUZA, E. D.; ANGHINONI, I.; FLORES, J. P. C.; VIEIRA, F. C. B.; MARTINS, A. P.; FERREIRA, E. V. O. Patterns in phosphorus and corn root distribution and yield in long-term tillage systems with fertilizer application. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 109, n. 1, p. 41-49, 2010.

CRUSCIOL, C. A. C. Qualidade química do solo. In: DECHEN, S. C. F. **Workshop sobre o sistema plantio direto no Estado de São Paulo**. Piracicaba: Fundação Agrisus – FEALQ, 2007. p. 103-117.

CRUSCIOL, C. A. C.; SORATTO, R. P. Sistemas de produção e eficiência agrônômica de fertilizantes. In: PROCHNOW, L. I.; CASARIN, V.; STIPP, S. R. (Ed.). **Boas práticas para o uso eficiente de fertilizantes: contexto mundial e técnicas de suporte**. Piracicaba: IPNI - Brasil, 2010. v. 1, p. 229-275.

DALCHIAVON, F. C.; CARVALHO, M. P. Correlação linear e espacial dos componentes de produção e produtividade da soja. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 33, n. 2, p. 541-552, 2012.

DALCHIAVON, F. C.; CARVALHO, M. P.; ANDREOTTI, M.; MONTANARI, R. 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.

DALCHIAVON, F. C.; RODRIGUES, A. R.; LIMA, E. S.; LOVERA, L. H.; MONTANARI, R. Variabilidade espacial de atributos químicos do solo cultivado com soja sob plantio direto. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, Lages, v. 16, n. 2, p. 144-154, 2017.

DEBIASI, H. **Recuperação física de um argissolo compactado e suas implicações sobre o sistema solo-máquina-planta** 2008. 263 f. Tese (Doutorado) – Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008.

DEBIASI, H.; FRANCHINI, J. C.; CONTE, O.; BALBINOT JUNIOR, A. A.; TORRES, E.; SARAIVA, O. F.; OLIVEIRA, M. C. N. **Sistemas de preparo do solo: trinta anos de pesquisa na Embrapa Soja**. Londrina: Embrapa Soja, 2013. 72 p.

DEMATTE, J. L. I. **Levantamento detalhado dos solos do Campus Experimental de Ilha Solteira**. Piracicaba: Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 1980. 44 p.

DENARDIN, J. E.; KOCHHANN, R. A.; BACALTCHUK, B.; SATTTLER, A.; DENARDIN, N. D.; FAGANELLO, A.; WIETHÖLTER, S. Sistema plantio direto: fator de potencialidade da agricultura tropical brasileira. In: ALBUQUERQUE, A. C. S.; SILVA, A. G. (Ed.). **Agricultura tropical: quatro décadas de inovações tecnológicas, institucionais e políticas**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2008. p. 1251-1273.

ELTZ, F. L.; PEIXOTO, R. T. G.; JASTER, R. Efeitos de sistemas de preparo do solo nas propriedades físicas e químicas de um latossolo brunoálico. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, Viçosa, v. 13, p. 259-267, 1989.

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

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Tecnologias de produção de soja - Paraná 2007**. Londrina: CNPSo, 2006. 217 p.

FERRERAS, L. A. BATTISTA, J. J.; AUSILIO, A.; PECORARI, C. Parâmetros físicos del solo em condiciones no perturbadas y bajo laboreo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 36, n. 1, p. 161-170, 2001.

FRANCHINI, J. C.; DEBIASI, H.; SACOMAN, A.; NEEPOMUCENO, A. L.; FARIAS, J. R. B. **Manejo do solo para redução das perdas de produtividade pela seca**. Londrina: Embrapa, 2009. 42 p. (Documentos, 314).

FRANCHINI, J. C.; HOFFMANN-CAMPO, C. B.; TORRES, E.; MIYAZAWA, M.; PAVAN, M. A. Organic composition of green manure during growth and its effect on cation mobilization in an acid Oxisol. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 34, n. 13-14, p. 2045-2058, 2003.

GIMENEZ, L. M. **Relação da condutividade elétrica aparente com algumas propriedades físico-hídricas e com a variabilidade espacial dos solos**. 2013. 121 f. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 2013.

GIMÉNEZ, L. M.; ZANCANARO, L. **Monitoramento da fertilidade de solo com a técnica de amostragem em grade**. Piracicaba: International Plant Nutrition Institute Brazil, 2012. p. 19-25. (Informações Agronômicas, 138).

GIRARDELLO, V. C.; AMADO, T. J. C.; SANTI, A. L.; CHERUBIN, M. R.; KUNZ, J.; TEIXEIRA, T. G. Resistência à penetração, eficiência de escarificadores mecânicos e

produtividade da soja em Latossolo argiloso manejado sob plantio direto de longa duração. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 38, n. 4, p. 1234-1244, 2014.

GS+. **Geostatistics for environmental sciences**. 7. ed. Michigan: Gamma Design Software, 2004. 159 p.

GUIMARÃES, C. M.; SOARES, M. M.; MATTIELLO, E. M.; SEDIYAMA, T. Calagem. In: SEDIYAMA, T. (Ed.). **Produtividade da soja**. Londrina: Mecenaz, 2016. p. 45-63.

HAIR JUNIOR., J. F.; ANDERSON, R. E.; TATHAM, R. L.; BLACK, W. C. **Análise multivariada de dados**. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2005. 600 p.

HAMZA, M. A.; ANDERSON, W. K. Soil compaction in cropping systems: A review of the nature, causes and possible solutions. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 82, n. 2, p. 121-145, 2005.

KIST, B. B.; SANTOS, C. E.; CARVALHO, C.; TREICHEL, M.; FILTER, C. F. **Anuário brasileiro da soja 2016**. Santa Cruz do Sul: Gazeta, 2016. 120 p.

KLEIN, V. A.; LIBARDI, P. L. Faixa de umidade menos limitante ao crescimento vegetal e sua relação com a densidade do solo ao longo do perfil de um Latossolo Roxo. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 30, n. 6, p. 959-964, 2000.

KLEIN, V. A.; VIEIRA, M. L.; DURIGON, F. F.; MASSING, J. P.; FÁVERO, F. Porosidade de aeração de um Latossolo Vermelho e rendimento de trigo em plantio direto escarificado. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 38, n. 2, p. 365-371, 2008.

KLEPKER, D.; ANGHINONI, I. Características físicas e químicas do solo afetadas por métodos de preparo e modos de adubação. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, Viçosa, v. 19, n. 3, p. 395-401, 1995.

KLUTHCOUSKI, J. FANCELLI, A. L.; DOURADO-NETO, D.; RIBEIRO, C. M.; FERRARO, L. A. Manejo do solo e o rendimento de soja, milho e arroz em plantio direto. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 57, n. 1, p. 97-104, 2000.

LEAL, J. R.; VELLOSO, A. C. X. Adsorção de fosfato em latossolos de cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 8, n. 1, p. 81-88, 1973.

LIMA, L. B. D.; PETTER, F. A.; LEANDRO, W. M. Desempenho de plantas de cobertura sob níveis de compactação em Latossolo Vermelho de Cerrado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 19, n. 11, p. 1064-1071, 2015.

LOVERA, L. H. **Atributos do solo e componentes produtivos da soja: uma abordagem linear, multivariada e geoestatística**. 2015. 73 f. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Ilha Solteira, 2015.

LUCA, M. J.; HUNGRIA, M. Plant densities and modulation of symbiotic nitrogen fixation in soybean. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 71, n. 3, p. 181-187, 2014.

MACHADO, P. L. O. A.; SILVA, C. A.; BERNARDI, A. C. C. E. A. Variabilidade de atributos de fertilidade e espacialização da recomendação de adubação e calagem para a soja In: MACHADO, P. L. O. A. SILVA, C. A. et al. (Ed.). **Agricultura de precisão para o**

manejo da fertilidade do solo em sistema de plantio direto. Rio de Janeiro: EMBRAPA Solos, 2004. p. 115-129.

MOLIN, J. P.; AMARAL, L. R.; COLAÇO, A. F. **Agricultura de precisão.** São Paulo: Oficina de Textos, 2015. 238 p.

MOLIN, J. P.; VIEIRA JUNIOR, P. A.; DOURADO-NETO, A.; FAULIN, G. D. C.; MASCARIN, L. Variação espacial na produtividade de milho safrinha devido aos macronutrientes e à população de plantas. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 6, n. 3, p. 309-324, 2010.

MONTANARI, R. **Aspectos da produtividade do feijoeiro correlacionados com atributos do solo sob sistemas de manejo de elevado nível tecnológico.** 2009. 172 f. Tese (Doutorado) - Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Ilha Solteira, 2009.

MONTANARI, R.; CARVALHO, M. P.; ANDREOTTI, M.; DALCHIAVON, F. C.; LOVERA, L. H.; HONORATO, M. A. O. 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.

MONTEZANO, Z. F.; CORAZZA, E. J.; MURAOKA, T. Variabilidade espacial da fertilidade do solo em área cultivada e manejada homogeneamente. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 30, n. 5, p. 839-847, 2006.

NASCIMENTO, V. **Impactos do manejo de um sistema plantio direto no crescimento e produtividade do arroz de terras altas e feijão de inverno em sucessão e nos atributos do solo.** 2015. 196 f. Tese (Doutorado)- Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Ilha Solteira, 2015.

NOLLA, A.; ANGHINONI, I. Critérios de calagem para a soja no sistema plantio direto consolidado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 30, n. 1, p. 475-483, 2006.

OLIVEIRA JÚNIOR, A.; CASTRO, C.; KLEPKER, D.; OLIVEIRA, F. A. Soja. In: PROCHNOW, L. I.; CASARIN, V., STIPP, S. R. (Ed.). **Boas práticas para uso eficiente de fertilizantes:** culturas. Piracicaba: IPNI - Brasil, 2010. p. 2-38.

ORMOND, A. T. S. **Sistemas de semeadura e manejo do solo no desenvolvimento da cultura da soja.** 2013. 72 f. Tese (Doutorado) - Instituto de Ciências Agrárias e Tecnológicas, Universidade Federal de Mato Grosso, Rondonópolis, 2013.

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

R DEVELOPMENT CORE TEAM. R. **A Language and environment for statistical computing.** Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2010.

RAIJ, B. V. **Fertilidade do solo e manejo de nutrientes.** Piracicaba: IPNI, 2011. 420 p.

RAIJ, B. V.; ANDRADE, J. C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais.** Campinas: Instituto Agrônomo de Campinas, 2001. 285 p.

RAIJ, B. V.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. **Recomendações de calagem e adubação para o Estado de São Paulo**. Campinas: Instituto Agrônomo de Campinas, 1997. 285 p. (Boletim Técnico, 100).

REICHERT, J. M.; DARIVA, T. A.; REINERT, D. J.; SILVA, V. R. 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.

REICHERT, J. M.; SUZUKI, L. E. A. S.; REINERT, D. J.; HORN, R.; HÅKANSSON, I. Reference bulk density and critical degree-of-compactness for no-till crop production in subtropical highly weathered soils. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 102, n. 2, p. 242-254, 2009.

RESENDE, A. V.; SHIRATSUCHI, L. S.; SENA, M. C.; KRAHL, L. L.; OLIVEIRA, J. V. F.; CORRÊA, R. F.; ORO, T. Grades amostrais para fins de mapeamento da fertilidade do solo em área de cerrado. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGRICULTURA DE PRECISÃO, 2., 2006, São Pedro. **Anais...** Piracicaba: ESALQ, 2006. 1 CD-ROM.

RODRÍGUEZ-GARAY, F. A.; CAMACHO-TAMAYO, J. H.; RUBIANO-SANABRIA, Y. Variabilidad espacial de los atributos químicos del suelo en el rendimiento y calidad de café. **Corpoica Ciencia y Tecnología Agropecuaria**, Colombia, v. 17, n. 2, p. 237-254, 2016.

SÁ, J. C. D. M.; SÉGUY, L.; SÁ, M. F. F.; FERREIRA, A. O.; BRIEDIS, C.; SANTOS, J. B.; CANALLI, L. Gestão da matéria orgânica e da fertilidade do solo visando sistemas sustentáveis de produção. In: PROCHNOW, L. I.; CASARIN, V., STIPP, S. R. (Ed.). **Boas práticas para o uso eficiente de fertilizantes: contexto mundial e práticas de suporte**. Piracicaba: IPNI - Brasil, 2010. v.1, p. 383-420.

SANTI, A. L. AMADO, T. J. C.; CHERUBIN, M. R.; MARTIN, T. N.; PIRES, J. L.; FLORA, L. P. D.; BASSO, C. J. Análise de componentes principais de atributos químicos e físicos do solo limitantes à produtividade de grãos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 47, n. 9, p. 1346-1357, 2012.

SANTOS, H. G.; ALMEIDA, J. A.; OLIVEIRA, J. B.; LUMBRERAS, J. F.; DOS ANJOS, L. H. C.; COELHO, M. R.; JACOMINE, P. K. T.; CUNHA, T. J. F.; OLIVEIRA, V. A. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3. ed. Brasília: Embrapa, 2013. 353 p.

STATISTICAL ANALYSIS SYSTEM - SAS. **SAS/STAT guide for personal computer: version 9.1**. Cary: SAS Institute, 2003.

SCHLINDWEIN, J. A.; ANGHINONI, I. Variabilidade horizontal de atributos de fertilidade e amostragem do solo no sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 24, n. 1, p. 85-91, 2000.

SECCO, D.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M.; SILVA, V. R. Atributos físicos e rendimento de grãos de trigo, soja e milho em dois Latossolos compactados e escarificados. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 39, n. 1, p. 58-64, 2009.

SEDIYAMA, T. **Produtividade da soja**. Londrina: Mecenass, 2016. 309 p.

SILVA, E. N. S.; MONTANARI, R.; PANOSSO, A. R.; CORREA, A. R.; TOMAZ, P. K.; FERRAUDO, A. S. Variabilidade de atributos físicos e químicos do solo e produção de

feijoeiro cultivado em sistema de cultivo mínimo com irrigação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 39, n. 2, p. 598-607, 2015.

SILVA, M. G. **Sucessão de culturas e preparo do solo no desenvolvimento e produtividade do feijoeiro cultivado no período de inverno**. 2005. 89 f. Dissertação (Mestrado)- Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2005.

SILVA, S. de A.; LIMA, J. S. de S.; XAVIER, A. C.; TEIXEIRA, M. M. Variabilidade espacial de atributos químicos de um Latossolo Vermelho-Amarelo húmico cultivado com café. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, n. 1, p. 15-22, 2010.

SILVA, V. R. **Propriedades físicas e hídricas em solos sob diferentes estados de compactação**. 2003. 171 f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2003.

SOUZA, L. S. **Variabilidade espacial do solo em sistemas de manejo**. 1992. 162 f. Tese (Doutorado) – Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1992.

VALADÃO JÚNIOR, D.; BERGAMIN, A. C.; VENTUROSIO, L. R.; SCHILINDWEIN, J. A.; CARON, B. O.; SCHIMIDT, D. Adubação fosfatada na cultura da soja em Rondônia. **Scientia Agraria**, Piracicaba, v. 9, n. 3, p. 369-375, 2008.

VEEN, B. W.; NOORDWIJKP, M. V.; WILLIGENF, P.; BOONEM, F. R.; KOOISTRA, M. J. Root-soil contact of maize, as measured by a thin-section technique. **Plant and Soil**, Amsterdam, v. 139, n. 1, p. 131-138, 1992.

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

VIEIRA, S. R.; BRANCALIANO, S. R.; GREGO, C. R.; MARTINS, A. L. M. Variabilidade espacial de atributos físicos de um argissolo vermelho-amarelo cultivado com leguminosas consorciada com a seringueira. **Bragantia**, Campinas, v. 69, n. 2, p. 423-432, 2010a.

VIEIRA, S. R.; GUEDES FILHO, O. CHIBA, M. K.; MELLIS, E. V.; DECHEN, S. C. F.; DE MARIA, I. C. Variabilidade espacial dos teores foliares de nutrientes e da produtividade da soja em dois anos de cultivo em um latossolo vermelho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, n. 5, p. 1503-1514, 2010b.

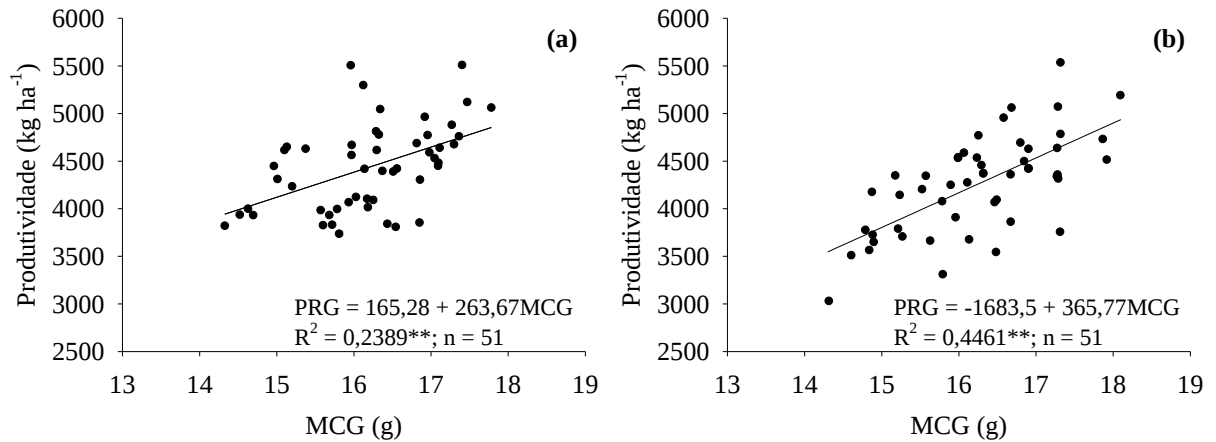
ZANÃO JÚNIOR, L. A.; LANA, R. M. Q.; GUIMARÃES, E. C. Variabilidade espacial do pH, teores de matéria orgânica e micronutrientes em profundidades de amostragem num latossolo vermelho sob semeadura direta. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 37, n. 4, p. 1000-1007, 2007.

ZECH, Z. E. A. Factors controlling humification and mineralization of soil organic matter in the tropics. **Geoderma**, Amsterdam, v. 79, n. 1, p. 69-116, 1997.

ZONTA, E.; BRASIL, F. da; GOI, S. R.; ROSA, M. M. T. da. O sistema radicular e suas interações com o ambiente edáfico. In: FERNANDES, M.S. (Ed.). **Nutrição mineral de plantas**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006. p. 7-52.

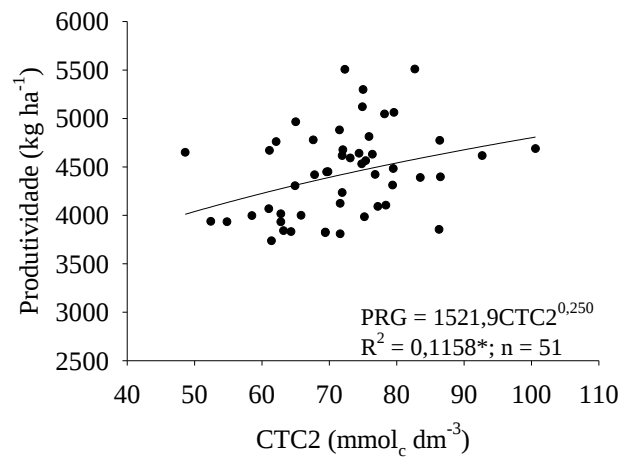
APÊNDICE

Apêndice 1 - Equação de regressão entre produtividade e massa de 100 grãos (MCG) da cultura da soja em um LATOSSOLO VERMELHO Distrófico sob Plantio Direto (a) e Cultivo Mínimo (b). Selvíria, MS, Brasil, 2015/16.



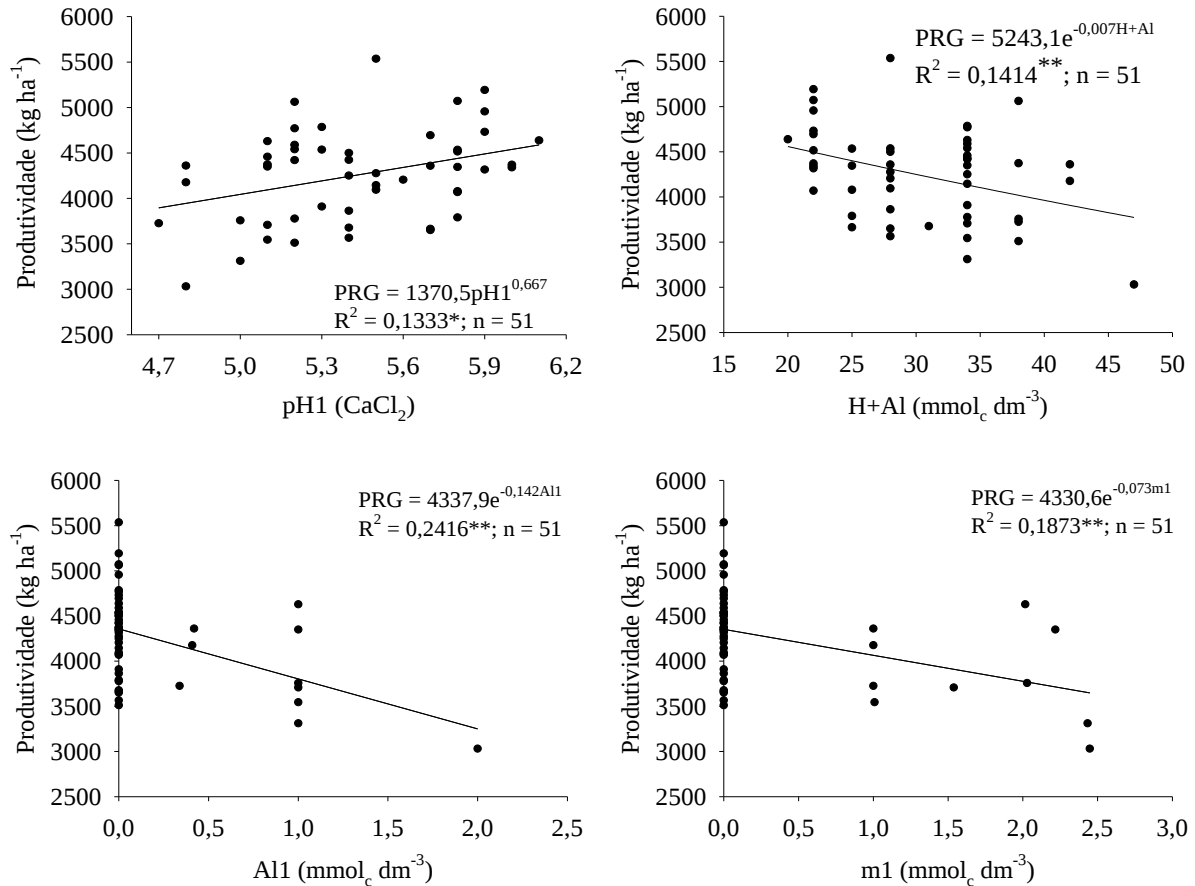
Fonte: Dados da pesquisa do autor.

Apêndice 2 - Equação de regressão entre produtividade da cultura da soja e capacidade de troca catiônica (CTC) de um LATOSSOLO VERMELHO Distrófico, na camada de 0,10-0,20 m, sob Plantio Direto. Selvíria, MS, Brasil, 2015/16.



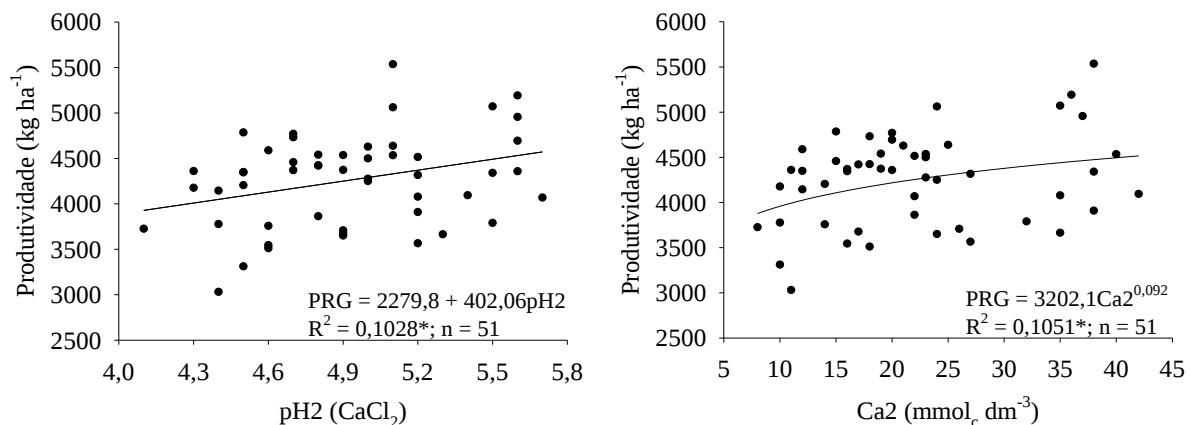
Fonte: Dados da pesquisa do autor.

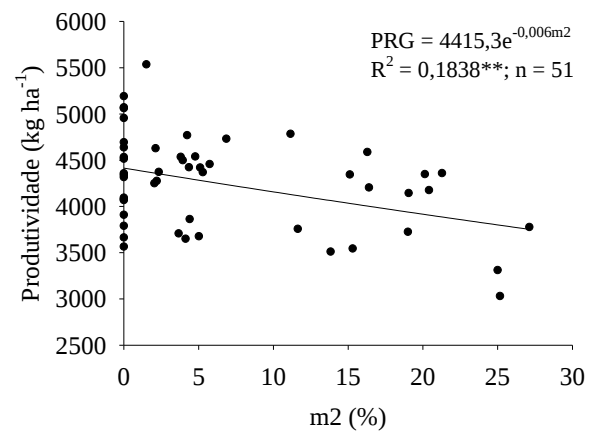
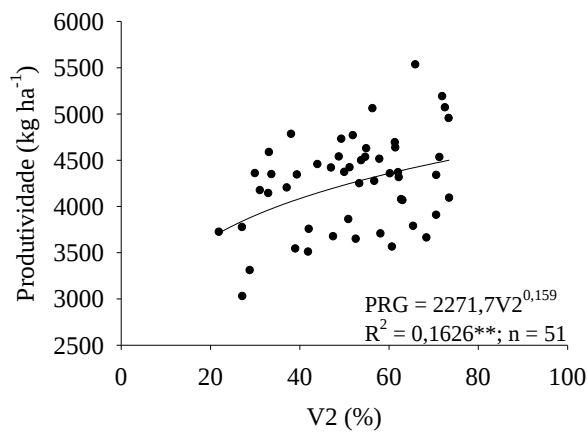
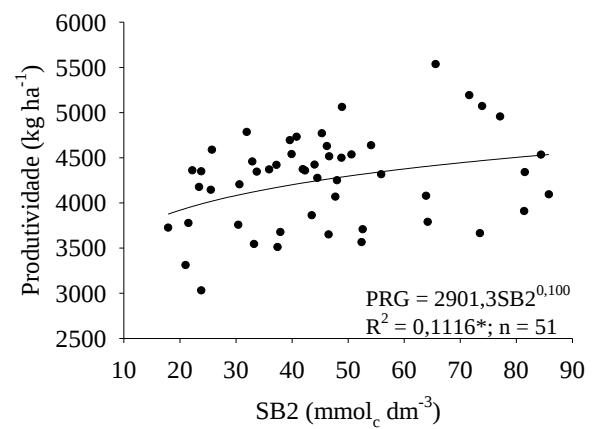
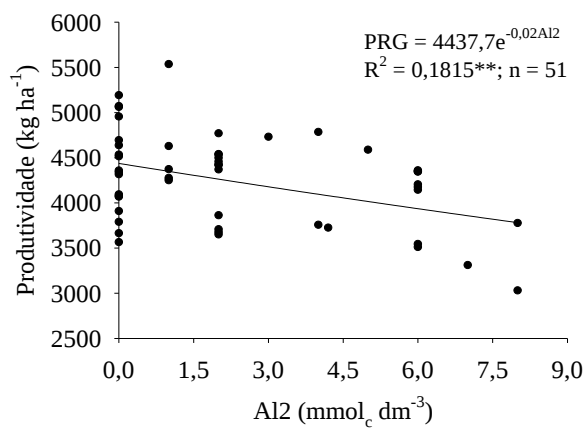
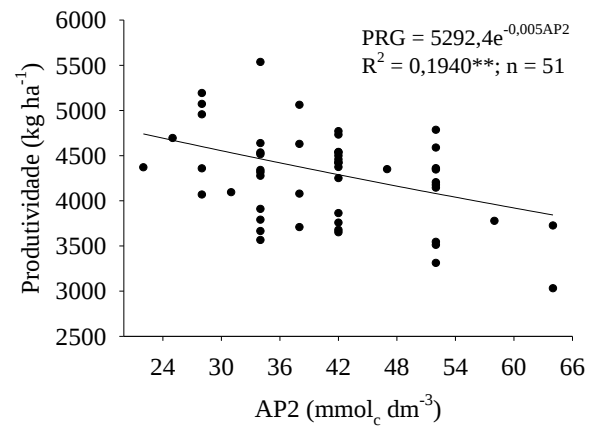
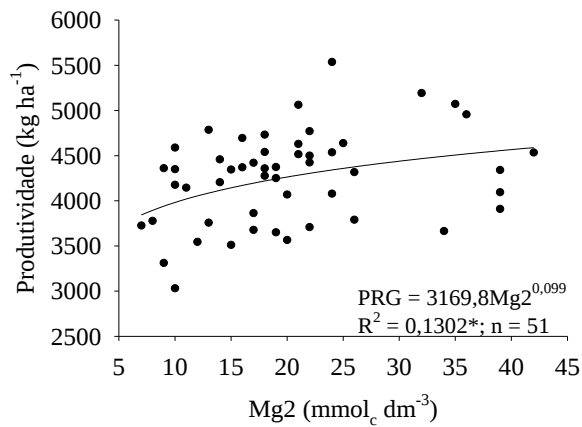
Apêndice 3 - Equação de regressão entre produtividade de grãos da cultura da soja com os atributos químicos pH, acidez potencial (H+Al), alumínio trocável (Al) e saturação por alumínio (m) de um LATOSSOLO VERMELHO Distrófico, na camada de 0,00-0,10 m, sob Cultivo Mínimo. Selvíria, MS, Brasil, 2015/16.



Fonte: Dados da pesquisa do autor.

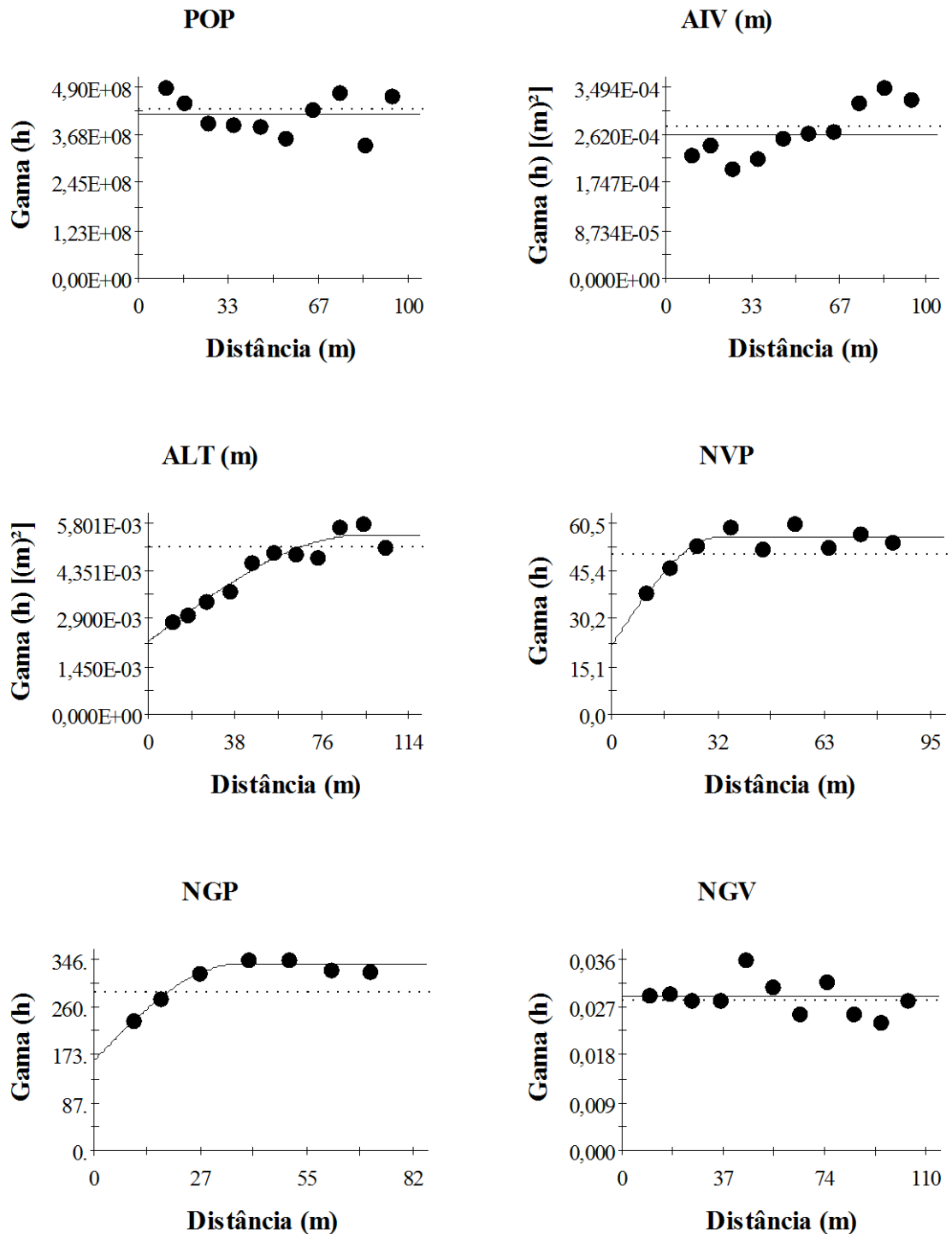
Apêndice 4 - Equação de regressão entre produtividade da cultura da soja, pH, cálcio (Ca), magnésio (Mg), acidez potencial (H+Al), alumínio trocável (Al), soma de bases (SB), saturação por bases (V%) e saturação por alumínio (m) de um LATOSSOLO VERMELHO Distrófico, na camada de 0,10-0,20 m, sob Cultivo Mínimo. Selvíria, MS, Brasil, 2015/16.

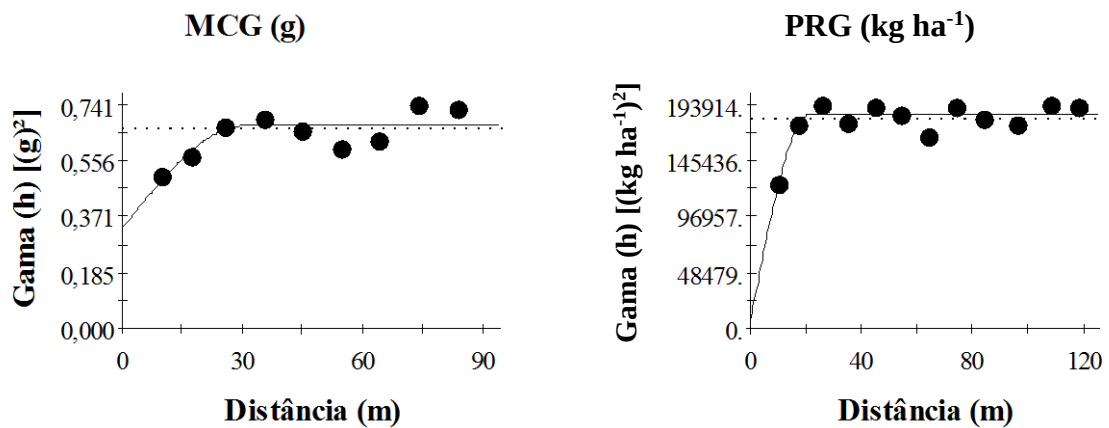




Fonte: Dados da pesquisa do autor.

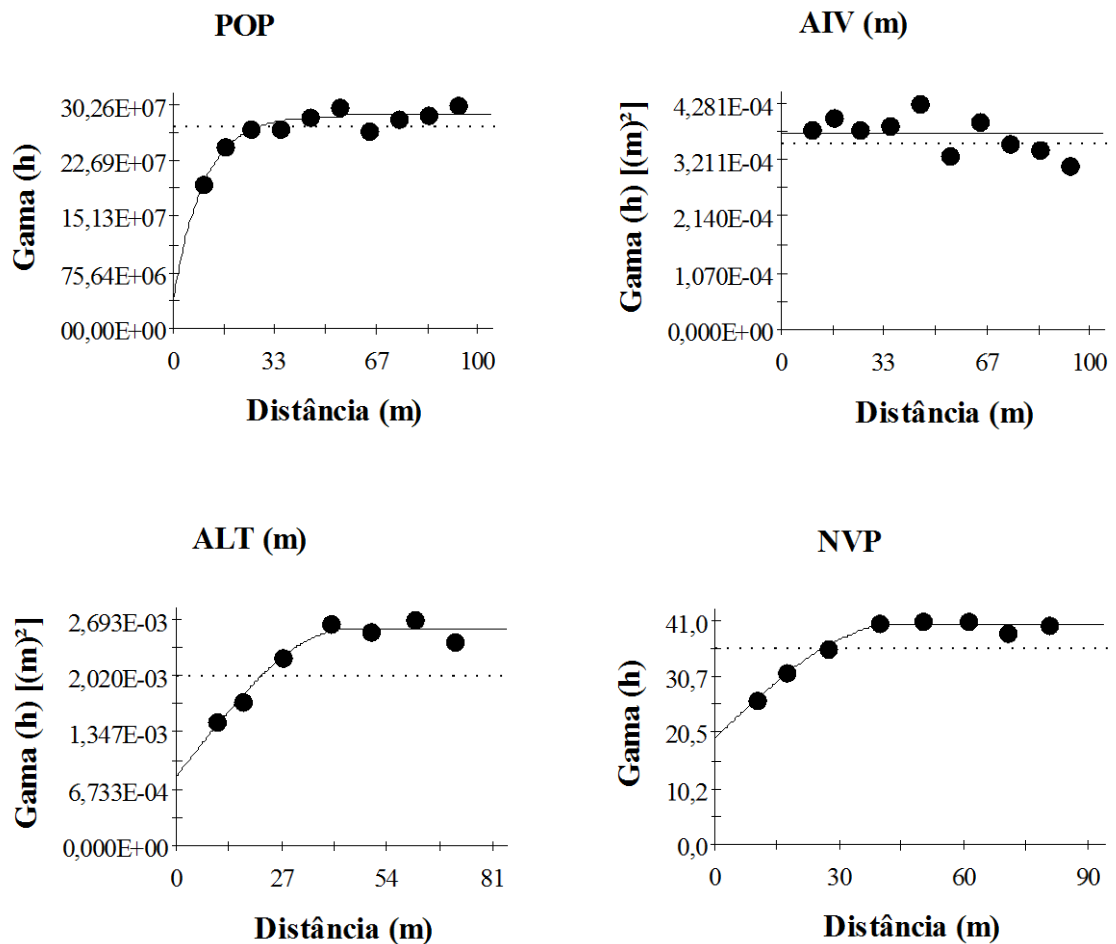
Apêndice 5 - Semivariogramas simples da população final de plantas (POP), altura de inserção da 1ª vagem (AIV), altura de plantas (ALT), número de vagens por planta (NVP), número de grãos por planta (NGP), número de grãos por vagens (NGV), massa de 100 grãos (MCG) e produtividade de grãos (PRG) da cultura da soja em um LATOSSOLO VERMELHO Distrófico sob Plantio Direto. Selvíria, MS, Brasil, 2015/16.

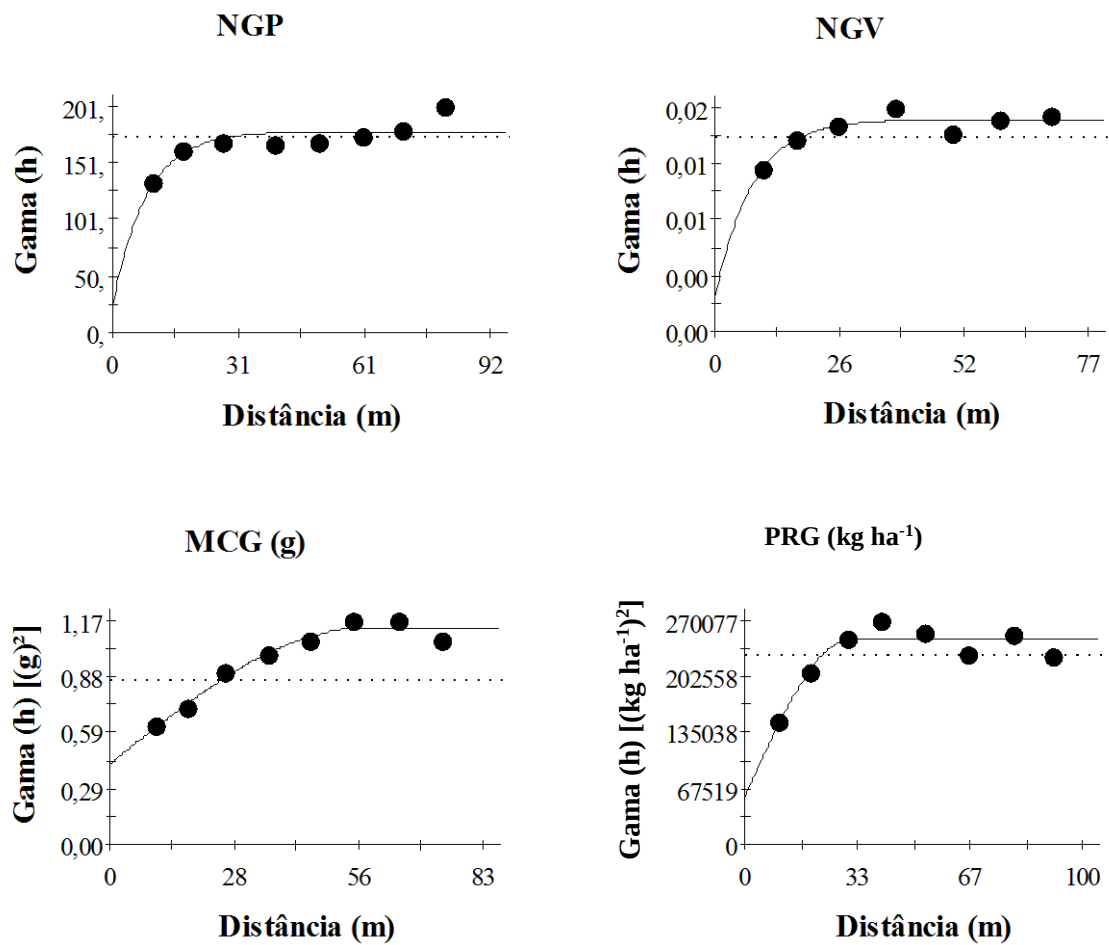




Fonte: Dados da pesquisa do autor.

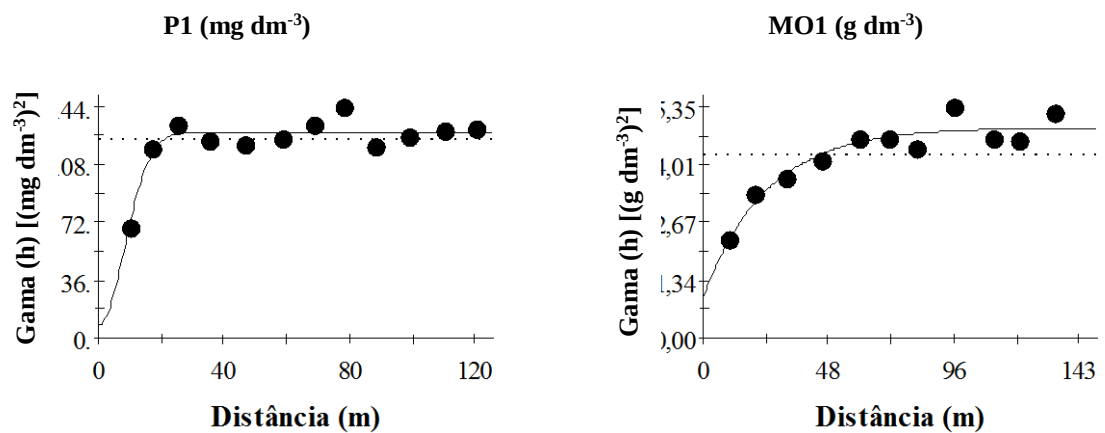
Apêndice 6-Semivariogramas simples da população final de plantas (POP), altura de inserção da 1ª vagem (AIV), altura de plantas (ALT), número de vagens por planta (NVP), número de grãos por planta (NGP), número de grãos por vagens (NGV), massa de 100 grãos (MCG) e produtividade de grãos (PRG) da cultura da soja em um LATOSSOLO VERMELHO Distrófico sob Cultivo Mínimo. Selvíria, MS, Brasil, 2015/16.

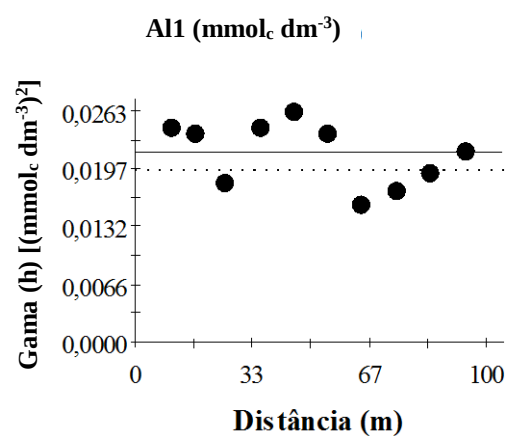
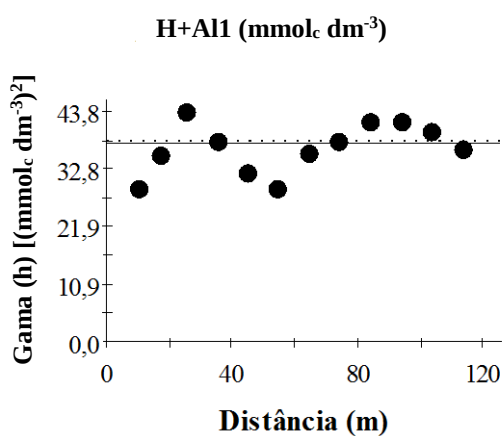
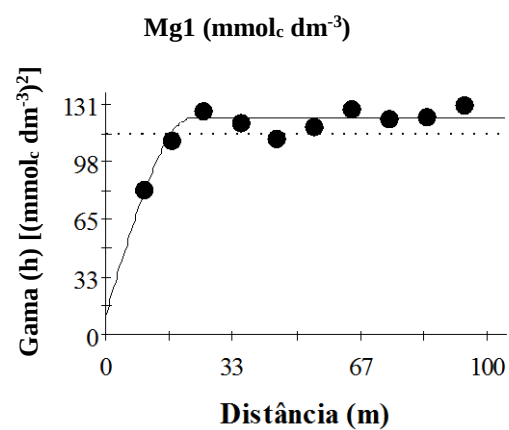
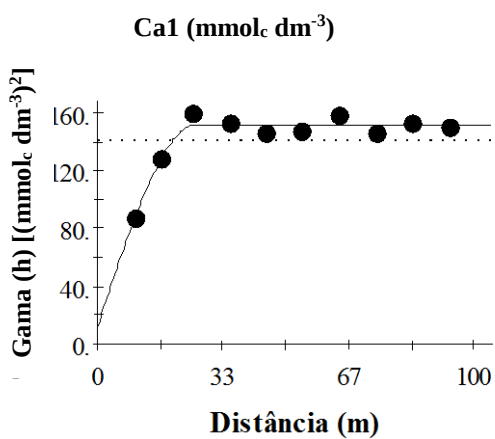
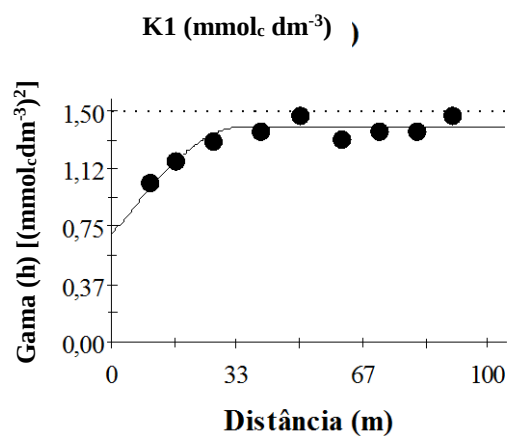
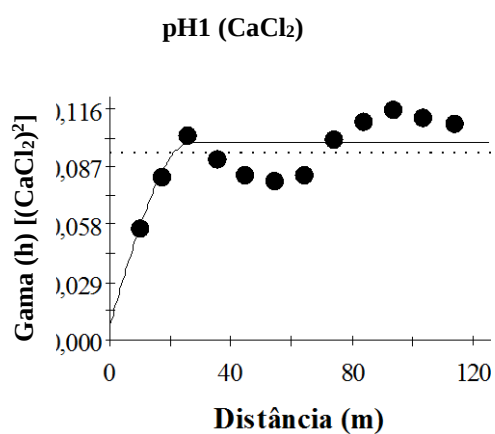


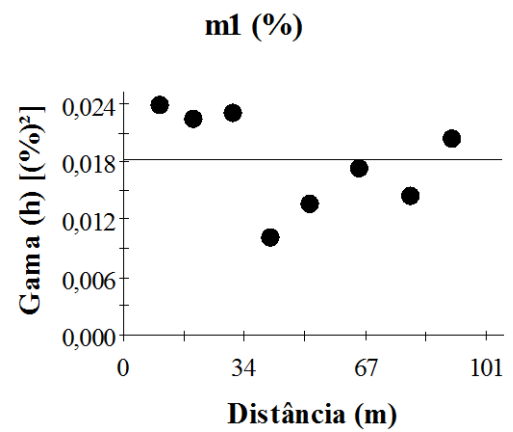
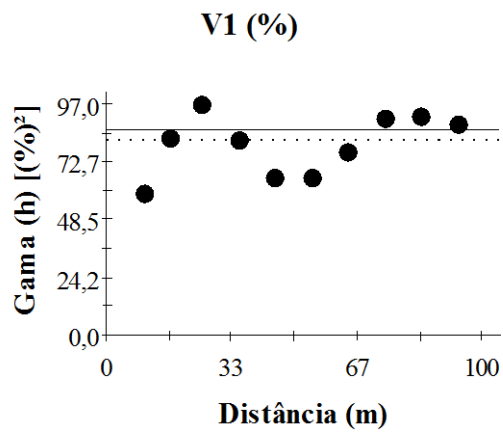
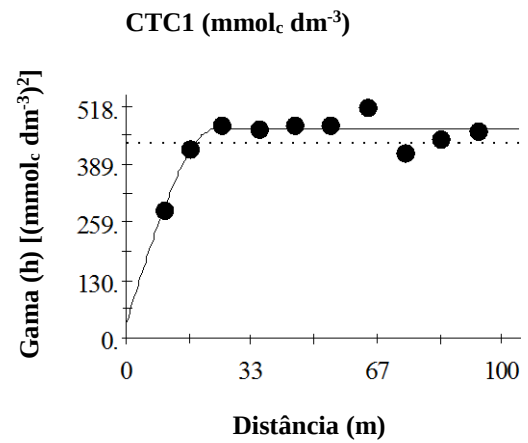
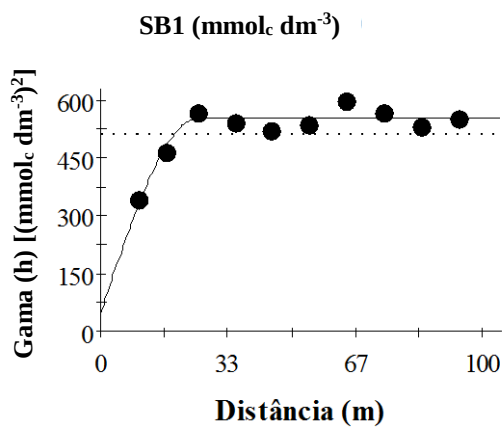


Fonte: Dados da pesquisa do autor.

Apêndice 7 - Semivariogramas simples dos atributos químicos de um LATOSSOLO VERMELHO Distrófico, na camada de 0-0,10 m, após a cultura da soja sob Plantio Direto. Selvíria, MS, Brasil, 2015/16.

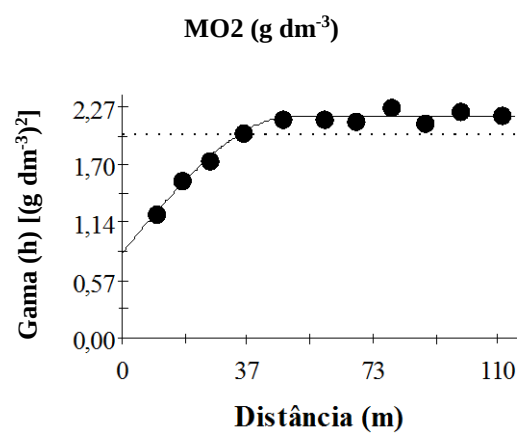
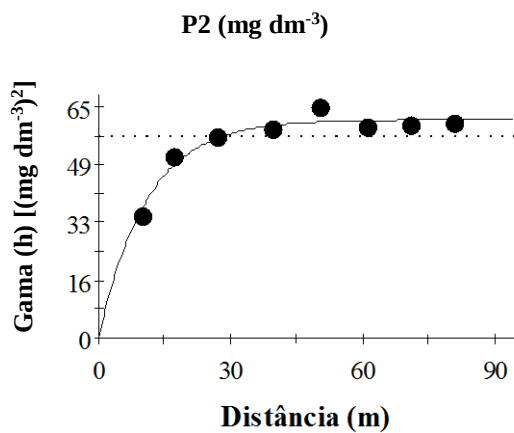


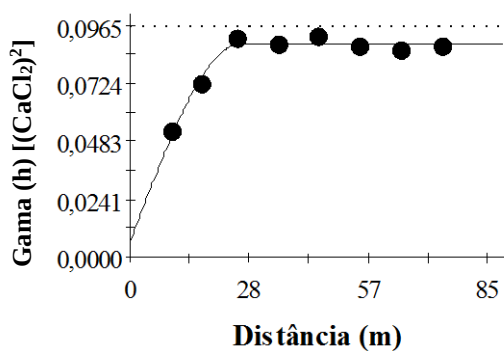
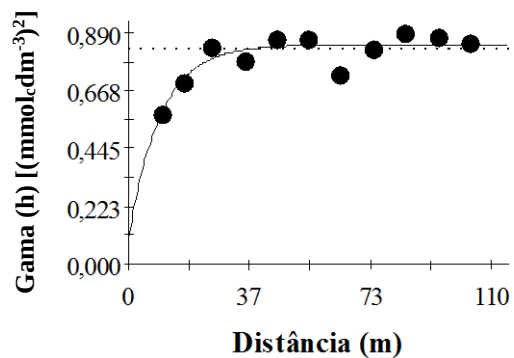
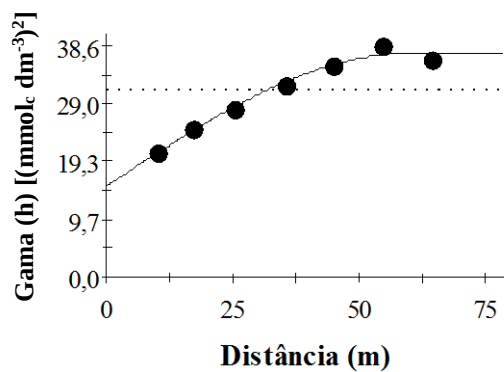
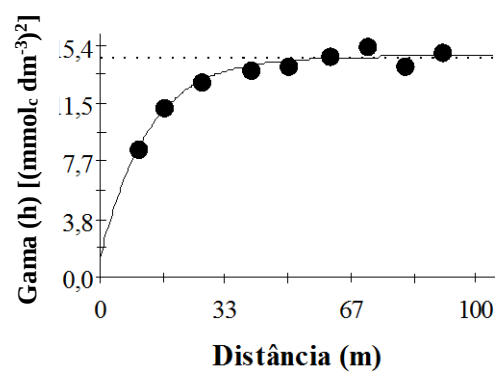
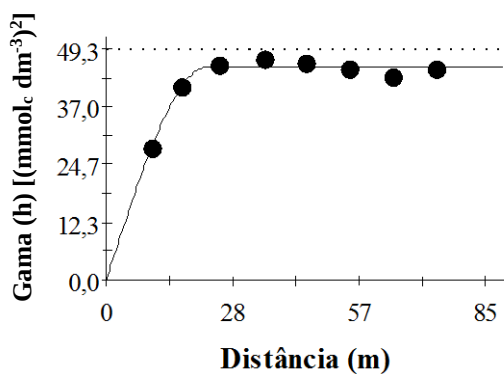
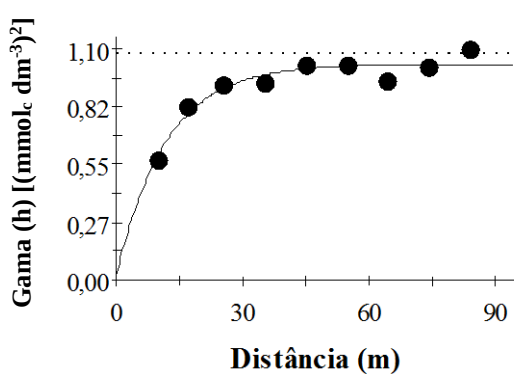


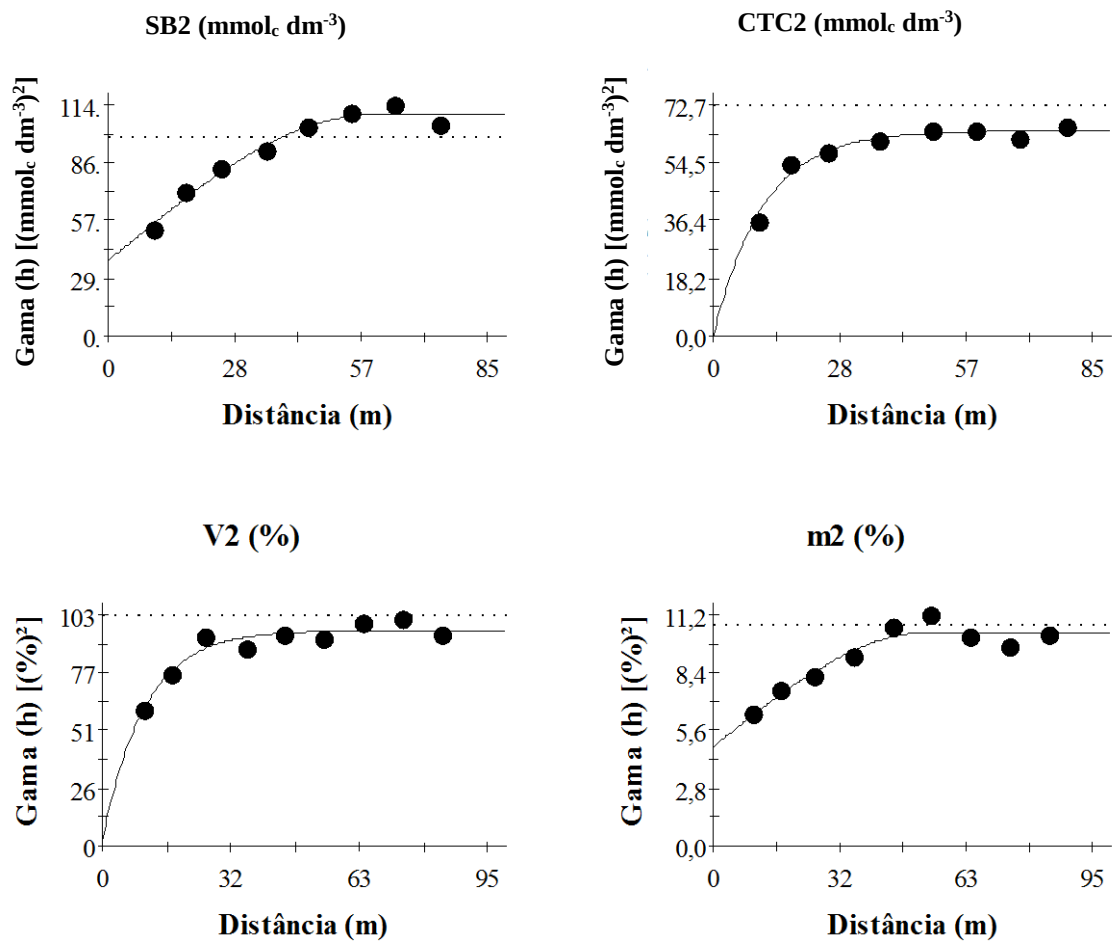


Fonte: Dados da pesquisa do autor.

Apêndice 8 - Semivariogramas simples dos atributos químicos de um LATOSSOLO VERMELHO Distrófico, na camada de 0,10-0,20 m, após a cultura da soja sob Plantio Direto. Selvíria, MS, Brasil, 2015/16.

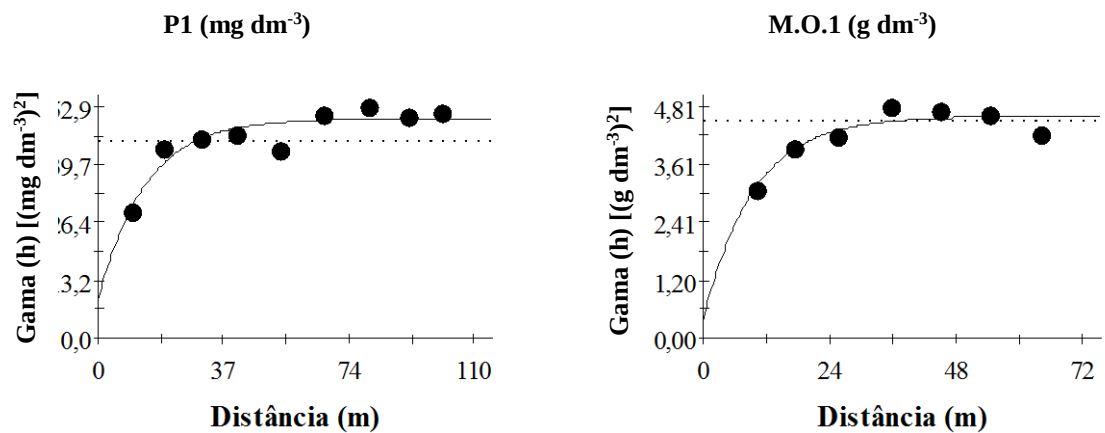


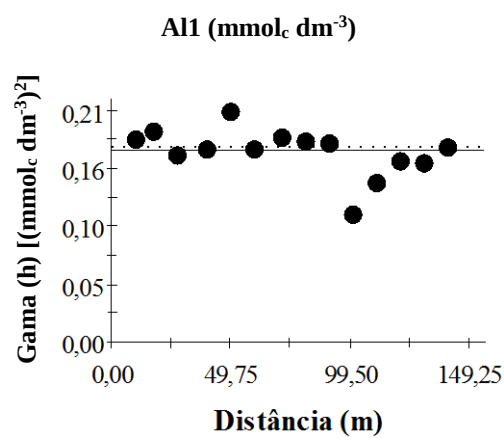
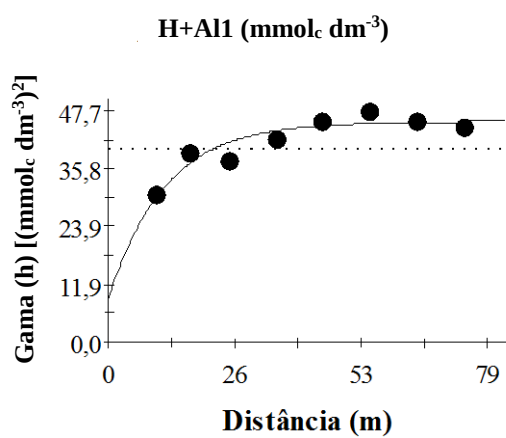
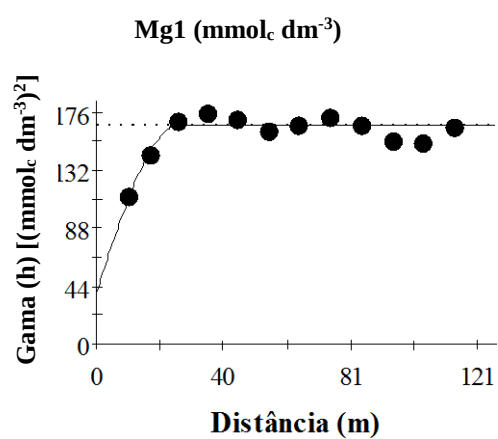
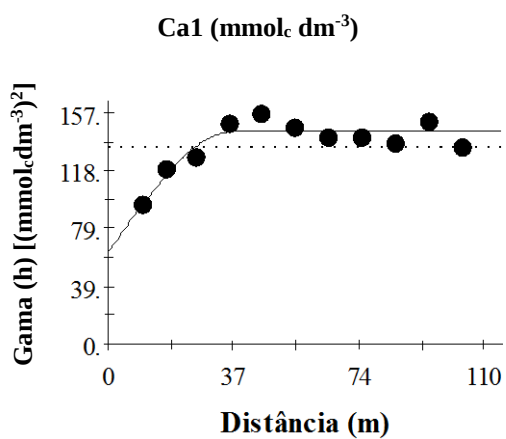
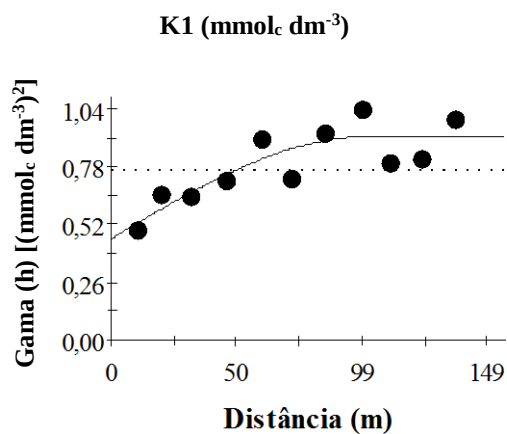
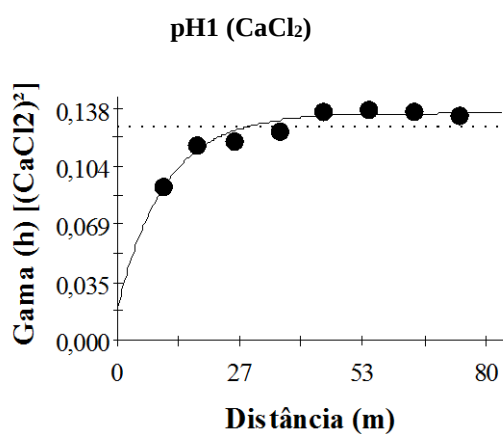
pH2 (CaCl₂)K2 (mmol_c dm⁻³)Ca2 (mmol_c dm⁻³)Mg2 (mmol_c dm⁻³)H+Al2 (mmol_c dm⁻³)Al2 (mmol_c dm⁻³)

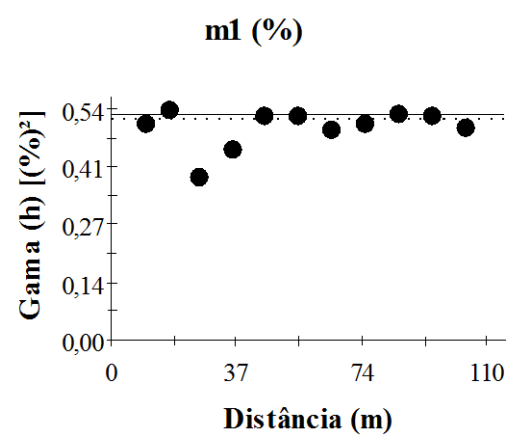
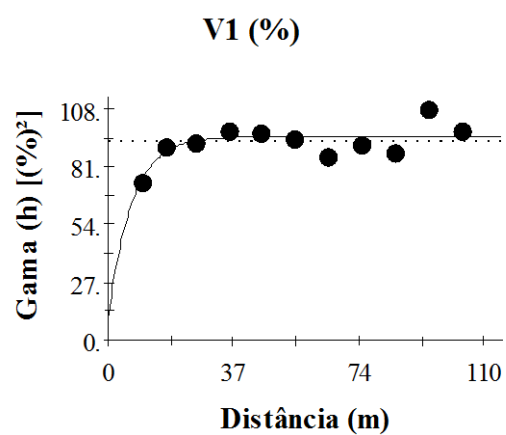
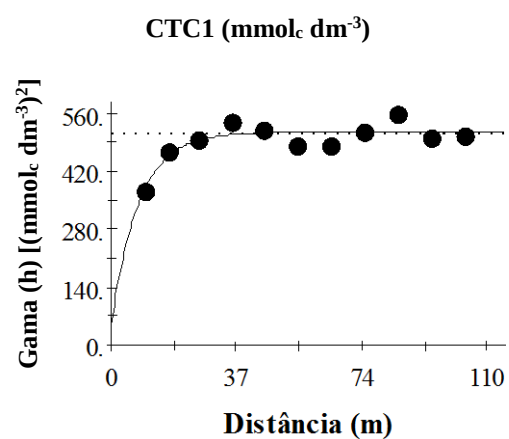
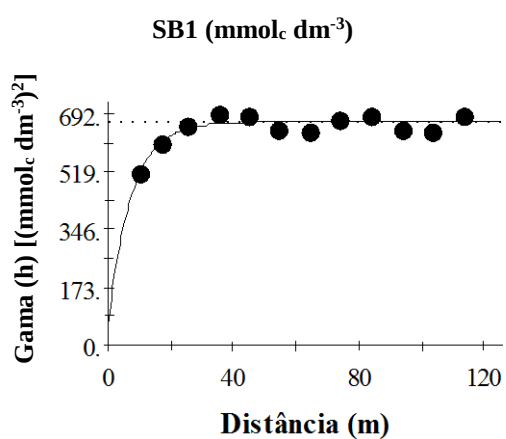


Fonte: Dados da pesquisa do autor.

Apêndice 9 - Semivariogramas simples dos atributos químicos de um LATOSSOLO VERMELHO Distrófico, na camada de 0-0,10 m, após a cultura da soja sob Cultivo Mínimo. Selvíria, MS, Brasil, 2015/16.

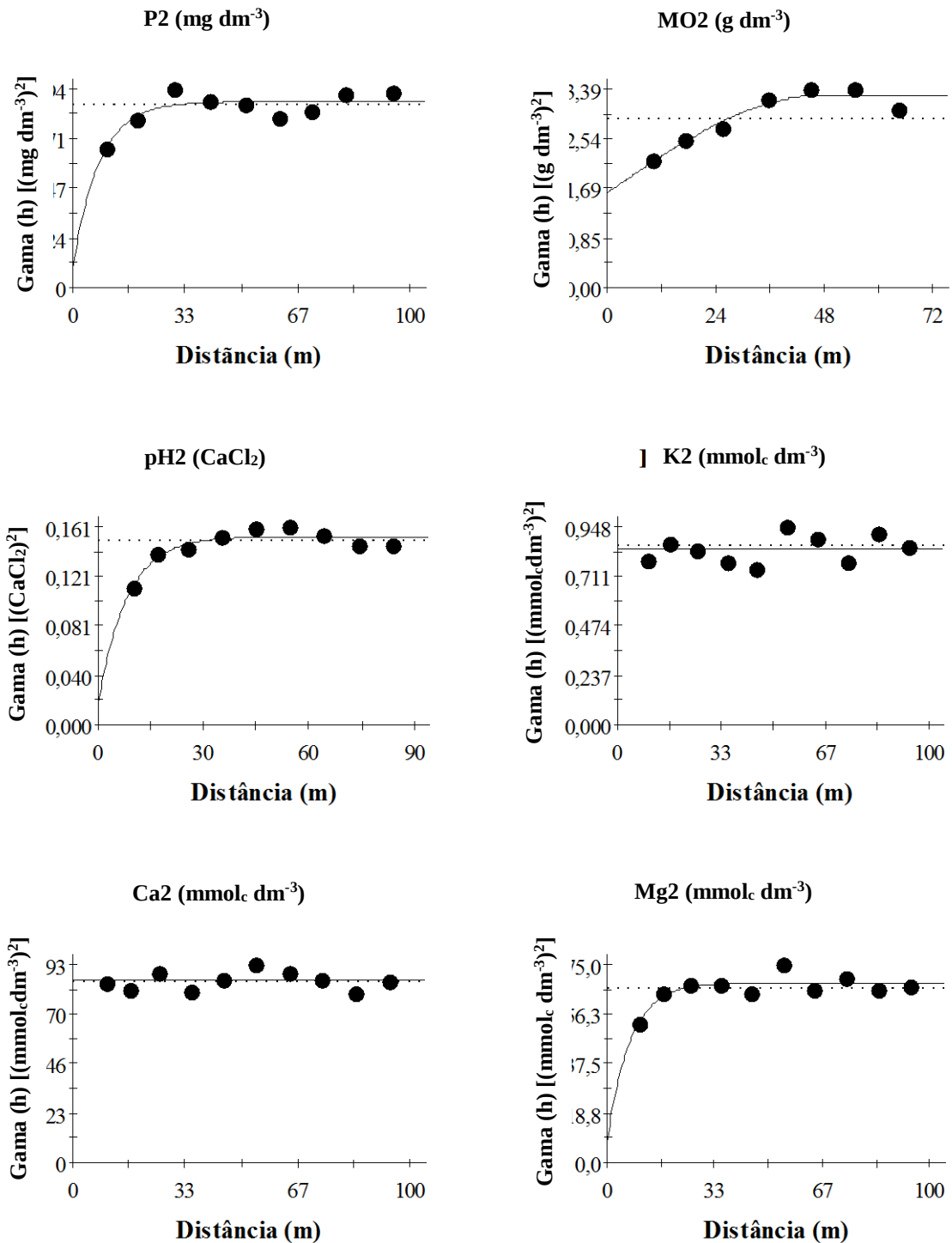


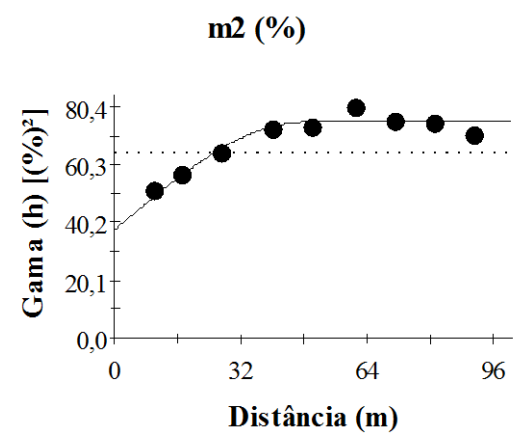
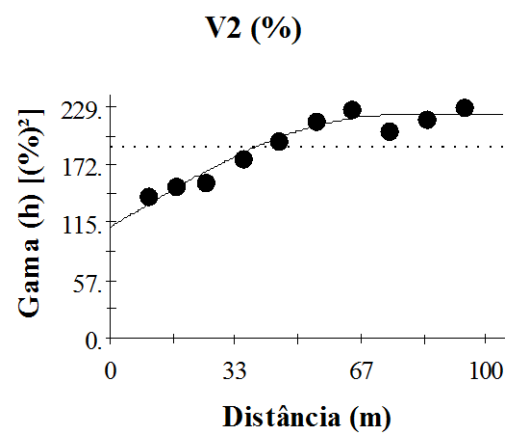
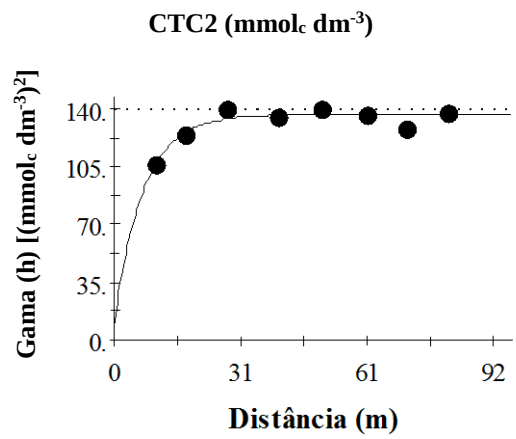
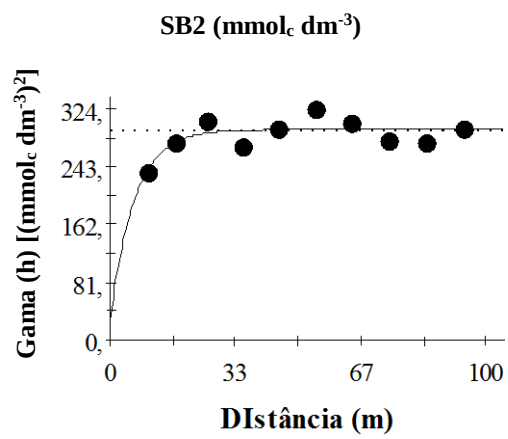
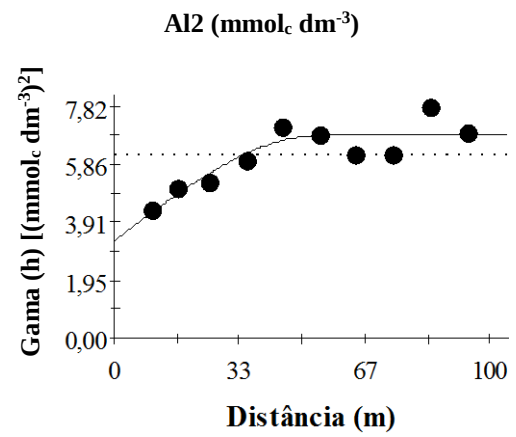
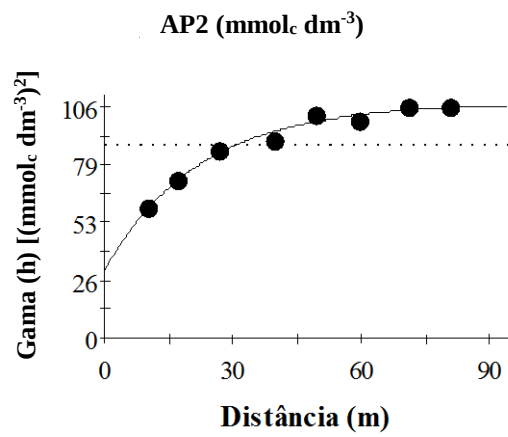




Fonte: Dados da pesquisa do autor.

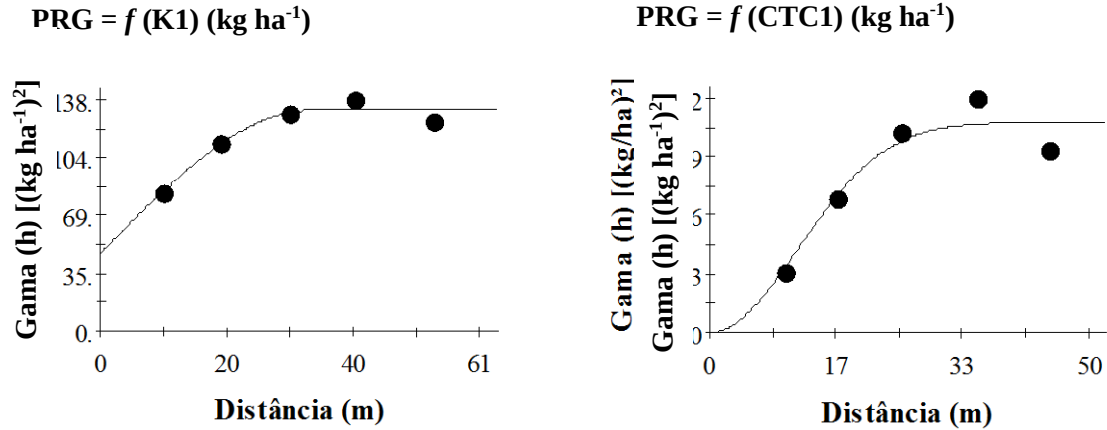
Apêndice 10 - Semivariogramas simples dos atributos químicos de um LATOSSOLO VERMELHO Distrófico, na camada de 0,10-0,20 m, após a cultura da soja sob Cultivo Mínimo. Selvíria, MS, Brasil, 2015/16.





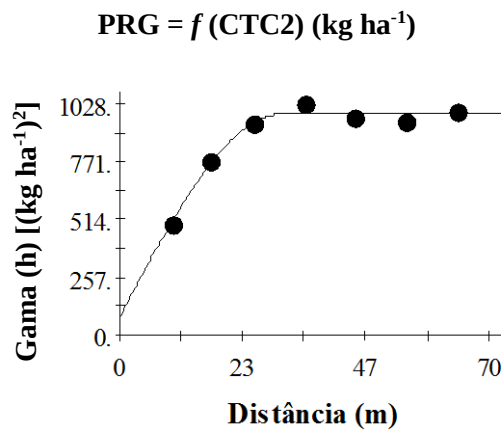
Fonte: Dados da pesquisa do autor.

Apêndice 11 - Semivariogramas cruzados da produtividade de grãos (PRG) em função do potássio (K) e da capacidade de troca catiônica (CTC) de um LATOSSOLO VERMELHO Distrófico, na camada de 0-0,10 m, após a cultura da soja sob Plantio Direto. Selvíria, MS, Brasil, 2015/16.



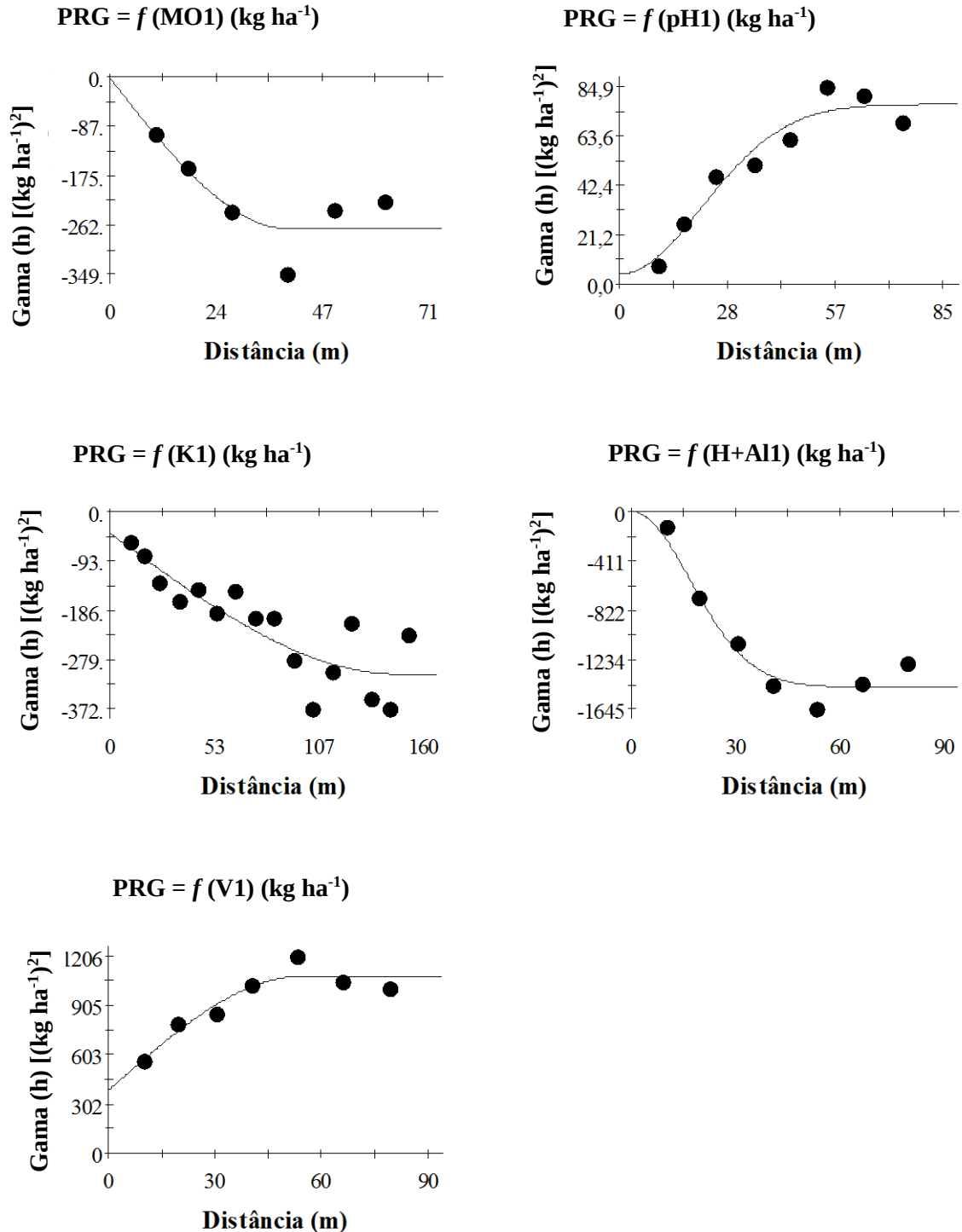
Fonte: Dados da pesquisa do autor.

Apêndice 12 - Semivariograma cruzado da produtividade de grãos (PRG) em função da capacidade de troca catiônica (CTC) de um LATOSSOLO VERMELHO Distrófico, na camada de 0,10-0,20 m, após a cultura da soja sob Plantio Direto. Selvíria, MS, Brasil, 2015/16.



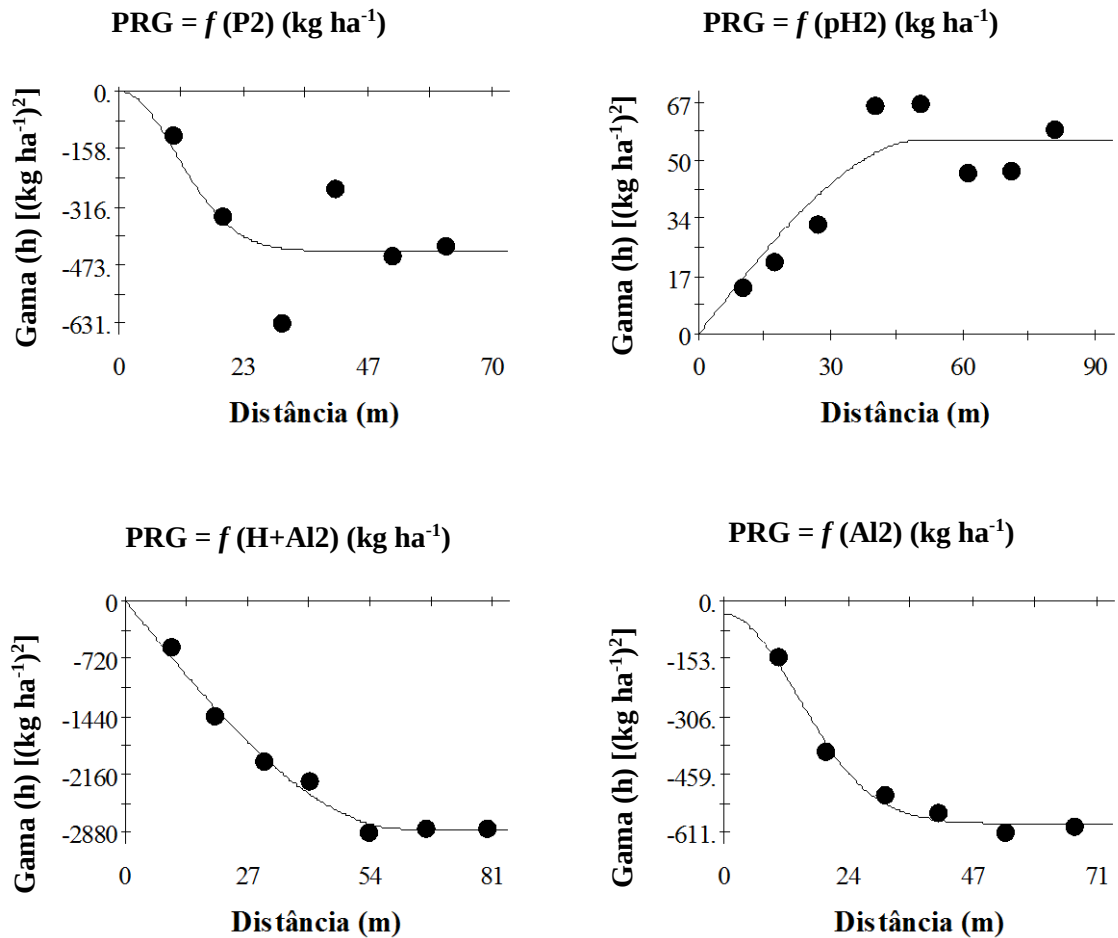
Fonte: Dados da pesquisa do autor.

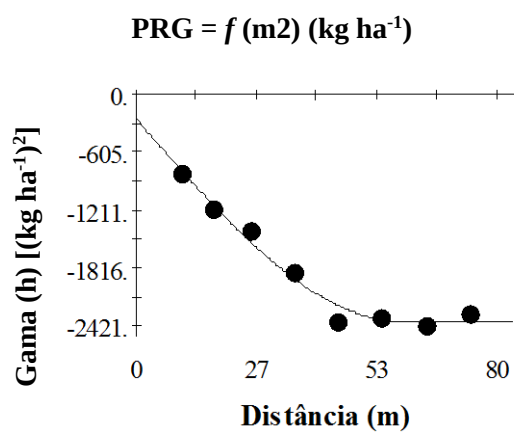
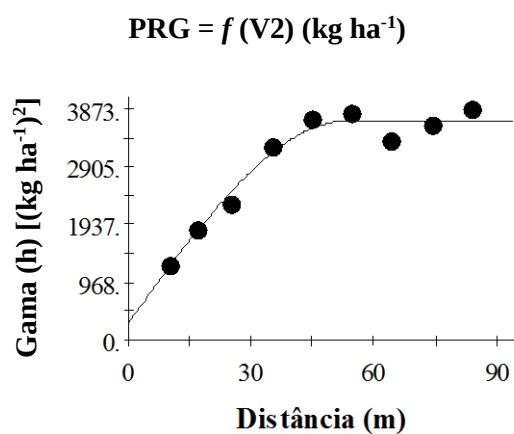
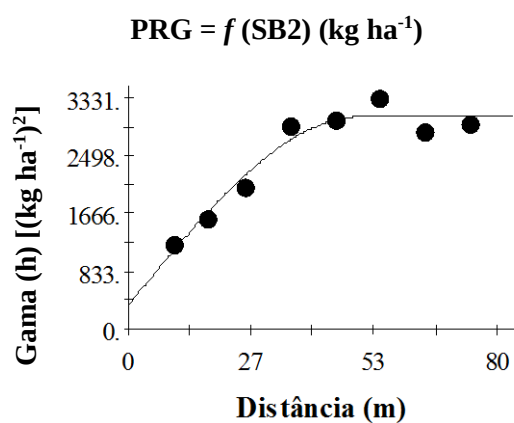
Apêndice 13 - Semivariogramas cruzados da produtividade de grãos (PRG) em função da matéria orgânica (MO), pH, potássio (K), acidez potencial (H+Al) e saturação por bases (V%) de um LATOSSOLO VERMELHO Distrófico, na camada de 0,00-0,10 m, após a cultura da soja sob Cultivo Mínimo. Selvíria, MS, Brasil, 2015/16.



Fonte: Dados da pesquisa do autor.

Apêndice 14 - Semivariogramas cruzados da produtividade de grãos (PRG) em função do fósforo disponível (P), pH, acidez potencial (H+Al), alumínio (Al), soma de bases (SB), saturação por bases (V%) e saturação por alumínio (m%) de um LATOSSOLO VERMELHO Distrófico, na camada de 0,10-0,20 m, após a cultura da soja sob Cultivo Mínimo. Selvíria, MS, Brasil, 2015/16.





Fonte: Dados da pesquisa do autor.

ANEXO

Anexo 1 - Algoritmo simples para cruzamento dos teores dos atributos em cada sistema de manejo.

```
{
Tematico fosf("P"), peh ("pH"), pot ("K"), qual ("QUALIDADE");
//Recuperando planos
fosf=Recupere (Nome = "P");
peh=Recupere (Nome = "pH");
pot=Recupere (Nome = "K");
//Criando novo plano
qual=Novo(Nome="QualidadeQ", ResX=1, ResY=1, Escala=1000);
//Definindo as relações entre classes
qual=Atribua (CategoriaFim = "QUALIDADE")
//Classes: muito_Baixo: 4; baixo: 5 ou 6; medio: 7, 8 ou 9; alto: 10 ou 11; muito-alto 12.
{
"muito_baixo": (pot.Classe == "ruim" && fosf.Classe == "ruim" && peh.Classe == "ruim"),
"baixo": (pot.Classe == "ruim" && fosf.Classe == "ruim" && peh.Classe == "ruim") ,
"baixo": (pot.Classe == "ruim" && fosf.Classe == "ruim" && peh.Classe == "media") ,
"baixo": (pot.Classe == "ruim" && fosf.Classe == "media" && peh.Classe == "ruim") ,
"baixo": (pot.Classe == "media" && fosf.Classe == "ruim" && peh.Classe == "ruim") ,
"baixo": (pot.Classe == "ruim" && fosf.Classe == "media" && peh.Classe == "media") ,
"baixo": (pot.Classe == "media" && fosf.Classe == "ruim" && peh.Classe == "media") ,
"baixo": (pot.Classe == "media" && fosf.Classe == "media" && peh.Classe == "ruim") ,
"baixo": (pot.Classe == "ruim" && fosf.Classe == "boa" && peh.Classe == "ruim") ,
"baixo": (pot.Classe == "boa" && fosf.Classe == "ruim" && peh.Classe == "ruim") ,
"baixo": (pot.Classe == "ruim" && fosf.Classe == "ruim" && peh.Classe == "boa"),
"medio": (pot.Classe == "media" && fosf.Classe == "media" && peh.Classe == "media"),
"medio": (pot.Classe == "media" && fosf.Classe == "media" && peh.Classe == "media"),
"medio": (pot.Classe == "media" && fosf.Classe == "boa" && peh.Classe == "ruim"),
"medio": (pot.Classe == "media" && fosf.Classe == "ruim" && peh.Classe == "boa"),
"medio": (pot.Classe == "ruim" && fosf.Classe == "media" && peh.Classe == "boa"),
"medio": (pot.Classe == "ruim" && fosf.Classe == "boa" && peh.Classe == "media"),
"medio": (pot.Classe == "boa" && fosf.Classe == "media" && peh.Classe == "ruim"),
"medio": (pot.Classe == "boa" && fosf.Classe == "ruim" && peh.Classe == "media"),
"alto": (pot.Classe == "ruim" && fosf.Classe == "boa" && peh.Classe == "boa"),
"alto": (pot.Classe == "boa" && fosf.Classe == "boa" && peh.Classe == "ruim"),
"alto": (pot.Classe == "boa" && fosf.Classe == "ruim" && peh.Classe == "boa"),
"alto": (pot.Classe == "boa" && fosf.Classe == "boa" && peh.Classe == "media"),
"alto": (pot.Classe == "boa" && fosf.Classe == "media" && peh.Classe == "boa"),
"alto": (pot.Classe == "media" && fosf.Classe == "boa" && peh.Classe == "boa"),
"alto": (pot.Classe == "media" && fosf.Classe == "media" && peh.Classe == "boa"),
"alto": (pot.Classe == "media" && fosf.Classe == "boa" && peh.Classe == "media"),
"alto": (pot.Classe == "boa" && fosf.Classe == "media" && peh.Classe == "media"),
"muito_alto": (pot.Classe == "boa" && fosf.Classe == "boa" && peh.Classe == "boa")
};
}
```