

Caracterização Físico-hídrica e Hidráulica de Solos do Bioma Cerrado Submetidos a Diferentes Sistemas de Preparo





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

ISSN 1676-918X

Dezembro, 2003

Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 101

Caracterização Físico- hídrica e Hidráulica de Solos do Bioma Cerrado Submetidos a Diferentes Sistemas de Preparo

**Euzebio Medrado da Silva
Juscelino Antonio de Azevedo
João Celso Rauber
Adriana Reatto**

**Planaltina, DF
2003**

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

Embrapa Cerrados

BR 020, Km 18, Rod. Brasília/Fortaleza

Caixa Postal 08223

CEP 73310-970 Planaltina - DF

Fone: (61) 388-9898

Fax: (61) 388-9879

<http://www.cpac.embrapa.br>

sac@cpac.embrapa.br

Comitê de Publicações

Presidente: *Dimas Vital Siqueira Resck*

Editor Técnico: *Carlos Roberto Spehar*

Secretária-Executiva: *Nilda Maria da Cunha Sette*

Supervisão editorial: *Jaime Arbués Carneiro*

Revisão de texto: *Maria Helena Gonçalves Teixeira*

Normalização bibliográfica: *Shirley da Luz Soares*

Rosângela Lacerda de Castro

Capa: *Leila Sandra Gomes Alencar*

Foto da capa: *Euzébio Medrado da Silva*

Editoração eletrônica: *Leila Sandra Gomes Alencar*

Impressão e acabamento: *Divino Batista de Souza*

Jaime Arbués Carneiro

Impresso no Serviço Gráfico da Embrapa Cerrados

1ª edição

1ª impressão (2003): tiragem 100 exemplares

Todos os direitos reservados.

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

CIP-Brasil. Catalogação na publicação.

Embrapa Cerrados.

C257 Caracterização físico-hídrica e hidráulica de solos do bioma cerrado submetidos a diferentes sistemas de preparo / Euzébio Medrado da Silva ...[et al.]. – Planaltina, DF : Embrapa Cerrados, 2003.
22 p. – (Boletim de pesquisa e desenvolvimento / Embrapa Cerrados, ISSN 1676-918X ; 101)

1. Solo - caracterização. 2. Solo - cerrado. 3. Plantio direto.
4. Solo - água. I. Silva, Euzébio Medrado da. II. Série.

631.432 - CDD 21

© Embrapa 2003

Sumário

Resumo	5
Abstract	6
Introdução	7
Material e Métodos	9
Resultados e Discussão	10
Conclusões	20
Agradecimentos	20
Referências Bibliográficas	20

Caracterização Físico-hídrica e Hidráulica de Solos do Bioma Cerrado Submetidos a Diferentes Sistemas de Preparo

Euzebio Medrado da Silva¹

Juscelino Antonio de Azevedo²

João Celso Rauber³

Adriana Reatto⁴

Resumo – O plantio direto resulta em impactos positivos na conservação da água no solo. Considerando essa premissa, este trabalho teve o objetivo de avaliar as principais alterações nas propriedades físico-hídricas de solos de Cerrado, decorrentes do uso do plantio direto durante 3, 6 e 12 anos, sob condições de sequeiro e irrigado, em comparação com o plantio convencional e um ambiente de mata natural, na fazenda Ampessan, Cabeceiras, GO.

As características físico-hídricas do solo foram avaliadas nas seguintes camadas: 0 a 5 cm; 2,5 a 7,5 cm; 5 a 10 cm; 10 a 15 cm; 20 a 25 cm; 42,5 a 47,5 cm e 72,5 a 77,5 cm. As características de infiltração nesses ambientes foram avaliadas nas profundidades de 12 e 80 cm, utilizando o método do permeâmetro de Guelph para a determinação da condutividade hidráulica saturada de campo. Verificou-se que a maior intensidade de mecanização no ambiente irrigado produz decréscimo acentuado na condutividade hidráulica saturada de campo nas camadas mais superficiais do solo. Além disso, os resultados demonstram existir tendência de maior disponibilidade de água nos solos cultivados em relação ao ambiente de mata natural até a profundidade de 22,5 cm.

Termos para indexação: armazenamento da água no solo, retenção de água, condutividade hidráulica.

¹ Eng. Agrôn., Ph.D., Embrapa Cerrados, euzebio@cpac.embrapa.br

² Eng. Agrôn., Doutor, Embrapa Cerrados, juscelin@cpac.embrapa.br

³ Eng. Agrôn., consultor da Associação de Plantio Direto do Cerrado, APDC, Formosa, GO

⁴ Eng. Agrôn., M.Sc., Embrapa Cerrados, reatto@cpac.embrapa.br

Soil-water and Hydraulic Characterization of Biome Cerrado Soils Subject to Different Cultivation Systems

Abstract - *The no till system results in positive impacts for the soil and water conservation. Considering this assertive, this work had the objective to evaluate the main modifications on the soil physical properties caused by no till, carried during 3, 6, and 12 years under rainfed conditions. It was also considered a case of direct drilling for five years under irrigated condition, a conventional tillage system, and a soil condition under natural Biome Cerrado. The experiments were located in the Ampessan farm, Cabeceiras, GO. The soil physical characteristics were evaluated by samples taken from the following layers: 0-5 cm; 2,5-7,5 cm; 5-10 cm; 10-15 cm; 20-25 cm; 42,5-47,5 cm e 72,5-77,5 cm. The infiltration characteristics were evaluated at 12 and 80 cm soil depth, using the Guelph permeameter to determine the field saturated hydraulic conductivity. The results showed that the intense soil mechanization on irrigated condition favored a significant decrease in the field saturated hydraulic conductivity in the layers near to the soil surface. There was a tendency for larger water availability in the cultivated soils, in relation to the under natural soil environment, up to 22,5 cm soil depth.*

Index terms: soil-water storage, soil-water retention, hydraulic conductivity.

Introdução

Apesar de as propriedades físicas dos solos do bioma Cerrado serem consideradas favoráveis à agricultura mecanizada, o uso agrícola intensivo do solo favorece a compactação e a erosão. Além disso, a baixa capacidade de armazenamento da água do solo concorre para a redução ou perda de safra em condições de sequeiro. Nesse cenário, o solo apresenta um comportamento próprio quanto as suas características de infiltração, retenção, movimento e armazenamento de água para as plantas, condicionado principalmente por sua estrutura, textura e porosidade. Além dessas diferenças físico-hídricas, existem, ainda, aquelas oriundas dos tipos de manejo aplicados ao solo ([RESCK et al., 1997](#); [STONE; SILVEIRA, 1999](#)) que interferem na capacidade de armazenamento de água do solo para as plantas.

A infiltração, processo de entrada direta da água no solo, é determinada principalmente pelas características físicas da camada superficial que são afetadas pelo manejo do solo, cobertura vegetal e resíduos culturais, atividades biológicas, rugosidade superficial, declividade do solo. Já o movimento da água dentro no solo depende da quantidade de água envolvida no processo e das diferenças de potencial da água entre os diferentes pontos do perfil do solo. Se houver água disponível no solo, o movimento prossegue da planta para a atmosfera, de forma passiva, caso contrário, o movimento cessa. A magnitude e a direção desse movimento dependem diretamente da condutividade hidráulica e dos gradientes de potencial hídrico no sistema solo-água.

[Stoner et al. \(1991\)](#) relacionaram, entre as principais restrições físicas dos latossolos do Cerrado, sua baixa densidade quando comparada à maioria dos solos de clima temperado. Sua estrutura granular muito fina confere ao solo um aspecto fofo e solto que resulta num elevado nível de macroporosidade de cerca de 25% a 30% do volume do solo, tornando-o bem drenado. Por isso, esses solos, mesmo quando em textura argilosa, liberam água rapidamente, em potencial mátrico elevado, devido ao comportamento dos microagregados que aparentemente funcionam como grãos de areia, criando um ambiente caracterizado por poros de diâmetros relativamente grandes.

[Fernandes et al. \(1983\)](#) estudaram o efeito de três sistemas de preparo de solo (plantio convencional, escarificação e plantio direto) em um solo arenoso e verificaram que, entre os sistemas, o plantio direto foi o que apresentou

distribuição mais uniforme de poros em relação à profundidade, refletindo a estruturação natural do solo. [Streck et al. \(1994\)](#) concluíram que a cobertura morta, independente da sua natureza (palha, polietileno, papel), reduz a evaporação direta da água do solo e, como consequência, aumenta a conservação da água no solo. Essa diminuição da perda d'água pela cobertura morta é muito explorada em regiões áridas e semi-áridas onde a água é insumo caro e escasso.

Em sistemas irrigados, as práticas de lavrar o solo e manejar os resíduos de culturas exercem importante papel sobre o desempenho da irrigação e da forma de manejar o equipamento, pois o preparo do solo e a manutenção da palhada afetam a infiltração, o escoamento superficial e o movimento de água do solo para a atmosfera ([CAHOON et al., 1996](#)). A maneira como o sistema é manejado, ou seja, tempo e a frequência de aplicação de água afetam, também, a eficiência do sistema que pode ser definida como sendo a porcentagem da água aplicada que permanece na zona efetiva do sistema radicular do cultivo após a irrigação.

Segundo [Cahoon et al. \(1996\)](#), a redução nas lâminas de aplicação de água por irrigação minimiza o potencial de escoamento superficial, mas aumenta a oportunidade para evaporação direta da água do solo. Enquanto os resíduos da cultura ajudam na diminuição dessa evaporação, o repetido umedecimento de sua superfície limita as economias de água atribuídas aos resíduos culturais. Comparando diversos tipos de cobertura do solo, [Streck et al. \(1994\)](#), mostraram que a cobertura do solo reduz a evaporação, aumentando a conservação da água do solo pela barreira física que oferece a transferência de vapor de água e energia entre o solo e a atmosfera.

Utilizando dados provenientes de simuladores de chuva, [Bertol et al. \(1997\)](#) verificaram que as perdas de solo e de água foram fortemente influenciadas pela rugosidade e cobertura superficiais. O plantio direto com resíduos culturais foi o tratamento mais eficaz na redução das perdas de solo e de água por erosão, e o tratamento que passou por aração e gradagem e foi mantido sem resíduos foi o menos eficaz. Na avaliação do potencial de plantas de cobertura para o período de inverno, visando ao plantio direto de milho, [Ros e Aita \(1996\)](#) constataram que as espécies de inverno proporcionaram cobertura do solo superior à das plantas invasoras do pousio invernal. A quantidade de nitrogênio (N) acumulado foi maior nos tratamentos com leguminosas. Estudando a alteração da estrutura do solo depois de sete anos de cultivo com plantio direto, convencional e

sistemas de manejo, [Albuquerque et al. \(1995\)](#) verificaram que os maiores valores de condutividade hidráulica foram observados nas parcelas com rotação de cultura, comparados às parcelas com sucessão soja-trigo.

Considerando que as práticas de cultivo com a manutenção da palhada na superfície do solo produzem impactos positivos na conservação da água do solo, este trabalho foi idealizado com o objetivo de avaliar as principais alterações nas propriedades físico-hídricas de solos (densidade, retenção da água do solo e condutividade hidráulica), produzidas pelo plantio direto após 3, 6 e 12 anos de sua implantação, sob condições de sequeiro, pelo plantio direto irrigado e pelo plantio convencional tendo como referência um ambiente de mata natural.

Material e Métodos

As atividades de campo deste trabalho foram desenvolvidas na fazenda Ampessan, localizada no Município de Cabeceiras de Goiás, com o solo classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo, Distrófico, A moderado, relevo plano a suave-ondulado, fase Cerrado sentido restrito ([EMBRAPA, 1999](#)). No estudo, foram considerados os seguintes ambientes de cultivo e de cobertura vegetal: PD₃: plantio direto de sequeiro durante três anos; PD₆: plantio direto de sequeiro durante seis anos, incluindo dois anos de *Brachiaria* para formação de palhada; PD₁₂: plantio direto de sequeiro durante 12 anos; PDI₅: plantio direto irrigado durante cinco anos; PC: plantio convencional; MN: solo sob mata natural de Cerrado. Nas áreas com cultivos de sequeiro, de aproximadamente 5000 ha, predominou a rotação soja-milho, enquanto na área irrigada, de aproximadamente 100 ha, predominou a rotação do binômio milho-feijão. Eventualmente, foram sendo introduzidas outras plantas de cobertura, como sorgo, milheto, *brachiaria*, entre outras, visando diversificar e aumentar a quantidade de palha na superfície.

Para avaliação das características de retenção de água do solo e as conseqüentes relações com sua porosidade, nos ambientes acima referidos (PD₃, PD₆, PD₁₂, PDI₅, PC e MN), foi adotada a técnica da amostragem detalhada do solo, em profundidade, nas seguintes camadas: 0 a 5 cm; 2,5 a 7,5 cm; 5 a 10 cm; 10 a 15 cm; 20 a 25 cm; 42,5 a 47,5 cm e 72,5 a 77,5 cm, utilizando cilindros metálicos de 5,1 cm de altura e 100 cm³ de volume para extração das amostras de solo com estrutura não deformada. De cada camada do perfil de solo, foram extraídas quatro amostras para determinação de suas respectivas curvas de retenção de água do solo e densidade aparente, objetivando avaliar parâmetros

relativos à porosidade e à capacidade de armazenamento de água ao longo do perfil do solo. As curvas de retenção de cada camada de solo foram ajustadas ao modelo de Genutchen ([GENUTCHEN, 1980](#)) por meio de regressão não linear em todos os seis ambientes estudados.

Além disso, foram também retiradas amostras de solos para caracterização da granulometria e dos teores médios de matéria orgânica, segundo [Embrapa \(1997\)](#), na camada de 0 a 15 cm, zona de maior influência dos sistemas de cultivos e, na camada de 70 a 80 cm, considerada do ponto de vista pedológico, como um horizonte diagnóstico. Em cada um dos ambientes (PD_3 , PC e PDI_5), foi aberta uma trincheira para amostragem do solo; nos ambientes PD_{12} e PD_6 , foram abertas duas trincheiras e no ambiente MN foram abertas três trincheiras em locais considerados representativos. Em qualquer um dos casos, apenas os resultados de uma trincheira foram considerados, selecionando, entre as múltiplas trincheiras, aquela que apresentou maior similaridade no horizonte diagnóstico, em termos de textura e características de retenção de água.

Na avaliação das características hidráulicas do solo (condutividade hidráulica saturada de campo, potencial de fluxo matricial e sortividade), nesses ambientes, foi adotado o método do permeâmetro de Guelph ([SOIL MOISTURE EQUIPMENT CORPORATION, 1991](#)). Essa determinação em campo é bastante trabalhosa e, por isso, resolveu-se reduzir o número de profundidades a serem avaliadas para somente duas, 12 cm e 80 cm, realizando, em cada camada de solo, cinco medições, buscando determinar a média representativa de cada ambiente. Dessa forma, buscou-se avaliar, respectivamente, a zona mais influenciada pelos sistemas de cultivos e o horizonte diagnóstico, região pouco influenciada pela atividade agrícola, estabelecendo, assim, condições de analisar o contraste nas características físico-hídricas entre essas duas camadas de solo.

Resultados e Discussão

Com base nos resultados de granulometria apresentados na Tabela 1, verifica-se que os solos dos ambientes MN, PC, PD_6 e PD_{12} possuem as mesmas texturas: na camada de 0 a 15 cm (argilosa) e no horizonte diagnóstico de 70 a 80 cm (muito argilosa). Nos outros dois ambientes analisados (PD_3 e PDI_5), existem maiores teores de areia, apresentando, respectivamente, as texturas franco-argilo-arenosa e argilo-arenosa na camada de 0 a 15 cm e a mesma textura argilo-arenosa no horizonte diagnóstico.

Tabela 1. Granulometria e conteúdo de matéria orgânica dos seis ambientes analisados.

Ambientes ¹ →	MN	PC	PD ₃	PD ₆	PD ₁₂	PDI ₅
..... Camada de solo de 0 a 15 cm						
Textura →	Argilosa	Argilosa	Franco- argilo-arenosa	Argilosa	Argilosa	Argilo- arenosa
Argila (%)	57	55	33	55	51	36
Silte (%)	18	15	4	18	18	5
Areia fina (%)	22	25	39	18	25	40
Areia grossa (%)	3	5	24	9	6	19
Matéria orgânica (%)	3,50	3,35	2,14	3,96	3,13	2,03
..... Camada de solo de 70 a 80 cm						
Textura →	Muito argilosa	Muito argilosa	Argilo arenosa	Muito argilosa	Muito argilosa	Argilo arenosa
Argila (%)	63	73	37	67	67	41
Silte (%)	15	11	3	9	11	4
Areia fina (%)	20	13	41	18	18	32
Areia grossa (%)	2	3	19	6	4	23
Matéria orgânica (%)	1,83	1,71	0,89	1,62	1,72	0,94

¹ MN: mata natural; PC: plantio convencional; PD₃: plantio direto recente (3 anos); PD₆: plantio direto médio (6 anos); PD₁₂: plantio direto antigo (12 anos); PDI₅: plantio direto irrigado (5 anos).

A densidade aparente média (Tabela 2), no horizonte diagnóstico desses ambientes, foi de $0,995 \pm 0,018 \text{ g.cm}^{-3}$, enquanto na camada de 0 a 15 cm, esse valor foi de $1,011 \pm 0,072 \text{ g cm}^{-3}$, com desvio-padrão quatro vezes maior do que o observado no horizonte diagnóstico, expressando assim a maior variabilidade determinada pela a ação dos sistemas de cultivos na camada superficial do solo.

A média da densidade aparente, na camada de 0 a 2,5 cm, dos solos dos ambientes MN, PD₆, PD₁₂ e PD₃ foi de $0,889 \pm 0,048 \text{ g cm}^{-3}$, refletindo, em parte, a existência do maior teor de material orgânico presente nessa camada, oriunda do acúmulo da palha decorrente do plantio direto. Os solos dos ambientes PC e PDI₅, nessa mesma camada, apresentaram média de $1,039 \pm 0,023 \text{ g cm}^{-3}$, superando em 16,8% a dos demais ambientes. Essa diferença pode ser explicada pelos possíveis efeitos da mecanização que, no PDI₅, não obstante o plantio ser direto, é mais intensa. Em todos os casos, existe certo adensamento na camada de 20 a 25 cm (profundidade de 22,5 cm), em que a média de densidade aparente resultou em $1,074 \pm 0,046 \text{ g cm}^{-3}$, corroborando outros estudos ([FERNANDES et al., 1983](#)).

Os parâmetros de ajuste das curvas de retenção ajustadas ao modelo de [Genutchen \(1980\)](#) são apresentados na [Tabela 3](#). Nesse ajuste, o parâmetro de saturação foi fixado e os demais parâmetros do modelo otimizados, submetendo n e α à restrição de valores positivos e θ_r a valores maiores ou iguais a 95% do conteúdo volumétrico associado à tensão de 1500 kPa.

Tabela 2. Densidade aparente (d_a), em g cm^{-3} , no perfil do solo de seis ambientes.

Profundidade (cm)	Ambientes estudados ²					
	MN	PC	PD ₃	PD ₆	PD ₁₂	PDI ₅
2,5	0,849	1,055	0,857	0,953	0,898	1,022
5,0	1,004	1,074	0,897	0,941	1,006	1,059
7,5	1,068	1,067	0,901	0,958	1,062	1,041
12,5	1,045	1,073	0,939	1,022	1,105	1,050
22,5	1,078	1,153	1,042	1,019	1,089	1,060
45,0	0,998	1,044	0,933	0,933	0,997	1,048
75,0	0,984	1,021	0,954	0,994	0,983	1,075

¹ MN: mata natural; PC: plantio convencional; PD₃: plantio direto recente (3 anos); PD₆: plantio direto médio (6 anos); PD₁₂: plantio direto antigo (12 anos); PDI₅: plantio direto irrigado (5 anos).

Tabela 3. Valores dos parâmetros do modelo de curva de retenção de água no solo proposto [Genutchen \(1980\)](#)¹.

Profundidade (cm)	Parâmetros	Ambientes estudados ²					
		MN	PC	PD ₃	PD ₆	PD ₁₂	PDI ₅
2,5	θ_s	0,5980	0,5298	0,5954	0,5817	0,5636	0,5405
	θ_r	0,2381	0,2489	0,2079	0,2524	0,2233	0,2723
	n	1,3786	1,3583	1,4996	1,5650	1,4338	1,5549
	α	2,6155	0,6180	0,9857	0,8515	1,1026	0,3627
5,0	θ_s	0,5466	0,5235	0,5822	0,5460	0,5676	0,5283
	θ_r	0,2670	0,2606	0,2043	0,2635	0,2354	0,2625
	n	1,3332	1,3692	1,6330	1,5185	1,5612	1,3998
	α	2,5768	0,5595	0,6631	0,5782	0,6179	0,4286
7,5	θ_s	0,5253	0,5256	0,5808	0,5272	0,5618	0,5343
	θ_r	0,2733	0,2622	0,2285	0,2685	0,2403	0,2492
	n	1,3957	1,3660	1,6309	1,4688	1,5937	1,3875
	α	1,5926	0,7108	0,8139	0,5302	0,4776	0,5642
12,5	θ_s	0,5329	0,5238	0,5681	0,5132	0,5407	0,5313
	θ_r	0,2572	0,2783	0,2199	0,2833	0,2617	0,2854
	n	1,3733	1,4830	1,6660	1,5504	1,4423	1,5129
	α	1,8147	0,4746	0,7336	0,3069	0,6835	0,3660
22,5	θ_s	0,5221	0,4970	0,5340	0,5185	0,5416	0,5280
	θ_r	0,2842	0,2905	0,2144	0,2676	0,2664	0,3003
	n	1,5063	1,4304	1,3386	1,3755	1,7371	1,7270
	α	0,8706	0,6654	3,3047	1,1920	0,3581	0,2961
45,0	θ_s	0,5486	0,5334	0,5703	0,5490	0,5703	0,5319
	θ_r	0,2614	0,2766	0,2226	0,2698	0,2323	0,2688
	n	1,5667	1,5853	1,4427	1,6370	1,4929	1,6237
	α	0,6583	0,5618	0,9510	0,5515	0,8431	0,4380
75,0	θ_s	0,5533	0,5410	0,5633	0,5536	0,5500	0,5231
	θ_r	0,2161	0,2314	0,2226	0,2625	0,2312	0,2382
	n	1,4170	1,6256	1,3951	1,7180	1,4198	1,8213
	α	1,3806	0,5487	1,3685	0,4743	0,8642	0,3231

¹ Modelo de Genutchen (1980): $[(\theta - \theta_r) / (\theta_s - \theta_r)] = (1 + (\alpha h))^n$, em que θ : conteúdo volumétrico da água no solo; θ_s : conteúdo volumétrico de água no solo na saturação, equivalente a 88% da porosidade total, determinada pela relação $(1 - d_w/2,65)$; θ_r : conteúdo volumétrico residual da água no solo; n: parâmetro de ajuste, relacionado com a forma da curva de retenção; α : parâmetro de ajuste, relacionado com a escala da curva de retenção (kPa^{-1}).

² MN: mata natural; PC: plantio convencional; PD₃: plantio direto recente (3 anos); PD₆: plantio direto médio (6 anos); PD₁₂: plantio direto antigo (12 anos); PDI₅: plantio direto irrigado (5 anos).

A título ilustrativo, estão apresentadas na Figura 1 apenas as famílias de curvas de retenção dos perfis de solo do ambiente de mata natural, descritas com os respectivos parâmetros do modelo de [Genutchen \(1980\)](#). As demais curvas de retenção podem ser facilmente descritas com os parâmetros do modelo de Genutchen apresentados na [Tabela 3](#).

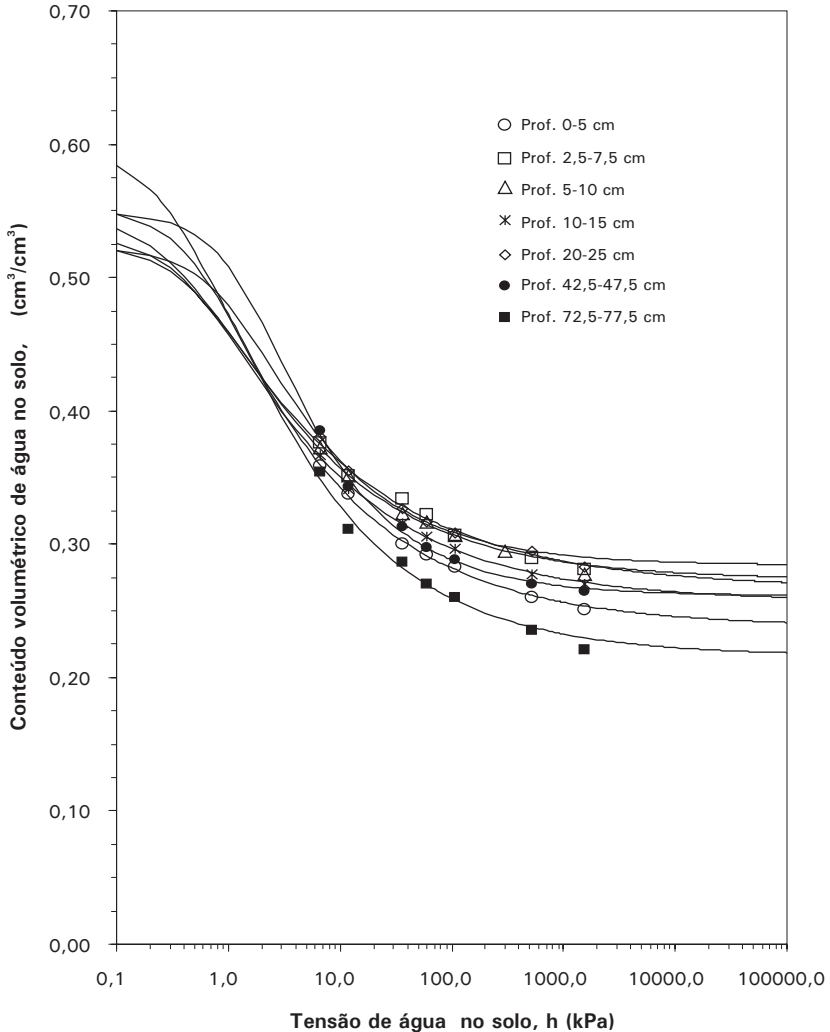


Figura 1. Ilustração das curvas de retenção de água do solo do ambiente de mata natural.

De modo geral, os solos do ambiente Cerrado, à semelhança do que se encontra apresentado na [Figura 1](#), apresentam comportamento híbrido no relacionamento entre o conteúdo de água e a tensão com que ela está retida pela matriz do solo, funcionando como se fosse um solo arenoso nas tensões mais baixas, passando a refletir sua textura nesse relacionamento somente nas tensões mais elevadas. Por isso, considera-se relevante em trabalhos futuros, aumentar a densidade de pontos, nas faixas de tensões mais baixas que tem maior influência na porosidade drenável do solo, porção da curva que apresenta maior variação do conteúdo de água em relação à tensão.

Na Tabela 4, são apresentados os valores relativos à capacidade de armazenamento total compreendida entre o conteúdo volumétrico de água do solo em equilíbrio com a tensão de 10 kPa, aqui denominado de capacidade de campo e o conteúdo de água residual obtido aos seis ambientes caracterizados.

Pelos dados da Tabela 4, verifica-se que os seguintes quantitativos de água disponível até a profundidade 22,5 cm, expressos em $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ em ordem decrescente: PDI_5 (0,1259); PC (0,1214); PD_{12} (0,1159); PD_3 (0,1077); PD_6 (0,0953); MN (0,0908). O PDI_5 foi o que apresentou maior quantidade de água disponível na camada superficial do solo, cerca de 12,6%, enquanto o solo do ambiente MN apresentou apenas 9,1%. É claro que nesse resultado existe o viés de um estado inicial não necessariamente igual, ou seja, as condições iniciais de capacidade de armazenamento de água dos solos desses ambientes podem não ter sido as mesmas, antes da diferenciação estabelecida pelos sistemas de cultivos.

Tabela 4. Potencial de armazenamento de água¹ ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$) no perfil do solo dos ambientes estudados

Profundidade (cm)	Ambientes estudados ²					
	MN	PC	PD_3	PD_6	PD_{12}	PDI_5
2,5	0,1043	0,1432	0,0970	0,1190	0,0978	0,1254
5,0	0,0944	0,1358	0,1112	0,1172	0,0914	0,1434
7,5	0,0838	0,1262	0,1153	0,1233	0,0994	0,1423
12,5	0,0930	0,1122	0,1171	0,1171	0,0902	0,1209
22,5	0,0785	0,0896	0,0981	0,1029	0,0976	0,0974
45,0	0,0969	0,0914	0,0919	0,1166	0,1268	0,1013
75,0	0,1121	0,1042	0,0926	0,1281	0,1203	0,1034

¹ Diferença entre o conteúdo volumétrico da água no solo (θ_{cc}), em equilíbrio com a tensão de 10 kPa, e o conteúdo volumétrico residual (θ_r).

² MN: mata natural; PC: plantio convencional; PD_3 : plantio direto recente (3 anos); PD_6 : plantio direto médio (6 anos); PD_{12} : plantio direto antigo (12 anos); PDI_5 : plantio direto irrigado (5 anos).

Outra informação importante para caracterização desses ambientes do ponto de vista das relações solo-água é a microporosidade. Nesse estudo, os resultados de microporosidade se encontram apresentados na Tabela 5.

Observa-se que a microporosidade no perfil do ambiente de mata natural é bastante uniforme, apresentando valores da ordem de $37,3 \pm 1,2\%$. Considerando a camada de solo de 45 a 75 cm de todos os ambientes, observa-se também que seus valores de microporosidade são, do mesmo modo, bastante semelhantes, situando-se em torno de $37,8 \pm 2,1\%$. Assumindo que esses valores representam a microporosidade em seu estado natural e que a camada de solo de 0 a 22,5 cm é a mais influenciada pelo sistema de cultivo, pode-se deduzir o seguinte: no ambiente PC, a microporosidade aumentou em 7,8%; no ambiente PD₆, reduziu em 16,4%; no ambiente PD₁₂, aumentou 11,7%; no ambiente PD₃, aumentou 2,5%; no ambiente PDI₅, aumentou 9,1%.

Os valores de macroporosidade refletem a maior ou a menor capacidade de drenagem do solo. Solos com maior porosidade drenável têm maior potencial de drenagem e conseqüentemente maior facilidade de deixar passar a água para camadas mais profundas. As camadas de solos com menores valores de macroporosidade, em tese, serão as limitantes ao processo de percolação profunda.

Tabela 5. Microporosidade¹ no perfil do solo dos ambientes estudados.

Profundidade (cm)	Ambientes estudados ²					
	MN	PC	PD ₃	PD ₆	PD ₁₂	PDI ₅
2,5	0,3642	0,4175	0,3799	0,2962	0,3703	0,4310
5,0	0,3785	0,4210	0,4048	0,2955	0,3878	0,4328
7,5	0,3752	0,4118	0,4111	0,3038	0,4018	0,4188
12,5	0,3691	0,4174	0,4295	0,3382	0,4056	0,4355
22,5	0,3845	0,4000	0,3853	0,3301	0,4081	0,4316
45,0	0,3881	0,3965	0,3936	0,3796	0,3801	0,4027
75,0	0,3538	0,3709	0,3913	0,3688	0,3269	0,3852

¹ Conteúdo volumétrico da água no solo (θ_{m}), em equilíbrio com a tensão de 6 kPa.

² MN: mata natural; PC: plantio convencional; PD₃: plantio direto recente (3 anos); PD₆: plantio direto médio (6 anos); PD₁₂: plantio direto antigo (12 anos); PDI₅: plantio direto irrigado (5 anos).

Observando os resultados apresentados na Tabela 6, verifica-se que o solo, na profundidade de 22,5 cm de todos os ambientes estudados, exceto no PD₆, apresentou menor valor de macroporosidade, refletindo o aumento da densidade aparente verificada nessa mesma profundidade na [Tabela 2](#). Considerando a relação entre a macroporosidade verificada entre as profundidades de 22,5 cm (20,39%) e de 75 cm (19,45%) do ambiente PD₆, deduz-se que ele foi único a não oferecer restrições de drenagem para as camadas de solo mais profundas. Analisando a relação entre as macroporosidades das profundidades de 22,5 cm e de 75,0 cm, obtiveram-se os seguintes resultados em ordem crescente: PC (-36,8%); PD₁₂ (-35,4%); PDI₅ (-27,8%); MN (-23,6%); PD₃ (-16,2%); PD₆ (5,9%).

Em relação aos parâmetros de condutividade hidráulica saturada de campo e outras informações levantadas conjuntamente com essa determinação, os resultados encontrados para as duas profundidades do perfil de solo (12 e 80 cm) podem ser resumidos conforme [Tabela 7](#).

Tabela 6. Macroporosidade¹ no perfil do solo dos ambientes estudados.

Profundidade (cm)	Ambientes estudados ²					
	MN	PC	PD ₃	PD ₆	PD ₁₂	PDI ₅
2,5	0,2337	0,1123	0,2018	0,2992	0,1933	0,1095
5,0	0,1681	0,1025	0,1413	0,2867	0,1798	0,0955
7,5	0,1501	0,1137	0,1162	0,2770	0,1600	0,1156
12,5	0,1638	0,1064	0,0837	0,2431	0,1351	0,0958
22,5	0,1376	0,0970	0,1331	0,2039	0,1335	0,0964
45,0	0,1605	0,1369	0,1555	0,1907	0,1902	0,1292
75,0	0,1995	0,1701	0,1622	0,1945	0,2231	0,1379

¹ Diferença entre o volume do espaço poroso, equivalente ao conteúdo de água na saturação (88% da porosidade total), e a microporosidade.

² MN: mata natural; PC: plantio convencional; PD₃: plantio direto recente (3 anos); PD₆: plantio direto médio (6 anos); PD₁₂: plantio direto antigo (12 anos); PDI₅: plantio direto irrigado (5 anos).

Tabela 7. Parâmetros da dinâmica da água no solo nos ambientes estudados.

Parâmetros	Ambientes estudados ¹					
	MN	PC	PD ₃	PD ₆	PD ₁₂	PDI ₅
..... Profundidade de 12 cm						
Condutividade saturada de campo (cm h ⁻¹) ²	18,52	11,86	16,56	14,10	13,11	4,43
Potencial de fluxo matricial (cm ² h ⁻¹) ³	64,97	58,74	19,85	17,62	16,33	8,98
Expoente da equação de condutividade ⁴ (cm ⁻¹)	0,285	0,202	0,834	0,800	0,803	0,494
Umidade inicial (cm ³ cm ⁻³)	0,191	0,163	0,168	0,219	0,196	0,229
Umidade final (cm ³ cm ⁻³)	0,361	0,408	0,397	0,436	0,386	0,345
Diferença de umidade (cm ³ cm ⁻³)	0,170	0,245	0,229	0,217	0,190	0,116
Sortividade ⁵ (cm seg ^{-1/2})	0,078	0,089	0,050	0,046	0,042	0,024
..... Profundidade de 12 cm						
Condutividade saturada de campo (cm h ⁻¹)	21,89	15,68	20,83	20,49	22,20	12,08
Potencial de fluxo matricial (cm ² h ⁻¹)	57,51	66,75	84,27	50,47	78,53	40,84
Expoente da equação de condutividade ⁴ (cm ⁻¹)	0,381	0,235	0,247	0,406	0,283	0,296
Umidade inicial (cm ³ cm ⁻³)	0,210	0,251	0,252	0,287	0,260	0,237
Umidade final (cm ³ cm ⁻³)	0,400	0,450	0,436	0,438	0,463	0,383
Diferença de umidade (cm ³ cm ⁻³)	0,190	0,199	0,184	0,151	0,203	0,147
Sortividade ⁵ (cm seg ^{-1/2})	0,078	0,086	0,093	0,065	0,094	0,058

¹ MN: mata natural; PC: plantio convencional; PD₃: plantio direto recente (3 anos); PD₆: plantio direto médio (6 anos); PD₁₂: plantio direto antigo (12 anos); PDI₅: plantio direto irrigado (5 anos).

² Mede a habilidade de um solo em conduzir um volume unitário de água (cm³) por uma unidade de área (cm²), durante um período de tempo de um segundo, quando submetido a um gradiente unitário (cm de carga hidráulica / cm de solo). A condutividade saturada de campo (K_{fs}) refere-se à condutividade hidráulica do solo sob condições saturadas, porém, ainda com algum volume de ar preso em poros do solo, ou seja, o espaço poroso não se encontra totalmente ocupado com água.

³ Mede a habilidade de o solo absorver água, por unidade de área (cm²), devido à força capilar exercida pelo próprio solo. A principal força motriz nesse processo de movimento da água no solo é o gradiente de potencial estabelecido na frente de molhamento, na qual as diferenças de potencial matriciais são as mais significantes.

⁴ Relação (α) entre a condutividade hidráulica saturada e o potencial de fluxo matricial. Esse parâmetro representa taxa de variação da condutividade hidráulica em relação ao potencial matricial da água no solo no modelo exponencial $K = K_{fs} \exp(\alpha h)$.

⁵ Mede a habilidade de o solo absorver água definida pela seguinte relação: $S = \sqrt{2(\Delta\theta) \phi_m}$, expresso em cm s^{-1/2}; em que ϕ_m : potencial de fluxo matricial da água no solo (cm² s⁻¹) e $\Delta\theta$: diferença entre os conteúdos volumétricos finais e iniciais, resultantes do processo de infiltração da água nos solos.

Analisando os resultados de condutividade hidráulica, expressos em cm h⁻¹, da camada de solo mais profunda, observa-se que os valores dessa variável para os ambientes MN (21,89), PD₁₂ (22,20), PD₆ (20,49) e PD₃ (20,83) são bastante

similares, apresentando valor de médio de $21,35 \pm 0,82 \text{ cm h}^{-1}$. No caso dos resultados de condutividade hidráulica saturada, obtidos na profundidade de 12 cm ($K_{12 \text{ cm}}$), apresentados na [Tabela 7](#), verifica-se a seguinte ordem decrescente de valores (cm h^{-1}): MN (18,52); PD_3 (16,56); PD_6 (14,10); PD_{12} (13,11); PC (11,86) e PDI_5 (4,43).

É interessante observar que, nos ambientes de plantio direto de sequeiro (PD_3 , PD_6 e PD_{12}) houve nítida tendência de decréscimo da condutividade saturada. Os ambientes MN e PDI_5 apresentaram, respectivamente, o maior e o menor valor dessa série. Os valores de condutividade hidráulica na profundidade de 80 cm ($K_{80 \text{ cm}}$), indicados na [Tabela 7](#), apresentaram menor variação, notadamente, nos ambientes PD_{12} (22,20); MN (21,89); PD_3 (20,83); PD_6 (20,49), decrescendo nos ambientes PC (15,68) e PDI_5 (12,08).

Analisando, ainda, na [Tabela 7](#), a relação entre as condutividades das duas profundidades avaliadas ($K_{12 \text{ cm}} / K_{80 \text{ cm}}$), chega-se aos seguintes índices: MN (0,846); PD_3 (0,795); PD_6 (0,688); PD_{12} (0,591); PC (0,757) e PDI_5 (0,367). Esse índice representa o grau de redução de $K_{12 \text{ cm}}$ em relação a $K_{80 \text{ cm}}$. Por exemplo, no ambiente MN, $K_{12 \text{ cm}}$ é 15,4% menor do que $K_{80 \text{ cm}}$. Tomando o índice do ambiente MN como referência, chega-se aos seguintes valores normalizados: MN (1); PD_3 (0,94); PD_6 (0,81); PD_{12} (0,70); PC (0,89) e PDI_5 (0,43). Nessa escala, quanto menor for o índice, mais forte será a influência do sistema de cultivo em reduzir a condutividade hidráulica na profundidade de 12 cm. Esses resultados indicam os seguintes percentuais de redução: PD_3 (6%); PD_6 (19%); PD_{12} (30%); PC (11%) e PDI_5 (57%), ou seja, o ambiente que mais afetou a condutividade hidráulica na profundidade de 12 cm foi o PDI_5 , seguido do PD_{12} , PD_6 , PC e PD_3 .

Uma das fortes razões apontadas para adoção da técnica do plantio direto na agricultura, notadamente, na produção de culturas anuais está embasada na idéia de que a manutenção da palhada na superfície do solo, não realizando sua incorporação mecânica, ajuda na retenção da água da chuva ou da irrigação no próprio local onde ela é aplicada. Entre as possíveis causas apontadas para justificar esse benefício, considera-se que as alterações físico-hídricas, tanto no que diz respeito às suas características de retenção como de infiltração da água na matriz do solo, promovidas pelo aumento da matéria orgânica e melhoria na estrutura do solo, podem responder por grande parte do benefício observado na conservação da água condicionado pelo plantio direto.

Os resultados encontrados, com o uso de solos representativos do Bioma Cerrado, considerando os dados analisados, indicam que alteração nas características físico-hídricas do solo, proporcionadas pelo plantio direto, pode não ser o principal fator responsável pelos resultados observados na prática, na melhoria dos padrões de conservação da água em áreas de produtores. É possível que o efeito mecânico da palhada mantida sobre a superfície do solo, promovendo o retardamento no escoamento da água seja um dos principais fatores na manutenção da água, no local de sua aplicação. Esse retardamento aumenta o tempo de oportunidade de infiltração da água no solo, além de promover localmente, possíveis acréscimos na carga hidráulica, contribuindo para o aumento da taxa de infiltração e, conseqüentemente, com a maior contribuição para o suprimento da água subterrânea. É claro que a manutenção da palhada na superfície do solo, também, tem efeito na redução da evaporação direta da água do solo, criando condições para que a lavoura suporte melhor os efeitos de veranicos, em relação a uma cultura conduzida de forma convencional.

Conclusões

1. A maior intensidade de mecanização no ambiente irrigado produz decréscimo acentuado na condutividade hidráulica do solo saturado, medida em campo nas camadas mais superficiais do solo, apesar de o plantio ser direto.
2. Os resultados demonstram existir tendência de maior capacidade armazenamento de água no solo em relação ao ambiente de mata natural em todos os ambientes cultivados até a profundidade de 22,5 cm.

Agradecimentos

Aos assistentes de pesquisa da Embrapa Cerrados Joviano Mateus Pires e Wantuir Caixeta Vieira pelo auxílio nas amostragens e avaliações das características físico-hídricas dos solos e ao grupo Ampessan pela disponibilidade de sua propriedade localizada em Cabeceiras, GO para realização deste estudo.

Referências Bibliográficas

ALBUQUERQUE, J. A.; REINERT, D. J.; FIORIN, J. E.; RUEDELL, J.; PETRERE, C.; FONTINELLI, F. Rotação de culturas e sistemas de manejo do solo: efeito sobre a forma da estrutura do solo ao final de sete anos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 19, n. 1, p. 115-119, 1995.

BERTOL, I.; COGO, N. P.; LEVIEN, R. Erosão hídrica em diferentes preparos do solo logo após as colheitas de milho e trigo, na presença e na ausência dos resíduos culturais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 21, n. 3, p. 409-418, 1997.

CAHOON, J.; KLOCKE, N.; KRANZ, W. **Crop residue and irrigation water management**. NebGuide. Nebraska: University of Nebraska. IANR. Cooperative Extension. Electronic version. File under: Irrigation Engineering. B-24, Irrigation Operations & Management. 1996. 6 p.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro, 1997. 212 p.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro: CNPS; Brasília: SPI, 1999. 412 p.

FERNANDES, B.; GALLOWAY, H. M.; BRONSON, R. D.; MANNERING, J. V. Efeito de três sistemas de preparo do solo na densidade aparente, na porosidade total e na distribuição dos poros, em dois solos (Typic Argiaquol e Typic Hapludalf). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 7, p. 329-333, 1983.

GENUTCHEN, M. T. van. A closed form equation for predicting the hydraulic properties of unsaturated soils, **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 44, p. 892-898, 1980.

RESCK, D. V. S.; FERREIRA, C. de A.; GOMES, A. C.; SILVA, J. E. da. Efeito do plantio direto e do arado de disco nas propriedades físicas de um Latossolo Vermelho-Escuro, argiloso sob vegetação de Cerrado. **Relatório técnico anual do Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados 1991 a 1995**, Planaltina, DF, p. 135-138, 1997.

ROS, C. O. da; AITA, C. Efeito de espécies de inverno na cobertura do solo e fornecimento de nitrogênio ao milho em plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 20, n. 1, p. 135-140, 1996.

SOIL MOISTURE EQUIPMENT CORPORATION. **Guelph permeameter model 2800**. Santa Bárbara: Soilmoisture, 1991. User manual.

STONE, L. F.; SILVEIRA, P. M. da. Efeitos do sistema de preparo na compactação do solo, disponibilidade hídrica e comportamento do feijoeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 34, n. 1, p. 83-91, 1999.

STONER, E.; FREITAS Jr., E. de; MACEDO, J.; MENDES, R. C. A.; CARDOSO, I. M.; AMABILE, R. F.; BRYANT, R. B.; LATHWELL, D. J. **Physical constraints to root growth in savanna oxisols**. Raleigh: NCSU, 1991, 28 p. (TropSoils Bulletin, 91-01).

STRECK, N. A.; SCHNEIDER, F. M.; BURIOL, G. A. Modificações físicas causadas pelo mulching: revisão bibliográfica. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 2, p. 131-142, 1994.