

DETERMINAÇÃO DOS ATRIBUTOS FÍSICO-HÍDRICOS DE TRÊS TIPOS DE SOLOS DOS CAMPOS GERAIS.

ROSA, S.L.K.¹; SOUZA J.L.M.²; TSUKAHARA, R.Y.³; PIEKARSKI, K.R.¹; OLIVEIRA, C.T.¹

¹Pós-Graduação em Ciência do Solo, UFPR; ²Professor, DSEA/SCA/UFPR, e-mail: jmoretti@ufpr.br; ³Fundação ABC

RESUMO

Teve por objetivo no presente trabalho determinar os atributos físico-hídricos de três tipos de solos localizados na região dos Campos Gerais, sob sistema de plantio direto. Foram coletadas amostras deformadas e indeformadas de solo nas profundidades de 0,0-0,10 m; 0,10-0,25 m e 0,25-0,40 m. As amostras foram provenientes de parcelas das Estações Experimentais da Fundação ABC, localizadas nos municípios de Arapoti e Ponta Grossa, Estado do Paraná e Itaberá, Estado de São Paulo. Foram obtidos valores de textura, massa específica, porosidade, umidade volumétrica na saturação, capacidade de campo e ponto de murcha permanente, capacidade de água disponível e condutividade hidráulica saturada. Os resultados obtidos indicaram que a textura predominante dos solos avaliados é Argilosa em Itaberá e Franco Argilo-arenosa em Arapoti. No município de Ponta Grossa a textura variou de Argilosa a Franco Argilo-arenosa. A massa específica do solo (ρ_s) está compreendida entre 1077,57 kg m⁻³ a 1648,74 kg m⁻³, limites considerados recomendados normais na literatura para estas classes texturais. A massa específica de partículas de solo (ρ_{ps}) foi o atributo que apresentou menor variabilidade média entre camadas. A porosidade total (α) média dos solos variou entre 0,46 m³ m⁻³ e 0,62 m³ m⁻³. A umidade volumétrica na capacidade de campo (θ_{CC}) foi maior nos solos argilosos. Os valores obtidos para umidade volumétrica no ponto de murcha permanente (θ_{PM}) apresentaram maior dispersão dos dados quando comparados a umidade na capacidade de campo (θ_{CC}). A maior variação da capacidade de água disponível (CAD) dos solos estudados ocorreu em Ponta Grossa-PR. A condutividade hidráulica saturada (K_{sat}) foi o parâmetro que apresentou maior variabilidade nos solos estudados. As análises indicaram que o manejo adotado no município de Itaberá pode ter contribuído para a redução da disponibilidade hídrica para as plantas, devido à diminuição dos valores de CAD quando comparado a estudos anteriores.

Palavras-chave: Fundação ABC; Campos Gerais; plantio direto, qualidade do solo.

INTRODUÇÃO

A qualidade do solo é fundamental para o estabelecimento da agricultura sustentável. Para a cultura agrícola expressar seu máximo potencial produtivo o solo deve apresentar condições favoráveis para seu desenvolvimento (Tavares Filho et al., 2010; Broch e Klein, 2017; Huang et al., 2015).

O sistema de manejo adotado influencia na capacidade do solo em disponibilizar água para as plantas. A degradação da estrutura altera os atributos físicos, podendo ocasionar perdas de produtividade das culturas (Rossetti e Centurion, 2013; Silva et al., 2014; Barbosa et al., 2017; Souza et al., 2017). O sistema plantio direto é uma prática conservacionista benéfica, pois visa a redução dos danos ocasionados pelo mau uso do solo e contribui com a sustentabilidade do sistema (Silva et al., 2000; Loss et al., 2017).

A estrutura do solo afeta o desenvolvimento radicular, refletindo no crescimento das plantas (Rossetti e Centurion, 2013). Assim, o uso indevido do solo pode ocasionar perturbações na sua estrutura, refletindo em problemas na disponibilidade de ar e água às plantas. A disponibilidade hídrica é um importante indicador da qualidade física do solo (Silva et al., 2014) e, para entender a dinâmica da água no perfil, é necessário o entendimento dos atributos físico-hídricos. A identificação das umidades do solo na capacidade de campo (*CC*) e o ponto de murcha permanente (*PMP*) são importantes limites que auxiliam nos estudos de retenção e movimento da água no solo (Reichardt e Timm, 2004).

A massa específica do solo (ρ_s) é a relação entre a massa de solo compreendida em determinado volume, indicando o grau de arranjo das partículas (Castro et al., 2012; Souza et al., 2017). Quanto maior a massa de solo por unidade de volume, maior será a compactação, reduzindo a porosidade total (α) do solo. Desta forma haverá problemas de aeração e conseqüentemente maiores restrições ao desenvolvimento das culturas. A massa específica de partículas (ρ_{ps}) refere-se ao volume de sólidos em uma amostra de solo, sem considerar a porosidade.

A condutividade hidráulica é um dos atributos do solo que melhor indicam as diferenças estruturais entre as camadas que constituem o perfil (Rossetti e Centurion, 2013). A condutividade hidráulica saturada (K_{sat}) descreve a funcionalidade do sistema poroso (Gonçalves e Libardi, 2013) e pode apresentar valores muito altos em áreas com práticas intensivas de revolvimento do solo (Reichardt e Timm, 2004).

A Região dos Campos Gerais destaca-se pela elevada produtividade de cultivos agrícolas. Na região se situa a Fundação ABC, uma instituição de pesquisa aplicada privada que realiza projetos com empresas privadas e possui vínculo com empresas de pesquisa pública (Fundação ABC, 2018). Desta forma, considerando a importância dos atributos físico-hídricos dos solos na determinação da produtividade de lavouras, associado à capacidade produtiva da região dos Campos Gerais do Paraná, teve-se por objetivo no presente trabalho determinar e associar os atributos físico-hídricos de três tipos de solos sob sistema de plantio direto, localizados nas Estações Experimentais da Fundação ABC, região dos Campos Gerais.

MATERIAL E MÉTODOS

Foram avaliadas parcelas experimentais pertencentes ao setor de Agrometeorologia da Fundação ABC, localizadas nos municípios de Arapoti e Ponta Grossa, no Estado do Paraná, e Itaberá, Estado de São Paulo. Todas as parcelas apresentam relevo plano a suave ondulado. O manejo adotado é sistema de plantio direto com cobertura vegetal proveniente da safra anterior. As áreas possuem rotação de culturas adotando o cultivo de soja e milho no verão e trigo e aveia preta no inverno.

A classificação de solos foi previamente realizada pela Fundação ABC, obtida a partir dos mapas de solos com escala 1:10000. Os tipos climáticos foram identificados em Alvarez et al. (2013), os quais foram levantados conforme a classificação climática de Köppen, sendo definidos como: Cfa no município de Itaberá; Cfb no município de Ponta Grossa; e, transição climática Cfa/Cfb no município de Arapoti (Tabela 1).

Tabela 1. Características edafoclimáticas das Estações Experimentais da Fundação ABC localizadas nos municípios de Arapoti, Ponta Grossa e Itaberá. ⁽¹⁾

Localidade	Estado	Solo	Clima ⁽²⁾	Latitude ----- (graus)	Longitude -----	Altitude (m)
Arapoti	Paraná	LATOSSOLO VERMELHO Distrófico típico	Cfa/Cfb ⁽³⁾	24,19° S	49,88° W	887
Itaberá	São Paulo	PLANOSSOLO HÁPLICO Distrófico típico	Cfa	24,06° S	49,15° W	740
Ponta Grossa	Paraná	LATOSSOLO VERMELHO Distrófico típico	Cfb	25,30° S	49,95° W	908

⁽¹⁾ Adaptado de Piekarski (2016); ⁽²⁾ Adaptado de Álvares et al. (2013); ⁽³⁾ Local de transição climática.

Foram coletadas amostras deformadas e indeformadas de solo em cinco glebas representativas de cada localidade, nas profundidades de 0,0-0,10 m, 0,10-0,25 m e 0,25-0,40 m, para análise dos atributos físico-hídricos dos solos nas três diferentes localidades.

As amostras deformadas foram coletadas com trado calador e armazenadas em sacos plásticos. As amostras indeformadas foram coletadas com anéis volumétricos de 4,7 cm de diâmetro x 3,3 cm de altura, e envoltas com plástico filme para manter a estrutura. Todas as amostras foram devidamente identificadas e levadas para análise nos Laboratórios pertencentes à Universidade Federal do Paraná. Os atributos físico-hídricos avaliados foram: teores de areia fina (g kg^{-1}), areia grossa (g kg^{-1}) e areia total (g kg^{-1}), silte (g kg^{-1}) e argila (g kg^{-1}); massa específica do solo (ρ_s , kg m^{-3}) massa específica de partículas do solo (ρ_{ps} , kg m^{-3}); porosidade total (α , $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$), macro e microporosidade ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$); umidade volumétrica na capacidade de campo (θ_{CC} , $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$); umidade volumétrica no ponto de murcha permanente (θ_{pmp} , $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$); capacidade de água disponível (CAD, mm) e condutividade hidráulica saturada (K_{sat} , mm dia^{-1}).

a) Análises realizadas com amostras deformadas

Com as amostras deformadas, foram determinadas a granulometria e massa específica de partículas (ρ_{ps} , kg m^{-3}). Os teores de argila (g kg^{-1}), silte (g kg^{-1}), areia fina (g kg^{-1}) e areia grossa (g kg^{-1}) foram determinados com o método do hidrômetro de Bouyoucos (1951). A massa específica das partículas do solo (kg m^{-3}) foi determinada com o método do balão volumétrico modificado, conforme Gubiani et al. (2006), no Laboratório de Física do Solo da UFPR.

b) Análises realizadas com amostras indeformadas

A massa específica do solo (kg m^{-3}) foi determinada com o método do anel volumétrico, conforme Embrapa (1997), no Laboratório de Física do Solo da UFPR.

Os valores de umidade volumétrica na capacidade de campo (θ_{CC} ; $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$), porosidade total (α ; $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$), macro e microporosidade ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$) foram determinados com o método da Embrapa (1997), no Laboratório de Física do Solo da UFPR. Considerou-se a porosidade total das amostras igual à umidade volumétrica do solo na saturação (θ_{sat}). Para determinar a umidade do solo na capacidade de campo (θ_{CC}) foram utilizados os anéis volumétricos dispostos na mesa de tensão a 0,006 Mpa. Os valores de microporosidade do solo foram considerados os mesmos da umidade volumétrica na capacidade de campo (θ_{CC}). Os valores referentes aos macroporos foram obtidos pela diferença entre a umidade volumétrica do solo saturado (θ_{sat}) e a umidade volumétrica na capacidade de campo (θ_{CC}) (Fabian e Ottoni Filho, 2000; Embrapa, 1997).

A umidade volumétrica no ponto de murcha permanente (θ_{PMP}) foi estimada com a equação de Van Genuchten (1980) no Laboratório de Modelagem de Sistemas na Agricultura da UFPR, na tensão de 1,5 Mpa. Para tal, foi necessária a obtenção dos parâmetros θ_r , θ_s , α , m e n da equação, os quais foram obtidos com o *software* de pedotransferência SPLINTEX versão 1.0 (Prevedello, 1999).

Para determinação dos valores de capacidade de água disponível no solo (CAD) foi utilizada a seguinte equação (Equação 1):

$$CAD = \sum_{i=1}^n (\theta_{CCi} - \theta_{PMPi}) \cdot z_i \quad (1)$$

Sendo: CAD – capacidade de água disponível no solo (mm); θ_{CCi} – umidade volumétrica do solo na capacidade de campo da i -ésima camada ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$); θ_{PMPi} – umidade volumétrica do solo no ponto de murcha permanente da i -ésima camada ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$); z_i – profundidade da i -ésima camada enraizada do solo (mm); n – número de camadas consideradas.

A condutividade hidráulica saturada (K_{sat} ; mm dia^{-1}) foi determinada com o permeâmetro de carga decrescente proposto por Reynolds e Elrick, (2002), no laboratório de Física do Solo da UFPR.

Os dados obtidos foram analisados em planilha eletrônica para comparação dos resultados. Para tal, foram realizadas medidas de tendência e dispersão e comparação com dados da literatura.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Verificou-se nas áreas estudadas a predominância de solos muito intemperizados e profundos. O município de Arapoti possui Latossolo Vermelho Distrófico típico de textura Franco Argilo-arenosa, Itaberá Planossolo Háptico Distrófico típico de textura Argilosa e Ponta Grossa Latossolo Vermelho Distrófico típico de textura predominante Argilosa, sendo encontrado em alguns pontos textura Franco Argilo-arenosa (Tabela 2).

Apesar da textura dos solos encontrados ter apresentado variação, não houve variação considerável para a classificação textural, principalmente entre Arapoti e Ponta Grossa. A textura do município de Ponta Grossa apresentou variação de Argilosa a Franco Argilo-arenosa. A textura Argilo-arenosa encontrada para o município de Ponta Grossa por Souza et al. (2017) difere da encontrada no presente estudo. No entanto, as áreas amostradas foram diferentes para os municípios de Arapoti e Ponta Grossa, em que obteve-se amostras dos experimentos com cultivo de verão e inverno.

Tabela 2. Classificação textural das três camadas dos solos localizadas nas Estações Experimentais da Fundação ABC, região dos Campos Gerais.

Localidade	Camada (m)	Classe textural
Arapoti	0,00-0,10	Franco Argilo-arenosa
Arapoti	0,10-0,25	Franco Argilo-arenosa
Arapoti	0,25-0,40	Franco Argilo-arenosa
Itaberá	0,00-0,10	Argilosa
Itaberá	0,10-0,25	Argilosa
Itaberá	0,25-0,40	Argilosa
Ponta Grossa	0,00-0,10	Argilosa a Franco Argilo-arenosa
Ponta Grossa	0,10-0,25	Argilosa a Franco Argilo-arenosa
Ponta Grossa	0,25-0,40	Argilosa a Franco Argilo-arenosa

Na Tabela 3 encontram-se apresentados os valores médios dos atributos físico-hídricos de três camadas de solos dos municípios analisados.

Os maiores teores de areia foram encontrados em Arapoti (725,0 g kg⁻¹), seguido de Ponta Grossa (625,0 g kg⁻¹) e Itaberá (425,0 g kg⁻¹). A maior concentração de argila ocorreu em Ponta Grossa (650,0 g kg⁻¹). Os teores de silte não apresentaram variabilidade considerável (25,0 a 200 g kg⁻¹), tendo a maior concentração no município de Ponta Grossa, na gleba representativa que apresenta a textura Franco Argilo-arenosa.

A massa específica do solo (ρ_s) variou de 1077,57 kg m⁻³ (Ponta Grossa) a 1648,74 kg m⁻³ (Arapoti). Arapoti apresentou ρ_s média de 1484,14 kg m⁻³, Itaberá ρ_s média de 1395,06 kg m⁻³ e Ponta Grossa 1289,14 kg m⁻³ (Tabela 3). Os valores obtidos no presente estudo foram superiores aos encontrados por Souza et al. (2017). Reinert e Reichert (2006) sugerem que o valor de ρ_s associado à compactação é de 1450 kg m⁻³ para solos argilosos. Os valores de ρ_s encontrados no presente estudo foram inferiores para Ponta Grossa e próximos para Arapoti e Itaberá, o que pode ser um motivo de alerta.

Tabela 3. Valores médios dos teores de argila, silte, areia fina, areia grossa e areia total, massa específica do solo (ρ_s), massa específica das partículas de solo (ρ_{ps}), porosidade total (α), microporosidade, macroporosidade, umidade volumétrica no ponto de murcha permanente (θ_{PMP}), umidade volumétrica na capacidade de campo (θ_{CC}), capacidade de água disponível (CAD) e condutividade hidráulica saturada (K_{sat}), em três camadas de solos das Estações Experimentais da Fundação ABC, região dos Campos Gerais.

Local	Camada (m)	----- Textura (g kg ⁻¹) -----					ρ_s (kg m ⁻³)	ρ_{ps} (kg m ⁻³)	α (m ³ m ⁻³)	Microporos (m ³ m ⁻³)	Macroporos (m ³ m ⁻³)	θ_{PMP} (m ³ m ⁻³)	θ_{CC} (m ³ m ⁻³)	CAD (mm)	K_{Sat} (mm hora ⁻¹)
		Argila	Silte	Areia fina	Areia grossa	Areia total									
Arapoti	0,0-0,10	280,00	45,00	224,53	450,47	675,00	1438,29	2777,96	0,51	0,29	0,22	0,15	0,29		665,06
Arapoti	0,10-0,25	305,00	30,00	220,36	444,64	665,00	1496,80	2801,22	0,48	0,28	0,20	0,15	0,28	53,07	226,57
Arapoti	0,25-0,40	320,00	25,00	217,42	437,58	655,00	1517,32	2801,22	0,46	0,28	0,18	0,16	0,28		181,89
Itaberá	0,0-0,10	520,00	80,00	185,77	214,23	400,00	1398,34	2810,86	0,56	0,40	0,16	0,28	0,40		165,01
Itaberá	0,10-0,25	560,00	60,00	174,56	205,44	380,00	1449,04	2809,72	0,50	0,37	0,13	0,27	0,37	45,64	28,83
Itaberá	0,25-0,40	570,00	65,00	176,40	188,60	365,00	1337,80	2817,27	0,56	0,39	0,17	0,26	0,39		449,65
Ponta-Grossa	0,0-0,10	405,00	130,00	201,93	263,07	465,00	1288,54	2710,10	0,59	0,41	0,19	0,23	0,41		469,41
Ponta-Grossa	0,10-0,25	490,00	55,00	198,14	256,86	455,00	1376,71	2771,00	0,53	0,38	0,15	0,25	0,38	63,54	89,48
Ponta-Grossa	0,25-0,40	545,00	40,00	181,10	233,90	415,00	1202,17	2725,30	0,62	0,41	0,22	0,23	0,41		433,84
Média ⁽¹⁾		443,89	58,89	197,80	299,42	497,22	1389,44	2780,52	0,54	0,36	0,18	0,22	0,36	54,08	301,08
Desvio Padrão ⁽¹⁾		117,55	31,80	19,52	111,12	129,86	101,23	38,87	0,05	0,05	0,03	0,05	0,05	8,99	211,45
CV (%) ⁽¹⁾		26,48	54,00	9,87	37,11	26,12	7,29	1,40	9,77	15,25	16,25	24,28	15,25	16,63	70,23

⁽¹⁾ Medidas de tendência e dispersão calculados com valores de todas as amostras retiradas nas três Estações Experimentais (90 amostras).

A massa específica das partículas de solo (ρ_{ps}) apresentou menor variabilidade entre os solos analisados (CV = 1,40%) (Tabela 3). Como esse atributo depende da constituição química e mineralógica do solo, seu valor não é influenciado pelo manejo adotado (Gimenes, 2012; Souza et al., 2017). A média da ρ_{ps} foi de 2793,47 kg m⁻³ em Arapoti, 2812,62 kg m⁻³ em Itaberá e 2735,47 kg m⁻³ em Ponta Grossa (Tabela 3). Os valores de ρ_{ps} obtidos no presente trabalho também foram superior aos encontrados por Souza et al. (2017), mas dentro da normalidade, visto que podem variar entre os limites 2300 e 2900 kg m⁻³ (Santana, 2009).

A porosidade total (α) média foi de 0,49 m³ m⁻³ no município de Arapoti, 0,54 m³ m⁻³ em Itaberá e 0,58 m³ m⁻³ em Ponta Grossa (Tabela 3). Apenas o município de Ponta Grossa apresentou valores superiores aos obtidos por Souza et al. (2017), enquanto Arapoti ficou muito próximo e Itaberá igual. Os valores de α obtidos para todas as localidades estão dentro do limite proposto por Reichardt e Timm (2004).

Os menores valores de macroporos foram encontrados no município de Itaberá, seguido de Ponta Grossa e Arapoti (Tabela 3). Os valores observados em Itaberá foram os mais próximos aos de Souza et al., (2017), que obtiveram os menores valores de macroporos de 0,15 m³ m⁻³ a 0,17 m³ m⁻³ em Itaberá, 0,11 m³ m⁻³ a 0,17 m³ m⁻³ em Ponta Grossa e 0,15 m³ m⁻³ a 0,18 m³ m⁻³ em Arapoti. Os autores comentam que obtiveram proporção de macroporos inferior à considerada ideal. Os valores de macroporosidade obtidos no presente estudo são semelhantes aos obtidos por Secco et al. (2005), que ao estudarem um Latossolo Vermelho distrófico sob diferentes preparos de solo observaram intervalo de 0,14 m³ m⁻³ a 0,24 m³ m⁻³ para o plantio direto contínuo.

A microporosidade média obtida foi de 0,29 m³ m⁻³ em Arapoti, 0,39 m³ m⁻³ em Itaberá e 0,40 m³ m⁻³ em Ponta Grossa (Tabela 3). O valor de Itaberá foi muito próximo ao obtidos por Souza et al., (2017) para a mesma localidade, sendo inferior em Arapoti superior em Ponta Grossa. Secco et al. (2005) encontraram em seu estudo valores de microporosidade que variaram de 0,30 a 0,35 m³ m⁻³.

A média da umidade volumétrica na capacidade de campo (θ_{CC}) foi de 0,29 m³ m⁻³ em Arapoti, 0,39 m³ m⁻³ em Itaberá e 0,40 m³ m⁻³ em Ponta Grossa (Tabela 3). Todas as áreas apresentaram valores semelhantes aos obtidos por Souza et al. (2017). A θ_{CC} foi maior nos solos argilosos. Segundo Schaetzle e Anderson, (2005) e Farias et al., (2005) a θ_{CC} é maior em solos argilosos devido a maior área de superfície e forças matriciais atuando.

Os valores obtidos de θ_{PMP} apresentaram maior dispersão dos dados (CV = 24,28%) quando comparados a θ_{CC} (CV = 15,25%) (Tabela 3). Os valores ficaram compreendidos entre 0,10 m³ m⁻³ a 0,32 m³ m⁻³ para a Região dos Campos Gerais. A média foi de 0,15 m³ m⁻³ em Arapoti, 0,24 m³ m⁻³ em Ponta Grossa e 0,27 m³ m⁻³ em Itaberá. Os valores médios foram semelhantes aos encontrados por Souza et al. (2017).

As umidades volumétricas θ_{CC} e θ_{PMP} são importantes atributos que descrevem a capacidade dos solos em disponibilizar água às plantas. O maior conteúdo volumétrico na capacidade de campo (θ_{CC}) e menor conteúdo no ponto de murcha permanente (θ_{PMP}) obtido nas análises realizadas indicaram maior intervalo de disponibilidade hídrica para as plantas. Os resultados estão diretamente relacionados ao maior volume de poros encontrados no presente estudo, em relação aos obtidos por Souza et al. (2017), principalmente em Ponta

Grossa. Farias et al., (2005) comentam que a θ_{PMP} também é maior em solos argilosos, devido a maior retenção de água nos microporos.

A quantidade de água disponível (CAD) para as plantas está relacionada com as características físicas do solo. Em termos de armazenamento total de água, observou-se maior CAD para o solo de Ponta Grossa, o qual possui maior intervalo de disponibilidade hídrica entre a capacidade de campo e ponto de murcha permanente (Tabela 3). A quantidade de água necessária para envolver as partículas de determinado solo depende de sua superfície específica, a qual é inversamente proporcional ao diâmetro das partículas (Carlesso e Santos, 1999).

A condutividade hidráulica saturada (K_{sat}) foi o parâmetro que apresentou maior variabilidade nos solos estudados, com alta dispersão dos dados ($CV = 70,23\%$; Tabela 3). Foram observados valores que variaram de $13,63 \text{ mm hora}^{-1}$ (Ponta Grossa) a $1378,03 \text{ mm hora}^{-1}$ (Arapoti). Os maiores valores para o município de Arapoti em geral apresentaram-se nas camadas superficiais, indicando a presença de macroporos em maior quantidade. Em geral, os valores médios de K_{sat} foram de $357,84 \text{ mm hora}^{-1}$ em Arapoti, $214,49 \text{ mm hora}^{-1}$ em Itaberá e $330,91 \text{ mm hora}^{-1}$ em Ponta Grossa (Tabela 3). Souza et al. (2017) verificaram para as mesmas localidades valores inferiores, sendo $52,61 \text{ mm hora}^{-1}$, $19,43 \text{ mm hora}^{-1}$ e $29,34 \text{ mm hora}^{-1}$, respectivamente. Ao elevar o grau de agregação de um solo o valor da K_{sat} aumenta. Desta forma a K_{sat} é mais dependente da estrutura do que da textura do solo.

Houve perfeita correlação positiva entre a umidade volumétrica na capacidade de campo (θ_{CC}) e o volume de microporos, fato também observado por Souza et al. (2017) e Andrade e Stone (2011). O conteúdo de argila correlacionado com a umidade volumétrica na capacidade de campo (θ_{CC}) e volume de microporos também apresentou forte correlação positiva. Forte correlação negativa ocorreu entre os teores de areia (grossa e total) com a umidade volumétrica na capacidade de campo (θ_{CC}) e volume de microporos. Não houve correlação entre a condutividade hidráulica saturada (K_{sat}) com o conteúdo de areia fina e umidade no ponto de murcha permanente (θ_{PMP}). A massa específica do solo (ρ_s) também apresentou forte correção negativa com a porosidade total (α) (Tabela 4).

A condutividade hidráulica saturada (K_{sat}) teve moderada associação positiva com o volume de macroporos (Tabela 4). O resultado indica que quando maior o espaço poroso ocupado pelos macroporos, maior é a velocidade que o fluxo de água e solutos transcorre o perfil do solo. A θ_{CC} e θ_{PMP} apresentaram moderada correlação positiva, diferente do observado por Souza et al., (2017), que observaram esta correlação mais alta. Os teores de areia total e argila apresentaram forte correlação. O resultado era esperado, uma vez que compõe a totalidade da textura do solo: quando o valor de um teor cresce o outro tende a diminuir.

De forma geral, acredita-se que as principais diferenças observadas nos resultados obtidos no presente estudo em relação aos encontrados por Souza et al., (2017) deveu-se: (i) As amostras de solo avaliadas no presente estudo e em Souza et al., (2017) são provenientes de glebas distintas para os municípios de Arapoti e Ponta Grossa; (ii) A metodologia de análise laboratorial utilizada na determinação da textura do solo e condutividade hidráulica saturada nos dois estudos são diferentes, e; (iii) O manejo adotado no município de Itaberá pode ter contribuído para a redução da disponibilidade hídrica para as plantas devido a diminuição dos valores de CAD quando comparado com os resultados de Souza et al., (2017).

Tabela 4 – Coeficiente de correlação entre os valores absolutos dos atributos físico-hídricos dos solos localizadas nas Estações Experimentais da Fundação ABC, região dos Campos Gerais.

Especifi- cação	Argila	Silte	Areia fina	Areia grossa	Areia total	ρ_s ⁽¹⁾	ρ_{ps} ⁽²⁾	α ⁽³⁾	Micro- poros	Macro- poros	θ_{PMP} ⁽⁴⁾	θ_{CC} ⁽⁵⁾	K_{sat} ⁽⁶⁾
Argila	1,00*												
Silte	0,13	1,00*											
Areia fina	-0,65	-0,13	1,00*										
Areia grossa	-0,94*	-0,40	0,49	1,00*									
Areia total	-0,97*	-0,38	0,64	0,98*	1,00*								
ρ_s	-0,60	-0,24	0,34	0,62	0,62	1,00*							
ρ_{ps}	0,13	-0,22	-0,10	-0,05	-0,06	0,28	1,00*						
α	0,59	0,29	-0,31	-0,64	-0,63	-0,87*	-0,07	1,00*					
Microporos	0,81*	0,48	-0,46	-0,89*	-0,88*	-0,68	0,04	0,74	1,00*				
Macroporos	-0,23	-0,23	0,17	0,27	0,28	-0,35	-0,14	0,45	-0,28	1,00*			
θ_{PMP}	0,57	0,37	-0,47	-0,60	-0,62	-0,50	0,07	0,48	0,63	-0,15	1,00*		
θ_{CC}	0,81*	0,48	-0,46	-0,89*	-0,88*	-0,68	0,04	0,74	1,00*	-0,28	0,63	1,00*	
K_{sat}	-0,02	0,04	0,00	0,01	0,01	-0,35	-0,17	0,43	-0,08	0,73	0,00	-0,08	1,00*

*Correlação significativa ($p > 0,05$); ⁽¹⁾ ρ_s – Massa específica do solo; ⁽²⁾ ρ_{ps} – Massa específica das partículas do solo; ⁽³⁾ α – Porosidade total; ⁽⁴⁾ θ_{PMP} – Umidade volumétrica no ponto de murcha permanente; ⁽⁵⁾ θ_{CC} – Umidade volumétrica na capacidade de campo; ⁽⁶⁾ K_{sat} – Condutividade hidráulica saturada.

CONCLUSÕES

– A textura dos solos encontrados apresentou variação entre as regiões, porém a classificação textural não apresentou variação considerável, sendo predominantemente Argilosa. Arapoti e uma das glebas de Ponta Grossa apresentam textura Franco Argilo-arenosa.

– A massa específica do solo variou de 1077,57 kg m⁻³ a 1648,74 na Região dos Campos Gerais. Todas as áreas avaliadas apresentaram ρ_s dentro dos limites considerados adequados pela literatura. A porosidade total média encontrada nas áreas estudadas variou entre 0,46 m³ m⁻³ e 0,62 m³ m⁻³.

– A umidade volumétrica na capacidade de campo ficou compreendida entre 0,25 m³ m⁻³ e 0,46 m³ m⁻³, e ponto de murcha permanente entre 0,10 m³ m⁻³ a 0,32 m³ m⁻³, para as três localidades avaliadas.

– A condutividade hidráulica saturada (K_{sat}) foi o parâmetro que apresentou maior variabilidade nos solos estudados, variando de 13,63 mm hora⁻¹ a 1378,03 mm hora⁻¹.

LITERATURA CITADA

- ALVAREZ, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. de M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711–728, 2013.
- ANDRADE, R. da S.; STONE, L. F. Estimativa da umidade na capacidade de campo em solos sob Cerrado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, n. 2, p. 111-116, 2011.
- BARBOSA, J. dos S.; SILVA, K. do C. R.; CARDUCCI, C. E.; SANTOS, K. L. dos; KOHN, L. S.; FUCKS, J. S. Atributos físico-hídricos de um Cambissolo Húmico sob sistema agroflorestal no planalto catarinense. **Floresta e Ambiente**, v. 24, 2017, 9p.
- BOUYOUCOS, G. J. A recalibration of the hydrometer method for making mechanical analysis of soil. **American Society of Agronomy Journal**, v. 43, p. 434-438, 1951.
- BROCH, D. T.; KLEIN, V. A. Maximum soil density of Entisols as a function of silt content. **Ciência Rural, Santa Maria**, v. 47, n. 12, 2017. 7p.
- CARLESSO, R.; SANTOS, R. F. Disponibilidade de água às plantas de milho em solos de diferentes texturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 23, p. 17-25, 1999.
- CASTRO, M. A. de; CUNHA, F. F. da; LIMA, S. F. de; NETO, V. B. de P.; LEITE, A. P. MAGALHÃES, F. F.; CRUZ, G. H. M. da. Atributos físico-hídricos do solo ocupado com pastagem degradada e floresta nativa no Cerrado Sul-Matogrossense. **Brazilian Geographical Journal: Geosciences and Humanities research medium**, v. 3, n. 2, p. 498-512, 2012.
- EMBRAPA, Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análises de solo**. Rio de Janeiro, 1997.
- FABIAN, A. J.; OTTONI FILHO, T. B. Determinação de capacidade de campo in situ ou através de equações de regressão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 35, n. 5, p. 1029-1036, 2000.
- FARIAS, J. R. B.; NEPOMUCENO, A. L.; NEUMAIER, N. Água em solos arenosos: estabelecimento de déficit hídrico em culturas. IN: **Reunião de Pesquisas de Soja da Região Central do Brasil**, 27, 2005. Cornélio Procópio: EMBRAPA SOJA, 2005. p. 147-155.
- FUNDAÇÃO ABC. **Soluções tecnológicas para o agronegócio**. Disponível em: <<http://www.fundacaoabc.org>>. Acesso em: 05 mar. 2018.
- GIMENES, F. H. S. Curva de retenção na avaliação da qualidade física do solo. Dissertação (mestrado) – Universidade de São Paulo. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, 2012. 69p.
- GONÇALVEZ, A. D. M. de A.; LIBARDI, P. L. Análise da determinação da condutividade hidráulica do solo pelo método do perfil instantâneo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, p. 1174-1184, 2013.
- GUBIANI, P.I.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M. Método alternativo para a determinação da densidade de partículas do solo – exatidão, precisão e tempo de processamento. **Ciência Rural**, v. 36, p. 664-668, 2006.
- HUANG, M.; LIANG, T.; WANG, L.; ZHOU, C. Effects of no-tillage systems on soil physical properties and carbon sequestration under long-term wheat–maize double cropping system. **Catena**, v. 128, p. 195-202, 2015.

- LOSS, A.; SANTOS JUNIOR, E. dos.; SCHMITZ, D.; VEIGA, M. da.; KURTZ, C.; COMIN, J. J. Atributos físicos do solo em cultivo de cebola sob sistemas de plantio direto e preparo convencional. **Revista Colombiana de Ciências Hortícolas**, v. 11, n. 1, p. 105-113, 2017.
- PIEKARSKI, K. R. Produtividade de soja e milho em plantio direto com o modelo Aquacrop na região dos Campos Gerais. Curitiba (Dissertação). Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 2016.
- PREVEDELLO, C. L. Programa Splintex para estimar a curva de retenção de água a partir da granulometria (composição) do solo. Versão 1.0. Curitiba: UFPR, 1999.
- REICHARDT, K.; TIMM, L.C. **Solo, planta e atmosfera: conceitos, processos e aplicações**. Barueri: Manole, 2004. 478p.
- REINERT, D. J.; REICHERT, J. M. **Propriedades físicas do solo**. Santa Maria, 2006.
- REYNOLDS, W. D.; ELRICK, D. E. Falling head soil core (Tank) method. DANE, J.H.; TOPP, C. Methods of soil analysis. **Soil Science Society of America**, p. 809-812, 2002.
- ROSSETTI, K. de V.; CENTURION, J. F. Sistemas de manejo e atributos físico-hídricos de um Latossolo Vermelho cultivado com milho. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, n. 5, p. 472-479, 2013.
- SANTANA, S. C. Indicadores físicos da qualidade de solos no monitoramento de pastagens degradadas da Região Sul do Tocantins. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Tocantins. Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, 2009.
- SCHAETZEL, R. J.; ANDERSON, S. **Soils: Genesis and Geomorphology**. Cambridge University Press, New York, 2005, 817p.
- 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, p. 407-414, 2005.
- SILVA, V. R.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M. Densidade do solo, atributos químicos e sistema radicular do milho afetados pelo pastejo e manejo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 24, p. 191-199, 2000.
- SILVA, J. F. G.; SEVERIANO, E. da C.; COSTA, K. A. de P.; BENITES, V. de M.; GUIMARÃES JÚNNYOR, W. da S.; BENTO, J. C. Chemical and physical-hydric characterisation of a Red Latosol after five years of management during the summer between-crop season. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, p. 1576-1586, 2014.
- SOUZA, J. L. M.; PIEKARSKI, K. R.; TSUKAHARA, R. Y.; GURSKI, B. C. Atributos físico-hídricos de solos no sistema de plantio direto, Região dos Campos Gerais. **Convibra Congresses Conferences**, 2017.
- TAVARES FILHO, J.; BARBOSA, G. M. C.; RIBON, A. A. Physical properties of dystrophic red Latosol (Oxisol) under different agricultural uses. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, n. 3, p. 925-933, 2010.
- VAN GENUCHTEN, M. T. A closed form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. **Soil Science Society of America Journal**, v. 44, p. 892-898, 1980.