

**Qualidade física de solos
influenciada pelo uso e manejo
na região de Guaraí-TO**



ISSN 1516 - 4675

Setembro, 2017

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

Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 72

Qualidade física de solos influenciada pelo uso e manejo na região de Guaraí-TO

Heloisa Ferreira Filizola
Ademir Fontana
Guilherme Kangussu Donagemma
Manoel Dornelas de Souza
Elisandra Solange Oliveira Bortolon
Leandro Bortolon

Embrapa Meio Ambiente
Jaguariúna, SP
2017

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

Embrapa Meio Ambiente

Rodovia SP-340, Km 127,5, Tanquinho Velho
Caixa Postal 69, CEP: 13820-000, Jaguariúna, SP
Fone: + 55 (19) 3311-2700
Fax: + 55 (19) 3311-2640
<https://www.embrapa.br/meio-ambiente/>
SAC: <https://www.embrapa.br/fale-conosco/sac/>

Comitê de Publicações da Unidade

Presidente: *Maria Isabel de Oliveira Penteado*
Secretária-Executiva: *Cristina Tiemi Shoyama*
Membros: *Rodrigo Mendes, Ricardo A. A. Pazianotto, Maria Cristina Tordin, Nilce Chaves Gattaz, Victor Paulo Marques Simão, Joel Leandro de Queiroga (suplente), Vera Lucia Ferracini (suplente) e Marco Antônio Gomes (suplente).*
Revisão de texto: Nilce Chaves Gattaz
Normalização bibliográfica: Victor Paulo Marques Simão
Editoração eletrônica: Gabriel Pupo Nogueira
Foto capa: Meire Correia da Silva Ferrari

1ª edição eletrônica (2017)

Todos os direitos reservados

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

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Embrapa Meio Ambiente**

Qualidade física de solos influenciada pelo uso e manejo na região de Guaraí, TO / Heloisa Ferreira Filizola ... [et al.]. – Jaguariúna : Embrapa Meio Ambiente, 2017.

34 p. -- (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento / Embrapa Meio Ambiente , ISSN 1516-4675 ; 72).

1. Solo arenoso. 2. Física do solo. 3. Uso da terra. 4. Textura do solo. 5. Condutividade hidráulica. 6. Porosidade. 7. Retenção de água no solo. I. Filizola, Heloisa Ferreira. II. Título. II. Série.

Sumário

Resumo	5
Abstract.....	6
Introdução.....	7
Material e métodos.....	8
Resultados e discussão	14
Conclusões.....	29
Agradecimentos	31
Referências	31

Qualidade física de solos influenciada pelo uso e manejo na região de Guaraí-TO

Heloisa Ferreira Filizola¹

Ademir Fontana²

Guilherme Kangussu Donagemma³

Manoel Dornelas de Souza⁴

Elisandra Solange Oliveira Bortolon⁵

Leandro Bortolon⁶

Resumo

As terras onde predominam solos arenosos distribuem-se em extensas áreas em todas as regiões do Brasil, sendo muito utilizadas em áreas de intensificação da agricultura. O uso desses solos nos sistemas agrícolas tem efeito sobre suas características e atributos. Com o objetivo de avaliar as consequências desse uso sobre algumas das suas propriedades físicas foi selecionada uma área localizada em uma propriedade agrícola no município de Guaraí (TO). Em amostras de solos coletadas em 18 trincheiras foram avaliadas a textura, a estabilidade dos agregados, o grau de flocculação das argilas, a porosidade, a densidade, a condutividade hidráulica saturada (K_s), a infiltração e a retenção da água no solo. Os solos avaliados não apresentam nenhum dos parâmetros físico-hídricos analisados abaixo dos valores limites de degradação

¹ Heloisa Ferreira Filizola, Geógrafa, Doutora em Ciências da Terra, Pesquisadora da Embrapa Meio Ambiente, Jaguariúna, SP

² Ademir Fontana, Engenheiro Agrônomo, Doutor em Ciência do Solo, Pesquisador da Embrapa Solos, Rio de Janeiro, RJ

³ Guilherme Kangussu Donagemma, Engenheiro Agrônomo, Doutor em Ciência do Solo, Pesquisador da Embrapa Solos, Rio de Janeiro, RJ

⁴ Manoel Dornelas de Souza, Engenheiro Agrônomo, Doutor em Física de Solos, Pesquisador da Embrapa Meio Ambiente, Jaguariúna, SP

⁵ Elisandra Solange Oliveira Bortolon, Engenheira Agrônoma, Doutora em Ciência do Solo, Pesquisadora da Embrapa Pesca e Aquicultura, Palmas, TO

⁶ Leandro Bortolon, Engenheiro Agrônomo, Doutor em Ciência do Solo, Pesquisador da Embrapa Pesca e Aquicultura, Palmas, TO

física ao solo, mesmo alguns deles sendo próximos, como o DPM que variou de 1,90 a 0,55 mm. O Índice de Estabilidade dos Agregados (IEA) variou de 50 a 70% e a densidade de 1,34 a 1,63 g cm⁻³. A variação da porosidade funcional (macroporosidade) entre as áreas de soja e Cerrado é bem marcante, assim como a variação da K_s no Cerrado. Como o movimento da água no solo é dependente da estrutura do solo e como a porosidade do solo é determinada pela forma como se arranjam suas partículas sólidas, observou-se que a granulometria da fração areia é um dos fatores importantes para a compreensão de seu comportamento.

Abstract

The lands where sandy soils predominate are distributed in extensive areas in all regions of Brazil, being widely used in areas of intensification of agriculture. The use of these soils in agricultural systems has an effect on their characteristics and attributes. With the objective of evaluating the consequences of some of the physical properties of these soils, an area located in an agricultural property in the municipality of Guaraí (TO) was selected. In soil samples collected in 18 trenches, the texture, aggregate stability, flocculation degree, porosity, soil bulk density, saturated hydraulic conductivity, infiltration and water retention in the soil were evaluated. Soils evaluated do not present any of the physical-water parameters analyzed below the limits of physical degradation to the soil, even some of them being close, such as the MPD that varied from 1.90 to 0.55 mm. The Stability Index of Aggregates ranges from 50 to 70%, the density from 1.34 to 1.63 g cm⁻³. The variation of the functional porosity (macroporosity) between the areas of soybean and Cerrado is very marked, as well as the variation of the hydraulic conductivity in the Cerrado. As the water movement in the soil is dependent on the soil structure and soil porosity is determined by the way its solid particles are arranged, it was observed that the granulometry of the sand fraction is one of the important factors for the understanding of its behavior.

Introdução

As terras onde predominam solos de textura leve ou arenosos distribuem-se em extensas áreas, em todas as regiões do Brasil e, em geral, são consideradas marginais em relação à sua aptidão agrícola, pois a maior participação da fração areia em sua composição seria um fator limitante. Apesar das restrições existentes são intensamente utilizadas na produção de grãos e fibras e na pecuária.

Solos de textura leve são aqui considerados os que apresentam até a profundidade de 75 cm as classes texturais areia ($> 850 \text{ g kg}^{-1}$ de areia), areia-franca (700 a 850 g kg^{-1} de areia) e franco-arenosa (500 a 700 g kg^{-1} de areia e $< 200 \text{ g kg}^{-1}$ de argila). Esses solos ocupam área significativa do território brasileiro, como os Neossolos Quartzarênicos que ocupam cerca de 20% da área do bioma Cerrados, em especial nas áreas de fronteira agrícola - MS, MT, TO, PI, MA e BA (DONAGEMMA et al., 2016).

Fontana et al. (2016) relatam que a intensificação do uso desses solos nos sistemas agrícolas comumente tem efeito sobre suas características, com aparecimento de camadas compactadas limitantes ao desenvolvimento radicular, das taxas de infiltração de água, da aeração e da permeabilidade dos solos. A redução nos espaços entre partículas aumenta a coesão do solo e dificulta seu preparo. Os autores observaram na região de Luís Eduardo Magalhães, no oeste da Bahia, latossolos que possuem uma estrutura maciça, com um horizonte genético adensado, que, sob uso agrícola, tornam-se mais compactados, espessos, formando torrões quando revolvidos.

No entanto, solos de textura leve com algumas particularidades têm proporcionado altas produtividades, aliadas à facilidade nas operações de manejo, devido às suas características físicas, com a adoção correta e integral dos sistemas conservacionistas de manejo do solo e da água.

Na ampla revisão sobre solos de textura leve, Donagemma et al. (2016) relatam que “o entendimento do funcionamento desses solos depende do estabelecimento de critérios distintivos sobre: dinâmica da matéria orgânica; teor e mineralogia da fração argila; teores de areia grossa e de areia total, em relação aos de areia fina; diâmetro médio da fração areia, e capacidade de retenção de água. O estabelecimento desses critérios pode contribuir para o zoneamento e para o manejo conservacionista e da fertilidade dos solos de textura leve, bem como de seu potencial agrícola. Sistemas integrados de produção, como os de integração lavoura-pecuária e lavoura-pecuária-floresta, além do plantio direto com rotação de culturas, dos plantios florestais mistos com espécies leguminosas, e do uso de adubos verdes e cultivos de cobertura, são relevantes para o manejo adequado desses solos”.

Diante do exposto o objetivo desse trabalho foi avaliar os atributos físicos de duas classes de solos com diferentes usos (Cerrado e área agrícola), utilizando para tanto parâmetros considerados como indicadores de sua qualidade, no município de Guaraí, TO.

Material e Métodos

Área de estudo

A propriedade estudada foi a fazenda Bom Jesus, localizada no município de Guaraí (TO), nas coordenadas 8°42'32" S e 48°14'45" W. O clima regional é classificado como tropical com duas estações bem definidas: uma seca (maio a setembro) e outra chuvosa (outubro a abril), com pluviosidade média anual em torno de 1.900 mm e temperatura média de 27°C, sem grandes amplitudes térmicas durante o ano (CLIMATE-DATA ORG, 2017).

A litologia compreende as rochas sedimentares pertencentes ao Membro Superior da Formação Motuca do Grupo Balsas de idade Carbonífero

Superior-Triássico Inferior (VAZ et al., 2007). Melo e Prade (1968) propuseram a subdivisão dessa formação em três membros: o Membro Inferior, constituído essencialmente por arenitos finos a muito finos de coloração vermelho-tijolo; o Membro Médio, formado por intercalações de siltitos com bancos carbonáticos, em geral sucedidos por camadas mais espessas de gipsita e/ou anidrita; e o Membro Superior, constituído predominantemente por arenitos muito finos a siltitos vermelhos (Figura 1). A sedimentação Motuca é interpretada como um sistema desértico com lagos associados de idade Permotriássica (ABRANTES JÚNIOR; NOGUEIRA, 2013; CREPANI; DIAS, 2004).

Os solos de maior ocorrência em Tocantins são os Latossolos (26,2%), os Plintossolos (22,3%), os Argissolos (20,3%) e os Neossolos Quartzarênicos (16,8%) ocupando mais de 90% da área do estado (IBGE, 2007a). Os solos avaliados foram classificados como Latossolo Vermelho Distrófico psamítico, nos pontos mais elevados da paisagem (292 m de altitude), Neossolo Quartzarênico latossólico na média vertente (280 m de altitude) e Neossolo Quartzarênico Órtico típico (Figura 2) na baixa (262 m de altitude).

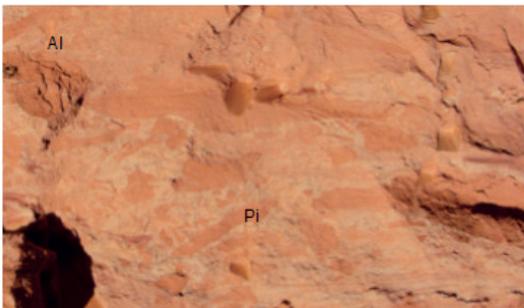


Figura 1: Deformação dúctil nas fácies Al e Pl da base da Formação Mutuca. O topo é constituído por arenitos finos a muito finos de coloração vermelho-tijolo. Al: Arenito fino de coloração avermelhada. Pl: Pelito vermelho laminado, com influxos esporádicos de areias, brecha com clastos tabulares. Fonte: Abrantes Júnior e Nogueira (2013).



Figura 2: Base da trincheira G9 que pode ser comparada à brecha da Figura 1, agora pedogenizada. Neossolo Quartzarênico órtico típico. Foto: Meire Correia da Silva Ferrari.

O relevo da área é suave ondulado e está estabelecido no limite entre as províncias geomorfológicas da Planalto do Interflúvio Araguaia-Tocantins (327Dt11) e a Depressão do Médio Tocantins (329 Dt11), ambos modelados de dissecação marcados por controle estrutural. Apresentam um conjunto de relevo de formas tabulares com feições de rampas suavemente onduladas esculpidas em rochas sedimentares ou cristalinas, denotando controle estrutural, com vertentes de baixa a média declividade (IBGE, 2007b).

A vertente selecionada para o desenvolvimento do trabalho possui, de um lado, um cerrado intocado e, do outro, estava cultivada com soja em sistema de plantio direto, durante a primeira ida a campo. Na segunda campanha estava plantada com aveia, crotalária e milho, em substituição à soja. A vertente tem 1,98 km de comprimento, com altitude variando de 262 a 292 m e declividade média de 2,2%.

Coleta de amostras e análises laboratoriais

A coleta das amostras dos solos foi feita em nove trincheiras localizadas sob Cerrado. No terço superior (trincheiras G1, G2 e G3 a 292 m de altitude), no terço médio (trincheiras G4, G5 e G6 a 280 m de altitude) e no terço inferior da encosta (trincheiras G10, G11 e G12 a 262 m de altitude) e em nove trincheiras vizinhas ao Cerrado com a mesma distribuição das anteriores, na área cultivada com soja por 8 anos em semeadura direta (cultivo mínimo, com rotação de cultura), com palhada de milho. Na área de soja a amostragem ocorreu logo após a colheita que foi realizada em triplicata em cada trincheira; o espaçamento lateral entre aquelas que se encontravam na mesma cota altimétrica foi de 20 m. Para as análises que requerem amostras indeformadas, estas foram coletadas em anéis de Kopecky, e em saco plástico para as restantes. As amostras foram coletadas nas camadas de 0-5, 5-10, 10-20, 20-40, 40-60, 60-80 e 80-100 cm.

Foram avaliadas a textura, a estabilidade dos agregados, o grau de flocculação das argilas, a porosidade, a densidade aparente (D_s), a condutividade hidráulica saturada (K_s) do solo e a retenção da água no solo.

Para a avaliação do grau de flocculação da argila e da textura do solo foi utilizado o método da pipeta (CAMARGO et al., 2009). Foi realizado o fracionamento da areia em: muito grossa, grossa, média, fina e muito fina, segundo o USDA (ESTADOS UNIDOS, 2017).

A determinação da estabilidade dos agregados em água foi feita segundo Embrapa (CLAESSEN, 1997), utilizando o aparelho de oscilação vertical (YODER, 1936). Os valores obtidos foram usados para o cálculo do diâmetro médio ponderado (DMP), da porcentagem de agregados estáveis $> 2,00$ mm (AGRI) e do índice de estabilidade de agregados da classe $< 0,250$ mm (IEA).

Para o cálculo do IEA foi utilizada a equação adaptada por Perin et al. (2002). O DMP, o AGRI e o IEA foram obtidos segundo as fórmulas:

$DMP = \sum (x_i \cdot w_i)$, em que x_i é o diâmetro médio das classes (mm) e w_i é a proporção de cada classe em relação ao total (WENDLING et al., 2005).

$AGRI = w_{i>2} \times 100$, onde w_i é a proporção de cada classe em relação ao total (g) e $w_{i>2}$ representa a proporção de agregados $> 2,00$ mm;

$IEA = (P_s - w_{p0,250} - \text{areia}) / (P_s - \text{areia}) \times 100$, onde P_s é a massa da amostra seca (g), $w_{p0,105}$ é a massa dos agregados da classe $< 0,250$ mm (g). Para o cálculo do IEA foi subtraída a porcentagem de areia, partindo-se do princípio de que partícula unitária não é agregado (PALMEIRA et al., 1999).

A porosidade macro, micro e total, assim como a densidade aparente foram avaliadas segundo a Embrapa (CLAESSEN, 1997).

Para a determinação da condutividade hidráulica saturada (K_s), as amostras coletadas em anéis de Kopecky foram previamente saturadas e colocadas em permeâmetro de carga constante e a medida quantitativa da condutividade hidráulica foi obtida através da aplicação da equação de Darcy após 6 horas, ou quando os valores atingiam a estabilidade (CLAESSEN, 1997).

As curvas de retenção de água no solo foram obtidas após a determinação do conteúdo de água em diferentes pontos de tensões (6, 10, 30, 50, 100, 300, 500, 1.500 kPa), nas câmaras ou painéis de Richards, para cada triplicata das camadas coletadas nas trincheiras G5 (Cerrado) e G8 (Soja), ambas na média vertente. As curvas foram ajustadas usando-se o modelo matemático de Genuchten (1980), que permite a estimativa dos valores de conteúdo de água no solo para qualquer potencial mátrico, inclusive os que não foram utilizados no procedimento de obtenção da curva.

A quantidade de água disponível (AD) às plantas foi obtida pela diferença entre o conteúdo de água na capacidade de campo (10 kPa para solos de textura arenosa) e o conteúdo no ponto de murcha permanente (1.500 kPa) (CASSEL; NIELSEN, 1986; RIVERS; SHIPP, 1972).

Para avaliar a infiltração da água no solo o teste de infiltração foi efetuado com o simulador de chuva. Para descrever o processo de infiltração gerado nos solos de Guaraf escolheu-se o modelo de Smith (1972).

A taxa de infiltração total foi calculada por meio da equação: $i = (P - c) (t_e/t)^b + c$ para $t < t_e$, onde i representa a taxa de infiltração em um tempo t , P é a intensidade da chuva aplicada, t é o tempo inicial e t_e o tempo de empoçamento, b é um parâmetro de ajuste e c pode ser identificado como a condutividade hidráulica do solo saturado (K_s) da camada superior do solo, saturada ou não, dependendo das condições de superfície e subsuperfície. A taxa de infiltração em cada tempo é conseguida pela diferença da intensidade aplicada (P) menos a taxa de enxurrada (R): $I = P - R$, conforme Souza (2004).

Análise dos dados

Dada a homogeneidade dos resultados do teor de argila e da condutividade hidráulica (K_s), verificada pelo desvio padrão das variáveis acima (Tabela 1), as trincheiras foram agrupadas por posição na paisagem (terço superior, médio e inferior da vertente) e por uso, resultando em três pontos no Cerrado e três na Soja. As trincheiras G1, G2 e G3 tornaram-se Cerrado 1, as trincheiras G4, G5 e G6 foram agrupadas em Cerrado 2 e as trincheiras G10, G11 e G12 em Cerrado 3. As trincheiras da área cultivada foram agrupadas da mesma maneira (G7, G7* e G7** tornaram-se Soja 1, G8, G8*, G8** Soja 2 e G9, G9*, G9** Soja 3). Com isso, passou-se a utilizar, para a caracterização dos atributos físicos desses solos, a média de 9 amostras (três trincheiras x resultado das triplicatas das coletas).

Tabela 1: Desvio padrão do teor de argila e da K_s nos três pontos de coleta de amostras

Camada (cm)	Desvio Padrão					
	Cerrado 1	Cerrado 2	Cerrado 3	Cerrado 1	Cerrado 2	Cerrado 3
	% de argila			Condutividade Hidráulica		
0-5	0,84	0,85	0,62	1,59	0,84	0,62
5-10	0,88	0,65	0,60	1,78	0,81	0,60
10-20	0,05	0,38	0,94	0,81	0,18	0,94
20-40	0,64	1,37	1,09	0,38	1,11	1,09
40-60	0,61	0,76	0,93	0,51	0,95	0,93
60-80	0,88	0,77	0,50	0,44	1,07	0,50
80-100	0,79	0,15	0,45	0,59	1,56	0,45

Resultados e Discussão

Os solos avaliados enquadram-se nas classes Latossolo Vermelho Distrófico psamítico, Neossolo Quartzarênico latossólico e Neossolo Quartzarênico Órtico típico. Os primeiros (Cerrado 1 e Soja 1) apresentam horizonte A moderado com estrutura granular forte, bem diferenciado do horizonte B que tem como sua principal característica a estrutura fraca e microagregada. Os Neossolos apresentam sequência A-C, diferenciando-se entre si pelo teor de argila e pela estrutura pequena e granular no horizonte C do Cerrado 2 e Soja 2. Nos típicos (Cerrado 3 e Soja 3) a estrutura é de grãos de quartzo soltos.

A partir dos resultados da análise granulométrica, podem ser definidas três classes texturais de solo:

1. Entre 100 e 160 g kg⁻¹ de argila em Cerrado 1, que passa de areia franca em superfície a franco-arenosa em profundidade;
2. Entre 80 e 110 g kg⁻¹ de argila em Cerrado 2.
3. Entre 40 e 60 g kg⁻¹ de argila em Cerrado 3, o que coloca os dois últimos na classe areia. A área de soja está toda na classe areia, mas também com aumento de argila em profundidade (Tabela 2).

A quantidade de areia total varia de 880 a 940 g kg⁻¹, em superfície, e de 900 a 800 g kg⁻¹, em profundidade (Figura 3). A fração areia é constituída essencialmente por quartzo, com aproximadamente 50% do total na fração areia fina (0,25 – 0,1mm) (Tabela 2). O somatório das frações areia muito grossa e areia grossa nunca ultrapassaram 50 g kg⁻¹. Nas três trincheiras de Soja 3, onde foram feitas tradagens para a coleta do material mais profundo há um aumento rápido da areia média que pode chegar a 640 g kg⁻¹, a 1,40m de profundidade.

Ao analisar a Tabela 2 observa-se que a argila aumenta em profundidade em todos os pontos amostrados, fato esse já observado por Santana e Lacerda (2008) em solos arenosos no estado do Tocantins desenvolvidos

sobre a mesma litologia na região de Santa Tereza do Tocantins, TO. Esses autores, assim como nós, observaram também que a argila diminui, de maneira rápida, ao longo da vertente, dos pontos de cotas mais altas (terço superior da vertente), para as mais baixas (terço inferior da vertente). Por outro lado, a areia fina é praticamente constante nos três locais amostrados, variando de 460 a 570 g kg⁻¹.

A variação em profundidade do teor de argila tanto pode estar correlacionada à sua migração e acúmulo em profundidade, como à variação granulométrica do material de origem, devido à presença de níveis silto-argilosos, ou pelíticos, dentro da sequência sedimentar arenítica. Como o grau de floculação é alto (Tabela 3), a hipótese de migração da argila em profundidade não se sustenta, contudo, em paisagens com relevo suave ondulado, a remoção lateral seletiva da argila é um processo atuante que ocorre, em maior ou menor grau, em todos os solos.

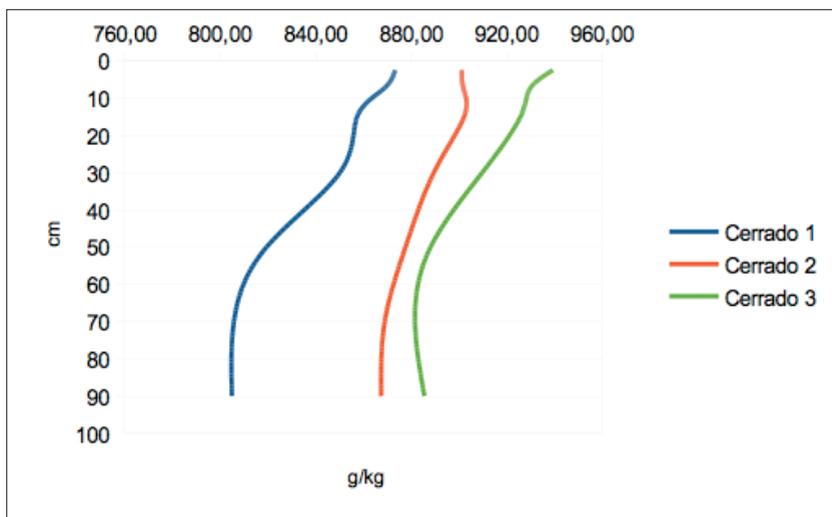


Figura 3: Variação em profundidade da areia total no Cerrado. Guaraí/TO

Para a variação do teor de argila do topo para a base da vertente, pode ser levantada a hipótese que a movimentação tectônica ocorrida na região desde, pelo menos, o Paleozóico (SPISILA, 2011) colocou lado a lado extratos sedimentares de textura diferentes, provocando essa variação lateral abrupta na textura do solo (Figura 3). O mapa geológico do estado de Tocantins (IBGE, 2007c) mostra uma grande falha normal que corta a região com direção N-S, próxima da área aqui apresentada e ainda segundo Spisila (2011) todas as formações da zona de Sedimentação do Parnaíba, incluindo a Formação Motuca, sofreram deformações tectônicas (Figura 1).

Os resultados relativos ao Diâmetro Médio Ponderado (DMP) (Tabela 3) mostram que há uma diminuição deste em profundidade, sendo que os maiores DMP ocorreram até a profundidade aproximada de 0,40 m sob Cerrado, assim como dos pontos de maior para de menor altitude, ou seja, há uma relação inversa com o aumento de argila em profundidade e uma relação direta com a diminuição do teor de argila com a altitude. Outra explicação é a diminuição do teor de carbono e de atividade de raízes, diminuindo, assim, a agregação.

Os solos dos pontos Soja 2 e 3 têm seus DMP muito próximos do valor limite de 0,5 mm, proposto por Tisdall e Oades (1982). Seriam, então, pouco resistentes ao esboroamento e à dispersão de seus agregados. Em contrapartida, os solos sob Cerrados e da Soja 1 seriam eficientes na manutenção da porosidade e aeração do solo, no crescimento das plantas e da população microbiana, na infiltração de água e no controle dos processos erosivos, como proposto por Oades (1984) e Dexter (1988).

A diminuição do DMP em todos os locais avaliados e do Índice de Estabilidade de Agregados (IEA) nos Cerrados 1 e 2 com a profundidade (Tabela 3), apesar do aumento da argila, pode indicar que os agentes cimentantes seriam principalmente de origem biológica, como matéria orgânica, raízes ou hifas, conforme Tisdall e Oades (1982), Oades (1984).

Brady e Weil (2008) dão ênfase ao fato de os exsudatos das raízes e microrganismos serem resistentes à dissolução em água, favorecendo a manutenção da estabilidade dos agregados. Além disso, a ação mecânica das raízes contribui no agrupamento dos microagregados.

Comparando-se os resultados obtidos nas áreas sob Cerrado com as de cultura (Tabela 3), nota-se que o DMP diminui na soja, até próximo aos 40 cm de profundidade, para aproximar-se dos valores obtidos nos cerrados, em profundidade, onde os efeitos dos tratos culturais não podem ser sentidos, o que é confirmado por diversos estudos como os de Tisdall e Oades, (1982), Haynes e Beare (1996) e Souza et al. (2004).

Já o IEA (Tabela 3) representa uma medida da agregação total do solo e não considera a distribuição por classes de agregados; logo, quanto maior a quantidade de agregado <0,25 mm, menor será o IEA e também o AGRI com diâmetro superior a 2 mm.

À exceção do Cerrado 3, cujo IEA é caracterizado pela baixa variabilidade ao longo do perfil do solo (76 a 85%) e possuem também os maiores IEA, os outros dois locais têm IEA diminuindo em profundidade e muito próximos entre si.

Diferentemente do IEA, que varia aumentando dos solos com menores teores de argila para aqueles com maiores teores, os valores encontrados para o AGRI invertem-se, diminuindo, como já era de se esperar, pois são aqueles que possuem menor DMP.

No que diz respeito à taxa de K_s (Tabela 4), é interessante notar que o Cerrado 3, que apresenta os maiores teores de areia total e de macroporosidade, é aquele que apresenta a menor taxa de K_s . Talvez isso seja consequência de um aumento da densidade aparente do solo a partir dos 5 cm de profundidade.

No conjunto, os valores de K_s podem ser considerados bons, já que para Klute e Dirksen (1986) os valores considerados baixos estariam entre 0,09 a 0,54 cm h^{-1} . As taxas de K_s encontradas (Tabela 4) não são tão

altas quanto àquelas de Ribeiro et al. (2007), que ao trabalhar com seis classes de solos da região de Lavras - MG, observaram em Neossolo Quartzarênico (RQ) com 907 g kg^{-1} de areia total e 377 g kg^{-1} de areia fina, um valor de condutividade hidráulica da ordem de $42,10 \text{ cm h}^{-1}$.

No caso em estudo, onde o teor de areia fina chega a ultrapassar 550 g kg^{-1} , a K_s é bem menor, assim como a macroporosidade (Tabelas 2, 4 e 5). Algumas áreas alcançam valores próximos ou menores que 10%, limite definido por Grable e Siemer (1968) como porosidade de aeração mínima, para que a difusão de oxigênio atenda à demanda do sistema radicular. Como o movimento da água no solo está relacionado com suas propriedades hidráulicas que são extremamente dependentes da estrutura do solo e como a porosidade do solo é determinada pela forma como se arranjam suas partículas sólidas, observa-se que há indícios que as partículas sólidas tendem estar arranjadas em íntimo contato, já que a assembleia de grãos de areia fina proporcionaria uma maior imbricação dos grãos entre si, justificando os menores valores de K_s e de macroporosidade encontrados para estes solos.

Os valores de densidade do solo encontrados não diferem muito entre a área de soja e aquelas sob Cerrado (Tabela 5), que se encontra entre 1,39 e $1,59 \text{ g cm}^{-3}$. De acordo com a USDA (ESTADOS UNIDOS, 2017) o limite crítico da densidade aparente de solos arenosos seria de $1,60 \text{ g cm}^{-3}$. Considerando esse valor, constata-se que algumas camadas, em especial nas áreas de soja, já estão próximas disso. As maiores D_s encontram-se sob Cerrado, mas em profundidade, já que as camadas mais profundas, normalmente, contêm menor teor de carbono orgânico (ZINN et al., 2012), com agregados de menor tamanho, que permitem melhor seu empacotamento. Há ainda o adensamento em profundidade provocado pelo peso das camadas suprajacentes (MANRIQUE; JONES, 1991). Observou-se também que há uma camada compactada na área de soja, entre 5 e 40 cm de profundidade, provavelmente provocada pelo manejo agrícola.

Em solos não-cultivados, a D_s geralmente apresenta variações decorrentes basicamente das diferenças na estrutura do solo, mais especificamente da macro e microporosidade, que por sua vez são função da textura, do teor de carbono orgânico e da mineralogia do solo (FERREIRA, 2010).

A porosidade total e a macroporosidade (Tabela 5) diminuem com a profundidade pelas mesmas razões que a D_s aumenta (Tabela 4). Na área cultivada essa diminuição é mais evidente, em especial, abaixo dos 20 cm de profundidade, que caracterizaria o horizonte compactado, onde a microporosidade é superior àquelas do Cerrado (Tabela 5).

Nas camadas superficiais, geralmente, há maior variação na densidade do solo devido ao manejo, o que pode propiciar a formação de poros com diâmetros maiores, os quais permitem maiores valores de K_s , porém estes poros podem não influenciar muito a densidade do solo (MESQUITA; MORAIS, 2004).

A macroporosidade se correlaciona de diversas maneiras com K_s . Na Tabela 6, observa-se tanto correlações altas como baixas, positivas e negativas para as mesmas variáveis. A causa disso, segundo Mesquita e Moraes (2004), seria a presença de um “megaporo” que numa amostra de solo afetará pouco a macroporosidade, mas muito sua K_s . Como a densidade de fluxo que passa por um poro é proporcional ao quadrado de seu diâmetro (Lei de Poiseville), é “fácil” obter valores discrepantes (altos) para K_s (devido a um “megaporo”), enquanto a macroporosidade não apresentará a mesma tendência.

Tabela 2: Teores de argila, areia fina e de areia total (média de nove amostras por camada).

Camada (cm)	Argila (g kg ⁻¹)				Areia Fina (g kg ⁻¹)				Areia Total (g kg ⁻¹)									
	Cerr.1 292 m *	Cerr.2 280 m *	Cerr.3 262 m *	Soja 1 292 m	Soja 2 281 m	Soja 3 257 m	Cerr.1 292 m	Cerr.2 280 m	Cerr.3 262 m	Soja 1 292 m	Soja 2 281 m	Soja 3 257 m	Cerr.1 292 m	Cerr.2 280 m	Cerr.3 262 m	Soja 1 292 m	Soja 2 281 m	Soja 3 257 m
0-5	96,19	79,78	37,26	84,09	62,93	38,37	475,39	545,82	491,37	567,84	441,28	465,65	873,17	901,18	939,23	891,12	918,98	939,29
5-10	101,20	86,84	43,34	86,42	60,02	40,54	514,47	537,49	440,69	513,05	455,21	460,88	868,37	901,90	929,61	881,56	927,07	941,51
10-20	103,34	87,46	48,18	86,26	55,63	51,72	506,45	567,64	456,90	553,91	446,42	470,79	857,23	902,10	925,70	891,14	939,53	936,87
20-40	120,04	95,39	60,20	96,00	63,10	56,21	508,68	577,38	462,48	596,87	387,78	492,21	850,04	889,43	909,70	874,61	933,16	928,08
40-60	140,93	99,72	65,24	123,72	69,27	57,54	472,24	554,02	478,13	501,82	426,92	555,41	819,34	877,54	888,06	840,38	917,31	927,51
60-80	153,59	101,25	63,23	143,78	74,26	58,36	466,95	560,18	445,72	571,64	452,37	602,72	805,67	868,85	881,52	874,64	911,24	924,98
80-100	156,43	109,03	67,51	152,98	89,45	56,85	470,89	545,44	448,73	590,66	436,40	614,47	804,83	867,34	885,47	878,27	895,33	920,37

* Altitude do ponto de coleta

Tabela 3: Diâmetro Médio Ponderado (DMP), Índice de Estabilidade de Agregados (IEA) e porcentagem de agregados estáveis > 2,00 mm (AGRI), sob Cerrado (Cerr.) e Soja (média de doze amostras).

Camada (cm)	DMP (mm)			IEA (%)						AGRI (%)								
	Cerr.1 292 m*	Cerr.2 280 m*	Cerr.3 262 m*	Soja 1 292 m*	Soja 2 280 m*	Soja 3 262 m*	Cerr.1 292 m*	Cerr.2 280 m*	Cerr.3 262 m*	Soja 1 292 m*	Soja 2 280 m*	Soja 3 262 m*	Cerr.1 292 m*	Cerr.2 280 m*	Cerr.3 262 m*	Soja 1 292 m*	Soja 2 280 m*	Soja 3 262 m*
0-5	1,86	1,66	1,34	1,5	1,15	0,69	65,75	71,02	85,99	47,25	78,92	85,28	33,14	24,07	17,97	22,35	14,5	5,3
5-10	2,18	1,86	1,90	1,39	0,70	0,75	71,50	67,64	83,00	67,86	78,42	83,09	36,56	29,31	20,85	19,24	4,0	6,9
10-20	2,30	1,91	1,49	0,87	0,72	0,70	67,49	66,51	80,09	58,44	82,15	83,51	33,39	30,17	20,70	8,46	4,9	2,0
20-40	1,94	1,91	1,33	1,71	0,73	0,82	69,51	69,27	76,72	61,17	81,33	84,01	30,68	33,91	17,95	26,64	3,0	2,6
40-60	1,67	1,21	0,77	1,32	0,64	0,76	61,63	58,57	76,47	61,45	81,27	80,02	23,76	15,52	6,79	18,48	1,7	1,7
60-80	1,5	0,92	0,64	0,84	0,66	0,55	61,97	58,99	78,98	50,36	77,84	76,21	21,44	9,179	4,37	8,28	2,5	3,1
80-100	1,00	0,78	0,60	0,87	0,80	0,56	55,40	58,68	80,51	53,43	82,30	71,11	27,38	5,84	6,33	9,11	6,0	2,4

* Altitude do ponto de coleta

Tabela 4: Grau de flocculação da argila, condutividade hidráulica saturada (K_s) e densidade aparente do solo (Ds) (média de 12 amostras).

Camada (cm)	Grau de flocculação da argila (%)						K_s (cm h ⁻¹)						Ds g cm ⁻³					
	Cerr. 1 292 m*	Cerr. 2 280 m*	Cerr. 3 262 m*	Soja 1 292 m*	Soja 2 280 m*	Soja 3 262 m*	Cerr. 1 292 m*	Cerr. 2 280 m*	Cerr. 3 262 m*	Soja 1 292 m*	Soja 2 280 m*	Soja 3 262 m*	Cerr. 1 292 m*	Cerr. 2 280 m*	Cerr. 3 262 m*	Soja 1 292 m*	Soja 2 280 m*	Soja 3 262 m*
0-5	88,30	85,90	83,18	86,37	84,89	80,43	7,26	5,67	2,03	5,41	5,47	6,89	1,34	1,41	1,39	1,35	1,41	1,53
5-10	91,58	87,24	77,60	87,91	88,52	77,45	3,45	5,86	2,16	2,67	2,06	6,67	1,38	1,43	1,58	1,47	1,47	1,61
10-20	92,79	89,11	79,75	84,09	86,55	85,35	2,82	5,89	2,23	2,20	3,52	3,43	1,47	1,50	1,57	1,60	1,52	1,63
20-40	91,55	87,96	80,31	88,49	87,72	74,36	2,72	5,40	2,92	2,16	4,52	4,85	1,51	1,53	1,57	1,56	1,61	1,60
40-60	92,47	87,67	87,79	90,06	88,43	79,18	3,50	5,65	2,31	2,38	5,85	6,58	1,50	1,55	1,53	1,52	1,55	1,52
60-80	93,33	88,64	92,41	92,62	86,07	84,29	3,34	5,64	2,60	2,61	6,48	5,98	1,51	1,59	1,49	1,52	1,57	1,65
80-100	93,22	90,70	91,61	92,88	90,60	91,51	4,04	5,76	2,98	3,62	6,78	5,27	1,51	1,60	1,45	1,50	1,56	1,57

* Altitude do ponto de coleta

Tabela 5: Porosidade Total, Macroporosidade e Microporosidade.

Camada (cm)	Porosidade Total (%)					Macroporosidade (%)					Microporosidade (%)							
	Cerr. 1 292 m*	Cerr. 2 280 m*	Cerr. 3 262 m*	Soja 1 292 m*	Soja 2 280 m*	Soja 3 262 m*	Cerr. 1 292 m*	Cerr. 2 280 m*	Cerr. 3 262 m*	Soja 1 292 m*	Soja 2 280 m*	Soja 3 262 m*	Cerr. 1 292 m*	Cerr. 2 280 m*	Cerr. 3 262 m*	Soja 1 292 m*	Soja 2 280 m*	Soja 3 262 m*
0-5	41,20	44,28	42,29	44,91	35,45	31,36	23,74	21,97	29,32	14,61	11,92	24,92	17,79	22,31	12,97	30,30	23,53	16,43
5-10	42,37	41,56	40,45	46,80	39,19	38,62	21,69	19,72	26,27	12,49	15,74	13,47	18,01	21,84	14,18	34,31	23,45	25,15
10-20	39,54	40,04	37,63	36,39	39,20	37,04	18,73	16,53	19,22	8,83	13,97	19,63	20,81	23,51	18,42	27,56	25,23	17,41
20-40	39,4	34,96	36,87	35,67	35,70	37,76	16,23	13,15	19,63	9,90	13,06	14,24	23,16	21,81	17,24	25,77	22,64	23,51
40-60	36,52	35,59	36,10	35,02	33,81	36,30	12,45	13,35	16,65	9,45	12,86	13,19	24,07	22,25	19,44	25,57	20,95	23,11
60-80	36,72	32,39	33,34	35,69	33,01	31,79	11,39	13,11	15,14	9,09	12,29	11,16	25,32	18,35	18,19	26,60	20,72	20,64
80-100	36,86	33,61	32,71	36,07	33,45	31,11	11,22	14,26	15,90	10,34	11,93	11,91	25,64	19,35	16,81	25,73	21,52	19,20

* Altitude do ponto de coleta

Tabela 6: Correlação entre condutividade hidráulica saturada (K_s), macroporosidade e densidade aparente do solo, e entre macroporosidade e densidade, no Cerrado e na Soja.

Variáveis	Correlação					
	Soja 1	Soja 2	Soja 3	Cerrado 1	Cerrado 2	Cerrado 3
K_s X Macroporosidade	0,82	-0,94	-0,63	0,50	0,44	-0,69
K_s X Densidade	-0,90	0,30	-0,49	-0,73	-0,33	0,77
Macroporosidade X Densidade	-0,92	-0,16	0,07	-0,95	-0,98	-0,97

A K_s é positiva e fortemente correlacionada com a macroporosidade (0,82) e inversamente à densidade (-0,90) em Soja 1 (Tabela 6). Em Soja 2 e 3 a correlação é de forte a moderada e negativa. As correlações positivas indicam que quanto maior for a macroporosidade maior será a K_s , o que é esperado. Já no caso da Soja 2 e 3, a correlação negativa indica que o aumento da porosidade não provocou aumento na K_s como seria de se esperar. Como a condutividade hidráulica é dependente da camada de menor permeabilidade, verifica-se, pela Tabela 4, que houve aumento da densidade entre os 5 a 40 cm de profundidade.

Verificou-se, também, que os valores de macroporosidade têm uma correlação fraca com a K_s nos solos do cerrado, enquanto a correlação entre densidade e macroporosidade é alta e negativa (Tabela 6).

A determinação da curva de retenção de água do solo, que representa a relação entre o teor de água e a energia com a qual ela está retida, é essencial no estudo das relações solo-água. Vários modelos empíricos (BROOKS; COREY, 1964; GENUCHTEN, 1980; KASTANEK; NIELSEN, 2001; PRUNTY; CASEY, 2002; ROSSI; NIMMO, 1994) têm sido propostos e empregados para a descrição da curva de retenção a partir de um determinado número de pontos medidos. Segundo Kastanek e Nielsen (2001), as funções empíricas continuam sendo usadas para ajustar as curvas de retenção de água do solo porque ainda não foram desenvolvidas expressões matemáticas teóricas capazes de representar adequadamente essa relação físico-hídrica.

O teor de água no solo sob Cerrado é sempre maior do que o teor de água na área cultivada em todas as tensões aplicadas (Figuras 4 e 5), sendo que o Cerrado 2 tem em torno de 20% a mais de argila que Soja 2 (Tabela 2) e cerca de 10% a mais de areia fina.

Esses resultados estão de acordo com os obtidos por Franzmeier et al. (1960) e Rivers e Shipp (1972) que, trabalhando com solos arenosos, observaram que a quantidade de água disponível entre 6 a 600 kPa variou significativamente com a percentagem de areia muito fina e a percentagem de silte, mostrando que mesmo entre esses solos há diferenças na retenção de água, influenciada pela composição granulométrica da fração areia. Mostraram ainda que solos com maior proporção de areia muito fina têm maior conteúdo de água disponível do que o que predominava areia grossa.

Silva et al. (2006), trabalhando com solos sob Cerrado, também observaram diferenças na curva característica de retenção de água em dois Neossolos Quartzarênicos com predomínio de areia fina, com maior retenção de água nessa classe de solo, que apresenta, como os solos averiguados neste trabalho, baixos percentuais de argila.

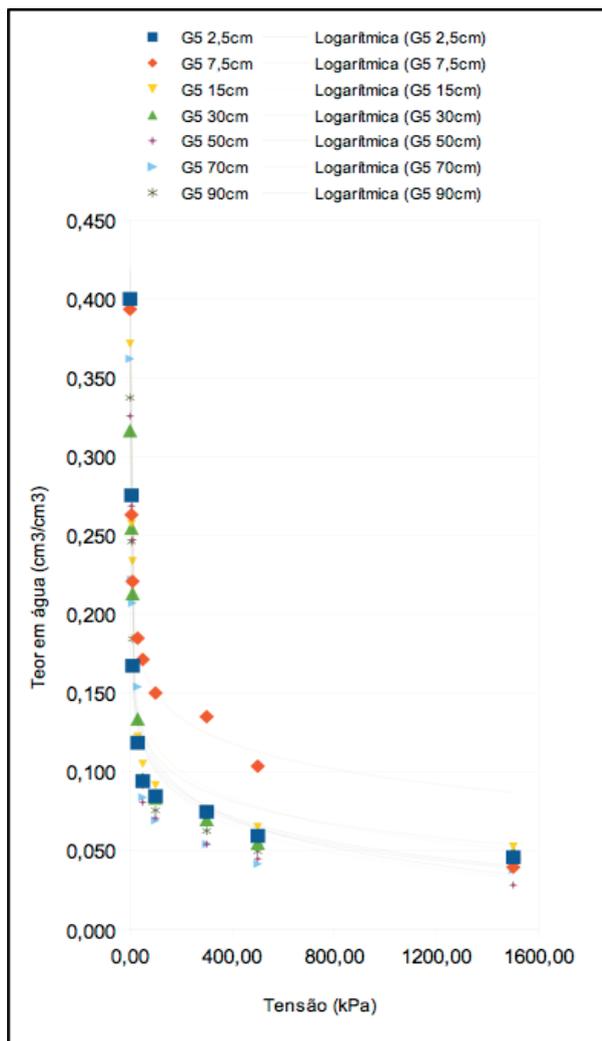


Figura 4: Curvas de retenção da água: Cerrado 2, ponto G5. Guaráf-TO.

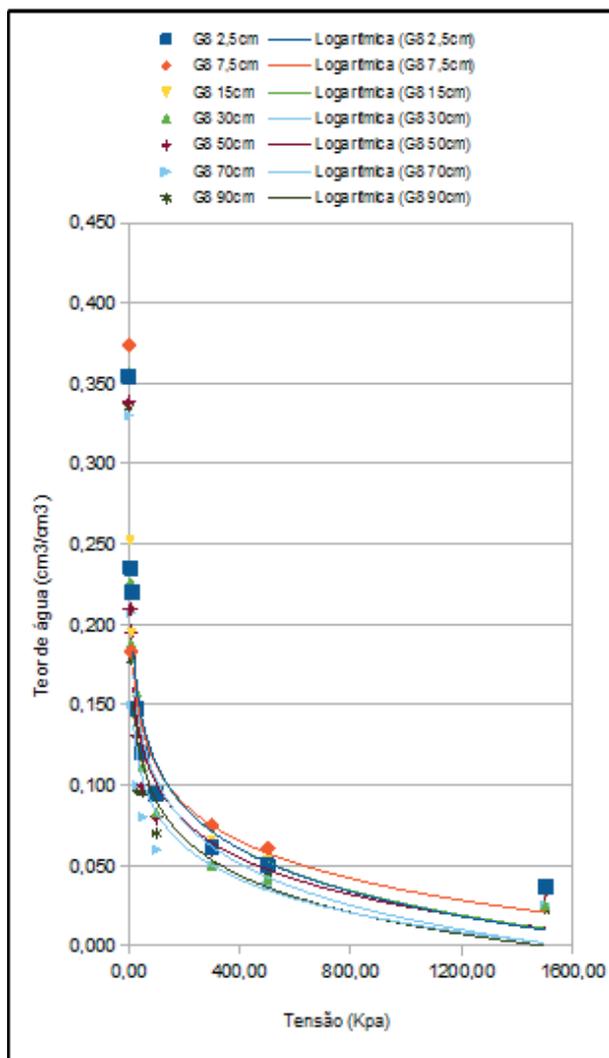


Figura 5: Curvas de retenção de água: Soja 2, ponto G8. Guaraf-TO.

Na avaliação da taxa de infiltração de água no solo, o teste com o simulador de chuvas foi feito, uma única vez, em três pontos: topo, média e baixa vertente. Os testes de infiltração foram feitos seis meses após a coleta das amostras de solos.

Os resultados obtidos na fazenda Bom Jesus mostram que o tempo de empoçamento, que é o tempo de início da chuva até a água empoçar na superfície do solo, foi de 55 minutos para o teste feito na parte mais alta do relevo, área cultivada com aveia na época do teste de infiltração (Figura 6). No terço médio da vertente, que na época estava cultivada com crotalária, o tempo de empoçamento foi de 20 minutos (Figura 7) e de 24 minutos na parte baixa, em área cultivada com milho (Figura 8).

As taxas constantes de infiltração foram para a alta, média e baixa vertente de, 58 mm h^{-1} , 46 mm h^{-1} e 72 mm h^{-1} , respectivamente. Estes dados refletem as condições de uso da terra em cada área.

A taxa final de infiltração está relacionada às condições de superfície e à camada de maior impedimento, assim como ao tempo de empoçamento. O tempo de empoçamento foi muito maior na área com aveia, antiga Soja 1 que além da proteção na superfície também tem um volumoso sistema radicular fasciculado, que agregou o solo e favoreceu a infiltração de água.

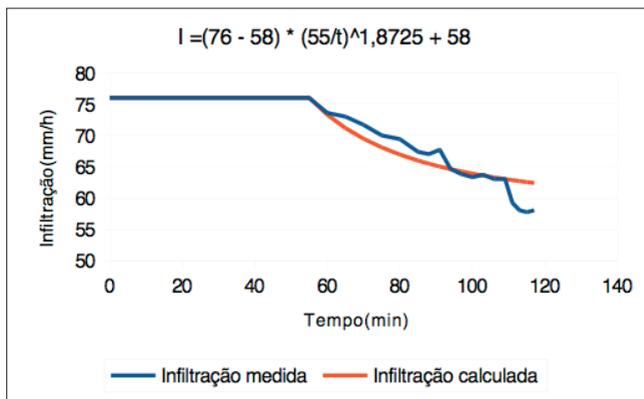


Figura 6: Teste de infiltração realizado no ponto mais alto (292m de altitude), em cultura de aveia, próximo à área do Cerrado 1. Guaraf-TO.

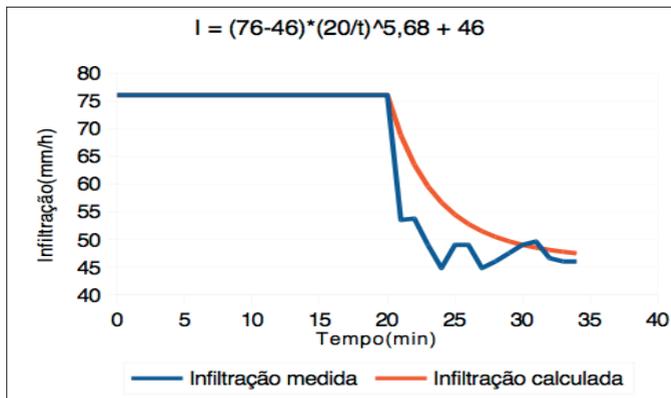


Figura 7: Teste de infiltração realizado no terço médio da vertente (280 m de altitude), em cultura de crotalaria, próximo à área do Cerrado 2. Guaraf-TO.

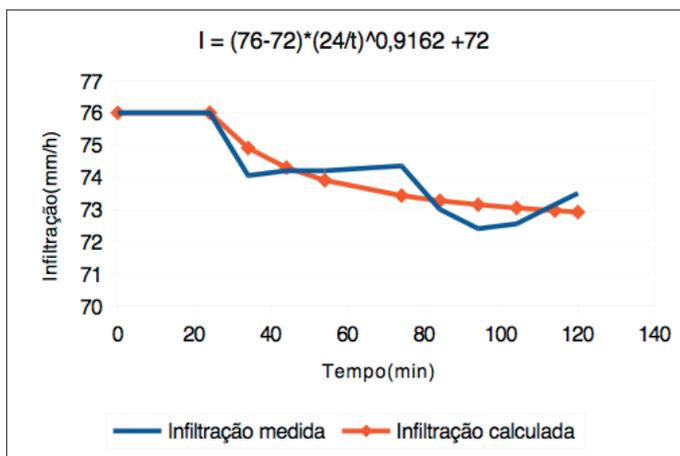


Figura 8: Teste de infiltração realizado na parte baixa da vertente (262 m de altitude), próximo à área de Cerrado. Guaraf-TO.

Conclusões

O solo, quando não revolvido, como aqueles sob Cerrado, mantém o sistema radicular conservado influenciando positivamente em sua

agregação, manutenção da porosidade, aeração e condutividade hidráulica.

A maior parte dos parâmetros físicos analisados mostra que, mesmo sendo intensamente utilizados, os solos da fazenda Bom Jesus não excedem os valores limites de danos físicos, citados ao longo do trabalho.

Os IEA variando de 50 a 70% mostram que os solos avaliados não são homogêneos em termos de agregação e que essa variabilidade lateral e em profundidade, na ordem de grandeza encontrada, indica solos instáveis, que devem ser manuseados com cuidado. Essa instabilidade dos agregados é mais acentuada nas áreas de soja.

Como a porosidade é determinada pela forma como se arranjam as partículas do solo, a granulometria da fração areia é um fator importante para a compreensão de seu comportamento.

A assembleia dos grãos de areia fina proporciona, provavelmente, uma maior imbricação (ou “empacotamento”) dos grãos entre si, justificando, assim, os menores valores de K_s e de macroporosidade encontrados para estes solos frente a outros também classificados como Neossolos Quartzarênicos.

O fracionamento da areia em diversas classes de tamanho permite conhecer melhor os solos de textura leve e assim compreender melhor seu comportamento. Contudo esse parâmetro não tem sido utilizado na classificação dos solos arenosos, mesmo podendo diferenciá-los frente ao seu uso e manejo.

Apesar da forte correlação existente entre densidade e macroporosidade, os valores mais elevados de K_s encontrados em Cerrado 1 e 2, que possuem valores muito próximos de densidade do solo, provavelmente refletem a importância da continuidade dos macroporos e da existência de megaporos para o fluxo de água na saturação; porém a explicação para isto não é clara, ou melhor, é contraposta ao que se entende sobre a influência da densidade do solo na natureza do sistema estrutural dos poros.

A partir da conclusão acima, podemos chegar a outra: as avaliações rotineiras sobre a qualidade física de um solo indicam que existe uma lacuna muito grande ainda no conhecimento do funcionamento da água no solo.

Com a modificação da porosidade provocada pelo uso do solo, a K_s também se modificaria, mas a magnitude destas modificações estruturais ocasionadas pelo manejo depende da frequência das operações de práticas agrícolas superficiais e subsuperficiais no solo.

Agradecimento

Os autores agradecem aos proprietários da fazenda Bom Jesus pela permissão de trabalhar em suas terras e pelo apoio recebido.

Referências

- ABRANTES JÚNIOR, F. R.; NOGUEIRA, A. C. R.. Reconstituição paleoambiental das formações Motuca e Sambaíba, Permo-Triássico da Bacia do Parnaíba no sudoeste do Estado do Maranhão, Brasil. **Revista do Instituto de Geociências**, v. 13, n. 3, p. 6-82, 2013.
- BRADY, N. C.; WEIL, R. **The nature and properties of soil**. 14 ed. Upper Saddle River: Pearson-Prentice Hall, 2008. 990 p.
- BROOKS, R. H.; COREY, A. T. **Hydraulic properties of porous media**. Fort Collins: Colorado State University, 1964. 26 p. (Hydrologic Paper, n. 3).
- CAMARGO, O. A. de; MONIZ, A. C.; JORGE, J. A.; VALADARES, J. M. A. S. **Métodos de análise química, mineralógica e física de solos do Instituto Agronômico de Campinas**. Campinas: Instituto Agronômico, 2009. 77 p. (IAC. Boletim Técnico, 106).
- CASSEL, D. K.; NIELSEN, D. R. Field capacity and available water capacity. In: PAGE, A. L. (Ed.). **Methods of soil analysis**. Madison, WI: ASA: SSSA, 1986. pt. 2, p. 901-926.
- CLAESSEN, M. E. C. (Org.). **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. rev. e atual. Rio de Janeiro: EMBRAPA-CNPS, 1997. 212 p. (EMBRAPA-CNPS. Documentos, 1).
- CLIMATE-DATA ORG. **Dados climáticos para cidades mundiais**. Disponível em: <<https://pt.climate-data.org/location/42792/>>. Acesso em: 13 abr. 2017.

CREPANI, E.; DIAS, R. R. **Geologia da Folha SB.23-Y-A**: Tocantinópolis, Estado do Tocantins. Escala 1:250.000. 2. ed. Palmas: Seplan: DZE, 2004. 46 p. ilust. 1 mapa dobr. (Séries ZEE: Tocantins - Bico do Papagaio Geologia, v. 3/4).

DEXTER, A. R. Advances in characterization of soil structure. **Soil & Tillage Research**, v. 11, n. 3-4, p. 199-238, 1988.

DONAGEMMA, G. K.; FREITAS, P. L.; BALIEIRO, F. C.; FONTANA, A.; SPERA, S. T.; LUMBRERAS, J. F.; VIANA, J. H. M. Caracterização, potencial agrícola e perspectivas de manejo de solos leves no Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 51, n. 9, p.1003-1020, 2016.

ESTADOS UNIDOS. Department of Agriculture. Soil Survey Division Staff. **Soil survey manual**. Washington, DC, 2017. 639 p. (Agriculture Handbook, n. 18).

FERREIRA, M. M. Caracterização física do solo. In: LIER, Q. J. van (Ed.). **Física do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2010. p. 1-27.

FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G.; BALIEIRO, F. de C.; MOURA, T. P. A. de; MENEZES, A. R. de; SANTANA, C. I. Características e atributos de Latossolos sob diferentes usos na região Oeste do Estado da Bahia. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 51, n. 9, p. 1457-1465, 2016.

FRANZMEIER, D. P.; WHITESEDE, E. P.; ERICKSON, A. E. Relationship of texture classes of fine earth to readily available water. In: BAREN, F. A. van (Ed.). **Transactions of the 7th International Congress of Soil Science**. Amsterdam: Royal Tropical Institute, 1960. p. 354-363.

GENUCHTEN, M. T. van. A closed form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. **Soil Science Society of America Journal**, v. 44, n. 5, p. 892-898, 1980.

HAYNES, R. J.; BEARE, M. H. Aggregation and organic matter storage in Meso-Thermal, Humid Soils. In: CARTER, M. R.; STEWART, B. A. (Ed.). **Structure and organic matter storage in agricultural soils**. Boca Raton: CRC, 1996. p. 213-262.

GRABLE, A. R.; SIEMER, E. G. Effects of bulk density, aggregate size, and soil water suction on oxygen diffusion, redox potential and elongation of corn roots. **Soil Science Society of America Journal**, v. 32, n. 2, p. 180-186, 1968.

IBGE. **Mapa exploratório de solos do estado de Tocantins**. Brasília, DF, 2007a.

IBGE. **Estado do Tocantins: geomorfologia**. Brasília, DF, 2007b.

IBGE. **Estado do Tocantins. Geologia**. Brasília, DF, 2007c.

KASTANEK, F. J.; NIELSEN, D. R. Description of soil water characteristics using cubic spline interpolation. **Soil Science Society of America Journal**, v. 65, n. 2, p. 279-283, 2001.

- KLUTE, A.; DIRKSEN, C. Hydraulic conductivity and diffusivity: laboratory methods. In: KLUTE, A. (Ed.). **Methods of soil analysis**. Madison: Soil Science Society of America, 1986. p. 697-734.
- MANRIQUE, L. A.; JONES, C. A. Bulk density of soils in relation to soil physical and chemical properties. **Soil Science Society of America Journal**, v. 55, n. 2, p. 476-481, 1991.
- MELO, M. T.; PRADE, G. O. **Geologia da região sudeste de São Raimundo das Mangabeiras – Maranhão**. Belém:Petrobrás, 1968. (Relatório 297M Petrobrás, Direx/Renor).
- MESQUITA, M. da G. B. de F.; MORAES, S. O. A dependência entre a condutividade hidráulica saturada e atributos físicos do solo. **Ciência Rural**, v. 34, n. 3, p. 963-969, 2004
- OADES, J. M. Soil organic matter and structural stability: Mechanisms and implications for management. **Plant Soil**, v. 76, n. 1-3, p. 319-337,1984.
- PALMEIRA, P. R. T.; PAULETTO, E. A.; TEIXEIRA, C. F. A.; GOMES, A. S.; SILVA, J. B. Agregação de um Planossolo submetido a diferentes sistemas de cultivo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 23, n. 2, p. 189-195, 1999.
- PERIN, A.; GUERRA, J. G. M.; TEIXEIRA, M. G.; PEREIRA, M. G.; FONTANA, A. Efeito da cobertura viva com leguminosas herbáceas perenes na agregação de um Argissolo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 26, n. 3, p. 713-720, 2002.
- PRUNTY, L.; CASEY, F. X. M. Soil water retention curve description using a flexible smooth function. **Vadose Zone Journal**, v. 1, n. 1, p. 179-185, 2002.
- RIBEIRO, K. D.; MENEZES, S. M.; MESQUITA, M. da G. B. de F.; SAMPAIO, F. M. T. Propriedades físicas, influenciadas pela distribuição do de poros, de seis classes de solos da região de Lavras-MG. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 31, n. 4, p. 1167-1175, 2007.
- RIVERS, E. D.; SHIPP, R. F. Available water capacity of sandy and gravelly North Dakota soils. **Soil Science**, v. 113, n. 1, p. 74-80, 1972.
- ROSSI, C.; NIMMO, J. R. Modeling of soil water retention from saturation to oven dryness. **Water Resources Research**, v. 30, n. 3, p. 701-708, 1994.
- SANTANA, H. M. de P. E.; LACERDA, M. P. C. Solos representativos do Estado de Tocantins sob vegetação natural de Cerrados. In: SIMPÓSIO NACIONAL CERRADO, 9.; SIMPÓSIO INTERNACIONAL SAVANAS TROPICAIS, 2., 2008, Brasília, DF. **Anais...** Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2008. 1 CD-ROM
- SILVA, E. M.; LIMA, J. E. F. W.; AZEVEDO, J. A.; RODRIGUES, L. N. Valores de tensão na determinação da curva de retenção de água de solos do Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, n. 2, p. 323-330, 2006.

SMITH, R. E. The infiltration envelope: results from a theoretical infiltrometer. **Journal of Hydrology**, v. 17, n. 1, p. 1-22, 1972.

SOUZA, M. D. de. **Desenvolvimento e utilização de um simulador de chuvas para estudos de atributos físicos e químicos do solo relacionados a impactos**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2004. 20p. (Embrapa Meio Ambiente. Documentos, 37).

SOUZA, Z. M.; MARQUES JUNIOR, J.; PEREIRA, G. T. Variabilidade espacial de atributos físicos do solo em diferentes formas do relevo sob cultivo de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, n. 6, p. 937-944, 2004.

SPISILA, A. L. **Análise estrutural do intervalo Permiano-Jurássico da bacia do Parnaíba – Região de Araguaína (TO)**. 2011. 115 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

TISDALL, J. M.; OADES, J. M. Organic matter and water stable aggregates in soil. **Journal of Soil Science**, v. 33, n. 2, p. 141-163, 1982.

VAZ, P. T.; REZENDE, N. G. A. M.; WANDERLEY FILHO, J. R.; TRAVASSOS, W. A. S. Bacia do Parnaíba. **Boletim de Geociências da Petrobrás**, v. 15, n. 2, p. 253-263, 2007.

WENDLING, B.; JUICKSCH, I.; MENDONÇA, E. S.; NEVES, J. C. L. Carbono orgânico e estabilidade de agregados de um Latossolo Vermelho sob diferentes manejos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 40, n. 5, p. 487-494, 2005.

YODER, R. E. A direct method of aggregate analysis of soil and a study of the physical nature of erosion losses. **Journal of the American Society of Agronomy**, v. 28, n. 5, p. 337-357, 1936.

ZINN, Y. L.; GUERRA, A. R.; SILVA, A. C.; MARQUES, J. J.; OLIVEIRA, G. C. CURTI, N. Perfis de carbono orgânico do solo nas regiões sul e serra do espinhaço meridional, Minas Gerais: modelagem em profundidade. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, n. 5, p. 1395-1406, 2012.

Embrapa

Meio Ambiente

MINISTÉRIO DA
**AGRICULTURA, PECUÁRIA
E ABASTECIMENTO**

