





**Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária  
Embrapa Gado de Corte  
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento**

## **DOCUMENTOS 254**

# Práticas de cultivo e rotação de culturas para avaliar a qualidade do solo em diferentes sistemas de manejo no Sudoeste dos Cerrados

*Alexandre Romeiro de Araújo  
Manuel Cláudio Motta Macedo  
André Dominghetti Ferreira  
José Antônio Maior Bono  
Fernando Paim Costa  
Ademir Hugo Zimmer  
Armindo Neivo Kichel*

**Embrapa**  
**Brasília, DF**  
**2018**

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

**Embrapa Gado de Corte**  
Av. Rádio Maia, 830, Zona Rural, Campo Grande, MS,  
79106-550, Campo Grande, MS  
Fone: (67) 3368 2000  
Fax: (67) 3368 2150  
www.embrapa.br  
www.embrapa.br/fale-conosco/sac

Comitê Local de Publicações  
da Embrapa Gado de Corte

Presidente  
*Thais Basso Amaral*

Secretário-Executivo  
*Rodrigo Carvalho Alva*

Membros  
*Alexandre Romeiro de Araújo, André Dominghetti Ferreira, André Alves do Egito, Kadijah Suleiman Jaghub, Liana Jank, Lucimara Chiari, Marcelo Castro Pereira, Mariane de Mendonça Vilela, Rodiney de Arruda Mauro, Wilson Werner Koller*

Supervisão editorial  
*Rodrigo Carvalho Alva*

Revisão de texto  
*Rodrigo Carvalho Alva*

Normalização bibliográfica  
*Autor*

Tratamento das ilustrações  
*Rodrigo Carvalho Alva*

Projeto gráfico da coleção  
*Carlos Eduardo Felice Barbeiro*

Editoração eletrônica  
*Rodrigo Carvalho Alva*

Foto da capa  
*Alexandre Romeiro de Araújo*

**1ª edição**  
1ª impressão (2018): eletrônico

**Todos os direitos reservados.**

A reprodução não autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610).

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)**

Embrapa Gado de Corte

---

Práticas de cultivos e rotação de culturas para avaliar a qualidade do solo em diferentes sistemas de manejo no Sudoeste dos Cerrados / Alexandre Romeiro de Araújo ... [et al.]. - Campo Grande, MS : Embrapa Gado de Corte, 2018.  
PDF (36 p.). - (Documentos / Embrapa Gado de Corte, ISSN 1983-974X254).

1. Compactação do solo. 2. Fertilidade do solo. 3. Plantio direto. 4. Rotação de cultura. 5. Transferência de tecnologia. I. Macedo, Manuel Cláudio Motta. II. Ferreira, André Dominghetti. III. Bono, José Antônio Maior. IV. Costa, Fernando Paim. V. Zimmer, Ademir Hugo. VI. Kichel, Armindo Neivo. VII. Série.

CDD 631.58 (23. ed.)

Maria de Fátima da Cunha (CRB 1/2616)

© Embrapa, 2018

## Autores

### **Alexandre Romeiro de Araújo**

Zootecnista, Doutor em Ciência do Solo, Universidade Federal de Lavras. Pesquisador da Embrapa Gado de Corte, Campo Grande, MS

### **Manuel Cláudio Motta Macedo**

Engenheiro-agrônomo, PhD em Ciências do Solo, North Carolina State University. Pesquisador da Embrapa Gado de Corte, Campo Grande, MS

### **André Dominghetti Ferreira**

Engenheiro-agrônomo, Doutor em Fitotecnia, Universidade Federal de Lavras. Pesquisador da Embrapa Café, Brasília, DF

### **José Antônio Maior Bono**

Engenheiro-agrônomo, Doutor em Solos e Nutrição de Plantas, Universidade Estadual de Maringá. Universidade Anhanguera-Uniderp, Campo Grande, MS

### **Fernando Paim Costa**

Engenheiro-agrônomo, PhD em Administração Rural, University of Reading. Pesquisador da Embrapa Gado de Corte, Campo Grande, MS

**Ademir Hugo Zimmer**

Engenheiro-agrônomo, Doutor em Zootecnia, Universidade Estadual Júlio Mesquita Filho. Pesquisador da Embrapa Gado de Corte, Campo Grande, MS

**Armindo Neivo Kichel**

Engenheiro-agrônomo, Doutor em Agronomia, Universidade Universidade Federal da Grande Dourados. Pesquisador da Embrapa Gado de Corte, Campo Grande, MS

# Sumário



## Introdução

O crescimento da população mundial, o aumento da expectativa de vida e a tendência à padronização do consumo têm aumentado indiscriminadamente a utilização dos recursos naturais. O desenfreado consumo dos recursos do planeta compromete a qualidade de vida e gera consequências nas gerações futuras. Neste sentido, Lopes et al. (2003) mostram tecnologias já disponíveis no Brasil para incrementos em produtividade. Tais pesquisadores procuram demonstrar, que o uso de tecnologias sustentáveis, para incrementar a produção agropecuária brasileira consiste em forte instrumento de preservação ambiental, diminuindo ou até mesmo eliminando o desmatamento desenfreado, muitas vezes de áreas com restrições ao processo intensivo de exploração.

As principais causas para a degradação são, de acordo com Oldeman et al. (1998), o desmatamento, o manejo inadequado da agricultura e pecuária e a excessiva exploração da vegetação para combustível e a atividade industrial.

As discussões sobre qualidade do solo se intensificaram a partir da década de 1990. Doran (1997) propôs um conceito de qualidade do solo muito pertinente nos dias atuais, e de acordo com este autor, a qualidade do solo é a capacidade de um solo funcionar dentro dos limites de um ecossistema natural ou manejado, para sustentar a produtividade de plantas e animais, manter ou aumentar a qualidade do ar e da água e promover a saúde das plantas, dos animais e dos homens.

A sustentabilidade dos sistemas agroecológicos tem como suporte a biodiversidade, a ciclagem de nutrientes e o fluxo de energia. Com o propósito de solucionar sérios problemas de degradação, o Sistema Plantio Direto (SPD) no Brasil é um exemplo de integração tecnológica, com produtores pioneiros se mobilizando, trocando experiências e buscando conhecimentos e inovações além de interagirem com ações de pesquisa e desenvolvimento (P&D) no Brasil e no exterior.

Em um relato sobre a evolução do SPD do início dos anos 70 até meados dos anos 90, Puríssimo (1997) observa que várias foram as dificuldades encontradas, desde a falta de equipamentos até a alta dependência do controle químico das plantas daninhas. No entanto, explica que a partir da década de

noventa, a tendência do SPD tornou-se mais proativa, com base mais em oportunidades do que em riscos. Como exemplo desta tendência, mostra o emprego do SPD em sistemas de produção animal, por meio da integração lavoura-pecuária. De acordo com o autor, a combinação de culturas extensivas com a produção de carne ou leite, pela inclusão de uma cobertura morta diferenciada, acrescida dos benefícios agregados, é uma tentativa de retorno ao equilíbrio natural.

Benefícios foram trazidos com a adoção do SPD pelos agricultores mostrando que este sistema é comprovadamente uma técnica de manejo do solo eficiente no controle da erosão, minimizando as perdas de solo. No entanto, o não revolvimento do solo, aliado ao tráfego do maquinário agrícola, pode acarretar alterações em sua estrutura, aumentando a densidade do solo, que juntamente com a reduzida rugosidade superficial, podem prejudicar a entrada de água no sistema.

A compactação do solo tem sido um dos grandes entraves na obtenção de elevadas produtividades. É caracterizada pela redução do volume de poros e da taxa de difusão de oxigênio e pelo aumento da densidade, da resistência física a penetração e da energia com que a água é retida no solo. Deste modo, a compactação é um processo importante, principalmente quando atinge limites críticos, ou seja, quando diminui a quantidade de água disponível e prejudica o crescimento radicular, confinando as raízes acima da camada compactada ou em partes do perfil, diminuindo o volume de solo explorado pelas raízes, a quantidade de ar, água e nutrientes disponíveis, limitando a produtividade das culturas (Moraes et al., 1995).

O SPD tem sido bem-sucedido no Sul e Sudeste do país onde se encontram, principalmente, os biomas Pampa e Mata Atlântica, entretanto a sua introdução enfrenta maiores dificuldades no Centro-Oeste, no bioma Cerrado, muito em função da dificuldade de persistência da palhada durante o ciclo da cultura de verão. Além da compactação subsuperficial, que foi também observada no Sul e Sudeste, nessa região é extremamente difícil o estabelecimento e manutenção de cobertura contínua (palhada) do solo e, conseqüentemente, o aumento de matéria orgânica no solo, principalmente abaixo de 15-20 cm. Em regiões de clima tropical, com temperatura e umidade elevadas, a rápida decomposição dos resíduos vegetais é favorecida, dificultando a formação de uma camada adequada de cobertura do solo.

Dentre as alternativas para mitigar o efeito da compactação em áreas de SPD, podem ser citadas a rotação de culturas, a escarificação e a subsolação, que tendem a diminuir a densidade do solo, aumentar a porosidade, melhorar a infiltração de água, entre outros.

É de amplo conhecimento que a conservação do solo e a produtividade das culturas podem ser afetadas por mudanças no arranjo estrutural do solo em função do manejo adotado. Apesar de a literatura ser abundante em trabalhos que mostram alternativas de preparo de solo, com intuito de minimizar os efeitos da compactação em SPD, poucos são os estudos na região dos Cerrados. Neste contexto, a Embrapa vem atuando no desenvolvimento e na transferência de tecnologias para aumentar a eficiência de utilização de pastagens e do SPD em áreas de Cerrado. Entretanto, pesquisas de longa duração, avaliando o impacto do manejo do solo, associado a práticas de cultivo, sobre a pastagem e a lavoura subsequente ainda são pouco expressivas no centro-oeste do Brasil.

## Objetivos

### Objetivo geral

Avaliar diferentes práticas de preparo de solo, associadas à rotação de culturas, em sistemas de lavoura contínua convencional, cultivo conservacionista e SPD na manutenção e aprimoramento da qualidade do solo.

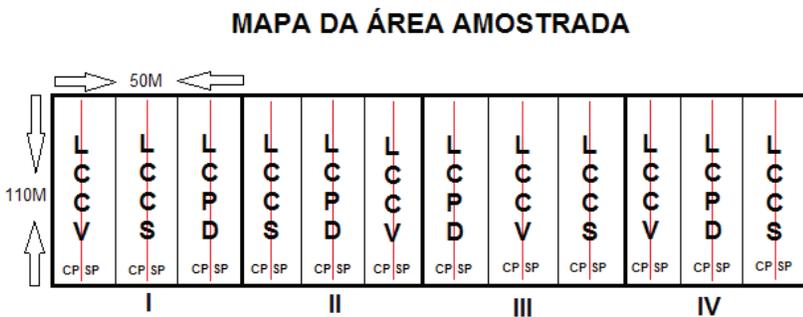
### Objetivos específicos

Avaliar diferentes práticas de preparo de solo, associadas à rotação de culturas, por meio de:

- Estudo das características químicas e físicas do solo;
- Medida da resistência do solo à penetração (RP), e do conteúdo de água no solo;
- Avaliação econômica dos sistemas de produção avaliados.

## Material e métodos

O projeto foi instalado na Embrapa Gado de Corte, em Campo Grande, MS, no Sudoeste da região dos Cerrados, nas coordenadas, 20°24'57" S e 54°42'32" W. A figura 1 mostra o croqui da área experimental. O padrão climático da região é descrito, segundo Köppen, como pertencente à faixa de transição entre Cfa e Aw tropical úmido. A precipitação média anual é de 1.560 mm, e o período considerado de seca compreende os meses de maio a setembro.



**Figura 1.** Croqui de distribuição dos tratamentos. Onde: LCCV (lavoura contínua cultivo convencional); LCCS (lavoura contínua cultivo conservacionista); LCPD (lavoura contínua plantio direto); CP (com preparo) e SP (sem preparo).

O solo do local é um Latossolo Vermelho Distrófico argiloso (Embrapa, 2013), com valores de argila variando de 40 a 45%. O histórico da área é conhecido desde 1979, sendo basicamente área de pastagens após limpeza do Cerrado.

Foram estudados piquetes utilizados de maneira convencional e em SPD desde 1993/94, com diferentes combinações de rotações que foram compostas de tratamentos adicionais para avaliar o proposto no objetivo do projeto.

Os três sistemas de cultivo utilizados foram: lavoura contínua, cultivo conservacionista e plantio direto.

Os tratamentos foram constituídos das seguintes práticas e arranjos de rotações:

- 1- Lavoura contínua em plantio convencional de soja no verão, sem cultivo de outono-inverno, com preparo de solo anual com grade aradora e niveladora; situação efetuada anualmente há 22 anos;
- 2- Idem tratamento 1, com preparo de solo de grade aradora, arado de aiveca e grade niveladora; situação implementada em novembro de 2010; sistema de preparo com grades a partir do outubro/novembro de 2011; arado de aiveca utilizado novamente em 2014;
- 3- Lavoura contínua em cultivo conservacionista, com soja no verão, cultivo simultâneo de sorgo forrageiro cv. BRS 800 e *Brachiaria brizantha* cv. BRS Piatã no outono-inverno, no primeiro ano, e no segundo ano Guandu (*Cajanus cajan*) cv. Mandarin consorciado com *Brachiaria brizantha* cv. BRS Piatã. Subsolagem efetuada a cada quatro anos; ação efetuada em novembro de 2009 e 2013; o SPD continua a partir do outono de 2010 e 2014;
- 4- Idem tratamento 3, com preparo de solo de grade aradora, arado de aiveca e grade niveladora; implementado em novembro de 2010; o SPD continua a partir do outono de 2011; arado de aiveca utilizado novamente em 2014;
- 5- Lavoura contínua em plantio direto, com soja no verão, cultivo simultâneo de sorgo forrageiro cv. BRS 800 e *Brachiaria brizantha* cv. BRS Piatã no outono-inverno, no primeiro ano, e no segundo ano Guandu (*Cajanus cajan*) cv. Mandarin consorciado com *Brachiaria brizantha* cv. Piatã. Sem nenhum preparo de solo, em plantio direto, situação efetuada anualmente há 22 anos;
- 6- Idem tratamento 5, com preparo de solo com grade aradora, arado de aiveca e grade niveladora; implementado em novembro de 2010, arado de aiveca utilizado novamente em 2014, em uma área que vem sendo efetuado o plantio direto há 21 anos; o SPD continua a partir do outono de 2011 e 2014;

As parcelas experimentais foram constituídas de faixas de 6 x 100 metros. Foram coletadas, anualmente, amostras para avaliar a fertilidade do solo na camada de 0 a 20 cm de profundidade, com determinações do pH, das bases trocáveis: (Ca, Mg e K), P extraível em Mehlich-1, Al trocável, H+Al e MO. Foram tomadas de 15 a 20 amostras simples em uma faixa central pré-determinada, para constituir uma amostra composta por parcela. Foram avaliadas, em uma linha central da parcela, em 10 posições, distanciadas de oito metros, com uma bordadura de 10 metros em cada lado: a densidade do solo, porosidade total, macro e micro porosidade, resistência à penetração e diâmetro médio de agregados. As determinações físicas e químicas seguiram as recomendações da Embrapa (1997).

A produtividade das culturas foi estimada tomando-se por base quatro faixas centrais de cinco metros de comprimento em cada parcela. Medições da produtividade de grãos foram efetuadas nesta faixa e extrapoladas para área total.

A RP foi avaliada em 10 posições, distanciadas de oito metros. Foram retiradas amostras para determinação da umidade nas profundidades de 0-15, 15-30 e 30-45 cm (Embrapa, 1997). A RP foi medida com um penetrômetro modelo PLG1020 (cone tipo 2) da Falker.

As amostragens de solo para análise da estabilidade de agregados foram retiradas em março de 2014 para posteriores análises laboratoriais. O delineamento experimental utilizado foi de blocos ao acaso, com parcelas subdivididas e quatro repetições, nos quais os sistemas de plantio convencional, conservacionista e plantio direto constituem a parcela principal e a ausência ou presença de preparo do solo as subparcelas. As parcelas experimentais foram constituídas de faixas de 6 x 110 metros. As amostras de solo foram retiradas em duas profundidades (0-10 e 10-20 cm), em uma linha central da parcela, em quatro posições distanciadas de aproximadamente vinte metros, com bordadura de quinze metros de cada lado.

O método utilizado para a determinação da estabilidade dos agregados foi o "Método do Peneiramento Úmido", proposto por Tiulin em 1928 e modificado por Yoder em 1936. Foram retiradas 100g de cada uma das amostras

coletadas, e colocadas no agitador (composto por 4 jogos de peneiras) por 10 minutos. Cada um desses jogos era composto por 5 peneiras com diferentes aberturas de malha (2,00; 1,00; 0,50; 0,21 e 0,105 mm) que foram agitadas em um reservatório com água. Passados os 10 minutos, as amostras foram retiradas do agitador e o solo retido em cada uma das peneiras foi colocado em recipientes separados e levados para a estufa a 110°C por 24h. Depois de secas, as amostras foram pesadas, identificadas e guardadas em sacos plásticos.

Para avaliar a agregação do solo, a separação de tamanhos dos agregados por classe foi realizada, assim foi determinado o diâmetro médio ponderado (DMP) e o diâmetro médio geométrico (DMG). Calculados da seguinte maneira (Van Bavel, 1949):

$$DMP = \sum_{i=1}^n \frac{m_i}{m} \cdot \bar{D}_i \quad \text{e} \quad DMG = e^{\sum_{i=1}^n \frac{m_i}{m} \cdot \ln(\bar{D}_i)}$$

Para determinar a umidade das amostras, 50 g de agregados de cada tratamento foram pesados e colocados em estufa também a 110°C por 24h.

Para avaliação da análise econômica dos sistemas de manejo e rotação de culturas foi utilizada a técnica da orçamentação parcial (Blank e Tarquin, 2008), aplicada aos dados agregados para o período 2010-2014, com preços de fevereiro de 2015.

Durante todo o período de avaliações, o plantio da soja foi realizado entre 01 a 15 de novembro. Já o plantio das culturas de inverno foi realizado entre os meses de março e abril do ano seguinte, logo após a colheita da soja.

O delineamento experimental foi de blocos ao acaso, com parcelas subdivididas e quatro repetições, nos quais os sistemas de plantio convencional, conservacionista e plantio direto constituíram a parcela principal e a ausência ou presença de preparo do solo as subparcelas. Para as análises estatísticas foi utilizado o software SAS 9.2 e o procedimento Mixed para análise de variância e teste de médias.

## Resultados e discussão

### Atributos químicos

Os resultados apresentados nas Tabelas 1 e 2 são referentes às análises realizadas na camada de 0-20 cm, cujas amostras foram realizadas de maio a junho de 2013. Os atributos químicos foram avaliados seguindo os métodos preconizados pela Embrapa (1997). Os dados foram submetidos à aplicação do teste F, na análise da variância, com utilização do software SAS 9.2, procedimento GLM. Quando da significância do teste F, foi aplicado o teste de Tukey para comparação das médias, ambos com 5% de significância.

Em linhas gerais o sistema de cultivo influencia as características químicas do solo. Dentre os sistemas, o LCPD foi o que apresentou as melhores condições de fertilidade do solo. O revolvimento anual do solo no sistema LCCV influenciou negativamente os teores de C no solo permanecendo abaixo dos valores encontrados nos demais. Todavia, após o quarto ano da subsolagem, os teores de C no LCCS são semelhantes aos encontrados no LCPD. Nota-se diferenças significativas em relação aos valores de pH, Ca, Mg, H+Al, SB, t, T e C (Tabelas 1 e 2), mostrando ser possível detectar diferenças entre os sistemas de cultivo por meio da análise química do solo, em experimentos estabilizados e de longa duração.

Modificações em função da ausência de revolvimento do solo em SPD e o conseqüente acúmulo de corretivos, fertilizantes e resíduos vegetais nas camadas superiores do solo podem promover modificações em alguns atributos químicos do solo, principalmente nas camadas superficiais. Estas modificações acontecem de forma gradual e progressiva, e afetam tanto a disponibilidade de nutrientes quanto o processo de acidificação do solo (Rheinheimer et al., 1998).

Nota-se nas Tabelas 3 e 4 que a execução do preparo do solo, independentemente do sistema de cultivo promove alterações nas características químicas do solo. Neste sentido, verifica-se a tendência de melhor condição de fertilidade do solo quando este não é revolvido. Especificamente para os teores de P, o revolvimento proporciona maior adsorção deste elemento às partículas coloidais, diminuindo sua disponibilidade para as plantas.

**Tabela 1.** Características químicas de um solo do Cerrado, na camada de 0-20 cm, sob lavoura contínua em diferentes sistemas de cultivo.

Sistemas	pH CaCl <sub>2</sub>	pH SMP	Ca	Mg	K	Al	H+Al	SB
-----cmolc dm <sup>-3</sup> -----								
LCCV	5,18 b	6,31 ab	2,93 b	0,87 b	0,31 a	0,01 a	4,90 ab	4,10 b
LCCS	5,17 b	6,24 b	3,10 b	1,08 b	0,30 a	0,01 a	5,13 a	4,47 b
LCPD	5,46 a	6,39 a	3,89 a	1,42 a	0,30 a	0,01 a	4,64 b	5,60 a

Médias seguidas de letras iguais na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey 5% de probabilidade. Onde: LCCV (Lavoura contínua cultivo convencional); LCCS (Lavoura contínua cultivo conservacionista); LCPD (Lavoura contínua plantio direto); SB (soma de bases).

**Tabela 2.** Características químicas de um solo do Cerrado, na camada de 0-20 cm, sob lavoura contínua em diferentes sistemas de cultivo.

Sistemas	t	T	V	m	PM1	PM3	C
	cmolc dm <sup>-3</sup>		-----%-----		mg dm <sup>-3</sup>		%
LCCV	4,12 b	9,0 c	45 b	0,39 a	13,0 a	20,7 a	1,65 b
LCCS	4,49 b	9,6 b	46 b	0,33 a	10,5 a	15,5 a	1,88 a
LCPD	5,61 a	10,2 a	54 a	0,26 a	11,0 a	14,3 a	1,94 a

Médias seguidas de letras iguais na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey 5% de probabilidade. Onde: LCCV (Lavoura contínua cultivo convencional); LCCS (Lavoura contínua cultivo conservacionista); LCPD (Lavoura contínua plantio direto); t (CTC efetiva); T (CTC potencial); V (saturação por bases); m (saturação alumínio); PM1 (fósforo Mehlich 1); PM3 (fósforo Mehlich 3) e C (carbono total).

**Tabela 3.** Características químicas de um solo de cerrado, na camada de 0-20 cm, sob lavoura contínua em diferentes sistemas de preparo do solo.

Sistemas	pH CaCl <sub>2</sub>	pH SMP	Ca	Mg	K	Al	H+Al	SB
-----cmolc dm <sup>-3</sup> -----								
CP	5,19 b	6,27 b	3,00 b	1,04 b	0,31 a	0,01 a	5,03 a	4,34 b
SP	5,36 a	6,35 a	3,62 a	1,21 a	0,29 a	0,01 a	4,76 b	5,12 a

Médias seguidas de letras iguais na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey 5% de probabilidade.

**Tabela 4.** Características químicas de um solo de cerrado, na camada de 0-20 cm, sob lavoura contínua em diferentes sistemas de preparo do solo.

Sistemas	t	T	V	m	PM1	PM3	C
	cmolc dm <sup>-3</sup>		-----%-----		mg dm <sup>-3</sup>		%
CP	4,35 b	9,36 b	46 a	0,38 a	10,40 b	14,69 b	1,82 a
SP	5,13 a	9,88 a	51 a	0,28 a	12,58 a	19,02 a	1,83 a

Médias seguidas de letras iguais na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey 5% de probabilidade.

Onde: CP (com preparo) e SP (sem preparo).

## Atributos físicos

### Resistência do solo à penetração e umidade do solo

A resistência do solo à penetração (RP) é uma das propriedades físicas diretamente relacionadas com o crescimento das plantas, bem como com os valores de densidade, além de ser muito influenciada pelos sistemas de cultivo e preparo do solo (Letey, 1985).

Apesar da literatura abundante em trabalhos que mostram alternativas de preparo de solo, com intuito de minimizar os efeitos da compactação em SPD, poucos são os estudos em experimentos de longa duração na região dos Cerrados. Os resultados apresentados abaixo se referem às avaliações da RP realizadas no período de 08 a 10/04/2013, logo após a colheita da soja. A precipitação acumulada durante o mês de março foi de 188 mm e durante a primeira semana de abril de 160 mm. A informação sobre a precipitação pluviométrica na ocasião ou em período próximo à avaliação de campo é de suma importância, pois os resultados da RP são diretamente influenciados pelos teores de umidade do solo. Por esse motivo, sempre da realização destas avaliações no campo, os valores de umidade do solo também foram avaliados e a correção dos valores de RP realizadas em função do teor de água no solo, de acordo com Busscher et al.(1997).

Os resultados da tabela 5 indicam que, independentemente do sistema de cultivo e preparo do solo, os valores observados neste estudo são inferiores aos considerados críticos para o desenvolvimento de plantas. Como referência optou-se em colocar nesta tabela os valores de RP da vegetação natural (VN), que se trata de área de Cerrado nativo adjacente a área. Nota-se que existem diferenças significativas entre os sistemas propostos.

**Tabela 5.** Resistência do solo à penetração (MPa) em diferentes profundidades e sistemas de cultivo.

Prof.	LCCV	LCCS	LCPD	VN
cm	-----MPa-----			
5	0,48 a	0,77 a	0,72 a	0,57
10	0,62 b	1,32 a	1,44 a	0,94
15	1,17 b	1,44 ab	1,61 a	0,96
20	1,80 a	1,35 b	1,51 b	1,07
25	1,76 a	1,36 b	1,53 b	1,10
30	1,72 a	1,38 b	1,48 b	1,16
35	1,63 a	1,46 b	1,54 ab	1,34
40	1,50 a	1,40 a	1,43 a	1,35
45	1,43 a	1,33 a	1,35 a	1,35
50	1,34 a	1,24 a	1,29 a	1,36
55	1,27 a	1,21 a	1,23 a	1,49
60	1,20 a	1,18 a	1,17 a	1,43
Média	1,22 a	1,19 a	1,26 a	1,18

Médias seguidas de letras iguais na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey 5% de probabilidade.

Onde: LCCV (Lavoura contínua cultivo convencional); LCCS (Lavoura contínua cultivo conservacionista); LCPD (Lavoura contínua plantio direto) e VN (vegetação nativa).

Observa-se uma tendência dos valores de RP serem menores nos primeiros 15 cm de profundidade no tratamento LCCV. Este fato pode estar associado ao revolvimento anual do solo com grade aradora e niveladora. A partir dos 20 cm de profundidade esta tendência se inverte. A profundidade onde ocorre a inversão da tendência observada coincide com a de operação das grades e pode estar relacionado ao popularmente chamado “pé de arado ou pé de grade”. Esta tendência de inversão permanece até aos 35 cm de profundidade. A partir deste ponto, as diferenças entre os sistemas propostos não são mais observadas. Atentando-se para os tratamentos LCCS e LCPD, observa-se que mesmo sem significância estatística, a subsolagem efetuada em novembro de 2010 ainda mostra um “efeito residual”, principalmente nos primeiros 30 cm de profundidade. Excetuando-se a primeira profundidade (5 cm) em todas as demais, o tratamento LCCS mostrou-se menos restritivo à penetração de raízes quando comparado ao LCPD. O valor de RP = 2 MPa tem sido utilizado como

crítico para o desenvolvimento das plantas (Lapen et al., 2004), ainda que 2,5 MPa tenha sido utilizado em solos sob pastagem (Leão et al., 2004) e 3,0 MPa em solos sob florestas (Zou et al., 2000). O valor de 3,5 MPa foi utilizado por Tormena et al. (2007) em solo cultivado em longo prazo sob plantio direto, justificado pela presença de bioporos contínuos e efetivos no solo sob plantio direto, o que corrobora com os resultados obtidos neste ensaio.

Independentemente do sistema de cultivo (LCCV, LCCS e LCPD), procurou-se avaliar o efeito do preparo do solo na RP. Nota-se neste caso (Tabela 6) que o preparo do solo (CP) não mostrou diferenças significativas nos valores de RP, na maioria das profundidades analisadas. Este fato nos mostra, em princípio, que o sistema de cultivo apresenta maior influência na RP quando comparado ao preparo do solo. Ou seja, diferenças significativas na qualidade do solo, através da medida da RP, são mais agudas e perceptíveis em função dos sistemas de cultivo adotados e não do preparo do solo.

**Tabela 6.** Resistência do solo à penetração (MPa) em diferentes profundidades e sistemas de preparo do solo.

Sistema de preparo	CP	SP
Prof (cm)	-----MPa-----	
5	0,68 a	0,64 a
10	1,12 a	1,13 a
15	1,40 a	1,41 a
20	1,54 a	1,57 a
25	1,55 a	1,54 a
30	1,51 a	1,54 a
35	1,55 a	1,53 a
40	1,46 a	1,43 a
45	1,40 a	1,34 b
50	1,31 a	1,27 a
55	1,27 a	1,20 b
60	1,21 a	1,15 b

Médias seguidas de letras iguais na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey 5% de probabilidade.

Onde: CP (com preparo) e SP (sem preparo).

As avaliações da RP também foram realizadas no ano de 2014, seguindo a mesma metodologia empregada em 2013. As avaliações da RP em 2014 foram realizadas em fevereiro, quando a área estava com lavoura de soja. A precipitação acumulada durante o mês de fevereiro foi de 112 mm. A diferença deste ano para o ano anterior foi a subsolagem efetuada no tratamento LCCS, efetuada em novembro de 2013. Os valores de RP observados no ano anterior (2013) foram relativos ao último dos quatro anos após a subsolagem no tratamento LCCS. No ano de 2014, os resultados observados para este tratamento, referem-se ao primeiro dos quatro anos após a subsolagem. Nos demais tratamentos, não foram detectadas mudanças de um ano para o outro, a não ser a cultura de inverno, que é igual para os tratamentos LCCS e LCPD.

Apesar dos valores de RP (Tabela 7) observados neste estudo não serem impeditivos ao desenvolvimento do sistema radicular, notou-se maior RP no LCPD até os 20 cm de profundidade. A partir deste ponto, os maiores valores observados foram no sistema LCCV, indicando um possível pé de grade. Nota-se ainda, nas Tabelas 7 e 8, que optou-se por colocar apenas como referência, os valores observados em uma área de vegetação natural, adjacente à área experimental.

**Tabela 7.** Resistência do solo à penetração em diferentes profundidades e sistemas de cultivo.

Prof.	LCCV	LCCS	LCPD	VN
cm	-----MPa-----			
5	0,21 a	0,30 a	0,38 a	0,50
10	0,36 c	0,70 b	1,33 a	0,89
15	0,42 c	0,83 b	1,60 a	1,05
20	1,25 ab	0,89 b	1,55 a	1,04
25	1,59 a	1,04 b	1,49 a	1,06
30	1,54 a	1,19 b	1,36 ab	1,16
35	1,54 a	1,44 ab	1,39 b	1,23
40	1,39 a	1,37 a	1,26 b	1,23
45	1,25 a	1,25 a	1,15 a	1,21
Média	1,06	1,00	1,28	1,04

Médias seguidas de letras iguais na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey 5% de probabilidade.

Onde: CP (com preparo) e SP (sem preparo).

Não houve diferenças de umidade entre os sistemas de cultivo na média dos 45 cm de profundidade avaliados (Tabela 8). Todavia, no desdobramento de sistemas dentro de profundidades, verificou-se menores teores de umidade até os 15 cm para o sistema LCCV. Ressalta-se neste caso, que as avaliações de umidade foram realizadas quando da realização das análises de RP, com o solo úmido. Mesmo nestas condições e época do ano, os tratamentos LCPD e LCCS, mostraram-se superiores quanto ao teor de água no solo nas camadas superficiais.

**Tabela 8.** Umidade do solo em diferentes profundidades e sistemas de cultivo.

Prof.	LCCV	LCCS	LCPD	VN
cm	-----g <sup>-1</sup> -----			
0-5	0,20 b	0,21 a	0,21 a	0,30
5-10	0,20 b	0,21 a	0,21 a	0,30
10-15	0,20 b	0,21 a	0,21 a	0,30
15-20	0,21 a	0,21 a	0,21 a	0,28
20-25	0,21 a	0,21 a	0,21 a	0,28
25-30	0,21 a	0,21 a	0,21 a	0,28
30-35	0,22 a	0,22 a	0,22 a	0,27
35-40	0,22 a	0,22 a	0,22 a	0,27
40-45	0,22 a	0,22 a	0,22 a	0,27
Média	0,21	0,21	0,21	0,283

Médias seguidas de letras iguais na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey 5% de probabilidade.

Onde: LCCV (Lavoura contínua cultivo convencional); LCCS (Lavoura contínua cultivo conservacionista); LCPD (Lavoura contínua plantio direto) e VN (vegetação nativa).

Nota-se na Tabela 9 os valores de RP e umidade do solo em função dos sistemas de preparo. Após três anos da execução do preparo do solo, observa-se que este pouco influenciou os valores de RP.

Em relação à umidade, nota-se que os sistemas de preparo não influenciaram esta característica nas camadas superficiais do solo (0-15 cm), ao contrário do ocorrido com os sistemas de cultivo. A partir deste ponto, mesmo a diferença sendo muito pequena, os valores de umidade tendem a ser maiores nas áreas com preparo de solo (CP).

**Tabela 9.** Resistência do solo à penetração e umidade em diferentes profundidades e sistemas de preparo do solo.

Prof.	CP	SP	CP	SP
cm	-----RP – MPa-----		-----Umidade – g g <sup>-1</sup> -----	
0-5	0,27 a	0,33 a	0,21 a	0,21 a
5-10	0,77 a	0,83 a	0,21 a	0,21 a
10-15	0,89 a	1,00 b	0,21 a	0,21 a
15-20	1,20 a	1,26 a	0,21 a	0,20 a
20-25	1,39 a	1,36 a	0,21 a	0,20 a
25-30	1,36 a	1,36 a	0,21 a	0,20 a
30-35	1,45 a	1,46 a	0,22 a	0,21 a
35-40	1,33 a	1,35 a	0,22 a	0,21 a
40-45	1,20 a	1,23 a	0,22 a	0,21 a
Média	1,10	1,13	0,213	0,206

Médias seguidas de letras iguais na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey 5% de probabilidade. Onde: CP (com preparo) e SP (sem preparo).

### Densidade do solo, volume total de poros, macro e microporosidade

A compactação do solo tem sido um dos entraves na obtenção de elevadas produtividades. É caracterizada pela redução do volume de poros e da taxa de difusão de oxigênio e pelo aumento da densidade, da resistência física a penetração e da energia com que a água é retida no solo. Deste modo, a compactação é um processo importante, principalmente quando atinge limites críticos, ou seja, quando diminui a quantidade de água disponível e prejudica o crescimento radicular, confinando as raízes acima da camada compactada ou em partes do perfil, diminuindo o volume de solo explorado pelas raízes, a quantidade de ar, água e nutrientes disponíveis, limitando a produtividade das culturas (Moraes et al., 1995).

Os solos tropicais podem variar muito quanto à susceptibilidade à compactação. Dias Junior (2000) relata que desfazer a compactação do solo é uma operação de alto custo, além de consumir muito tempo, razão pela qual a melhor estratégia para evitá-la é a prevenção.

Neste contexto, avaliou-se também o efeito de diferentes sistemas de cultivo e preparo do solo na densidade do solo, volume total de poros, macroporo-

sidade e microporosidade, na camada de 0-5 cm. As amostras de solo foram retiradas logo após a colheita da soja, em março de 2013.

As amostragens para avaliação da densidade do solo (Ds), macroporosidade (Mac), microporosidade (Mic) e volume total de poros (VTP) foram retiradas em 10 posições, distanciadas de oito metros, e analisadas de acordo com Embrapa (1997).

Pelos resultados apresentados nas Tabelas 10 e 11, nota-se que não houve diferenças significativas para os parâmetros avaliados nas condições deste estudo, independente do sistema de cultivo e preparo do solo. As diferenças encontradas entre os valores de Ds, VTP, Mic, e Mac, para os diferentes sistemas de cultivo (LCCV, LCCS e LCPD) e preparo do solo (CP e SP), na camada de 0 – 5 cm foram pouco expressivas e com pequeno potencial para inferir sobre a qualidade física do solo. Este fato pode estar relacionado ao manejo correto do maquinário agrícola na ocasião do plantio, tratos culturais e colheita da lavoura, em que, preconizou-se a não entrada do maquinário agrícola em solo com elevados teores de umidade. Além disso, foi realizada a rotação de culturas na entressafra 2012-2013 com plantio de guandu, o qual é reconhecido por minimizar os efeitos adversos da compactação do solo.

Nota-se ainda na Tabela 10, que foi tomada como referência uma área vegetação natural (VN), de Cerrado nativo, adjacente à área experimental. Apesar de não ter sido objeto de análise estatística, pode-se observar que independente dos sistemas de cultivo ou de preparo do solo, estes influenciaram os parâmetros avaliados neste estudo, na camada de 0 – 5 cm, quando comparados à vegetação natural.

**Tabela 10.** Densidade do solo, volume total de poros, microporosidade e macroporosidade em diferentes sistemas de cultivo, na camada de 0 – 5 cm.

Sistemas de cultivo	Ds	VTP	Mic.	Mac.
	---g cm <sup>-3</sup> --	-----% -----		
LCCV	1,39 a	47,58 a	34,00 a	13,58 a
LCCS	1,40 a	47,09 a	33,56 a	13,54 a
LCPD	1,40 a	47,04 a	35,46 a	11,58 a
VN	0,98	62,90	33,07	29,83

Médias seguidas de letras iguais na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey 5% de probabilidade.

Onde: LCCV (Lavoura contínua cultivo convencional); LCCS (Lavoura contínua cultivo conservacionista); LCPD (Lavoura contínua plantio direto) e VN (vegetação nativa).

Dias Junior (1994) mostrou que o SPD suporta níveis de pressões mais elevados quando comparados ao sistema de cultivo convencional, para qualquer condição de umidade, o que pode ser considerado uma vantagem desse sistema. Este ganho pode estar relacionado à presença da palhada na superfície do solo. O fato também ajuda a explicar a ausência de significância estatística entre os parâmetros avaliados na camada de 0 – 5 cm. Era de se esperar que nesta camada os valores de Ds fossem maiores nos sistemas LCPD e LCCS quando comparados ao sistema LCCV. No entanto, como as amostragens foram realizadas imediatamente após a colheita, a presença de palhada nos tratamentos LCCS e LCPD pode ter minimizado os efeitos negativos da compactação, fato que não ocorreu no tratamento LCCV.

Nota-se na tabela 11 que assim como o sistema de cultivo, a presença ou não do preparo do solo (realizado em novembro de 2010) não proporcionou diferenças significativas nos valores dos parâmetros avaliados, mostrando que esta prática é, de certa forma, efêmera quando analisada com intuito de melhorar as condições físicas do solo avaliadas pela Ds, VTP, Mac e Mic, na camada de 0 – 5 cm, nas condições edafoclimáticas em questão. As possíveis alterações provocadas por esta prática não foram observadas três anos após sua realização.

**Tabela 11.** Densidade do solo, volume total de poros, microporosidade e macroporosidade em diferentes sistemas de preparo do solo, na camada de 0 – 5 cm.

Sistemas de cultivo	Ds	VTP	Mic.	Mac.
	---g cm <sup>-3</sup> --	-----% -----		
CP	1,40 a	47,03 a	34,34 a	12,70 a
SP	1,39 a	47,44 a	34,35 a	13,10 a

Médias seguidas de letras iguais na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey 5% de probabilidade. Onde: CP (com preparo) e SP (sem preparo).

### Estabilidade de agregados

A estrutura do solo é definida como sendo o resultado da agregação de suas partículas primárias (areia, silte e argila) e outros componentes como a matéria orgânica, os óxidos, os calcários e os sais originando agregados com formas definidas,

chamados também de elementos estruturais ou unidades estruturais (Kiehl, 1979). Do ponto de vista agrícola, a estrutura do solo é um dos atributos mais importantes, pois está relacionada com o suprimento de nutrientes, com a disponibilidade de água e ar às raízes, com o desenvolvimento do sistema radicular, com a resistência mecânica do solo à penetração e com os processos de erosão e lixiviação.

Os índices de agregação do solo mais utilizados são o Diâmetro Médio Geométrico (DMG), que é uma estimativa do tamanho médio dos agregados que mais ocorrem no solo; e o Diâmetro Médio Ponderado (DMP) que é maior quanto maior for a percentagem de agregados grandes retidos nas peneiras com malhas maiores (CASTRO FILHO et al. 1998).

Sistemas de preparo de solo quando associados à rotação de culturas tendem a influenciar a estabilidade e o tamanho de agregados, conforme relatam Hernani & Guimarães (1999). Esses autores verificaram, para condições de Mato Grosso do Sul, ter havido significativa elevação do DMP dos agregados estáveis em água quando o plantio direto foi associado à rotação de culturas, fato que não se repetiu quando o sistema de preparo foi conduzido em ausência da rotação. Quando uma das culturas do sistema é a pastagem, esses resultados ocorrem de forma acentuada e relativamente rápida, provavelmente devido ao sistema radicular formado pela pastagem logo após sua implantação (SALTON et al., 1999).

O sistema de rotação que inclui a combinação de pastagens perenes, de gramíneas e leguminosas, além de culturas anuais, é bastante eficiente na manutenção de uma boa estrutura, sendo as pastagens perenes as mais eficientes, porque atuam por períodos mais prolongados por possuir sistema radicular desenvolvido e em constante renovação (MACHADO & BRUM, 1978; CINTRA, 1980).

As gramíneas tropicais perenes dos gêneros *Brachiaria* e *Panicum* apresentam alta densidade de raízes, com renovações periódicas, que promove a aproximação das partículas de solo pela constante absorção da água e nutrientes do solo, liberando secreções que estimula a atividade microbiana e aumentando a formação de agregados com maior estabilidade (GARCIA & ROSOLEM, 2010; LOURENTE et al., 2016).

Os sistemas de cultivo de solo (LCCV, LCCS e LCPD) mostraram diferenças significativas quanto à distribuição das classes de tamanho dos agregados (Tabela 12).

**Tabela 12.** Distribuição relativa da massa de um Latossolo Vermelho Distrófico argiloso de Campo Grande/MS, quanto ao tamanho dos agregados estáveis em água, nas camadas de 0 a 10 e 10 a 20 cm.

Sistemas de manejo						
Tamanho	LCCV	LCCS	LCPD	DMS	CV	VN
mm	%					
Camada de 0 a 10 cm						
8 a 2	1,29 a	2,14 a	3,33 a	2,49	94	20,31
2 a 1	1,30 c	3,91 b	6,12 a	1,69	46	16,70
1 a 0,5	4,44 b	8,63 a	10,99 a	3,51	22	18,68
0,5 a 0,21	26,68 a	25,55 a	26,45 a	4,77	41	14,38
0,21 a 0,105	14,83 a	14,11 a	14,14 a	4,13	42	4,54
<0,105	51,46 a	45,66 ab	38,96 b	10,8	38	25,37
Camada de 10 a 20 cm						
8 a 2	1,21 a	1,07a	5,47 a	10,2	314	10,67
2 a 1	1,23 a	1,36 a	2,30 a	1,11	79	14,39
1 a 0,5	5,57 a	6,11 a	6,97 a	1,59	37	19,79
0,5 a 0,21	29,11 a	30,55 a	25,15 a	11,36	42	16,55
0,21 a 0,105	14,97 a	15,81 a	13,60 a	4,17	47	7,67
<0,105	47,91 a	45,10 a	0,22 a	16,01	39	30,91

Letras iguais, na linha, indicam que as médias não diferem ao nível de 5 %. LCCV: lavouras em plantio convencional de soja; LCCS: lavouras em plantio conservacionista de soja; LCPD: lavouras em plantio direto de soja; DMS: diferença mínima significativa; CV: coeficiente de variação; VN: vegetação natural de Cerrado.

Nota-se que as diferenças entre os sistemas de cultivo avaliados foram maiores e mais significativas na camada de 0-10 cm. Nesta camada, observa-se que na primeira classe de tamanho avaliada (8 a 2 mm) não houve diferença significativa, apesar dos valores observados no sistema LCPD terem sido cerca de 2,5 vezes maiores aos observados no LCCV. Na segunda classe de tamanho avaliada (2 a 1 mm) nota-se que o LCPD apresentou maior porcentagem de agregados estáveis e o LCCV o menor, sendo que o LCCS ficou em posição intermediária. Este fato pode estar relacionado ao fato que a maior estabilidade dos agregados é conferida por agentes cimentantes ligados a

aspectos biológicos, como a atividade microbiana, liberação de exsudatos por raízes, crescimento e funcionamento das raízes, crescimento e morte dos tecidos, entre outros (Salton et al., 2008). Estas características detalhadas pelos pesquisadores são mais observadas em sistemas cujo revolvimento do solo é pequeno e a presença de cobertura morta é parte do sistema, como é o caso dos sistemas LCCS e LCPD.

Na classe de tamanho seguinte (1 a 0,5 mm), observa-se a mesma tendência da classe anterior. Neste caso específico, não foi observada diferença entre os sistemas LCPD e LCCS. No entanto, estes dois sistemas apresentam porcentagens de agregados maiores quando comparados aos encontrados no sistema LCCV. A partir deste ponto, nas classes de tamanho de agregados de 0,5 a 0,21 e 0,21 a 0,105 mm não foi observada diferença significativa entre os sistemas de cultivo avaliados. Na última classe de tamanho de agregados (< 0,105 mm), a tendência que ocorre é de inversão, ou seja, o sistema LCCV apresenta maior porcentagem de agregados de tamanhos menores, quando comparado ao sistema LCPD. Neste sentido, Campos et al. (1995) relatam e recomendam o uso dos sistemas de plantio direto (SPD) em substituição aos sistemas de plantio convencional. Estes autores enfatizam que o SPD melhorou as condições químicas e físicas do solo além de melhorar a estrutura do solo com agregados de DMP cerca de duas vezes maior que o sistema convencional.

Ainda em relação à tabela 12, observando-se os dados relativos à profundidade de 10-20 cm, nota-se que não houve diferenças significativas entre os tratamentos propostos neste ensaio. Apesar de não ter sido objeto de estudo neste trabalho, notou-se quando da retirada de amostras de solo no campo para posteriores análises laboratoriais, que o número de raízes na camada de 10-20 cm era inferior ao observado na camada imediatamente superior. Este fato pode estar relacionado ao que foi mencionado anteriormente por Salton et al. (2008). Na ocasião, estes pesquisadores relataram que a maior estabilidade dos agregados é conferida por agentes cimentantes ligados a aspectos biológicos, como a atividade microbiana, liberação de exsudatos por raízes, crescimento e funcionamento das raízes, crescimento e morte dos tecidos. Esta afirmação corrobora tanto quando da comparação entre sistemas de cultivo quanto para as diferentes profundidades estudadas. Espera-se, que na medida em que se aprofunda no perfil do solo, as diferenças em qualidade do solo em termos de estabilidade de agregados também sejam

menores. Apesar disso, mesmo sem significância estatística, nota-se que a tendência observada na camada de 0-10 cm também pode ser observada na camada de 10-20 cm, porém, com menor intensidade.

Nota-se na Tabela 13 as classes de estabilidade de agregados para os diferentes sistemas de preparo do solo, em diferentes profundidades, independentemente dos sistemas de cultivo (LCCV, LCCS e LCPD). Observa-se que na profundidade de 10-20 cm não foi observada diferença significativa entre os sistemas de preparo do solo. É importante frisar que o preparo do solo avaliado neste experimento foi realizado em novembro de 2010. Ou seja, aproximadamente 42 meses após a realização do preparo do solo com grade aradora, arado de aiveca e grade niveladora. As possíveis diferenças em qualidade do solo por meio da avaliação da estabilidade de agregados não foram consistentes e podem ser consideradas, de certa forma, efêmeras.

**Tabela 13.** Distribuição das classes de tamanho de agregados em diferentes sistemas com e sem preparo do solo nas profundidades de 0-10 e 10-20 cm.

Sistemas de preparo		
Tamanho mm	Com preparo	Sem preparo
	%	
Camada de 0 a 10 cm		
8 a 2	2,2 a	2,31 a
2 a 1	3,28 b	4,28 a
1 a 0,5	7,41b	8,63 a
0,5 a 0,21	26,27 a	26,17 a
0,21 a 0,105	14,42 a	14,31 a
<0,105	46,43 a	44,30 a
Camada de 10 a 20 cm		
8 a 2	2,85 a	2,32a
2 a 1	1,70 a	1,56 a
1 a 0,5	6,00 a	6,43 a
0,5 a 0,21	26,97 a	29,57 a
0,21 a 0,105	14,63 a	14,96 a
<0,105	47,86 a	45,16 a

Letras iguais, na linha, indicam que as médias não diferem ao nível de 5%.

Na profundidade de 0-10 cm, foi possível observar diferenças significativas em relação ao sistema de preparo. Nas classes de tamanho 2 a 1 mm e 1 a 0,5 mm, nota-se diminuição da porcentagem de agregados estáveis nas áreas onde ocorreu o preparo do solo. Ainda na camada de 0-10 cm, nas classes de menores tamanhos, não houve diferença significativa em nenhum dos sistemas de preparo estudados. Sendo o sistema que teve preparo com maior porcentagem de agregados estáveis, o inverso daquilo que ocorreu nas classes de maior tamanho.

Avaliando a fertilidade do solo nesta mesma área, Macedo et al. (2014) mostraram que o preparo do solo e o sistema de cultivo promovem alterações nas propriedades químicas do solo. De acordo com os autores, o LCPD foi o que apresentou as melhores condições de fertilidade do solo. O revolvimento anual do solo no sistema LCCV influenciou negativamente os teores de C no solo permanecendo abaixo dos valores encontrados nos demais. Além disso, a execução do preparo do solo, independente do sistema de cultivo, promove alterações nas características químicas do solo. Neste sentido, especificamente para os teores de P, o revolvimento proporciona maior adsorção deste elemento às partículas coloidais, diminuindo sua disponibilidade para as plantas.

A porcentagem de macro e micro agregados no solo influencia diretamente diversos processos, como a percolação de água, a germinação de sementes, podendo acelerar o processo erosivo. Alves et al. (2007) mencionam a utilização de pastagens e leguminosas para recuperação de áreas degradadas, em razão de suas características, como a proteção da superfície do solo e a melhoria nos teores de matéria orgânica, melhorando a agregação do solo. Os resultados obtidos neste estudo corroboram com a afirmação dos pesquisadores, pois, nos tratamentos LCPD e LCCS, observou-se, principalmente na camada de 0-10 cm, a presença de agregados de maior tamanho.

Nas Tabelas 14 e 15 são apresentados os valores de DMP e DMG obtidos neste estudo. Nota-se que o DMP foi maior no sistema LCPD, seguido do LCCS e logo após o LCCV. Os valores obtidos convergem com estudos realizados por Pinheiro et al. (2004), ao verificarem que um Latossolo Vermelho do Rio de Janeiro apresentou DMP de 4,2 mm quando sob gramínea, 3 mm sob plantio direto e 2 mm para o sistema convencional. A atividade do sistema radicular das gramíneas, associada à ausência de revolvimento do solo, contribui significativamente para formação de macroagregados estáveis. Já os resultados obtidos nesse trabalho corroboram Martins et al. (2011), ao afirmarem que

o cultivo reduz as classes de macroagregados para diâmetros menores e que pequenos agregados são preferencialmente removidos pela erosão hídrica. Bertolin (2014) ressalta que o fator água é o principal agente na redução do diâmetro dos agregados, refletindo no índice de eficiência de agregação.

**Tabela 14.** Valores médios do diâmetro médio ponderado dos agregados estáveis em água (DMP) e do diâmetro médio geométrico (DMG) para diferentes sistemas de manejos em um Latossolo Vermelho distrófico argiloso da região de Campo Grande/MS.

Sistemas de manejo			
	LCCV	LCCS	LCPD
mm			
Camada de 0 a 10 cm			
DMP	0,26a	0,37ab	0,48a
DMG	0,60a	0,62a	0,62a
Camada de 10 a 20 cm			
DMP	0,27a	0,28a	0,50a
DMG	0,58a	0,56a	0,71a

Letras iguais, na linha, indicam que as médias não diferem ao nível de 5%.

Quanto maior o percentual de agregação do solo, maior será seu diâmetro médio ponderado (DMP). O que se mostra comprovado neste estudo, onde no sistema de manejo LCPD e no sistema de preparo SP, nota-se maior percentual de agregação do solo. Silva et al. (2006) e Ferreira et al. (2010), afirmam que a maior estabilidade dos agregados está relacionada a fauna do solo, principalmente em áreas de pastagens com leguminosas.

Para os diferentes sistemas de preparo (Tabela 15), apesar de não terem sido encontradas diferenças significativas, o DMP e DMG se apresentam maiores na camada superior com o sistema sem preparo, já na camada de 10 a 20 cm esses índices se mostraram maiores no sistema que houve algum preparo.

Segundo Bertolin (2014), o manejo das pastagens com adubação, proporciona aumentos na agregação do solo e no seu DMP contribuindo para a melhoria da qualidade física do solo. Araújo et al. (2012) mostram que com o aumento da qualidade física do solo, o crescimento radicular, a armazenagem e suprimento de água e nutrientes, trocas gasosas e atividade biológica são favorecidos, contribuindo assim para a sustentabilidade.

**Tabela 15.** Valores médios do diâmetro médio ponderado dos agregados estáveis em água (DMP) e do diâmetro médio geométrico (DMG) para diferentes sistemas de preparo em um Latossolo Vermelho distrófico argiloso da região de Campo Grande/MS.

Sistemas de preparo		
	Com preparo	Sem preparo
	mm	
	Camada de 0 a 10 cm	
DMP	0,36 a	0,38 a
DMG	0,61 a	0,61 a
	Camada de 10 a 20 cm	
DMP	0,36 a	0,34 a
DMG	0,63 a	0,60 a

Letras iguais, na linha, indicam que as médias não diferem ao nível de 5%.

## Análise econômica

Na avaliação econômica dos sistemas conservacionista (LCCS) e plantio direto (LCPD), usou-se a técnica da orçamentação parcial, aplicada aos dados agregados para o período 2010-2014, com preços de fevereiro de 2015. Tais sistemas foram confrontados com o sistema convencional (LCCV), tomado como referência, calculando-se benefícios e custos adicionais. Tal procedimento leva em conta apenas os recursos ou produtos que, nos sistemas avaliados, apresentam valores distintos daqueles do sistema de referência (no caso, LCCV). As Tabelas 16 e 17 mostram uma síntese da avaliação realizada.

Quanto aos custos, os sistemas LCCS e LCPD apresentam reduções por conta de não serem realizadas as operações de preparo de solo. Por outro lado, a subsolagem e as operações agrícolas da cultura de outono-inverno contribuem para aumentar custos. Quanto aos benefícios, LCCS e LCPD resultam em maior produção de soja, com destaque para este último. Vale ressaltar que os custos da lavoura de soja não foram levados em conta, uma vez que são equivalentes para os três sistemas.

Ambos os sistemas, LCCS e LCPD, resultam em melhores resultados econômicos, quando comparados com LCCV. O custo de LCCS é maior que o de LCCV, mas isto é compensado com sobras pela maior produção de soja, resultando em um benefício líquido adicional de R\$ 216,76 por hectare. No caso do plantio direto, o custo é até menor do que o de LCCV, o que, somado ao maior benefício, resulta em um benefício líquido adicional de R\$ 378,26 por hectare.

Em síntese, esses resultados mostram que, para os preços relativos considerados na análise, o sistema conservacionista e de plantio direto são mais vantajosos que o sistema convencional, especialmente o plantio direto, a que está associado o maior benefício líquido adicional.

**Tabela 16.** Custos e benefícios de três práticas de cultivo e rotação de culturas, média de 5 anos agrícolas (2010 a 2014).

Custos	R\$/ha/ano		
	LCCV	LCCS	LCPD
Operações agrícolas	240,00	148,75	75,00
Gradagem aradora	160,00		
Gradagem niveladora	80,00		
Subsolagem a cada 4 anos		73,75	
Semeadura de outono-inverno		75,00	75,00
Oper. soja – custo equivalente	-	-	-
Insumos		135,00	135,00
Semente Piatã		75,00	75,00
Semente Guandu		100,00	100,00
Insumos soja – custo equivalente	-	-	-
Custo operações + insumos	240,00	283,75	210,00
Benefícios			
Produção soja (sc ha <sup>-1</sup> )	49,95	54,73	56,34
Valor produção soja	2.722,28	2.982,79	3.070,53

Onde: LCCV – Lavoura convencional; LCCS – Lavoura conservacionista; LCPD – Lavoura Plantio Direto. Preços de fevereiro de 2015 (R\$/saca 54,50).

**Tabela 17.** Benefício líquido adicional dos sistemas LCCS e LCPD, em R\$/ha/ano em relação ao cultivo convencional (LCCV).

Custos	R\$/ha/ano	
	LCCS	LCPD
Operações agrícolas	-91,25	-165,00
Gradagem aradora	-160,00	-160,00
Gradagem niveladora	-80,00	-80,00
Subsolagem a cada 4 anos	73,75	-
Semeadura de outono-inverno	75,00	75,00
Oper. soja – custo equivalente	-	-
Insumos	135,00	135,00
Semente Piatã	75,00	75,00
Semente Guandu	100,00	100,00
Insumos soja – custo equivalente	-	-
Custo adicional	43,75	-30,00
Benefícios		
Produção soja (sc ha <sup>-1</sup> )	4,78	6,39
Benefício adicional	260,51	348,26

Onde: LCCS – Lavoura conservacionista; LCPD – Lavoura Plantio Direto.

Preços de fevereiro de 2015.

## Conclusões

O sistema LCPD, sem revolvimento do solo, apresenta valores mais elevados e significativos de fertilidade do solo.

O preparo do solo, independente do sistema de cultivo, promove alterações nas características químicas do solo, principalmente nos teores de fósforo e soma de bases.

Os teores de C total e de P, em Mehlich-1 ou 3, no solo são os melhores indicadores das diferenças entre os sistemas de cultivo e preparo do solo, respectivamente.

O sistema LCPD apresenta maior resistência do solo à penetração até 20 cm de profundidade. A partir deste ponto, os valores observados são maiores no sistema LCCV.

Os sistemas LCPD e LCCS apresentam maiores teores de umidade nos 15 cm superficiais quando comparados ao sistema LCCV.

O sistema de preparo do solo pouco influencia os valores de RP e a umidade nas condições edafoclimáticas do local em estudo.

Não foram observadas diferenças significativas de Ds, VTP, macroporosidade e microporosidade entre os sistemas de cultivo e preparo do solo estudados, nas condições edafoclimáticas deste estudo.

Entre os sistemas de cultivo avaliados, o LCPD favorece a formação de agregados estáveis de maior tamanho e o LCCV os menores, principalmente na camada superior do solo.

Os sistemas de preparo do solo, após quatro anos de implantação, pouco influenciam na distribuição das classes de tamanho de agregados, principalmente na camada de 10 a 20 cm.

O DMP foi maior no sistema LCPD, comprovando que o não revolvimento do solo auxilia e favorece a formação dos agregados de maior tamanho.

Do ponto de vista econômico, os sistemas LCCS e LCPD são mais vantajosos que o sistema LCCV, especialmente o LCPD, a que está associado o maior benefício líquido adicional.

## Agradecimentos

A Fundação de Apoio ao Desenvolvimento do Ensino, Ciência e Tecnologia do Estado de Mato Grosso do Sul (FUNDECT/MS) e Embrapa Gado de Corte, pelo financiamento desta pesquisa. À Universidade Anhanguera-Uniderp pela parceria e colaboração no desenvolvimento do trabalho de pesquisa.

Aos funcionários da Embrapa Gado de Corte; estagiários de instituições de ensino superior, pelo auxílio na condução deste experimento.

## Referências bibliográficas

- ALVES, M. C.; SUZUKI, L. G. A. S.; SUZUKI, L. E. A. S. Densidade do solo e infiltração de água como indicadores da qualidade física de um Latossolo Vermelho distrófico em recuperação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, P. 617-625, 2007.
- ARAÚJO, E. A. de; KER, J. C.; NEVES, J. C. L.; LANI, J. L. Qualidade do solo: conceitos, indicadores e avaliação. **Revista Brasileira de Tecnologia Aplicada nas Ciências Agrárias**, Guarapuava, v. 5, n. 1, p. 187-206, 2012.
- BERTOLIN, F. **Uso e manejo de pastagens na região do Cerrado de Mato Grosso do Sul: Impactos na agregação do solo em um Latossolo Vermelho**. Campo Grande, 2014, p.30, 40f. (Dissertação de Mestrado)
- BLANK, L. T.; TARQUIN, A. J. **Engenharia Econômica**. 6. ed. Rio de Janeiro: Mcgraw-hill Interamericana, 2008. 780 p.
- BUSSCHER, W.J.; BAUER, P.J.; CAMP, C.R. & SOJKA, R.E. Correction of cone index for soil water content differences in a Coastal Plain soil. **Soil Till. Res.**, 43:205-217, 1997.
- CAMPOS, B.C.; et al. Estabilidade estrutural de um latossolo vermelho escuro distrófico após sete anos de rotação de culturas e sistemas de manejo de solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.19, 1995. p.121-126.
- CASTRO FILHO, C.; MUZILLI, O. & PODANOSCHI, A. L. Estabilidade dos agregados e sua relação com o teor de carbono orgânico num Latossolo Roxo Distrófico, em função de sistemas de plantio, rotações de culturas e métodos de preparo das amostras. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**.v. 22, 1998.
- CINTRA, F. L. D. **Caracterização do impedimento mecânico em latossolo do Rio Grande do Sul**. 89f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1980.
- DIAS JUNIOR, M.S. Tópicos em ciência do solo. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo; Viçosa – MG; v. 1, (2000); p.55-94.
- DIAS JUNIOR, M.S. Copression of three soils under long term tillage and wheel traffic. East Lansing, Michigan State University, 1994. 114p. (Tese de doutorado)
- DORAN, J.W. Soil quality and sustainability. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 26., Rio de Janeiro, 1997. **Anais**. Rio de Janeiro, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1997. CD-ROM.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 3ª.Ed. Brasília, DF: Embrapa, 2013. 353p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Manual de métodos de análises de solos**. 2ª.Ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1997. 212p.
- FERREIRA, R. R. M.; TAVARES FILHO, J.; FERREIRA, V. M. Efeitos de sistemas de manejo de pastagens nas propriedades físicas do solo. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 31, n. 4, p. 913-932, out./dez. 2010.

GARCIA, R. A.; ROSOLEM, C. A. Agregados em um Latossolo sob sistema plantio direto e rotação de culturas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília v. 45, n. 12, p. 1489, 2010.

HERNANI, L.C. & GUIMARÃES, J.B.R. Efeitos de sistemas de preparo do solo e rotação de culturas em atributos físicos de um Latossolo Roxo. In: **CONGRESSO LATINOAMERICANO DE LA CIENCIA DEL SUELO**, 14., Temuco, 1999. Resúmenes. Temuco, Un. de La Frontera, 1999. CD-ROM.

KIEHL, E.J. Manual de edafologia: relações solo-planta. **Agrônomo Ceres**. São Paulo. 1979. 262p.

LAPEN, D.R.; TOPP, G.C.; GREGORICH, E.G. & CURNOE, W.E. 2004. Least limiting water range indicators of soil quality and corn production, Eastern Ontario, Canada. **Soil Till. Res.**, 78:151-170.

LEÃO, T.P.; SILVA, A.P.; MACEDO, M.C.M.; IMHOFF, S. & EUCLIDES, V.P.B. 2004. Intervalo hídrico ótimo na avaliação de sistemas de pastejo contínuo e rotacionado. **R. Bras. Ci. Solo**, 28:415-423.

LETEY, J. Relationship between soil physical properties and crop productions. **Adv. Soil Sci.**, 1:277-294, 1985.

LOPES, A.S.; GUILHERME, L.R.G.; SILVA, C.A.P. Vocação da terra. **Boletim técnico** da ANDA (on line). 23p. 2003.

MACEDO, M.C.M.; ARAUJO, A.R.; FERREIRA, A.D. Fertilidade do solo sob diferentes sistemas de cultivo e preparo do solo no sudoeste dos Cerrados. In: **14 Encontro Nacional de Plantio Direto na Palha – Bonito – MS**, Anais..., 2014.

MARTINS, S.G.; S , M.A.C.; SILVA, M.L.N.; LIMA, J.M.; OLIVEIRA, A.H.; NÓBREGA, J.C.A.; AVANZI, J.C. Perda de solo por erosão em decorrência da a o de aduba o fosfatada corretiva sobre a estabilidade de agregados. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 32, n. 4, p. 1297-1306, out./dez. 2011.

MACHADO, J. A.; BRUM, A. C. R. Efeito de sistemas de cultivo em algumas propriedades físicas do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.2, p.81-84, 1978.

MORAES, M.H.; BENEZ, S.H.; LIBARDI, P.L. Efeitos da compacta o em algumas propriedades físicas do solo e seu reflexo no desenvolvimento das raízes de plantas de soja. **Bragantia**, v.54, n.2, p.393-403, 1995.

OLDEMAN, L.R.; LYNDEN, G.W.J. van. Revisiting the GLASOD methodology. In: LAL, R.; BLUM, W.H.; VALENTINE, C.; STEWART, B.A. (Ed.). **Methods of assessment of soil degradation**. New York: CRC Press, 1998. p.423-440.

PINHEIRO, E.F.M.; PEREIRA, M.G. & ANJOS, L.H.C. Aggregate distribution and soil organic matter under different tillage systems for vegetable crops in a Red Latosol from Brazil. **SoilTill. Res.**, 77:79-84, 2004.

PURISSIMO, C. Experiências do manejo de plantas daninhas no Sul/Sudeste do Brasil. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DA CIÊNCIA DAS PLANTAS DANINHAS**, 21., 1997, Caxambu, MG. **Palestras e mesas redondas...Viçosa**; SBPCD, 1997. p. 33-35.

RHEINHEIMER, D. S.; KAMINSKI, J.; LUPATINI, G. C.; SANTOS, E. J. S. Modificações em atributos químicos de solo arenoso sob sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 22, p. 713-721, 1998.

SALTON, J. C.; MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; BOENI, M.; CONCEIÇÃO, P.C.; FABRICIO, A. C.; MACEDO, M. C. M.; BROCH, D. L. Agregação e estabilidade de agregados do solo em sistemas agropecuários em Mato Grosso do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, p. 12-20. 2008.

SILVA R. F.; AQUINO A. M.; MERCANTE, F. M.; GUIMARÃES, M. de F. Macrofauna invertebrada do solo sob diferentes sistemas de produção em Latossolo da Região do Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, n.4, p.697-704, abr. 2006.

TORMENA, C.A.; ARAÚJO, M.A.; FIDALSKI, J. & COSTA, J.M. 2007. Variação temporal do intervalo hídrico ótimo de um Latossolo Vermelho distroférico sob sistemas de plantio direto. **R. Bras. Ci. Solo**, 31:211-219.

ZOU, C.; SANDS, R.; BUCHAN, G. & HUDSON, I. 2000. Least limiting water range: A potential indicator of physical quality of forest soils. **Aust. J. Soil Res.**, 28:947-958.

VAN BAVEL, C.H.M. Mean weight diameter of soil aggregates as a statistical index of aggregation. **Soil Sci. Soc. Am. Proc.**, Madison, 14:20-23, 1949.



**Embrapa**

---

*Gado de Corte*

**Embrapa**

MINISTÉRIO DA  
AGRICULTURA, PECUÁRIA  
E ABASTECIMENTO

GOVERNO  
FEDERAL

CGPE 14621