

## INFLUÊNCIA DE DIFERENTES TIPOS DE MANEJO DO SOLO NA QUALIDADE QUÍMICA E FÍSICA DE UM LATOSSOLO VERMELHO DISTRÓFICO E NA PRODUTIVIDADE DE MILHO

### **Maurilio Fernandes de Oliveira**

Eng. Agrônomo, Doutor em Produção Vegetal, Pesquisador na Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, MG.

### **Adriano Gonçalves de Campos**

Eng. Agrônomo, Mestre em Fitotecnia, Representante Comercial, Sete Lagoas, MG.

### **Bruno Montoani Silva**

Eng. Agrônomo, Doutor em Solos, Professor na Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG

### **Aristides Osvaldo Ngolo**

Geógrafo, Doutorando na Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG

### **Raphael Bragança Alves Fernandes**

Eng. Agrônomo, Doutor em Solos e Nutrição de Plantas, Professor na Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG

### **Samuel Petraccone Caixeta**

Eng. Agrônomo, Doutor em Recursos Hídricos e Ambientais, Professor na Universidade Federal de São João Del Rey, Sete Lagoas, MG.

## PROPRIEDADES QUÍMICAS

Ademanda por produção de alimentos com menor impacto ambiental cresceu nos últimos anos. O sistema de manejo do solo diversificou-se visando atender as questões ambientais pela redução da perda de solo e dos impactos resultantes das atividades agrícolas. Neste sentido, sistemas chamados conservacionistas,

como o plantio direto, que é largamente utilizado no país, e o arado escarificador, de uso mais restrito, vêm sendo mais amplamente adotados em áreas produtoras de grãos com uso de altas tecnologias em detrimento de sistemas convencionais (arado de disco e gradagem) e de cultivo mínimo (referente à quantidade de preparo do solo) (INOUE 2003). Na atualidade, o sistema plantio direto é o complexo tecnológico de manejo de solo e de culturas que reúne o mais amplo conjunto de preceitos da agricultura conservacionista. O sistema plantio direto pressupõe a mobilização de solo restrita à linha de semeadura; manutenção dos restos culturais na superfície do solo; diversificação de espécies via rotação, consorciação e/ou sucessão de culturas; cobertura vegetal permanente do solo. Os preceitos da agricultura conservacionista, amplamente em prática no âmbito do sistema de plantio direto, resumem-se a dois no Brasil: mobilização de solo restrita à linha de semeadura e manutenção dos restos culturais na superfície do solo. Denardin (2012) descreve que a adoção de parte dos preceitos do sistema de plantio direto, não é suficiente para imprimir conservacionismo às áreas agricultadas e preservacionismo às áreas do entorno, diante da diversidade edafoclimática do país, apesar de propiciar expressiva redução

de perdas de solo por erosão quando comparada ao preparo convencional. A produção de alimentos nas quantidades e variedades adequadas e exigidas pela humanidade de maneira racional demanda avaliação do comportamento do solo quando submetido a diferentes tipos de exploração. As características dos solos que mais interferem no desenvolvimento da atividade agrícola são a profundidade efetiva, a reserva de nutrientes, a capacidade de armazenamento de água e sua baixa erodibilidade (CARNEIRO, 2010). As características químicas do solo vêm sendo utilizadas como parâmetros para avaliar as mudanças ocorridas em função dos diferentes tipos de uso e manejo (CARNEIRO et al., 2009; CARNEIRO, 2010). Silveira et al. (2000); Carneiro et al. (2009) e Montezano et al. (2006) relatam que os sistemas de manejo conservacionistas promovem acúmulo superficial de fertilizantes resultante tanto por causa dos efeitos dos resíduos superficiais quanto da reduzida movimentação do solo. Na área experimental da Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, MG parcelas vêm recebendo diferentes sistemas de preparo do solo a partir da safra 1994/95. Este trabalho descreve os resultados do efeito dos sistemas de manejo de solo nas características químicas do Latossolo Vermelho, textura argilosa, e nas produtividades de grãos de milho.

## **CARACTERÍSTICAS DA ÁREA EXPERIMENTAL E MANEJOS DE SOLO E DA CULTURA**

Os sistemas de manejo de solo e cultura vêm sendo conduzidos em área experimental de 4,19 ha (Figura 1) da Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, MG, em um Latossolo Vermelho, textura argilosa, desde 1994/1995. O experimento vem sendo conduzido em delineamento de blocos ao acaso, com 3 repetições. As parcelas experimentais são constituídas em “plots” de 20 m x 16 m, recebendo os seguintes sistemas de manejo de solo: 1 – Grade aradora; 2 – Grade aradora se alternando com Grade aradora + escarificador na safra seguinte; 3 – Grade aradora + escarificador; 4 – Grade aradora, se alternando com Grade aradora + subsolador na safra seguinte; 5 – Plantio direto; 6 - Grade aradora + subsolador; 7 - Grade aradora + escarificador, se alternando com Grade aradora na safra seguinte; 8 – Grade aradora + subsolador, se alternando com Grade aradora na safra seguinte. Paralelamente, outro experimento vem sendo conduzido no delineamento de blocos ao acaso, com 3 repetições, recebendo os seguintes sistemas de manejo de solo: 1 – Grade aradora; 2 – Grade aradora alternada com arado escarificador na safra seguinte; 3 – Arado escarificador alternado com grade aradora na safra seguinte; 4 – Arado de disco; 5 – Grade aradora alternada com arado de disco na safra seguinte; 6 – Arado de disco alternado com grade aradora na safra seguinte; 7 – Plantio direto; 8 – Grade aradora alternada de arado de aiveca na safra seguinte; 9 – Aiveca; 10 – Aiveca seguida de grade aradora na safra seguinte; 11 – Arado escarificador. De 1995/96 até 2004/05, em ambos os experimentos, foram feitos plantios anuais nas áreas experimentais com sucessão

entre as culturas do milho e da soja. De 2004/05 em diante, manteve-se um plantio de milho a cada ano para todos os sistemas de preparo do solo, com exceção das parcelas de plantio direto, em que se manteve a sucessão milho/soja.

Os equipamentos utilizados no preparo do solo apresentam as especificações seguintes: grade aradora intermediária com 16 discos de 28", arado escarificador com 6 hastes, subsolador com 3 hastes, arado com 3 discos de 32" de diâmetro, arado de aiveca com 3 lâminas.

Nas parcelas de plantio direto, efetuava-se dessecação com glifosato antes do plantio, caracterizando semeadura sob baixa quantidade de palhada. Após o preparo do solo, tem sido aplicada grade niveladora em todas as parcelas, à exceção das que recebem o tratamento plantio direto. No período de entressafra, foi comum a aplicação de glifosato em toda a área experimental, às vezes seguida pela passagem de triturador. O controle de formiga vem sendo realizado com sulfluramida na dosagem de 8 a 10 g m<sup>-2</sup> por formigueiro.

Em todos os plantios, utilizaram-se cultivares comerciais do tipo híbridos simples de milho, produzidas pela Embrapa. Os plantios foram efetuados com plantadora adubadora na população de 65.000 plantas ha<sup>-1</sup>, com adubação de plantio com 300 kg ha<sup>-1</sup> da fórmula 08-28-16+0,5 - N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O + Zn, respectivamente. Adubação de cobertura tem sido realizada com 40 kg ha<sup>-1</sup> de nitrogênio (geralmente na forma de ureia ou sulfato de amônio) quando a cultura se apresenta com 4 a 6 folhas. O controle de plantas daninhas nas culturas tem sido realizado na pré ou pós-emergência precoce das plantas daninhas com produtos utilizados regionalmente. O tratamento de sementes e a aplicação de inseticidas quando do ataque de pragas têm sido realizados com produtos utilizados regionalmente.

A partir de 2007, foram realizadas práticas agrícolas (recomendação de calagem por tratamento, gessagem, ajustes na adubação de plantio e de nitrogênio em cobertura, disponibilidade de palhada, adequação no uso de herbicidas e manejo de pragas) em ambos os experimentos otimizando a fertilidade do solo e a proteção das culturas para incrementos na produtividade do milho. Por ocasião da colheita, as produtividades de milho têm sido avaliadas em uma área útil de 14 m<sup>2</sup> por parcela convertendo-se para toneladas por hectare, com umidade do grão ajustada para 13%. A partir de 2008, as parcelas de plantio direto têm recebido aporte de 50 ton ha<sup>-1</sup> de massa verde de milheto cultivado previamente na primavera. A irrigação é realizada na produção do milheto quando necessária. Nestes tratamentos, a dessecação do milheto ocorre com 3,0 kg ha<sup>-1</sup> de glifosato 10 dias antes da semeadura.

Para a determinação das características químicas foi realizada amostragem de solo, por parcela, em 2007, nas profundidades de 0,00-0,20; 0,20-0,40 e 0,40-0,60 m. Amostras de solo foram analisadas segundo metodologia utilizada no Laboratório de Análises de Solo da Embrapa Milho e Sorgo e descrita por Claessen (1997). As características analisadas foram pH (em água); H + Al (cmolc dm<sup>-3</sup>); Al (cmolc dm<sup>-3</sup>); Ca (cmolc dm<sup>-3</sup>); Mg (cmolc dm<sup>-3</sup>); K (mg dm<sup>-3</sup>); P (cmolc dm<sup>-3</sup>); matéria orgânica-M.O.

(%); fósforo remanescente- $P_{rem}$  ( $mg L^{-1}$ ); Zn ( $mg dm^{-3}$ ); Mn ( $mg dm^{-3}$ ); Cu ( $mg dm^{-3}$ ) e Fe ( $mg dm^{-3}$ ).

Para análise dos dados obtidos em cada experimento, efetuou-se uma análise de variância em blocos ao acaso, considerando como tratamento os diferentes sistemas de preparo do solo aplicados ao longo dos anos de cultivo. Nas análises, foram utilizados os dados de análise química do solo e de produção de grãos de milho. Após procedida a análise de variância, para as características que apresentavam diferenças significativas, foi aplicado o teste de Tukey. Com estas análises, objetivou-se identificar o efeito dos sistemas de manejo e anos de cultivo nas propriedades químicas do solo em diferentes profundidades de amostragem, e sobre o rendimento de grãos.

## INDICADORES DA FERTILIDADE DO SOLO

As análises estatísticas dos parâmetros de solo nas três profundidades de amostragem indicam que não houve diferenças significativas a 5% de probabilidade (Teste F) para as características químicas do solo (pH; H + Al; Al; Ca; Mg; K; P; MO;  $P_{rem}$ ; Zn; Mn; Cu e Fe) e para as produtividades de grão de milho entre os sistemas de preparo do solo. Em geral, a grande variabilidade espacial existente entre os valores das características químicas do solo caracterizou os altos valores de coeficiente de variação nas três profundidades amostradas. Observa-se na Tabela 1 que no ensaio com oito diferentes sistemas de preparo os valores das características químicas do solo na profundidade de 0,00-0,20 m para os parâmetros pH, H+Al, M.O., capacidade de troca catiônica-CTC, Cu e Fe apresentaram valores de coeficiente de variação inferiores ou iguais a 20%, indicando menor variabilidade destas propriedades do solo. As outras propriedades do solo (Al, Ca, Mg, K, P, Zn, Mn,  $P_{rem}$ ) apresentaram valores de coeficiente de variação superiores a 20%. Os dados para outras profundidades também apresentaram comportamento similar ao descrito para a profundidade de 0,00-0,20 m. Silveira et al. (2000) descrevem o efeito dos sistemas de preparo com arado de aiveca, grade aradora e plantio direto nos valores de pH, Ca, Mg, P, K e saturação por bases.

Parâmetros	Tratamentos (Manejo de solo)*								Média	CV (%)
	01	02	03	04	05	06	07	08		
pH - água	4,80	4,80	4,97	5,07	5,03	5,07	4,90	4,87	4,93	5,10
H+Al – $cmol_c dm^{-3}$	6,25	6,35	6,77	5,87	5,78	6,00	6,70	6,32	6,25	20,13
Al - $cmol_c dm^{-3}$	0,93	1,05	1,04	0,67	0,53	0,71	0,97	0,95	0,85	58,34

Ca - cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	2,28	1,89	2,63	2,77	2,78	2,66	2,22	2,31	2,41	36,85
Mg - cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	0,36	0,29	0,38	0,46	0,52	0,47	0,41	0,42	0,42	31,40
K - mg dm <sup>-3</sup>	78,33	68,67	99,00	105,67	84,00	92,67	51,33	72,67	81,54	41,16
P - mg dm <sup>-3</sup>	5,36	4,88	6,37	9,66	7,80	5,62	4,33	5,26	6,16	38,75
M.O. - dag kg <sup>-1</sup>	3,67	3,72	3,91	3,88	3,60	4,24	3,79	4,16	3,87	13,57
SB <sup>1</sup> - cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	2,84	2,36	2,99	3,50	3,52	3,37	2,76	2,92	3,03	35,50
CTC - cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	9,08	8,71	9,76	9,37	9,30	9,40	9,46	9,24	9,29	8,11
V <sup>2</sup> - %	30,99	27,25	30,99	36,73	37,94	36,63	30,13	31,58	32,78	33,31
Sat. Al <sup>3</sup> - %	26,29	30,78	28,13	17,19	14,58	18,19	25,55	26,83	23,44	65,68
Zn - mg dm <sup>-3</sup>	1,30	1,16	1,90	1,73	2,33	2,03	1,57	1,10	1,64	30,64
Cu - mg dm <sup>-3</sup>	1,13	1,16	1,33	1,30	1,27	1,23	1,13	1,23	1,23	13,52
Mn - mg dm <sup>-3</sup>	23,87	20,70	28,70	30,60	33,73	27,77	23,47	21,07	26,24	37,56
Fe - mg dm <sup>-3</sup>	79,27	73,37	73,03	79,6	79,03	77,90	78,10	66,83	75,89	19,93
P <sub>rem</sub> - mg dm <sup>-3</sup>	4,32	5,13	6,59	7,62	6,99	4,94	6,32	4,82	5,84	65,72

Tabela 1 – Valores médios das propriedades químicas do solo para a profundidade 0-0,20 m submetido a 8 diferentes sistemas de manejo. Sete Lagoas, MG, 2007.

\*Tratamentos: 1–Grade aradora; 2–Grade aradora/(Grade aradora+escarificador); 3 – Grade aradora+escarificador; 4 – Grade aradora/(Grade aradora+subsolador); 5 – Plantio direto; 6 – Grade aradora+subsolador; 7 – Grade aradora+escarificador/Grade aradora; 8 – Grade aradora+subsolador/Grade aradora. <sup>1</sup>SB Soma de bases, <sup>2</sup>Saturação de bases, <sup>3</sup>Saturação de alumínio.

Os valores das características químicas para a profundidade de 0,00-0,20 m submetido a 11 diferentes sistemas de preparo encontram-se na Tabela 2. Observa-se neste ensaio que apenas os valores de pH, M.O. e CTC apresentam coeficiente de variação menor que 20%.

	Tratamentos (Manejos de solos)*											Média	CV (%)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11		
pH	5,20	5,17	5,27	5,33	5,10	5,60	5,33	5,43	5,37	5,23	5,10	5,28	4,16
H+Al	5,11	5,73	4,61	4,84	5,93	3,90	4,34	4,93	4,71	5,14	5,24	4,95	24,44
Al	0,45	0,64	0,28	0,32	0,45	0,03	0,42	0,21	0,25	0,38	0,54	0,36	96,44

Ca	2,64	2,50	2,90	3,79	3,48	4,04	3,20	3,77	3,64	2,98	3,25	3,28	31,75
Mg	0,47	0,47	0,48	0,70	0,63	0,79	0,64	0,79	0,74	0,62	0,59	0,63	36,63
K	114	103	102	123	103	89	123	113	147	100	71	108	26
P	4,30	8,63	4,75	7,88	5,84	5,25	7,08	9,11	9,00	5,67	4,84	6,58	42,66
M.O.	2,95	3,25	3,11	3,30	3,22	3,01	2,90	2,80	3,03	2,99	3,04	3,05	10,26
SB <sup>1</sup>	3,41	3,24	3,64	4,80	4,38	5,05	4,15	4,84	4,75	3,85	4,02	4,19	30,57
CTC	8,52	8,97	8,25	9,64	10,30	8,95	8,49	9,77	9,46	8,90	9,26	9,15	8,65
V <sup>2</sup>	40,29	35,38	43,64	49,72	42,25	56,50	49,49	50,20	50,50	42,50	42,76	45,75	28,48
S.Al <sup>3</sup>	17,39	19,32	8,08	5,85	12,05	0,69	9,38	4,71	5,09	9,59	13,83	9,63	127,53
Zn	3,00	1,60	1,87	2,67	2,50	1,73	2,57	3,00	2,97	2,07	3,43	2,49	46,80
Cu	1,93	1,40	1,50	1,50	1,73	1,73	1,73	1,70	1,83	2,40	2,13	1,81	31,75
Mn	23,73	21,30	25,50	32,77	31,70	29,53	25,97	27,87	29,07	27,10	29,50	27,64	26,60
Fe	72	64	70	159	134	87	135	138	102	73	165	109	82
P <sub>rem</sub>	7,91	5,41	9,81	v	9,91	7,80	6,07	3,26	4,40	5,76	8,93	7,15	62,42

Tabela 2 – Valores médios das propriedades químicas do solo para a profundidade de 0,00-0,20 m submetido a 11 diferentes sistemas de manejo. Sete Lagoas, MG, 2007.

\*Tratamentos: 1 – Grade aradora; 2 – Grade aradora/arado escarificador; 3 – Arado escarificador/grade aradora; 4 – Arado de disco; 5 – Grade aradora/arado de disco; 6 – Arado disco/grade aradora; 7 – Plantio direto; 8 – Grade aradora/arado aiveca; 9 – Aiveca; 10 – Aiveca/Grade aradora; 11 – Arado escarificador. <sup>1</sup>SB Soma de bases, <sup>2</sup>Saturação de bases, <sup>3</sup>Saturação de alumínio.

Por outro lado, houve efeito significativo a 5% de probabilidade para a profundidade de amostragem, independentemente do sistema de preparo do solo, em ambos os experimentos. Na Tabela 3, para experimento conduzido com oito diferentes tipos de preparo do solo, verifica-se que o valor médio de matéria orgânica foi superior na camada de solo de 0,00-0,20 m, independentemente do tipo de preparo do solo adotado, diferenciando-se significativamente dos valores obtidos nas camadas de 0,20-0,40 m e de 0,40-0,60 m. Contrariamente ao observado para o teor de matéria orgânica, os valores de H+Al e Al apresentaram menores valores nas camadas superficiais (0,00-0,20 e 0,20-0,40 m). Estes teores de Al observados no complexo sortivo do solo pode ter relação com um processo de complexação do alumínio pela matéria orgânica, especialmente nas camadas superficiais de solos cultivados em sistema de plantio direto (CAMBRI, 2004). Os valores de CTC, Ca, Mg, K, P e P<sub>rem</sub> (Tabela 3 e 4) apresentaram-se maiores na camada de 0,00-0,20 m, reduzindo-se nas camadas de 0,20-0,40 e 0,40-0,60 m. Carneiro (2010) descreve que os mais altos valores de pH na

camada superficial deste solo estão relacionados com as características tamponantes da matéria orgânica e/ou com o aumento da força iônica da solução do solo, por causa do incremento dos teores de Ca, Mg e K na camada superficial resultantes da adubação ou da ciclagem de resíduos da cultura, primordialmente, do milho. Os teores de Zn e Mn reduziram-se com a profundidade, enquanto os teores de Cu e Fe não apresentaram valores significativamente diferentes a 5% entre as profundidades. O aumento no teor de alumínio com a profundidade com a simultânea redução nos teores de cátions trocáveis acarretou maiores valores de saturação de alumínio nas maiores profundidades de amostragem (Tabela 5). Contrariamente ao descrito neste documento, Silveira et al. (2000) descrevem que na profundidade de 0-5 cm, os valores das variáveis avaliadas (pH, Ca, Mg, P, K e saturação por bases) foram maiores no sistema de plantio direto do que no arado e na grade.

Profundidade (m)	pH (água)	----- (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ) -----			CTC	MO dag kg <sup>-1</sup>
		H + Al	Al			
0,00-0,20 m	4,93 A	6,25 B	0,85 A	9,28 A	3,87 A	
0,20-0,40 m	4,77 B	6,58 AB	1,15 A	8,69 B	3,29 B	
0,40-0,60 m	4,67 C	6,77 A	1,24 A	8,51 B	2,83 C	

Tabela 3 – Valores médios das características químicas (pH; H+Al; Al; CTC e M.O.) do solo por profundidade coletadas em parcelas submetidas a 8 diferentes sistemas de manejo do solo. Sete Lagoas, MG, 2007.

Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Profundidade (m)	Ca	Mg	K	P	P <sub>rem</sub>
	----- cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> -----		----- mg dm <sup>-3</sup> -----		
0,00-0,20 m	2,41 A	0,41 A	81,54 A	6,15 A	5,84 A
0,20-0,40 m	1,65 B	0,30 B	62,08 B	3,25 B	3,38 B
0,40-0,60 m	1,34 C	0,24 C	57,12 B	1,80 C	1,98 C

Tabela 4 – Valores médios das características químicas (Ca; Mg; K; P e Prem) do solo por profundidade coletadas em parcelas submetidas a 8 diferentes sistemas de manejo do solo. Sete Lagoas, MG, 2007.

Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Profundidade (m)	Zn	Cu	Mn	Fe	Saturação Alumínio
------------------	----	----	----	----	--------------------

	----- mg dm <sup>-3</sup> -----				%
0,00-0,20 m	1,64 A	1,22 A	26,33 A	75,89 A	23,44 C
0,20-0,40 m	1,18 B	1,26 A	23,14 B	83,11 A	35,91 B
0,40-0,60 m	0,90 C	1,30 A	22,92 B	81,06 A	41,90A

Tabela 5 - Valores médios das características químicas (Zn; Cu; Mn; Fe e Saturação de alumínio) do solo por profundidade coletadas em parcelas submetidas a 8 diferentes sistemas de manejo do solo. Sete Lagoas, MG, 2007.

Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Os valores médios das características químicas do solo nas amostras coletadas nos diferentes sistemas de preparo do solo na área experimental com 11 tratamentos encontram-se descritos nas Tabelas 6, 7 e 8. Os valores mostram mesma resposta observada na área com o experimento com oito tratamentos, tanto para o efeito dos sistemas de preparo nas propriedades químicas do solo quanto na variabilidade destas propriedades nas profundidades de amostragem. Assim como descrito anteriormente, os maiores valores de saturação de alumínio nas maiores profundidades (Tabela 8) devem-se ao aumento no teor de alumínio com a simultânea redução nos teores de cátions trocáveis.

Profundidade (m)	pH água	H + Al	Al	CTC	MO
		----- cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> -----			dag kg <sup>-1</sup>
0,00-0,20 m	5,28 A	4,95 B	0,36 C	9,14 A	3,05 A
0,20-0,40 m	5,08 B	5,48 A	0,61 B	8,36 B	2,50 B
0,40-0,60 m	4,88 C	5,45 A	0,87 A	7,35 C	2,16 C

Tabela 6 – Valores médios das características químicas (pH; H+Al; Al; CTC e M.O.) do solo por profundidade coletadas em parcelas submetidas a 11 diferentes sistemas de manejo do solo. Sete Lagoas, MG, 2007.

Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Profundidade (m)	Ca	Mg	K	P	P <sub>rem</sub>
	----- cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> -----		----- mg dm <sup>-3</sup> -----		
0,00-0,20 m	3,28 A	0,62 A	108,15 A	6,57 A	7,15 A



0,20-0,40 m	2,26 B	0,45 B	65,93 B	2,87 B	4,57 B
0,40-0,60 m	1,47 C	0,32 C	41,72 C	1,44 C	3,06 C

Tabela 7 – Valores médios das características químicas (Ca; Mg; K; P e P<sub>rem</sub>) do solo por profundidade coletadas em parcelas submetidas a 11 diferentes sistemas de manejo do solo. Sete Lagoas, MG, 2007.

Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Profundidade (m)	Zn	Cu	Mn	Fe	Saturação Alumínio
	----- mg dm <sup>-3</sup> -----				%
0,00-0,20 m	2,49 A	1,80 A	27,63 A	109,08 A	9,63 C
0,20-0,40 m	1,52 B	1,80 A	18,72 B	85,12 A	19,29 B
0,40-0,60 m	1,16 B	1,82 A	17,11 B	75,19 B	31,65 A

Tabela 8 - Valores médios das características químicas (Zn; Cu; Mn; Fe e Saturação de alumínio) do solo por profundidade coletadas em parcelas submetidas a 11 diferentes sistemas de manejo do solo, Sete Lagoas, MG, 2007.

Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Avaliando as propriedades químicas dos dois experimentos, observa-se que os altos teores de Al, conseqüentemente de saturação de alumínio, o menor valor de saturação de bases e potássio no experimento com oito tratamentos não foram características prioritárias na determinação da produtividade do milho. A produtividade média neste experimento foi de 8,66 t ha<sup>-1</sup> e de 7,24 t ha<sup>-1</sup> no de 11 tratamentos (Tabelas 10 e 11). Observa-se que o teor de MO no solo, maior nas áreas do experimento de oito tratamentos pode ser considerada característica química determinante na produtividade do milho. Maiores teores de MO no solo proporcionam maior retenção de umidade do solo, possivelmente neste ensaio, suficientes para compensar os efeitos do Al e conferir ligeira diferença entre as faixas. Montezano et al. (2006) descrevem efeito positivo do teor de MO na produtividade de milho.

Em adição a isso, assim como o descrito em Montezano et al. (2006), os teores dos micronutrientes Fe, Cu, Mn e, ou Zn são encontrados como quelatos com a MO do solo, especialmente em condições de acidez, situação característica do experimento com oito tratamentos.

## PRODUTIVIDADES DE GRÃOS DE MILHO

Os resultados médios das produtividades de grãos de milho das safras ano 94/95, 95/96 e 96/97 cultivado nos diferentes sistemas de manejo solo variaram entre 4.319 kg ha<sup>-1</sup> para preparo com escarificador a 5.443 kg ha<sup>-1</sup> para sistema rotação escarificador-grade aradora (Tabela 9).

Métodos de manejo de solo	Ano agrícola			Média
	1994/95	1995/96	1996/97	
	----- kg ha <sup>-1</sup> -----			
Aiveca	5.029	5.499	5.027	5.185
Aiveca/Grade aradora	5.115	3.748	4.848	4.568
Disco	4.855	5.004	4.305	4.721
Disco/Grade aradora	4.959	4.083	5.685	4.909
Escarificador	4.322	3.804	4.833	4.319
Escarificador/Grade aradora	5.652	5.086	5.592	5.443
Grade aradora	5.098	3.830	4.998	4.375
Grade aradora/Disco	5.038	5.464	5.370	5.290
Grade aradora/Aiveca	4.376	4.691	4.861	4.642
Grade aradora/Escarificador	5.197	3.793	4.037	4.342
Plantio direto	4.918	5.055	5.009	4.994

**Tabela 9.** Valores médios de produtividades de milho (kg ha<sup>-1</sup>) cultivado nos 11 diferentes métodos de manejo do solo.

Assim como observado para alguns parâmetros de solo, as produtividades de milho não foram afetadas significativamente pelo sistema de manejo do solo ao longo dos anos nos dois experimentos (Tabela 10 e 11) apresentando valores de coeficiente de variação abaixo de 20%, à exceção da safra 2010/2011 no experimento com 11 tratamentos. Entretanto, verificou-se elevação das produtividades médias de milho ao longo dos anos. Em 2013, a produtividade variou de 7 a 9 t ha<sup>-1</sup>, enquanto que, em 2005, os valores eram próximos de 5 t ha<sup>-1</sup>. Entretanto, deve ser destacado que os aumentos na produtividade do milho na safra 2012/2013 podem estar relacionados ao aumento na população de plantas de milho.

Ano de avaliação	Tipo de Manejo do solo							
	Data Plantio	Plantio Direto	Grade aradora	Aiveca	Disco	Escarificador	Aiveca/Grade aradora	Disco/Grade aradora
		(t ha <sup>-1</sup> )	(t ha <sup>-1</sup> )	(t ha <sup>-1</sup> )	(t ha <sup>-1</sup> )	(t ha <sup>-1</sup> )	(t ha <sup>-1</sup> )	(t ha <sup>-1</sup> )
2005/2006	12/2005	5,88	5,66	5,52	5,48	6,32	5,98	6,56
2008/2009	01/2009	6,62	5,92	6,97	7,04	6,59	6,30	6,78
2009/2010	12/2010		6,45	6,02	6,57	6,78	6,53	7,05
2010/2011	01/2011	5,68	5,93	5,52	5,95	5,95	5,74	4,07
2011/2012	27/01/2012		6,32	5,88	6,15	5,56	6,80	5,82
2012/2013	17/12/2012	8,07	7,19	8,28	6,31	8,31	6,20	6,17
	Escarificador/ Grade aradora	Grade aradora/ Aiveca	Grade aradora/ Disco	Grade aradora/ Escarificador	QM	Média Geral de Produtividade (t ha <sup>-1</sup> )	CV%	
	(t ha <sup>-1</sup> )	(t ha <sup>-1</sup> )	(t ha <sup>-1</sup> )	(t ha <sup>-1</sup> )				
2005/2006	5,26	5,80	5,82	5,56	0,428	5,80	10,48	
2008/2009	6,58	6,45	6,84	6,85	0,314	6,63	8,31	
2009/2010	6,04	6,16	6,25	5,86	0,417	6,37	13,1	
2010/2011	6,19	5,53	5,20	5,74	0,978	5,59	26,86	
2011/2012	6,45	5,83	5,95	6,15	0,395	6,09	8,65	
2012/2013	7,74	6,81	7,75	6,86	2,059	7,24	19,78	

Tabela 10 - Quadrados médios de tratamento (QM), médias de produtividade de grãos em cada ano, tipo de manejo de solo e coeficientes de variação experimental (CV%) para onze tratamentos de manejo de solo em milho. Sete Lagoas, 2013.

Ano de avaliação	Tipo de Manejo do solo						
	Data Plantio	Plantio Direto	Grade aradora	Grade aradora+ subsolador	Grade aradora+ escarificador	(Grade + subsolador)/Grade	(Grade + Escarificador)/Grade
		(t ha <sup>-1</sup> )	(t ha <sup>-1</sup> )	(t ha <sup>-1</sup> )	(t ha <sup>-1</sup> )	(t ha <sup>-1</sup> )	(t ha <sup>-1</sup> )
2005/2006	12/2005	6,53	5,59	5,89	6,08	5,98	6,19
2008/2009	01/2009	7,10	6,42	6,49	6,63	6,09	6,85
2009/2010	12/2010		5,44	5,40	5,01	5,40	6,82
2010/2011	01/2011	6,54	6,09	7,27	6,15	5,88	6,75
2011/2012	27/01/2012		5,40	5,81	5,97	4,93	5,14
2012/2013	17/12/2012	9,88	7,39	8,63	8,84	9,11	9,06
	Grade aradora/(Grade aradora + Subsolador)	Grade aradora/(Grade aradora + Escarificador)	QM	Média Geral de Produtividade (t/ha)	CV%		
	(t ha <sup>-1</sup> )	(t ha <sup>-1</sup> )					
2005/2006	5,24	5,52	0,505	5,88	11,11		
2008/2009	6,29	5,90	0,458	6,47	8,81		
2009/2010	5,56	6,30	1,177	5,70	13,20		
2010/2011	7,37	7,10	0,978	6,64	15,46		
2011/2012	5,24	5,90	0,505	5,48	17,11		
2012/2013	8,43	7,93	1,751	8,66	16,57		

Tabela 11 - Quadrados médios de tratamento (QM), médias de produtividade de grãos em cada ano, tipo de manejo de solo e coeficientes de variação experimental (CV%) para oito tratamentos de manejo de solo em milho. Sete Lagoas, 2013.



Figura 1 – Área Experimental de Manejo de Solos na Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, MG, outubro de 2014.

## PROPRIEDADES FÍSICAS DE UM LATOSSOLO VERMELHO APÓS VINTE ANOS COM DIFERENTES SISTEMAS DE PREPARO

### Caracterização

A rápida degradação do solo sob exploração agrícola tem despertado nas últimas décadas a preocupação com a qualidade do solo e a sustentabilidade no meio rural (Lal & Pirce, 1991), principalmente, no contexto da crescente demanda mundial por alimentos e energia. Brighenti et al. (2012) ressaltam a grande expansão e ocupação dos solos do cerrado brasileiro e destacam a importância do conhecimento e o detalhamento das características básicas dos solos.

Outro fator importante relacionado à qualidade do solo é o uso de máquinas e implementos agrícolas, ocasionando o desenvolvimento de camada compactada subsuperficialmente, tanto por grade quanto em semeadura direta, sendo considerada como uma das principais formas da degradação física do solo e da diminuição na produtividade das culturas (Campos et al., 1995). Assim, de acordo com (Fialho et al., 2008; Pignataro Netto et al., 2009; Bognola, et al., 2010; Bavoso et al., 2010), é necessário monitoramento dos solos sob diferentes sistemas de manejo, visando uma melhor preservação física da sua qualidade para que o mesmo possa proporcionar produção agrícola sustentável.

O manejo intensivo do solo com grade aradora, arado de disco, arado de

aiveca e grade niveladora tende a melhorar as condições para realizar a semeadura, porém contribui para promover modificações na estrutura e agregação dos solos. Carpenedo & Mielniczuk (1990) relatam que o solo, quando submetido a períodos intensivos de cultivos, possui uma tendência a perder a estrutura original. Isto ocorre pelo fracionamento dos agregados maiores em unidades menores, com consequente diminuição de macro e aumento de microporos e da densidade.

Portella et al. (2012) relatam que as diversas práticas convencionais adotadas para manejar o solo alteram a estabilidade dos agregados. Deste modo, os cultivos sucessivos, com vários ciclos de movimentação de máquinas e implementos agrícolas, ocasionam uma maior exposição do solo, resultando numa diminuição da matéria orgânica, alterando a estabilidade dos agregados (Vasconcelos et al., 2010).

Com a adoção do sistema de semeadura direta (SD) nas áreas agrícolas tem-se demonstrado alterações da qualidade estrutural superficial do solo à medida que os cultivos se sucedem, devido principalmente ao contínuo aporte de material orgânico, proporcionando melhores benefícios às raízes das plantas e a proteção oferecida pelos resíduos vegetais à superfície do solo (Guareschi et al., 2012; Lima et al., 2013).

Marcolan & Anghinoni (2006) observaram que após quatro anos sobre semeadura direta, os solos das áreas tinham recuperado sua condição original para os atributos físicos referentes à qualidade do solo, nas camadas superficiais até 0,15 m e Hickmann et al. (2012) em área sob sistema de semeadura direta após 23 anos de implantação, observaram melhoria nestes mesmos atributos, além de recuperar os teores de carbono orgânico na camada superficial do solo até 0,05 m, quando comparado ao sistema convencional de cultivo.

Nesse sentido, o nível de alteração provocado pelos diferentes sistemas de manejo pode ser avaliado pela mensuração e comparação com o estado natural do solo, sem interferência antrópica, por meio de parâmetros “indicadores” de qualidade do solo. (Topp et al., 1997; Arshad & Martin, 2002). Para isso, torna-se necessário a utilização de uma quantidade mínima de indicadores físicos do solo que ofereçam facilidade de avaliação, aplicabilidade em diferentes escalas, utilização abrangente e sensibilidade a variações de manejo (Doran & Parkin, 1994; Niero et al., 2010; Chaves et al., 2012).

O capítulo descreve as propriedades físico-hídricas e a agregação de um Latossolo Vermelho Distrófico do Cerrado, submetido por 20 anos consecutivos a diferentes sistemas de preparo e manejo do solo.

## **Caracterização da Área Experimental**

O experimento foi realizado na estação experimental da Embrapa Milho e Sorgo, no município de Sete Lagoas, MG, nas coordenadas geográficas com latitude 19°27'S, longitude 44°10'W e altitude de 786 m. O clima da região se enquadra no tipo (Cwa),

segundo a classificação de Köppen. A precipitação e a temperatura média anual são de 1.340 mm e 22°C, respectivamente (Lange et al., 2006). O Solo foi classificado como Latossolo Vermelho distrófico argiloso caulinitico (Embrapa, 2013).

A área experimental vem sendo cultivada no verão, desde 1995 sob diferentes sistemas de preparo do solo e culturas. Neste estudo foram avaliados: Grade Aradora (GA), Arado de Aiveca (AA), Arado de Disco (AD), Arado de Disco mais Grade Aradora (AD+GA), Semeadura Direta (SD), além de uma área adjacente de Cerrado Nativo (CN), utilizada como referência. Em cada tratamento as parcelas têm delimitada uma área útil pelas dimensões 20 x 16 m. Os resultados das análises química e de granulometria do solo estão presentes na tabela 1.

Trat.	Argila Silte Areia			pH	Ca <sup>2+</sup> Mg <sup>2+</sup> Al <sup>3+</sup> H+Al <sup>(1)</sup>				CTC <sup>(1)</sup>	P	K	V <sup>(1)</sup>	m <sup>(1)</sup>	MOS
	----- g Kg <sup>-1</sup> -----				----- cmolc/dm <sup>-3</sup> -----									
0 - 5 cm														
GA	556	230	213	5,6	3,6	1,1	0,0	4,4	9,7	11,4	209,8	54,9	0,0	4,8
AA	586	216	196	5,2	2,3	0,6	0,0	6,2	9,6	6,9	192,6	36,1	0,5	4,0
AD	623	200	176	5,8	2,8	1,1	0,0	5,5	10,0	9,1	260,9	45,4	0,0	4,9
AD/GA	556	223	220	5,9	2,8	0,9	0,0	4,0	8,3	8,8	227,7	51,7	0,1	3,9
SD	553	230	216	6,5	6,1	1,5	0,0	3,0	11,3	17,2	267,6	73,4	0,0	6,2
CN	773	100	126	5,4	3,6	0,2	0,0	6,3	10,3	3,0	58,8	39,0	0,4	5,4
5 - 10 cm														
GA	583	216	200	5,4	2,7	0,7	0,0	6,0	9,7	13,9	89,9	38,0	0,1	4,6
AA	590	213	196	5,1	2,1	0,5	0,0	6,4	9,4	6,1	166,1	32,3	0,5	3,9
AD	640	190	170	5,5	2,4	0,8	0,0	6,6	10,2	11,9	165,7	35,4	0,1	4,8
AD/GA	570	213	216	5,6	2,4	0,7	0,0	5,4	8,8	6,5	113,2	39,4	0,2	3,8
SD	616	193	190	5,8	2,9	0,7	0,0	6,2	10,2	12,0	159,6	39,8	0,6	4,2
CN	796	80	123	5,0	1,0	0,0	0,1	8,5	9,6	2,8	15,0	11,1	7,9	4,8
10 - 20 cm														
GA	590	220	190	5,2	1,5	0,3	0,0	5,9	7,7	1,5	20,5	24,5	1,1	3,0
AA	583	216	200	5,3	2,0	0,5	0,0	6,2	9,0	5,5	163,6	32,2	0,7	3,9
AD	626	203	170	5,5	1,9	0,5	0,0	7,4	10,1	7,0	113,7	27,1	0,5	4,5
AD/GA	576	213	210	5,5	2,0	0,4	0,0	5,8	8,3	4,6	61,8	30,9	0,1	3,7
SD	613	196	190	5,5	2,4	0,4	0,0	6,5	9,5	3,1	69,6	33,5	0,9	3,7
CN	796	83	120	4,9	0,3	0,0	0,1	8,8	9,1	2,1	10,7	3,6	28,3	4,5
20 - 40 cm														
GA	583	233	183	5,2	0,8	0,1	0,0	5,0	5,9	1,5	5,6	14,8	5,2	2,2
AA	596	216	186	5,6	2,0	0,3	0,0	4,9	7,4	2,5	52,2	33,3	1,6	3,0
AD	650	190	160	5,7	1,8	0,3	0,0	6,7	8,9	3,5	26,7	24,6	1,0	3,9
AD/GA	590	213	196	5,8	1,6	0,3	0,0	5,0	6,8	1,4	17,3	28,0	1,3	3,0
SD	620	200	180	5,5	2,1	0,3	0,0	5,4	7,9	1,3	35,3	32,5	1,7	3,0
CN	793	96	110	5,0	0,1	0,0	0,1	8,4	8,5	0,9	2,1	1,4	61,0	3,7

Tabela 1 – Análise textural e química de um Latossolo Vermelho Distrófico em diferentes Sistemas de manejo do solo na Embrapa Milho e Sorgo na região de Sete lagoas (MG). São apresentados os resultados para as profundidades de 0 - 5, 5 - 10, 10 - 20 e 20 - 40 cm, realizada em novembro de 2014.

<sup>(1)</sup>H+Al: Acidez potencial; CTC: capacidade de troca catiônica; V: saturação por bases; m: saturação por alumínio. Análise granulométrica e análise química determinado conforme (EMBRAPA, 2011). Grade Aradora (GA), Arado de Aiveca (AA), Arado de Disco (AD), Arado de Disco/Grade Aradora (AD/GA), Semeadura Direta (SD), e Cerrado Nativo (CN).

Os equipamentos que são utilizados para preparo do solo apresentam as seguintes especificações: Grade Aradora (GA) intermediária com 16 discos de 28", Arado de Aiveca (AA) com 3 lâminas, Arado de Disco (AD) com 3 discos de 32" de diâmetro. Em Semeadura Direta (SD), realiza-se dessecação com glifosato antes do plantio, caracterizando semeadura sob-baixa quantidade de palhada. Após o preparo do solo, é utilizada grade niveladora em todas as parcelas, à exceção das que recebem o tratamento SD. No período de entressafra, aplica-se glifosato em toda a área experimental, às vezes seguida pela passagem de triturador. O controle de formiga é realizado com sulfluramida na dosagem de 8 a 10 g m<sup>-2</sup> de formigueiro.

Em todos os plantios, utiliza-se cultivares comerciais do tipo híbridos simples de milho, produzidas pela Embrapa Milho e Sorgo. Os plantios foram efetuados com plantadora adubadora na população de 65.000 plantas ha<sup>-1</sup>, com adubação de plantio com 300 kg ha<sup>-1</sup> da fórmula 08-28-16 + 0,5 - N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O + Zn, respectivamente. Adubação de cobertura é realizada com 80 kg ha<sup>-1</sup> de nitrogênio (geralmente na forma de uréia ou sulfato de amônio) quando a cultura se apresenta com 4 a 6 folhas. As parcelas de SD têm recebido sucessão soja-milho desde 2007.

O controle de plantas daninhas nas culturas é realizado na pré ou pós-emergência precoce das plantas daninhas com produtos comerciais. O tratamento de sementes e a aplicação de inseticidas quando do ataque de pragas é realizado com produtos recomendados pelos boletins de recomendação vigentes.

A partir do ano de 2007, foram realizadas práticas agrícolas (recomendação de calagem por tratamento, gessagem, ajustes na adubação de plantio e de nitrogênio em cobertura, disponibilidade de palhada, adequação no uso de herbicidas e manejo de pragas) em toda a área experimental visando otimizar o manejo do solo e a proteção da cultura para incrementos na produtividade. A partir de 2007, as parcelas de SD têm recebido aporte de 50 Mg ha<sup>-1</sup> de massa verde de milheto cultivado previamente na primavera. Em outubro de 2013 realizou-se calagem 2,4 Mg ha<sup>-1</sup> e gessagem 0,8 Mg ha<sup>-1</sup> nas parcelas. A irrigação é realizada na produção do milheto, quando necessária. Nestes tratamentos, a dessecação do milheto ocorre com 3,0 kg ha<sup>-1</sup> de glifosato 10 dias antes da semeadura da cultura principal.

### **Amostragens, Avaliações e Análises Estatísticas**

Coletaram-se amostras de solo deformadas e não deformadas em três trincheiras por tratamento, sendo cada trincheira uma repetição. As trincheiras foram abertas na área central de cada parcela, deixando 7 metros de bordadura de cada lado, entre os meses de outubro e novembro 2014, antes da operação de preparo do solo e após precipitação de 40 milímetros de chuva. A amostragem foi realizada em 4 profundidades (0 - 5, 5 - 10, 10 - 20 e 20 - 40 cm).

A estabilidade de agregados foi determinada pela metodologia do tamisamento

úmido, proposta por Kemper & Rosenau (1986), descrita pela (Embrapa, 2011), em que as amostras de agregados foram espalhadas e destorroadas suavemente nos pontos de fraqueza, para obtenção de 25 g de agregados da fração entre 8 e 4 mm, por peneiramento. As amostras foram acondicionadas em um conjunto de peneiras de malhas correspondentes a 2,0 mm; 1,0 mm; 0,5 mm; 0,25 mm e 0,09 mm, para separação das classes de tamanhos dos agregados, tendo sido agitadas a 10 rpm por um período de quinze minutos. Foram calculados com índices de agregação o diâmetro médio geométrico (DMG), o diâmetro médio ponderado (DMP) e o Índice de Estabilidade dos Agregados (IEA), segundo Castro Filho et al. (1998).

Amostras coletadas em anéis volumétricos com 5 cm de altura e diâmetro foram preparadas sendo gradativamente saturadas por capilaridade com água destilada. As amostras foram pesadas para estimar a umidade na saturação ( $\theta_s$ ) e a Porosidade total (Pt). Em seguida as amostras foram submetidas aos potenciais ( $\Psi$ ) de -2, -4, -6, -10, -33, -100, -500 e -1500 kPa, utilizando placas porosas, conforme Klute (1986). Utilizou-se uma mesa de tensão automatizada da marca ECOTECH para potenciais até -10 kPa e Câmara de Richards de média e alta pressão para os demais. Após atingir o equilíbrio em cada potencial, as amostras foram pesadas e ao final secas em estufa à 105 °C, durante 24 horas, para quantificar a massa seca de solo, a densidade do solo (Ds) e os conteúdos de água ( $\theta$ ), em  $\text{cm}^3\text{cm}^{-3}$ , associados a cada  $\Psi$  para a obtenção da curva de retenção de água no solo (CRA). A Microporosidade (Micro) foi atribuída ao  $\theta$  em equilíbrio no potencial de -6 kPa. A Macroporosidade (Macro) foi determinada pela diferença entre Pt e Micro (Embrapa, 2011).

Para cada uma das 72 amostras foi obtida a CRA por modelagem não linear ajustando-se o modelo de Van Genuchten (1980), por meio do software RETC (Van Genuchten, 1991).

Calculou-se o índice S (Dexter, 2014), definido como a declividade da CRA em seu ponto de inflexão, que representa a distribuição do tamanho de poros de maior frequência e torna possível a comparação direta de diferentes solos e dos efeitos de diferentes práticas de manejo na qualidade física do solo. Calculou-se, ainda, e a capacidade de água disponível (CAD), pela diferença entre capacidade de campo, estimada pelo  $\theta$  à 6 KPa ( $\theta_{cc}$ ), e, o ponto de murcha permanente, estimado pelo  $\theta$  à 1500 KPa ( $\theta_{PMP}$ ).

Utilizou-se o delineamento experimental em blocos casualizados (DBC) com parcelas subdivididas no espaço, compostos pelos 6 manejos dos solos na parcela e nas subparcelas 4 profundidades, totalizando vinte e quatro tratamentos com três repetições. A análise de variância (ANOVA) foi realizada para os atributos físico-hídricos do solo, e quando pertinente, as médias foram submetidas ao teste de Scott & Knott à 5% de probabilidade, utilizando o software R, pacote ExpDes (Ferreira et al., 2013).



## Observações de Campo: Resultado das Amostragens

Os maiores valores para DMG, DMP e IEA foram observados em todas as camadas para CN e para SD apenas na profundidade de 0-5, sendo superiores aos demais sistemas de preparo, (Tabela 2). O não revolvimento do solo favorece a conservação da MOS (Campos et al., 1995; Corazza et al., 1999; Castro filho et al., 2002; Zinn et al., 2005; Frazão et al., 2010) nestas camadas e, associado aos maiores teores de  $Ca^{2+}$  e de  $Mg^{2+}$  proveniente da calagem são favoráveis à manutenção dos agregados no solo (Tabela 1). De fato, é notório o conhecimento de que a MOS é um dos principais agentes do processo de agregação do solo (Wendling et al., 2012; Silva et al., 2013).

Os maiores valores destes parâmetros na camada de 10-20 cm foram observados nos tratamentos CN e GA. Em profundidade, o efeito do distúrbio do implemento GA não é observado na camada abaixo de 10 cm. Outros implementos cortam o solo a profundidades maiores que 10 cm, o arado de disco de 25 a 30 cm, por exemplo. Nesta faixa de 10-20 cm de profundidade, observa-se que as classes de agregados 8-2 mm para GA e CN diferiu. Os parâmetros neste tratamento foram próximos do CN com valores superiores aos outros tratamentos mostrando que outros implementos estão revolvendo solo nesta profundidade.

A GA revolve camada de solo geralmente acima de 10 cm. Observação similar ocorre para o tratamento AA que tem IEA aumentando com a profundidade. A classe 8-2 mm foi a que teve a menor porcentagem superficialmente e a classe < 0,09 mm foi a que obteve maior porcentagem superficialmente, disto mostra que AA apresenta eficiência na destruição da agregação superficialmente.

TRAT	DMG <sup>(1)</sup>	DMP <sup>(2)</sup>	IEA <sup>(3)</sup>	Classes de agregado (mm)					
				8-2	2-1	1-0,5	0,5-0,25	0,25-0,09	< 0,09
		mm	%						
0 - 5 cm									
GA	0,53 c	1,27 c	60,30 c	15,31 c	17,09 a	21,00 a	15,62 a	14,19 a	16,76 b
AA	0,35 c	1,86 c	46,28 d	8,42 c	12,34 b	21,09 a	15,19 a	17,56 a	25,37 a
AD	0,52 c	1,18 c	63,03 c	13,13 c	17,39 a	20,81 a	18,66 a	15,28 a	14,71 b
AD/GA	0,46 c	1,06 c	56,15 c	11,42 c	15,11 a	22,01 a	17,80 a	16,78 a	16,85 b
SD	1,34 b	2,68 b	76,93 b	46,20 b	15,73 a	11,58 b	8,62 b	7,68 b	10,18 c
CN	2,33 a	3,68 a	88,11 a	69,38 a	9,11 b	5,93 c	5,24 b	5,37 b	4,95 c
5 - 10 cm									
GA	0,59 b	1,28 b	67,26 b	14,34 b	20,49 a	21,26 a	18,05 b	12,44 b	13,39 a
AA	0,37 b	0,79 b	55,31 b	6,63 b	10,58 b	21,74 a	25,60 a	17,35 a	18,08 a
AD	0,55 b	1,23 b	66,35 b	14,79 b	15,24 a	20,95 a	21,42 a	13,33 b	14,25 a
AD/GA	0,63 b	1,41 b	66,75 b	17,71 b	18,33 a	21,37 a	17,00 b	12,59 b	12,97 a
SD	0,81 b	1,71 b	74,18 b	23,79 b	18,74 a	21,80 a	15,24 b	11,18 b	9,23 b

CN	2,78 a	3,93 a	90,42 a	75,92 a	6,45 b	4,57 b	4,69 c	3,87 c	4,47 b
	10 - 20 cm								
GA	1,23 b	2,46 b	78,53 b	40,03 b	20,40 a	13,79 b	8,73 b	8,34 c	8,69 b
AA	0,48 c	1,05 c	58,34 c	10,68 c	15,64 b	22,94 a	17,90 a	18,92 a	13,91 a
AD	0,50 c	1,21 c	61,85 c	14,75 c	14,69 b	20,65 a	18,71 a	14,83 b	16,35 a
AD/GA	0,60 c	1,33 c	64,69 c	15,64 c	19,11 a	22,92 a	14,96 a	13,68 b	13,68 a
SD	0,70 c	1,48 c	67,88 c	19,01 c	18,67 a	20,75 a	16,21 a	13,87 b	11,47 a
CN	3,08 a	4,10 a	93,05 a	78,90 a	6,68 c	4,60 c	3,83 c	3,46 d	2,62 c
	20 - 40 cm								
GA	1,00 b	2,21 b	69,48 b	36,44 b	14,61 a	12,62 b	12,06 b	11,82 a	12,42 a
AA	0,72 b	1,50 c	72,24 b	19,02 b	20,37 a	21,20 a	17,23 a	12,17 a	10,00 a
AD	1,04 b	2,00 b	79,74 a	29,81 b	19,21 a	19,34 a	14,83 b	10,45 a	6,34 a
AD/GA	0,99 b	1,99 b	74,67 b	30,12 b	18,41 a	18,66 a	12,78 b	10,44 a	9,57 a
SD	0,60 b	1,37 c	63,20 b	18,15 b	15,03 a	17,46 a	20,16 a	15,06 a	14,12 a
CN	1,69 a	3,14 a	83,91 a	57,52 a	10,05 a	8,67 b	9,48 b	6,84 a	7,42 a

Tabela 2 - Resultados dos parâmetros físicos diâmetro médio geométrico, diâmetro médio ponderado, índice de estabilidade de agregados e classes de agregados avaliados em um Latossolo Vermelho distrófico cultivado com diferentes sistemas de uso e manejo do solo na Embrapa Milho e Sorgo na região de Sete Lagoas (MG).

<sup>(1)</sup>Diâmetro médio geométrico, <sup>(2)</sup>Diâmetro médio ponderado, <sup>(3)</sup>Índice de estabilidade de agregados. Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott Knott 5% de probabilidade. (GA = Grade Aradora, AA = Arado de Aiveca, AD = Arado de Disco, AD/GA = Arado de Disco/Grade Aradora, SD = Semeadura Direta e CN = Cerrado Nativo).

Os menores valores destes parâmetros para SD nas profundidades 10-20 cm e 20-40 cm deveu-se à redução da porcentagem das classes de agregados maiores e aumento da porcentagem das classes de agregados menores. Aliado a isto, esta observação deve-se ao aumento do teor de MOS superficialmente e a compressão do solo em subsuperfície pela movimentação de máquinas e implementos agrícolas.

Observa-se que a CN apresentou mais agregados na classe de 8-2 mm, nas quatro camadas avaliadas, seguida da SD para a camada de 0-5 cm e GA 10 - 20 cm e os demais tratamentos não diferiram entre si. O sistema SD, embora diferente do sistema CN, mostra tendência de restabelecer o equilíbrio natural na camada superficial do solo, pois apresenta maior teor de  $Ca^{2+}$  e de  $Mg^{2+}$  na camada superficial seguido pela MOS na camada de 0-5 cm (Tabela 1). O uso de resíduos vegetais é constatado por diversos autores como responsável por melhorias nas propriedades físicas do solo (Verma & Sharma, 2008; Olibone et al., 2010; Blainski et al., 2012, Silva et al., 2013).

Em uma extensa revisão de literatura sobre agregação, Six et al. (2004) mostraram que o cálcio é um elemento de suma importância para o processo de estabilização da matéria orgânica e agregados do solo, atuando diretamente na complexação organo-mineral, com ação na microagregação e macroagregação, por estimular atividades biológicas em solos ácidos.

No entanto, no presente trabalho a GA na camada de 10-20 cm e o AD na camada de 20-40 cm mostra melhor resultado de estabilidade de agregados no

sistema convencional em relação ao conservacionista. Era de se esperar menores valores de agregação por ocasião do preparo do solo com GA e AD nessas camadas, principalmente em função da aceleração da decomposição causada pela incorporação dos restos culturais (Albuquerque et al., 2005), no entanto, o preparo do solo que antecedeu a coleta das amostras foi efetuada apenas com uma gradagem leve e superficial, com posterior semeadura. Possivelmente, a pequena mobilização do solo contribuiu para reduzir a destruição dos agregados.

Dessa forma, fica claro que os sistemas de preparo de solo avaliados alteram a distribuição dos agregados na área. Mota et al. (2013), avaliando a qualidade física de um Cambissolo, observaram que, sob área de cerrado nativo, houve maior estabilidade de agregados quando comparado a diferentes sistemas de manejo.

Coutinho et al. (2010) e Rozane et al. (2010) também encontraram maior estabilidade de agregados em vegetação natural. Salton et al. (2008), avaliando estabilidade de agregados do solo em sistemas agropecuários, comprovaram que a pastagem permanente ou a rotação com cultura em semeadura direta favoreceram a formação de agregados estáveis de maior tamanho, em relação a sistemas apenas com culturas.

### **Curva de Retenção de Água do Solo (Cra)**

Ao analisar a retenção de água (figura 1) verifica-se redução do conteúdo de água retido nos maiores potenciais em todos os manejos quando comparados ao CN, principalmente na camada até 20 cm, com maior redução para AD/GA, explicada pelos efeitos da compactação no solo causado pela operação de preparo e manejo do solo. Essa região da CRA representa os poros de maior diâmetro, portanto podem afetar a infiltração de água, capacidade de aeração e, conseqüentemente, o desenvolvimento radicular (Lanzanova et al., 2010; 2012).

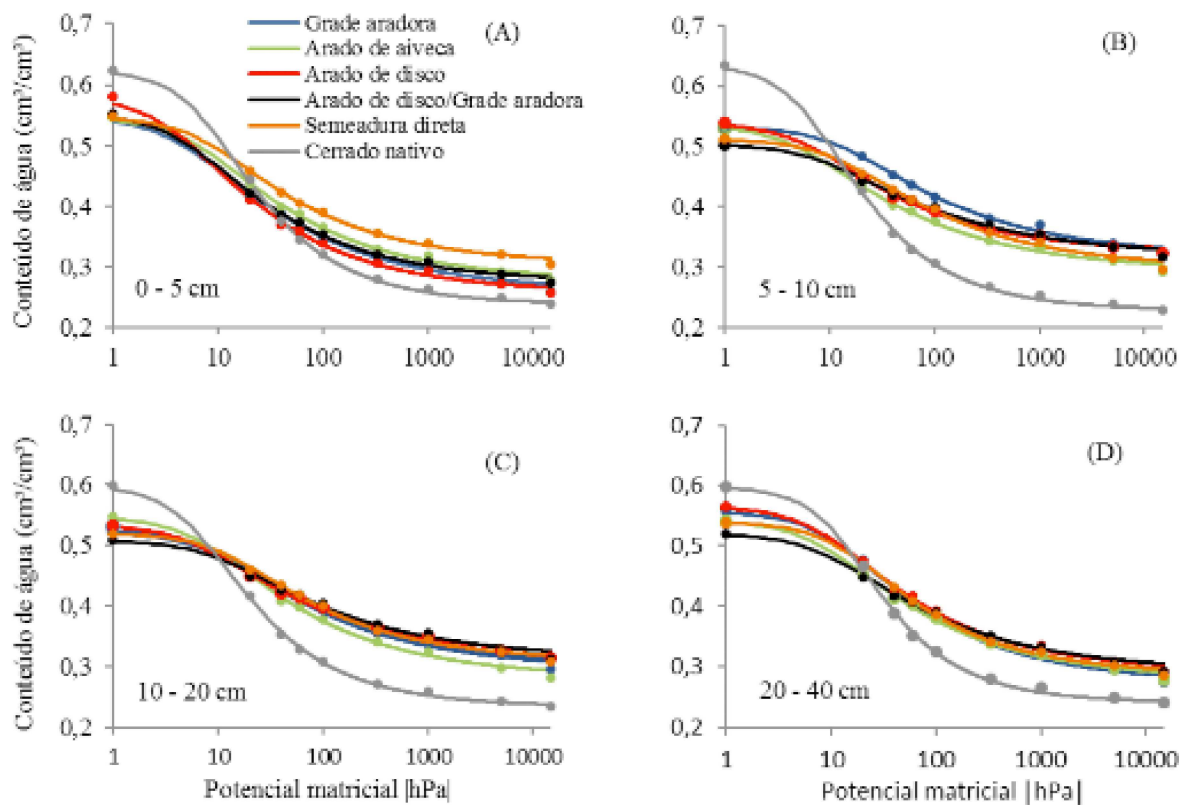


Figura 1 - Curvas de retenção de água (CRA) de um Latossolo Vermelho distrófico para diferentes sistemas de preparo do solo (Grade Aradora, Arado de Aiveca, Arado de Disco, Arado de Disco/Grade Aradora, Semeadura Direta e Cerrado Nativo) na Embrapa Milho e Sorgo na região de Sete Lagoas (MG), nas profundidades de (A) 0-5, (B) 5-10, (C) 10-20 e (D) 20-40 cm.

O conteúdo de água em potenciais menores que está associado à microporosidade aumentou com o manejo do solo (figura 1). Os manejos SD e GA causaram aumento desses poros nas camadas superficiais, o que também foi observado por Secco et al. (2005) em Latossolo Vermelho analisando sistemas de preparo do solo. Para SD vários fatores explicam esta observação, dentre elas o não revolvimento do solo e a compactação superficial causada pelo tráfego de máquinas e implementos. Para GA, o fato observado deve-se ao aumento de agregados de classes menores na camada superficial. Na camada subsuperficial os sistemas de preparo do solo apresentaram CRA semelhantes. Assim, pode-se inferir que não houve alteração na capacidade de retenção de água.

Em todos os sistemas de preparo do solo, as curvas apresentaram aspecto retilíneo e tendência horizontal após -1000 hPa similarmente CN, indicando a presença de ultramicroporos, caracterizados por possuírem baixa capacidade de disponibilidade de água, como constatado por Oliveira et al. (2004). A presença de ultramicroporos no solo pode acarretar problemas como maior déficit hídrico em cultivos de sequeiro, pois desfavorece a disponibilidade de água num potencial inferior a -15000 hPa, correspondente ao Ponto de Murcha Permanente, ou seja, a água retida nesses poros não está prontamente disponível para as plantas. Isso mostra que quando houve um

aumento de poros pequenos, conseqüentemente houve redução dos poros maiores, isso foi observado pela distribuição do tamanho dos agregados (Tabela 2).

A densidade do solo (Ds) apresentou uma amplitude média por tratamento de 0,83 a 1,31 g cm<sup>-3</sup> (tabela 3), próxima à encontrada por Severiano et al. (2011) para LVd argiloso de mineralogia caulinítica-oxídica, que variou entre 0,90 a 1,55 g cm<sup>3</sup>. Os autores estimaram a densidade crítica ao crescimento de plantas, aquela a partir da qual a resistência torna-se tão elevada que diminui ou impede o crescimento de raízes, como 1,42 g cm<sup>3</sup> nesse solo, sendo possível constatar uma tendência de aumento da densidade quando o solo foi submetido ao uso em relação ao seu estado natural.

Em todo o perfil de solo onde foram avaliados os manejos do solo podem ser observados Ds superior em relação à área de referência (CN) (Tabela 3). Resultados similares também foram obtidos por Araújo et al. (2004) e Costa et al. (2006) até a camada de 20 e 30 centímetros de profundidade, respectivamente, onde observaram Ds significativamente maior na área cultivada, comparando à área sob mata nativa.

O tratamento AD foi uma exceção, no qual a média de Ds encontrada foi de 0,98 g cm<sup>-3</sup>, valor similar ao obtido para CN, para a camada superficial. O mesmo comportamento foi notado por Oliveira et al. (2004) em LVd argiloso caulinítico submetido a vinte anos de cultivo, tendo como justificativa a quebra da compactação superficial pelo revolvimento do solo, deixando-o mais solto temporariamente.

A Ds não diferiu entre os demais sistemas de manejo, como também foi observada em outros experimentos (Araújo et al., 2004; Costa et al., 2006). O aumento da Ds nas áreas de manejo está associado ao revolvimento que reduz o tamanho dos agregados (tabela 2) e conseqüentemente a estabilidade da estrutura, aumentando a suscetibilidade ao encrostamento superficial (Araújo et al., 2007; Marchão et al., 2007; Carneiro et al., 2009 e Mazurana et al., 2011) e ao tráfego de máquinas e implementos para preparo do solo e demais operações. Destaca-se que mesmo em SD que não há revolvimento do solo, a Ds não sofreu incrementos significativos na camada superficial.

Tratamentos	Ds <sup>1</sup>	Pt <sup>2</sup>	Ma-	Mi-	CAD <sup>5</sup>	S <sup>6</sup>
	g cm <sup>-3</sup>	cro <sup>3</sup>	cro <sup>4</sup>	m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup>		
	0 - 5 cm					
GA	1,07 a	0,55 b	0,18 b	0,36 b	0,10 a	0,06 b
AA	1,13 a	0,55 b	0,16 b	0,38 a	0,10 a	0,06 b
AD	0,98 b	0,58 b	0,22 b	0,36 b	0,09 a	0,07 b
AD/GA	1,11 a	0,55 b	0,18 b	0,37 b	0,09 a	0,06 b
SD	1,14 a	0,55 b	0,15 b	0,40 a	0,09 a	0,05 b
CN	0,88 b	0,62 a	0,28 a	0,34 b	0,11 a	0,11 a
	5 - 10 cm					
GA	1,25 a	0,53 b	0,10 c	0,43 a	0,11 a	0,04 b
AA	1,18 a	0,54 b	0,15 b	0,39 a	0,09 b	0,05 b
AD	1,16 a	0,54 b	0,13 b	0,41 a	0,08 b	0,05 b
AD/GA	1,31 a	0,50 b	0,09 c	0,41 a	0,08 b	0,04 b
SD	1,21 a	0,51 b	0,10 c	0,41 a	0,10 a	0,04 b

CN	0,83 b	0,63 a	0,31 a	0,32 b	0,10 a	0,11 a
	10 - 20 cm					
GA	1,17 a	0,52 b	0,12 b	0,40 b	0,10 a	0,05 b
AA	1,18 a	0,55 b	0,15 b	0,39 b	0,10 a	0,06 b
AD	1,18 a	0,53 b	0,12 b	0,41 a	0,08 a	0,04 b
AD/GA	1,30 a	0,51 b	0,09 b	0,41 a	0,09 a	0,04 b
SD	1,20 a	0,52 b	0,11 b	0,41 a	0,10 a	0,05 b
CN	0,86 b	0,60 a	0,27 a	0,32 c	0,09 a	0,10 a
	20 - 40 cm					
GA	1,14 a	0,56 a	0,16 b	0,40 a	0,12 a	0,06 b
AA	1,18 a	0,54 a	0,14 b	0,40 a	0,11 a	0,05 b
AD	1,15 a	0,57 a	0,15 b	0,41 a	0,11 a	0,06 b
AD/GA	1,19 a	0,52 a	0,11 b	0,41 a	0,10 a	0,05 b
SD	1,12 a	0,54 a	0,13 b	0,40 a	0,11 a	0,06 b
CN	0,89 b	0,60 a	0,25 a	0,35 b	0,11 a	0,11 a

Tabela 3- Resultados dos parâmetros físicos densidade, porosidade, Capacidade de água disponível e índices S avaliados em um Latossolo Vermelho distrófico cultivado com diferentes sistemas de uso e manejo do solo na Embrapa Milho e Sorgo na região de Sete Lagoas (MG).

<sup>(1)</sup>Densidade do solo;<sup>(2)</sup>Porosidade total; <sup>(3)</sup>Macroporosidade;<sup>(4)</sup>Microporosidade;<sup>(5)</sup>Capacidade de água disponível (CAD);<sup>(6)</sup>Índice S, Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott Knott 5% de probabilidade. (GA = Grade Aradora, AA = Arado de Aiveca, AD = Arado de Disco, AD/GA = Arado de Disco/Grade Aradora, SD = Semeadura Direta e CN = Cerrado Nativo).

A porosidade total (Pt) variou de 0,50 a 0,63 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup> (Tabela 3), apresentando diferenças significativas entre os manejos e o CN somente até a camada de 20 cm, sugerindo menor efeito do manejo. Isto também ocorreu em trabalhos de (Demarqui et al., 2011; Trindade et al., 2012; Calonego et al., 2012) diferindo de Wendling et al. (2012), em que houve menor Pt em áreas agrícolas sob semeadura direta na camada de 0-10 cm, em comparação à floresta nativa.

O volume de Macro foi superior para CN no perfil do solo em todas as camadas. Resultados semelhantes foram encontrados por Costa et al. (2006) e Silva et al. (2005). De acordo com Taylor & Ashcroft (1972), a porosidade destinada a aeração, normalmente a Macro, deve ser superior a 0,10 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup> para permitir as trocas gasosas, uma boa taxa infiltração de água no solo e o crescimento de raízes da maioria das culturas de forma adequada. No presente trabalho foram encontrados valores inferiores somente nos tratamentos AD/GA nas profundidades de 5 - 10 e 10 - 20 cm.

O volume de Micro teve pequena variação entre os manejos do solo, (Tabela 3), em que no geral houve aumento da Micro nos manejos em relação ao CN como observado por (Lima et al., 2007; Demarqui et al., 2011; Wendling et al., 2012). A compactação decorrente do uso de maquinários, evidenciada pelo aumento gradativo da Ds, possivelmente, proporcionou a fragmentação dos macroporos em poros menores, justificando, assim, a maior Micro nessas áreas.

O Presente trabalho mostra que houve aumento da Micro somente na camada de 0-5 cm centímetros para o sistema de SD em relação aos manejos convencionais, divergindo do trabalho de Cássaro et al. (2011) também estudando um Latossolo

Vermelho submetido ao sistema de plantio direto e plantio convencional por longo prazo, e comprovaram que o não revolvimento do solo promoveu aumento da Micro do solo também em camadas subsuperficiais. O aumento de microporosidade relatado não implicou em incremento na CAD na maioria das camadas avaliadas (Tabela 3).

Somente houve diferença significativa na profundidade de 5 – 10 cm, com redução da CAD para AA, AD e AD/GA em relação à GA, SD e CN. Os valores encontrados estão abaixo da capacidade ideal de armazenamento de água no solo, conforme sugerido por Reynolds et al. (2002), que situa-se entre 0,15 e 0,20 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>.

O índice S foi similar a Ds na separação dos manejos, com exceção apenas na camada superficial, em que apenas o CN mostrou maior qualidade estrutural (tabela 3). Considerando o limite de  $S < 0,025$  para solos degradados fisicamente e  $S \geq 0,045$  para solo com boa qualidade física, como determinado por Andrade & Stone (2009) para solos de Cerrado, o índice S se manteve na maioria dos tratamentos e profundidades acima de 0,045 (Tabela 3), mostrando uma adequada distribuição do tamanho dos poros e, portanto, uma boa qualidade física do solo.

### Sumário das Observações

A adoção do sistema de preparo convencional por longos períodos altera a estrutura do Latossolo Vermelho distrófico, observado principalmente pelo aumento da densidade em subsuperfície e diminuição da estabilidade de agregados (DMG, DMP e IEA) quando comparados com a SD e a CN.

O sistema arado de disco/ grade aradora, mostrou ser o pior tratamento em relação aos demais sistemas, mostrando um aumento da densidade do solo, redução da matéria orgânica, da capacidade de água disponível e da macroporosidade.

Os métodos de preparo alteraram a curva de retenção de água do solo (CRA) quando comparado à área de cerrado nativo, com redução da umidade associado aos maiores potenciais, destacando o tratamento arado de disco/ grade aradora principalmente na camada até 20 cm, portanto foram menos efetivos em promover condições favoráveis às plantas.

O sistema de semeadura direta proporcionou os melhores resultados na qualidade física do solo para os atributos físicos DMG, DMP, IEA e classes de agregados de 8 - 2 mm.

### CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os sistemas de preparo do solo não influenciaram significativamente as características químicas do Latossolo Vermelho na camada superficial.

O aumento na produtividade do milho não foi influenciado pelos sistemas de preparo de solo, independentemente do ano.

A maior produtividade do milho no experimento com 8 tratamentos pode ser

atribuída às características químicas da área, especialmente ao maior teor de matéria orgânica.

## AGRADECIMENTOS

À Embrapa por conceder as instalações físicas e pelo suporte financeiro. Aos técnicos agrícolas Davidson de Araújo Silva, Sérgio Teixeira Guimarães e Rodrigo Feliciano Rezende. Aos assistentes Paulo Roberto Martins, José Alves Pereira, João Fernandes Barbosa, William de Sousa Rodrigues, Geraldo Marques da Silva e Valeriano Moreira de Carvalho pelo dedicado trabalho.

Ao professor Anderson Latini, ao técnico da Embrapa Cleber Alves da Cruz, a Martha Cristina Pereira Ramos, À Universidade Federal de São João Del Rei (UFSJ), ao CNPq, à Fapemig e à Embrapa Milho e Sorgo.

## REFERÊNCIAS

Cambri, M.A. Calagem e formas de alumínio em três localidades sob sistema de plantio direto. 2004. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2004.

Carneiro, S.P. Qualidade de um Latossolo Vermelho sob diferentes tipos de usos e manejos em área do Cerrado. 2010. 125 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2010.

Classen, M.E.C. (Org.) Manual de métodos de análise de solo, 2.ed. atual. Rio de Janeiro: Embrapa-CNPS, 1997. 212 p. il.

Carneiro, M.A.C.; Souza, E.D.de; Reis, E.F. dos; Pereira, H.S.; Azevedo, W.R.de. Atributos físicos, químicos e biológicos de solo de cerrado sob diferentes sistemas de uso e manejo. Rev. Bras. Ci. Solo, v.33, 147-157 p., 2009.

Denardin, J. E. Aprimoramento, inovação e desenvolvimento de conhecimento e tecnologias em sistema de plantio direto para o agronegócio brasileiro. Projeto MP2 Embrapa, 2012, 24 p.

Inoue, G.H. Sistemas de preparo do solo e o plantio direto no Brasil. Agropecuária Técnica, Areia, PB, v. 24, n. 1, p. 11, 2003.

Silveira, P.M.; Zimmermann, F.J.P.; Silva, S.C.; Cunha, A.A. Amostragem e variabilidade espacial de características químicas de um Latossolo submetido a diferentes sistemas de preparo. Pesq. Agropec. Bras., v. 35, 2057-2064 p., 2000.

Soares, T.A. Rodas compactadoras e aterradoras na qualidade de acabamento de semeadura direta. Jaboticabal, SP, Brasil, 95 p., 2009.

Montezano, Z.F., Corazza, E.J., Muraoka, T. Variabilidade espacial da fertilidade do solo em área cultivada e manejada homoganeamente. Rev. Bras. Ci. Solo, v. 30, 839-847 p., 2006.

ALBUQUERQUE, J. A.; ARGENTON, J.; BAYER, C.; WILDNER, L. P.; KUNTZE, M. A. G. Relações de atributos do solo com a agregação de um Latossolo Vermelho sob sistemas de preparo e plantas de verão para cobertura do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, p. 415-424, 2005.

ANDRADE, R. DA S.; STONE, L. F. Índice S como indicador da qualidade física de solos do cerrado brasileiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 13, p. 382 - 388, 2009.



ARAUJO, M. A.; TORMENA, C. A. & SILVA, A. P. Propriedades físicas de um Latossolo Vermelho distrófico cultivado e sob mata nativa. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, v. 28, n. 2, p. 337-345, mar/ abr. 2004.

ARAÚJO, R.; GOEDERT, W.J. & LACERDA, M.P.C. Qualidade de um solo sob diferentes usos e sob cerrado nativo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, p. 1099-1108, 2007.

ARAÚJO, F. S.; SALVIANO, A. A. C.; LEITE, L. F. C.; SOUZA, Z. M.; SOUSA, A. C. M. Physical quality of a yellow latossol under integrated crop-livestock system. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, n. 3, p. 717-723, 2010.

ARSHAD, Muhammad A.; MARTIN, S. Identifying critical limits for soil quality indicators in agro-ecosystems. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 88, n. 2, p. 153-160, 2002.

BAVOSO, M. A.; GIAROLA, N. F. B.; TORMENA, C. A., & PAULETTI, V. Preparo do solo em áreas de produção de grãos, silagem e pastejo: efeito na resistência tênsil e friabilidade de agregados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, n. 1, p. 227-234, 2010.

BEUTLER, A. N.; SILVA, M. L. N.; CURTI, N.; FERREIRA, M. M.; CRUZ, J. C., & PEREIRA FILHO, I. A. Resistência à penetração e permeabilidade de Latossolo Vermelho distrófico típico sob sistemas de manejo na região dos Cerrados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, n. 3, p. 167-177, 2001.

BEUTLER, A. N.; CENTURION, J. F.; SOUZA, Z. M.; ANDRIOLI, I., & ROQUE, C. G. Retenção de água em dois tipos de Latossolos sob diferentes usos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 26, p. 829-834, 2002.

BOGNOLA, I. A.; MAIA, C. M. B. de F.; DEDECEK, R. A.; ANDRADE, G. de C. Estabilidade de agregados e DMG determinados por via úmida e via seca, em Latossolo Vermelho-Escuro sob plantios de *E. dunnii*. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 3 p. 1998.

BOGNOLA, I. A.; DEDECEK, R. A.; LAVORANTI, O. J.; HIGA, A. R. Influência de propriedades físico-hídricas do solo no crescimento de *Pinus taeda*. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 30, n. 61, p. 37-49, 2010.

BLAINSKI, E.; TORMENA, C. A.; GUIMARAES, R. M. L. & NANNI, M. R. Qualidade Física de um Latossolo sob plantio direto influenciada Pela coberturado solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, p. 79-87, 2012.

BRIGHENTI, I.; ALMEIDA, J. A.; HOFER, A. Mineralogia e Gênese de Argissolos das Serras do Tabuleiro/Itajaí, Estado de Santa Catarina. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, p. 1057-1071, 2012.

CALEGARI, A.; TOURDONNET, S.; TESSIER, D.; RHEINHEIMER, D.S.; RALISCH, R.; HARGROVE, W.; GUIMARÃES, M.F. & TAVARES FILHO, J. Influence of soil management and crop rotation on physical properties in a long-term experiment in Paraná, Brazil. **Commun. Soil Science. Plant Anal.**, v. 44, p. 2019-2031, 2013.

CALONEGO, J. C. Estoques de carbono e propriedades físicas de solos submetidos a diferentes sistemas de manejo. **Revista Caatinga**, v. 25, p. 128-135, 2012.

CAMPOS, B. C.; REINERT, D. J.; NICOLODI, R.; RUEDELL, J.; PETRERE, C. Estabilidade estrutural de um Latossolo Vermelho-Escuro distrófico após sete anos de rotação deculturas e sistemas de manejo de solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 19, p. 121-126, 1995.

CARDUCCI, C. E.; OLIVERIA, G. C.; SEVERIANO, E. C.; ZEVIANI, W. M. Modelagem da curva de

retenção de água de Latossolos utilizando a equação duplo van Genuchten. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v.35, n.1, p.77-86, 2011.

CARNEIRO, M. A.; SOUZA, E. D.; REIS, E. F.; PEREIRA, H. S.; AZEVEDO, W. R. Atributos físicos, químicos e biológicos de solo de Cerrado sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, n. 1, p. 147-157, 2009.

CARPENEDO, V.; MIELNICZUK, J. Estado de agregação e qualidade de agregados de Latossolos Roxos, submetidos a diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 14, p. 99-105, 1990.

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, rotação de culturas e métodos de preparo das amostras. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.22, p.527-538, 1998.

CHAVES, A. A. A.; LACERDA, M. P. C.; GOEDERT, W. J.; RAMOS, M. L. G., & KATO, E. Indicadores de qualidade de Latossolo Vermelho sob diferentes usos. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 42, n. 4, p. 446-454, 2012.

CORAZZA, E.; SILVA, J.; RESCK, D.; GOMES, A. Comportamento de diferentes sistemas de manejo como fonte ou depósito de carbono em relação à vegetação de cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 23, p. 425-432, 1999.

COSTA, F. D. S.; ALBUQUERQUE, J. A.; BAYER, C.; FONTOURA, S. M. V., & WOBETO, C. Propriedades físicas de um latossolo bruno afetadas pelos sistemas plantio direto e preparo convencional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, p. 527-535, 2003.

COSTA, E. A.; GOEDERT, W. J. & SOUSA, D. M. G. Qualidade de solo submetido a sistemas de cultivo com preparo convencional e plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, p. 1185-1191, 2006.

COUTINHO, F. S.; LOSS, A.; PEREIRA, M. G.; JUNIOR, D. J. R., & TORRES, J. L. R. Estabilidade de agregados e distribuição do carbono em Latossolo sob sistema plantio direto em Uberaba, Minas Gerais. **Comunicata Scientiae**, v. 1, p. 100-105, 2010.

DE MARIA, I. C.; CASTRO, O. M.; DIAS, H. S. Atributos físicos do solo e crescimento radicular de soja em Latossolo Roxo sob diferentes métodos de preparo do solo. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v.23, n.3, p.703-709, 1999.

DEMARQUI, J. C.; PERUSI, M. C.; PIROLI, E. L. Análise da estabilidade de agregados de solos da microbacia do Ribeirão São Domingos, Santa Cruz do Rio Pardo – SP, sob diferentes tipos de uso e ocupação. **Revista Brasileira de Tecnologia Aplicada nas Ciências Agrárias**, v. 4, p. 07–29, 2011.

DEXTER, A. R. Soil physical quality. Part I. Theory, effects of soil texture, density, and organic matter, and effects on root growth. **Geoderma**, Amsterdam, v. 120, p. 201-214, jun. 2004a.

DORAN, J. W. & PARKIN, T. B. Defining and assessing soil quality. In: DORAN, J. W.; COLEMAN, D. C.; BEZDICEK, D. F. & STAWART, B. A., eds. Defining soil quality for a sustainable environment. Madison, ASA/SSSA, p. 3-21, 1994.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisas de Solos. Manual de métodos de análises de solos. 2.ed. Rio de Janeiro: **Embrapa Solos**, 230p. 2011.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3.ed. Brasília, 2013. 353p.

FERREIRA, E. B.; CAVALCANTI, P. P.; NOGUEIRA, D. A. ExpDes: Experimental Designs package.

**Revista package**, v. 1, p. 1-2, 2013.

FIALHO, J. S.; GOMES, V. F. F.; DE OLIVEIRA, T. S., & DA SILVA JÚNIOR, J. M. T. Indicadores da qualidade do solo, em sistema de rotação, na Chapada do Apodi, Ceará. **Revista Ciência Agronômica**, v. 39, n. 03, p. 353-361, 2008.

FRAZÃO, L. A.; SANTANA, I. K. D. S.; CAMPOS, D. V. B. D.; FEIGL, B. J.; CERRI, C. C. Estoques de carbono e nitrogênio e fração leve da matéria orgânica em Neossolo Quartzarênico sob uso agrícola. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 45, p. 1198-1204, 2010.

GUARESCHI, R. F.; PEREIRA, M. G.; PERIN, A. Deposição de Resíduos Vegetais, Matéria Orgânica Leve, Estoques de Carbono e Nitrogênio e Fósforo Remanescente Sob Diferentes Sistemas de Manejo no Cerrado Goiano. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 36, p. 909-920, 2012.

HICKMANN, C.; Costa, L. M.; SCHAEFER, C.E.G.; FERNANDES, R.B.A.; ANDRADE, C.L.T. Atributos físico-hídricos e carbono orgânico de um argissolo após 23 anos de diferentes manejos. **Revista Caatinga**, v. 25, p. 128-136, 2012.

KEMPER, W. D.; CHEPIL, W. S. Size distribution of aggregates: In: BLAKE, C. A.; EVANS, D. D.; WHITE, J. L.; ENSMINGER, L. E.; CLARK, F. E. (Ed.). *Methods of soil analysis: physical and mineralogical properties, including statistics of measurement and sampling*. Madison: **American Society of Agronomy**, p.499- 510, 1965.

LAL, R. & PIERCE, F. J. The vanishing resource. In: LAL, R. & PIERCE, F. J., eds. *Soil management for sustainability*. Ankeny, **Soil Water Conservation Society**, p.1-5, 1991.

LANZANOVA, M. E.; ELTZ, F. L. F.; NICOLOSO, R. S.; AMADO, T. F. C.; REINERT, D. J.; ROCHA, M. R. Atributos físicos de um Argissolo em sistemas de culturas de longa duração sob semeadura direta. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, n.5, p. 1333-1342, 2010.

LANZANOVA, M. E.; NICOLOSO, R. S.; LOVATO, T.; ELTZ, F. L. F.; AMADO, T. J. C. & REINERT, D. J. Efeito de sistemas de integração lavoura-pecuária sob plantio direto em alguns atributos físicos do solo. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 7, n. 3, p. 388-393, 2012.

LI, L.; CHAN, K. Y.; NIU, Y.; OATES, A.; DEXTER, A. R.; HUANG, G. Soil physical qualities in an Oxic Paleustalf under different tillage and stubble management practices and application of S theory. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 113, n. 2, p. 82-88, jun. 2011.

LANGE, A.; CARVALHO, J. L. N.; DAMIN, V.; CRUZ, J. C.; GUILHERME, L. R. G.; MARQUES, J. J. Doses de nitrogênio e de palha em sistema de plantio direto de milho no Cerrado. **Revista Ceres**, v. 53, n. 306, p. 171-178, mar./abr. 2006.

LIMA, J. S. S.; SILVA, S. A.; SILVA, J. M. Variabilidade espacial de atributos químicos de um Latossolo Vermelho-Amarelo cultivado em plantio direto. **Revista Ciência Agronômica**, v. 44, p. 16-23, 2013.

MARCHÃO, R. L.; BALBINO, L. C.; SILVA, E. M.; SANTOS JÚNIOR, J. D. G.; SÁ, M. A. C.; VILELA, L.; BECQUER, T. Qualidade física de um Latossolo Vermelho sob sistemas de integração lavoura-pecuária no Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília**, v. 42, n. 6, p. 873-882, 2007.

MARCOLAN, A. L.; ANGHINONI, I. Atributos físicos de um Argissolo e rendimento de culturas de acordo com o revolvimento do solo em plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, p. 163-170, 2006.

MATIAS, S. S. R.; BORBA, J. A.; TICELLI, M.; PANOSSO, A. R., & DA CAMARA, F. T. Atributos físicos de um Latossolo Vermelho submetido a diferentes usos. **Revista Ciência Agronômica**, v. 40, p. 331-338, 2009.

MAZURAK, A. P. Effect of gaseous phase on water-stable synthetic aggregates. **Soil Science**, v. 69, p.

135-148, 1950.

MAZURANA, M.; LEVIEN, R.; MÜLLER, J.; CONTE, O. Sistemas de preparo de solo: alterações na estrutura do solo e rendimento das culturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.35, p.1197-1206, 2011.

MELO FILHO, J. F. D.; CARVALHO, L. L. D.; SILVEIRA, D. D. C.; SACRAMENTO, J. A. A. S. D., & SILVEIRA, E. C. P. Índice de qualidade em um latossolo amarelo coeso cultivado com citros. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 31, n. 04, p. 1168-1177, 2009.

MOTA, J. C. A.; FREIRE, A. G., & JÚNIOR, A. Qualidade física de um cambissolo sob sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, p. 1196-1206, 2013.

NIERO, L. A. C.; DECHEN, S. C. F.; COELHO, R. M., & DE MARIA, I. C. Avaliações visuais como índice de qualidade do solo e sua validação por análises físicas e químicas em um Latossolo Vermelho distro-férrico com usos e manejos distintos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, n. 4, p. 1271-1282, 2010.

OLIVEIRA, G. C.; DIAS, M. S.; RESCK, D. V. S.; CURI, N. Caracterização química e físico-hídrica de um latossolo vermelho após vinte anos de manejo e cultivo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, n. 2, p. 327-336, 2004.

PETRY, M. T.; ZIMMERMANN, F. L.; CARLESSO, R.; MICHELON, C. J.; KUNZ, J. H. Disponibilidade de água do solo ao milho cultivado sob sistemas de semeadura direta e preparo convencional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.31, p.531-539, 2007.

PIGNATARO NETTO, I. T.; KATO, E; GOEDERT, W. J. Atributos físicos e químicos de um latossolo Vermelho-amarelo sob pastagens com diferentes históricos de uso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 3, p. 1441-1448, 2009.

REYNOLDS, W. D.; DRURY, C. F.; YANG, X. M. & TAN, C. S. Optimal soil physical quality inferred through structural regression and parameter interactions. **Geoderma**, v. 146, p. 466-474, 2008.

PORTELLA, C. M. R.; GUIMARÃES, M. F.; FELLER, C.; FONSECA, I. C. B.; TAVARES FILHO, J. Soil aggregation under different management systems. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.36, p.1868-1877, 2012.

REICHARDT, K. Capacidade de campo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 12, p. 211-216, 1988.

REYNOLDS, W. D.; BOWMAN, B. T.; DRURY, C. F.; TAN, C. S., & LU, X. Indicators of good soil physical quality: density and storage parameters. **Geoderma**, v. 110, p. 131-146, 2002.

ROZANE, D. E.; CENTURION, J. F.; ROMUALDO, L. M.; TANIGUCHI, C. A. K.; TRABUCO, M., & ALVES, A. U. Estoque de carbono e estabilidade de agregados de um Latossolo Vermelho Distrófico, sob diferentes manejos. **Bioscience Journal**, v. 26, p. 24-32, 2010.

SALTON, J. C. Agregação e estabilidade de agregados do solo em sistemas agropecuários em mato grosso do sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 11-21, 2008.

SECCO, D.; ROS, C. O. DA; SECCO, J. K.; FIORIN, J. E. Atributos físicos e produtividade de culturas em um latossolo vermelho argiloso sob diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, n. 3, p. 407-414, 2005.

SEVERIANO, E. D. C.; OLIVEIRA, G. C. D.; JÚNIOR, D.; DE SOUZA, M.; COSTA, K. A. D. P.; SILVA, F. G., & FERREIRA FILHO, S. M. Structural changes in Latosols of the Cerrado region: I – Relationships between soil physical properties and least limiting. **Revista Brasileira de Ciência do**

**Solo**, v. 35, n. 5, p. 773–782, 2011.

SILVA, I. F. & MIELNICZUK, J. Avaliação do estado de agregação do solo afetado pelo uso agrícola. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 21, p. 313-319, 1997.

SILVA, M. A. S.; MAFRA, A. L.; ALBUQUERQUE, J. A.; BAYER, C. & MIELNICZUK, J. Atributos físicos do solo relacionados ao armazenamento de água em um Argissolo Vermelho sob diferentes sistemas de preparo. **Ciência Rural**, v. 35, p. 544-552, 2005.

SILVA, B. M.; OLIVEIRA, G. C.; SERAFIM, M. E.; SILVA, E. A.; OLIVEIRA, L. M. Índice S no diagnóstico da qualidade estrutural de Latossolo muito argiloso sob manejo intensivo. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 28, n. 3, p. 338-345, mai./jun. 2012.

SIX, J.; BOSSUYT, H.; DEGRYZE, S.; DENEFF, K. A history of research on the link between (micro) aggregates, soil biota, and soil organic matter dynamics. **Soil and Tillage Research**, v.79, p. 7-31, 2004.

TOPP, G. C.; REYNOLDS, W. D.; COOK, F. J.; KIRBY, J. M.; CARTER, M. R. Physical attributes of soil quality. In: Gregorich, E. G., Carter, M. R. (Eds.), *Soil Quality for Crop Production and Ecosystem Health*. **Developments in Soil Science**, v. 25, p. 21-58, 1997.

TRINDADE, E. F. S.; VALENTE, M. A.; MOURÃO-JÚNIOR, M. M. Propriedades físicas do solo sob diferentes sistemas de manejo da capoeira no nordeste paraense. **Revista Agroecossistemas**, v. 4p. 50-67, 2012.

VAN GENUCHTEN, M. Th. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.44, p. 892-898, 1980.

VAN GENUCHTEN, M. Th.; LEIJ, F. J. & YATES, S.R. **The RETC code for quantifying the hydraulic functions of unsaturated soils**. Riverside, U. S. Salinity Laboratory, 1991.

VASCONCELOS, R. F. B.; CANTALICE, J. R. B.; OLIVEIRA, V. S.; COSTA, Y. D. J. DA; CAVALCANTE, D. M. Estabilidade de agregados de um Latossolo Amarelo distrocoeso de tabuleiro costeiro sob diferentes aportes de resíduos orgânicos da cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.34, p.309316, 2010.

VERMA, S.; SHARMA, P. K. Long-term effects of organics, fertilizers and cropping systems on soil physical productivity evaluated using a single value index (NLWR). **Soil and Tillage Research**, v. 98, p. 1–10, 2008.

WENDLING, B.; VINHAL-FREITAS, I. C.; DE OLIVEIRA, R. C.; BABATA, M. M., & BORGES, E. N. Densidade, agregação e porosidade do solo em áreas de conversão do cerrado em floresta de pinus, pastagem e plantio direto. **Bioscience Journal**, v. 28, p. 256-265, 2012.

ZINN, Y. L.; LAL, R.; RESCK, D. V. S. Changes in soil organic carbon stocks under agriculture in Brazil. **Soil & Tillage Research**, v. 84, p. 28-40, 2005.