



ARTIGO CIENTÍFICO

Solos arenosos para Sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta em Arez, Rio Grande do Norte

Sandy soils to integrated cropland, livestock and forests systems in Arez, Rio Grande do Norte, Brazil

Pedro Luan Ferreira da Silva^{1*}, Flávio Pereira de Oliveira², José Otávio de Moraes Borba³, Danillo Dutra Tavares⁴, André Julio do Amaral⁵, Adriana Ferreira Martins⁶

Resumo: O solo é um dos principais suportes para a produção agrícola e dele dependem os processos ambientais e a dinâmica de água no solo. A retenção de água como atributo limitante ao desenvolvimento dos vegetais está sendo seriamente comprometida pelo processo de degradação do solo em terras agrícolas, em função do padrão de manejo do solo, com baixa biodiversidade e alto grau de revolvimento pelas operações constantes de preparo do solo. O objetivo do presente estudo foi caracterizar atributos físico-hídricos de três perfis de solo no município de Arez, Rio Grande do Norte para subsidiar a implantação de sistemas conservacionistas envolvendo a integração lavoura, pecuária e floresta, em solos de textura arenosa. As amostras de solo com estrutura indeformada foram analisadas no Laboratório de Análises Físicas de Solo do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal da Paraíba, para a determinação das variáveis: capacidade de aeração do solo, teor de água na capacidade de campo, ponto de murcha permanente, água disponível, capacidade de água disponível, densidade do solo, porosidades (total; macro e microporosidade), condutividade hidráulica saturada, granulometria, argila dispersa em água e grau de floculação. A capacidade de água disponível do solo aumentou em profundidade e a capacidade de aeração do solo foi maior em superfície. A porosidade total em superfície favoreceu a taxa de infiltração e a densidade do solo aumentou em profundidade. Os atributos tiveram relação com a posição dos mesmos na paisagem, com maior retenção de água na encosta, em cotas inferiores.

Palavras-chave: Água disponível; Capacidade de campo; Condutividade Hidráulica; iLPF; Porosidade de aeração.

Abstract: Soil is the most important natural resource to supports agricultural production system sand depends on the environmental processes and the dynamics of water at the place. The retention of water as a limiting attribute to development of the plants is being seriously compromised by the process of soil degradation in the Brazilian semiarid. The objective of the present study was to evaluate the influence of the integrated crop-livestock-forest system - iCLF, under the physical-water attributes of three soil profiles in the city of Arez, Rio Grande do Norte. Soil samples with undisturbed structure were analyzed in the Soil Physical Analysis Laboratory of the Agricultural Sciences Center of the Federal University of Paraíba, to determine the variables: soil aeration capacity, field capacity, permanent wilting point, available water, available water capacity, soil density, porosity (total, macro and microporosity), saturated hydraulic conductivity, granulometry, water dispersed clay and flocculation degree. The available soil water capacity increased in depth and the soil aeration capacity was higher in surface area. The total surface porosity favored the infiltration rate and the soil density increased in depth. The data had a relation with the same position in the landscape, with greater retention of water in the slope, in lower dimensions

Key words: Water available; Field capacity; Saturated hydraulic conductivity; iCLF; Aeration porosity.

* Autor para correspondência

Recebido para publicação em 18/10/2018; aprovado em 22/11/2018

¹Graduando em Agronomia, bolsista de iniciação científica, Universidade Federal da Paraíba, Areia, Paraíba; pedroluanferreira@gmail.com.

²Engenheiro Agrônomo, Professor, Doutor em Ciência do Solo, Universidade Federal da Paraíba, Areia, Paraíba; pereira@cca.ufpb.br.

³Graduando em Agronomia, Universidade Federal da Paraíba, Areia, Paraíba; otavio.borba@outlook.com.

⁴Engenheiro Agrônomo, Mestre em Ciência do Solo, Universidade Federal da Paraíba, Areia, Paraíba; danilodutrat@hotmail.com.

⁵Engenheiro Agrônomo, Doutor em Ciência do Solo, Embrapa Solos, Recife, Pernambuco; andre.amaral@embrapa.br.

⁶Bióloga, Doutora em Ciência do Solo, Bolsista PNPd, Universidade Federal da Paraíba, Areia, Paraíba; biol.adriana@gmail.com.



INTRODUÇÃO

O solo é um dos principais suportes da produção agrícola e o seu comportamento é regido por um complexo conjunto de fatores físicos, químicos e biológicos, submetidos à ação do clima, que interagem e tendem ao equilíbrio (KLEIN et al., 2015). No bioma caatinga, esse equilíbrio vem sendo quebrado em função da expansão demográfica e da retirada predatória da cobertura vegetal (ALBUQUERQUE et al., 2001).

O bioma caatinga é o terceiro mais degradado do país e, entre as causas que levaram ao processo de degradação estão o extrativismo vegetal e a produção agropecuária (SOUZA et al., 2015). Quando se perde a cobertura arbustiva (por corte, queima ou pastoreio), a exposição do solo desnudo promove a formação de uma crosta superficial decorrente do impacto direto das gotas de chuva, o que reduz a infiltração da água e aumenta o escoamento (GALINDO et al., 2008). O que compromete o estabelecimento dos vegetais em função da baixa retenção de água no solo e devido as perdas por evaporação e escoamento superficial.

A retenção de água é um atributo limitante ao desenvolvimento dos vegetais e sua dinâmica é fortemente influenciada pelas técnicas de manejo e conservação do solo. Ao longo dos anos tem se observado que os solos do bioma caatinga estão perdendo a sua capacidade natural de absorver água (SOUZA; MARTINS, 2012), tornando-se um agravante para o estabelecimento de práticas de conservação e produção de alimentos.

Assim como os demais atributos, a capacidade de aeração pode ser afetada pelas práticas de manejo do solo, ocasionando efeitos negativos sobre as plantas, através da deficiência na difusão de gases sobre o sistema radicular dos vegetais, ou mesmo pelo desbalanço hídrico do solo (KLEIN, et al., 2008).

Alternativas sustentáveis devem ser adotadas como forma de promover a produção de alimentos aliada à conservação dos recursos naturais, reduzir a pressão sobre a vegetação nativa e aumentar a eficácia e eficiência dos sistemas de produção agropecuários no aproveitamento da água. Sistemas integrados de produção como o lavoura-pecuária (iLP) e o lavoura-pecuária-floresta (iLPF), surgem como alternativas sustentáveis para a produção agropecuária, contribuindo não só com a conservação do solo, mas também para a manutenção da cobertura vegetal com potencial valor econômico e forrageiro, bem como alternativa para diversificar as atividades nas propriedades e aumentar a resiliência das áreas cultivadas em ciclos de seca.

A integração Lavoura-Pecuária-Floresta é um mecanismo de grande importância para a recuperação de áreas degradadas, visto que possibilita o uso da terra através de uma sinergia existente entre espécies vegetais e animais, possibilitando de modo sustentável uma maior produção por área (BALBINO et al., 2011).

Entre os benefícios que os sistemas de integração promovem ao solo podem-se citar o favorecimento à infiltração e retenção de água, incremento e manutenção da matéria orgânica, desenvolvimento do sistema radicular dos vegetais (PEZARICO et al., 2013), aumento da porosidade total e agregação do solo (LOSS et al., 2014), além da ciclagem de nutrientes. Existe ainda carência de informações sobre quais os sistemas iLPF são mais adequados aos ambientes de clima semiárido e zona úmida costeira em solos

de textura arenosa, apesar de já existir algumas recomendações, esforços devem ser demandados para aumentar e diversificar opções (RANGEL et al., 2015).

Diante da escassez e restrição hídrica pelo qual vem passando as áreas agrícolas e da urgente necessidade de adotar sistemas de produção que contribuam para a conservação e armazenamento de água no solo. Objetivou-se com esse estudo caracterizar os atributos físico-hídricos de três perfis de solo de textura arenosa na zona úmida costeira no geambiente dos Tabuleiros Costeiros no município de Arez, Rio Grande do Norte para subsidiar a implantação de sistemas ILPF.

MATERIAL E MÉTODOS

Caracterização e localização da área de estudo

A área está localizada no município de Arez, no estado do Rio Grande do Norte. O município, também conhecido como Arês, está situado na Microrregião do litoral sul (6° 11' 40" de latitude S e 35° 09' 37" de longitude W), com um território de aproximadamente 113 km² (IBGE, 2017).

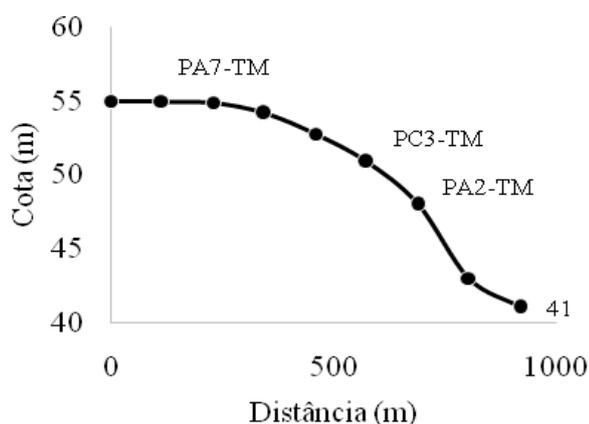
O clima que predomina no município segundo a classificação Koppen-Geiger é do tipo tropical chuvoso (Aw), o período chuvoso é de março a julho, com temperaturas variando de 25,6 a 32°C e precipitação pluviométrica média anual em torno dos 1300 mm (CLIMATE-DATA, 2017). Os solos que predominam no município são da classe dos Latossolos e Neossolos Quartzarênicos de textura arenosa, amplamente utilizados pela agricultura de subsistência e atividade canvieira (DINIZ et al., 2014).

Delineamento experimental e variáveis analisadas

Três perfis de solos foram selecionados com a finalidade de caracterizar os atributos físico-hídricos do solo antes da implantação de sistemas ILPF, em diferentes posições na paisagem (terço superior, médio e inferior). Um total de três trincheiras foram abertas com a finalidade de descrever morfologicamente os solos para fins de classificação taxonômica conforme procedimentos metodológicos contidos em Santos et al. (2013). Após a descrição geral e morfológica foram coletadas amostras com estrutura indeformada de cada horizonte que compõem as classes de solo avaliadas. No terço inferior coletaram-se amostras dos horizontes Ap1, Ap2, AB, Btx1 e Btx2, nas profundidades de 0 a 180 cm (PA2-TM), classificado como Argissolo Vermelho Amarelo distrófico arênico abrupto fragipânico A moderado, textura arenosa/média fase floresta tropical subperinifolia, relevo suave ondulado.

No terço médio coletaram-se amostras dos horizontes Ap1, Ap2, AB, Bw1 e Bw2, nas profundidades de 0 a 200 cm (PC3-TM), classificado como Neossolo Quartzarênico órtico latossólico, relevo suave ondulado, A moderado textura arenosa, fase floresta subperinifolia. No terço superior, coletaram-se amostras nos horizontes Ap1, Ap2, CA, C1 e C2, de 0 a 185 cm de profundidade (PA7-TM), classificado como Neossolo Quartzarênico órtico típico, relevo plano, A fraco, textura arenosa fase floresta subperinifolia (Figura 1).

Figura 1. Variação de cota, ao longo da distância de coleta dos perfis de solo na paisagem, em Arez, Rio Grande do Norte.



As amostras foram coletadas em março de 2017 com auxílio de anéis metálicos com volume de 98,17 cm³, sendo duas amostras por camada, totalizando dez amostras por perfil. As amostras foram encaminhadas ao Laboratório de Análises Físicas de Solo do Departamento de Solos e Engenharia Rural da Universidade Federal da Paraíba para a realização de análises.

As variáveis analisadas foram: capacidade de aeração do solo (CAS), capacidade de campo (θ_{CC}), ponto de murcha permanente (θ_{PMP}), água disponível (AD) e capacidade de água disponível (CAD). Densidade do solo (ρ), porosidade total (α), macroporosidade e microporosidade (Ma, Mi), condutividade hidráulica saturada (K_0), granulometria (areia, silte, argila), argila dispersa em água (ADA) e grau de floculação (GF).

A variável capacidade de aeração do solo (CAS), foi determinada segundo a relação de Reynolds et al. (2002), na eq. 1.

$$CAS = Pt - \theta_{CC}/Pt \quad (\text{Eq. 1})$$

Em que: Pt é a porosidade total do solo (m³ m⁻³); θ_{CC} é o conteúdo volumétrico de água na capacidade de campo (m³ m⁻³) determinada pelo extrator de Richards a uma tensão de - 0,033 MPa.

A Capacidade de água disponível no solo (CAD), foi determinada conforme Eq. 2, proposta por Assis et al. (2015) e Reichardt e Timm (2016), onde se multiplica o volume de umidade volumétrica da amostra, obtida pela diferença entre a CC e o PMP, pela espessura da camada avaliada em (mm).

$$CAD = (\theta_{CC} - \theta_{PMP}) * Z \quad (\text{Eq. 2})$$

Em que: θ_{CC} é o conteúdo de água disponível na capacidade de campo (m³ m⁻³); θ_{PMP} é o conteúdo de água no ponto de murcha permanente; Z – é a camada de solo avaliada, dada em (cm ou mm); depois obtém-se a lâmina de água armazenada no solo multiplicando-se o valor de (CAD) por 10.000 m², para se ter o volume de água armazenado no solo em litros por hectare.

As demais variáveis foram obtidas conforme metodologia descrita por Teixeira et al. (2017).

A porosidade total (m³ m⁻³) foi determinada pelo volume de saturação do solo, conforme eq. 3.

$$VS = A/B/C \quad (\text{Eq. 3})$$

Em que: VS - é o volume de saturação (m³ m⁻³), A - massa do bloco de solo saturado (kg), B - massa do bloco de solo seco a 105 °C (kg) e c - volume do cilindro (cm³).

A microporosidade (Mi) em m³ m⁻³, foi obtida através da mesa de tensão com o volume de água no potencial matricial de -6kPa. A macroporosidade (Ma) m³ m⁻³, foi obtida através da diferença entre a PT e Mi (Eqs. 4 e 5).

$$Mi = Ms \ 6kPa - mss/v \quad (\text{Eq. 4})$$

$$Ma = PT - Mi \quad (\text{Eq. 5})$$

Em que: Mi é a microporosidade (m³ m⁻³), mss (massa do solo seco a 105° C), PT (porosidade total), Ma é a macroporosidade (m³ m⁻³), Ms 6 kPa - massa do solo submetido ao potencial matricial de 6 kPa na mesa de tensão (m³ m⁻³) e v – volume do cilindro (cm³).

A condutividade hidráulica saturada K_0 , foi determinada com o auxílio do permeâmetro de carga constante, conforme eq. 6.

$$K_0 = Q \times L / A \times H \times T \quad (\text{Eq. 6})$$

Em que: K_0 é a condutividade hidráulica saturada (cm h⁻¹), Q volume do percolado na proveta de coleta em (mL⁻¹), L altura do bloco de solo em (cm), A área do cilindro em (cm²), H (altura do bloco de solo + coluna de água, cm) e t (tempo em horas da coleta do volume percolado).

A densidade do solo (ρ) em Kg dm⁻³, foi determinada através da relação entre a massa do solo seco/ volume da amostra. Para a obtenção dos valores de θ_{CC} e θ_{PMP} , as amostras foram saturadas e submetidas aos potenciais matriciais - 33 kPa como capacidade de campo e - 1500 kPa como o ponto de murcha permanente, utilizando câmara de Richards.

O volume de água disponível AD (m³ m⁻³) foi obtido através da relação entre $[(\theta_{CC}) - (\theta_{PMP})]$. A granulometria foi determinada através do método do densímetro, utilizando o Hidróxido de Sódio (NaOH - 1 mol L⁻¹), como dispersante químico. A areia retida na peneira de 0,053 mm, foi fracionada em classes de tamanho, utilizando um separador mecânico com peneiras de (1,0; 0,50; 0,25; 0,105 e 0,053 mm). Os dados foram analisados com base na estatística descritiva e por meio de análises do coeficiente de correlação linear simples de Pearson $p < 0,05$.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 1, observa-se os valores médios de capacidade de aeração do solo, retenção e capacidade de água disponível no solo (CAD).

Os valores de capacidade de aeração do solo (CAS) estão acima do limite crítico de qualidade física adequada para solos arenosos, que segundo a literatura científica, varia de 0,15 a 0,34 m³ m⁻³ (REYNOLDS et al., 2002; ASSIS et al., 2015). Entre os perfis avaliados, verificou-se menor CAS no PA2-TM, com 0,37 m³ m⁻³, na profundidade avaliada de 130 cm.

Observa-se uma redução na CAS com o aumento de profundidade em todos os perfis avaliados, possivelmente pelo aumento de densidade (KLEIN; LIBARDI, 2002) e maiores concentrações de areia fina, silte e argila em relação

as camadas superficiais. Para Tormena et al. (2002), valores de porosidade de aeração abaixo de 10-15% são, geralmente, adotados como restritivos para o crescimento e produtividade

da maioria das culturas. Contudo, verifica-se que a CAS está acima do limite crítico em todos os perfis avaliados por esse estudo.

Tabela 1. Capacidade de aeração do solo (CAS), capacidade de campo, ponto de murcha permanente, água disponível em perfis de solos sob sistema iLPF, no município de Arez, Rio Grande do Norte.

Perfil	Horizonte	Prof.	CAS	θ_{CC}	θ_{PMP}	θ_{AD}	CAD
		- cm -					
PA2-TM	Ap1	0-18	0,822	0,071	0,049	0,022	3,96
	Ap2	18-50	0,798	0,073	0,043	0,030	9,6
	AB	50-95	0,745	0,099	0,064	0,035	15,75
	Btx1	95-130	0,595	0,146	0,092	0,054	18,9
	Btx2	130-180	0,372	0,195	0,149	0,045	22,5
Média			0,666	0,117	0,079	0,037	14,142
Dp			0,187	0,053	0,043	0,013	7,406
Cv (%)			28,0	45,5	54,5	33,8	52,4
PA7-TM	Ap1	0-17	0,828	0,065	0,041	0,024	4,08
	Ap2	17-48	0,802	0,067	0,048	0,019	5,89
	CA	48-90	0,805	0,070	0,046	0,024	10,08
	C1	90-145	0,730	0,097	0,058	0,039	21,45
	C2	145-185	0,762	0,061	0,061	0,028	11,2
Média			0,785	0,072	0,051	0,027	10,540
Dp			0,042	0,015	0,007	0,009	7,799
Cv (%)			5,4	20,8	14,0	32,3	74,0
PC3-TM	Ap1	0-18	0,802	0,089	0,073	0,016	2,88
	Ap2	18-36	0,828	0,069	0,044	0,024	4,32
	AB	36-90	0,731	0,102	0,077	0,025	13,5
	Bw1	90-140	0,697	0,109	0,080	0,029	14,5
	Bw2	140-200	0,638	0,130	0,104	0,026	15,6
Média			0,739	0,100	0,076	0,024	10,160
Dp			0,061	0,018	0,017	0,005	6,047
Cv (%)			8,2	17,6	21,9	22,7	59,5

Prof. (profundidade); θ_{CC} (capacidade de campo); θ_{PMP} (ponto de murcha permanente); θ_{AD} (água disponível); CAD (capacidade de água disponível); Dp (desvio padrão); Cv (coeficiente de variação).

Contudo, o aumento expressivo na capacidade de aeração do solo acima do limite crítico de $0,34 m^3 m^{-3}$, pode indicar baixa capacidade de retenção e disponibilidade de água para as plantas, em decorrência da correlação negativa apresentada entre a capacidade de campo, o ponto de murcha permanente e a CAS. Na Tabela 1, é possível observar que o conteúdo de água na θ_{CC} e θ_{PMP} , foram expressivamente baixos na profundidade de até 90 cm, nos perfis avaliados. Possivelmente pela rapidez na entrada de ar após o início do processo de drenagem, o que implica no processo de secamento mais rápido do solo, em função dos maiores teores de areia grossa (FIDALSKI et al., 2013).

Com relação a profundidade, observa-se que a redução na CAS, foi proporcional ao aumento da densidade do solo e elevação no volume de microporos. Alterando as trocas gasosas, a retenção de água e ocasionando impedimento mecânico ao crescimento das raízes (REICHERT et al., 2007; BRAGA et al., 2015).

Por influenciar no desenvolvimento dos vegetais, a CAS, deve ser utilizada como um indicador de qualidade física do solo, assim como os demais atributos Ds, Rp e porosidade. Pois, sua determinação é de grande importância para entender a dinâmica de gases e água no solo. Atenção deve ser dada principalmente, neste trabalho, aos solos no terço inferior da pendente que apresentam o caráter fragipânico, a partir dos 95 cm de profundidade caso do PA2-

TM, onde a CAS apresentou redução bastante significativa (Figura 1, Tabela 1).

Quanto ao intervalo de AD, Tabela 1, observa-se que os maiores volumes de água, estão contidos entre as profundidades de 90 a 145 cm, o que implicaria na absorção de água por espécies vegetais de sistema radicular superficial. A maioria das culturas apresentam 70% de suas raízes entre as profundidades de 20 a 40 cm (LUCAS et al., 2012).

Parahyba et al. (2010), trabalhando com retenção de água em solos arenosos de Petrolândia, no estado de Pernambuco, observaram que a maior retenção de água foi obtida entre as profundidades de 92 a 200 cm. Para eles, esse comportamento está relacionado ao maior número de partículas finas (areia fina, silte e argila) e microporosidade em profundidade.

Para a CAD, observa-se que houve aumento da capacidade armazenada, com o aumento de profundidade do solo, geralmente, acima dos 40 cm, isso para os três perfis avaliados. A CAD apresentou correlação linear negativa com a frações granulométricas AG e AME e linear positiva com o volume de microporos (Tabela 5).

Os maiores volumes de CAD encontrados, foram de 22,5 mm entre as profundidades de 130-180 cm no PA2-TM Btx2 e de 21,45 mm entre as profundidades de 90-145 cm no PA7-TM C1. Esses valores são indícios de necessidade na adoção de técnicas de manejo que promovam uma maior

retenção de água em superfície, através da manutenção da cobertura vegetal e deposição de matéria orgânica.

Na Tabela 2, verifica-se os dados de granulometria, argila dispersa em água e grau de floculação dos perfis de

solo. Pode-se observar predominância da fração areia nos três perfis avaliados.

Tabela 2. Granulometria, argila dispersa em água (ADA) e grau de floculação (GF) em perfis de solos sob sistema ILPF, no município de Arez, Rio Grande do Norte.

Perfil	Horizonte	Prof. (cm)	Areia	Silte	g kg ⁻¹		
					Argila	ADA	GF
PA2-TM	Ap1	0-18	940	20	40	0	1000
	Ap2	18-50	946	20	34	0	1000
	AB	50-95	885	106	10	0	1000
	Btx1	95-130	772	76	152	25	999,80
	Btx2	130-180	696	66	238	25	999,80
PA7-TM	Ap1	0-17	927	31	42	25	999,40
	Ap2	17-48	925	54	22	0	1000
	CA	48-90	922	78	0	0	0
	C1	90-145	865	73	62	13	999,70
	C2	145-185	860	117	23	0	1000
PC3-TM	Ap1	0-18	900	50	50	25	999,50
	Ap2	18-36	928	36	36	26	999,20
	AB	36-90	860	94	47	25	999,40
	Bw1	90-140	857	143	0	0	0
	Bw2	140-200	796	191	13	0	10000

Prof. (profundidade); ADA (Argila Dispersa em água); GF (Grau de Floculação).

Quanto a granulometria dos perfis avaliados, o perfil PA2-TM apresentou teores consideráveis da fração areia dos 0 aos 50 cm de profundidade, sendo, portanto, classificado como areia; contudo dos 50 aos 180 cm, a classificação textural do perfil mudou de areia para areia franca, em função dos teores de silte e argila encontrados em profundidade, caracterizando um horizonte B textural com caráter fragipânico.

O perfil PA7-TM apresentou predominância da fração areia até os 90 cm de profundidade, sendo classificado como areia dos 0 aos 90 cm e como areia franca dos 90 aos 185 cm de profundidade. Já o perfil PC3-TM, apresentou predominância da fração areia dos 0 aos 36 cm de

profundidade, contudo, dos 36 aos 200 cm de profundidade, observou-se um aumento considerável nos teores de argila e silte, classificando os horizontes na classe textural areia franca. Apesar da profundidade, os solos avaliados aparentam ser pedogeneticamente jovens em função do elevado teor de areia que neles foram encontrados, nas mais variadas classes de tamanho, Tabela 3. Verifica-se maior predominância da fração areia média (AME) em todos os perfis avaliados, o que pode explicar a baixa capacidade de retenção de água nesses solos. O conteúdo de argila mais representativo foi verificado no perfil PA2-TM entre as profundidades de 95 a 180 cm, localizado na cota inferior da paisagem (Figura 1).

Tabela 3. Granulometria da fração areia em perfis de solos sob sistema iLPF, no município de Arez, Rio Grande do Norte.

Perfil	Horizonte	Prof. (cm)	g kg ⁻¹				
			AMG	AG	AME	AF	AMF
PA2-TM	Ap1	0-18	60	173	366	286	55
	Ap2	18-50	79	221	328	280	38
	AB	50-95	83	195	301	261	45
	Btx1	95-130	35	130	281	266	60
	Btx2	130-180	40	149	246	216	45
PA7-TM	Ap1	0-17	48	243	358	248	30
	Ap2	17-48	55	191	317	307	55
	CA	48-90	48	223	365	256	30
	C1	90-145	43	173	295	296	58
	C2	145-185	67	181	301	261	50
PC3-TM	Ap1	0-18	53	243	326	248	30
	Ap2	18-36	43	185	298	344	58
	AB	36-90	60	180	319	251	50
	Bw1	90-140	53	195	303	261	45
	Bw2	140-200	53	158	276	256	53

Prof. (profundidade), AMG (Areia muito grossa), AG (Areia grossa), AME (Areia média), AF (Areia Fina), AMF (Areia muito fina).

Solos arenosos apesar de cultiváveis podem ser considerados como paradigmas para a produção de alimentos. Pois, geralmente, são solos que apresentam baixa fertilidade

natural e reduzido teor de matéria orgânica, interferindo na capacidade de troca de cátions e na baixa capacidade de retenção de água para as plantas (OLIVEIRA, 2017).

Segundo Donagema et al. (2016), os solos arenosos representam cerca de 8% dos solos do país, geralmente compostos por Neossolos quartzarênicos e em parte por Latossolos e Argissolos. Para os mesmos autores, medidas conservacionistas devem ser adotadas como forma de contribuir para o zoneamento agrícola e estimar o potencial produtivo desses solos caracterizados como leves; uma das alternativas apresentada pelos autores é a adoção de sistemas integrados de produção, tais como a integração lavoura-pecuária e a integração lavoura-pecuária-floresta.

Para Gazolla et al. (2015), a adoção dos sistemas integrados de produção em solos arenosos pode promover inúmeros benefícios como a manutenção de resíduos vegetais em superfície e melhorias nos atributos físicos, químicos e biológicos do solo. Além do que, favorece a agregação através do processo de cimentação pelo resíduo vegetal em superfície que está sendo decomposto (WOHLENBERG et al., 2004).

Os perfis avaliados apresentaram baixo conteúdo de argila dispersa em água ADA. Observa-se que o perfil PC3-TM, apresentou maiores conteúdos de ADA em superfície, mantendo-se constante entre as profundidades de 0 a 90 cm.

O perfil PA2-TM não apresentou ADA nos horizontes superficiais em função do baixo conteúdo de argila encontrado nas análises, contudo, observou-se um aumento do conteúdo de argila dispersa em água com o aumento de profundidade das camadas avaliadas. O aumento do conteúdo de (ADA) em profundidade, deve-se ao fato do elevado teor de argila encontrado dos 95 aos 180 cm.

Nos horizontes CA (90 - 145 cm) do perfil PA7-TM, e Bw1 (90 - 140 cm) do perfil PC3-TM, observou-se ausência da fração argila. Nos perfis acima citados, houve predominância da fração areia com 92,2% no horizonte CA e 85,7% no horizonte Bw1.

Além da susceptibilidade à erosão, solos com elevados teores de argila dispersa em água trazem outros empecilhos a qualidade física e estrutural do solo, tais como, obstrução dos poros e posterior redução da permeabilidade de água e ar (MOTA et al., 2015).

Os perfis avaliados apresentaram elevado grau de floculação na maior parte dos horizontes avaliados, com exceção dos CA PA7-TM e Bw1 PC3-TM, em função de

ausência da fração argila. Nas camadas superficiais a deposição de restos vegetais e o acúmulo de matéria orgânica influenciaram na elevação do grau de floculação do solo (PRADO; NATALE, 2003). Contudo, a elevação do grau de floculação em profundidade pode estar relacionada a baixa capacidade de mobilização ou pela presença de elementos floculantes no solo, como Al^{3+} e H^+ (GASPARETTO et al., 2007).

Em função da cimentação promovida pela matéria orgânica em superfície, a adoção dos sistemas integrados de produção, podem contribuir para a conservação e elevação do grau de floculação do solo. As raízes das gramíneas em superfície e a menor mobilização do solo ao longo do tempo, reduzem o processo de desagregação do solo, mantendo sua estrutura e elevando sua capacidade produtiva.

Para Santos et al. (2010) e Vicente et al. (2012), a análise de atributos como argila dispersa em água e grau de floculação, são fundamentais para a avaliação da agregação e estudos de conservação dos solos. Sendo, portanto, uma maneira de avaliar a eficiência dos sistemas integrados de produção na melhoria dos atributos físicos do solo, diante dos sistemas convencionais de cultivo.

Na Tabela 4, estão apresentados os valores médios de densidade do solo, porosidade total, macroporosidade, microporosidade e condutividade hidráulica saturada dos três perfis de solo sob sistema de integração lavoura-pecuária floresta.

Observa-se que em todos os perfis avaliados houve aumento de densidade do solo com o aumento de profundidade, com valores médios acima de $1,50 \text{ kg dm}^{-3}$ de solo. A microporosidade apresentou elevação com o aumento de profundidade do solo, indicando haver relação direta entre a Mi e densidade do solo ($r=0,7 \text{ } p<0,05$) (Tabela 5). A microporosidade aumenta com o aumento de ρ e profundidade do solo.

Considerando-se a faixa de $1,70$ a $1,80 \text{ kg m}^{-3}$ como limitante para valores médios de densidade em solos com textura arenosa (REICHERT et al., 2003), observa-se que no perfil PA2-TM, a densidade passou a ser limitante a partir dos 50 cm de profundidade ($1,70 \text{ kg dm}^{-3}$), enquanto nos perfis PA7-TM e PC3-TM, a limitação ocorreu a partir dos 90 cm de profundidade.

Tabela 4. Densidade do solo, porosidades (total, macro e micro) e condutividade hidráulica saturada (K_0) em perfis de solos sob sistema iLPF, no município de Arez, Rio Grande do Norte.

Perfil	Horizonte	Prof. (cm)	ρ	α	Ma	Mi	K_0
			kg dm^{-3}	-----	$\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$	-----	cm h^{-1}
PA2-TM	Ap1	0-18	1,57	0,40	0,27	0,13	24,92
	Ap2	18-50	1,66	0,36	0,22	0,14	12,55
	AB	50-95	1,70	0,39	0,22	0,17	4,70
	Btx1	95-130	1,78	0,36	0,15	0,20	1,63
	Btx2	130-180	1,86	0,31	0,07	0,24	0,63
PA7-TM	Ap1	0-17	1,58	0,38	0,25	0,13	12,62
	Ap2	17-48	1,74	0,34	0,20	0,14	8,21
	CA	48-90	1,69	0,36	0,23	0,13	14,06
	C1	90-145	1,75	0,36	0,19	0,17	5,37
	C2	145-185	1,74	0,37	0,19	0,18	5,32
PC3-TM	Ap1	0-18	1,56	0,45	0,28	0,17	42,33
	Ap2	18-36	1,68	0,40	0,25	0,14	11,71
	AB	36-90	1,68	0,38	0,20	0,18	11,18
	Bw1	90-140	1,73	0,36	0,17	0,19	6,30
	Bw2	140-200	1,74	0,36	0,15	0,21	1,78

Prof. (profundidade); ρ (densidade do solo); α (porosidade total) Ma (macroporosidade); Mi (microporosidade).

Tabela 5. Matriz de correlação entre as variáveis considerando os 5 horizontes de cada perfil de solo estudado (n=15)

Variável	Média	DP	CAD	AMG	AG	AME	AF	AMF	Silte	Argila	K _θ	Mi	α	ρ
CAD	11,61	6,53	1,0	-0,2	-0,7*	-0,7*	-0,4	0,3	0,5	0,5	-0,7*	0,8*	-0,6*	0,8*
AMG	54,67	13,56		1,0	0,3	0,3	0,0	-0,2	0,1	-0,5	0,1	-0,3	0,2	-0,3
AG	189,33	32,52			1,0	0,7*	0,0	-0,8*	-0,3	-0,5*	0,6*	-0,6*	0,5	-0,7*
AME	312,00	33,58				1,0	0,1	-0,5	-0,5	-0,6*	0,6*	-0,9*	0,5	-0,8*
AF	269,13	30,19					1,0	0,5*	-0,3	-0,4	0,0	-0,6*	0,2	-0,1
AMF	46,80	10,53						1,0	0,2	0,2	-0,5	0,3	-0,2	0,5
Silte	77,00	47,64							1,0	-0,2	-0,5	0,6*	-0,2	0,5
Argila	51,27	63,23								1,0	-0,2	0,6*	-0,4	0,5*
K _θ	10,89	10,70									1,0	-0,5	0,8*	-0,8*
Mi	0,17	0,03										1,0	-0,4	0,7*
PT	0,37	0,03											1,0	-0,8*
Ds	1,70	0,08												1,0

*Correlações significativas p<0,05; DP=desvio padrão; CAD=capacidade de água disponível; AMG=areia muito grossa; AG=areia grossa; AME=areia média; AF=areia fina; AMF=areia muito fina; K_θ=condutividade hidráulica saturada; Mi=microporosidade; α=porosidade total; ρ=densidade do solo.

Menores valores de densidade do solo em superfície podem estar relacionados a maior densidade de raízes e ao conteúdo de matéria orgânica (SILVA et al., 2017), que vão diminuindo com o aumento de profundidade. A densidade é um atributo amplamente afetado pela textura do solo e, solos arenosos por serem mais facilmente compressíveis atingem maiores valores de densidade com mais facilidade (RESENDE et al., 2012).

O aumento de densidade do solo traz como empecilho o aumento dos níveis de compactação do solo, comprometendo a resistência à penetração de raízes e as taxas de infiltração de água no solo (MELO et al., 2017). Contudo, o aumento na densidade do solo mesmo nos arenosos, como consequência da compactação não deve ser permanente, uma vez que, após a decomposição do sistema radicular dos vegetais, serão formados bioporos, levando ao aumento da aeração e infiltração de água no solo (STONE; SILVEIRA, 2001; SALES et al., 2010).

Todos os horizontes avaliados apresentaram redução da porosidade total com o aumento de profundidade do solo, variando de 0,31 a 0,45 m³ m⁻³. O perfil PC3-TM foi o que apresentou volume de poros próximo a faixa ideal, que segundo Andrade e Stone (2009), varia de 0,45 a 0,53 m³ m⁻³ para solos de textura arenosa. Observa-se maior predominância de macroporosidade em relação a microporosidade nos horizontes avaliados, comportamento este característico de solos com predominância da fração grosseira de areia.

Contudo, verifica-se redução da macroporosidade e aumento da microporosidade com elevação de profundidade do solo. Para Arcoverde et al. (2015), quando a porosidade total do solo é composta basicamente por macroporos, o mesmo passa a apresentar baixa capacidade de retenção de água, tornando-os mais suscetíveis à degradação física, com posterior redução de sua qualidade.

Ainda segundo Arcoverde et al. (2015), solos que apresentam porosidade total abaixo de 0,35 m³ m⁻³ são enquadrados no grupo de solos considerados como ruins, dificultando a sua utilização para fins agrícolas, quando mal manejados.

A condutividade hidráulica saturada foi diminuindo com o aumento de profundidade, comportamento esse em função do aumento de densidade e da microporosidade dos solos. O perfil PC3-TM (Ap1 - 0 a 18 cm), apresentou condutividade hidráulica de 42,33 cm h⁻¹ em superfície, enquanto abaixo dos

140 cm, a condutividade hidráulica saturada foi de 1,78 cm h⁻¹, ou seja, uma redução de 95,8%.

Esses valores indicam que há relação direta entre a textura e as taxas de infiltração de água no solo. Solos arenosos apresentam maior taxa de infiltração de água em função da macroporosidade, contudo, são deficientes na capacidade de armazenamento de água. Este fato pode ser evidenciado na matriz de correlação apresentada na tabela 5, onde se observa correlação linear positiva entre a K_θ com as frações AG e AME (r=0,6 p<0,05) e linear negativa com a CAD (r=-0,7 p<0,05).

Ribeiro et al. (2007), trabalhando com propriedades físicas de seis classes de solo de Minas Ferais, influenciadas pela distribuição de poros, observaram que o volume de macroporos no solo é proporcional aos valores de condutividade hidráulica saturada, assim como o movimento e armazenamento de água.

Como a água é um dos elementos limitantes para a produção agrícola, devem ser adotadas práticas de manejo que contribuam para o aumento da taxa de infiltração e armazenamento de água no solo, através dos sistemas conservacionistas de produção e da redução do impacto do pisoteio de animais e implementos agrícolas nas áreas de cultivo.

CONCLUSÕES

A capacidade de água disponível dos solos (CAD) aumenta em profundidade e os maiores volumes de água em m⁻³ estão nas camadas mais profundas, especialmente nos solos localizados em cotas inferiores que possuem menores teores de areia grossa e areia média.

A densidade do solo aumenta em profundidade, assim como a microporosidade. Há predominância das frações areia média e areia fina e o grau de flocculação elevado.

A capacidade de água disponível apresentou correlação linear positiva forte nos horizontes que apresentam maior volume de microporos e densidade do solo. O impacto das pressões aplicadas ao solo pelos sistemas de integração lavoura, pecuária, floresta (ILPF) deve ser monitorado para evitar compactação excessiva.

REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, A. W.; LOMBARDI NETO, F.; SRINIVASAN, V. S. Efeito do desmatamento da caatinga sobre as perdas de solo e água em um Luvisolo de Sumé

- (PB). Revista Brasileira de Ciência do Solo, 25: 121-128, 2001.
- ANDRADE, R. S.; STONE, L. F. Índice S como indicador da qualidade física de solos do Cerrado brasileiro. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 13, n. 4, p. 382-388, 2009.
- ARCOVERDE, S. N. S.; SALVIANO, A. M.; OLSZEWSKI, N.; MELO, S. B.; CUNHA, T. J. F.; GIONGO, V.; PEREIRA, J. S. Qualidade física de solos em uso agrícola na região semiárida do estado da Bahia. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 39: 1473-1452, 2015.
- ASSIS, P. C. R.; STONE, L. F.; MEDEIROS, J. C.; MADARI, B. E.; OLIVEIRA, J. M.; WRUCK, F. S. Atributos físicos do solo em sistemas de integração Lavoura-Pecuária-Floresta. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 19, n. 4, p. 309-316, 2015.
- BALBINO, L. C.; CORDEIRO, L. A. M.; SILVA, V. P.; MORAES, A.; MARTINEZ, G. B.; ALVARENGA, R. C.; KICHEL, A. N.; FONTANELI, R. S.; SANTOS, H. P.; FRANCHINI, J. C.; GALERANI, P. R. Evolução tecnológica e arranjos produtivos de sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta no Brasil. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.46, n.10, p.1-12, 2011.
- BRAGA, F. V. A.; REICHERT, J. M.; MENTGES, M. I.; VOGELMANN, E. S. T.; PADRÓN, R. A. R. Propriedades mecânicas e permeabilidade ao ar em topossequência Argissolo-Gleissolo: variação no perfil e efeito de compressão. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.39, p.1025-1035, 2015.
- CLMATE-DATA.ORG. Clima de Arez-RN. Disponível em: <<https://pt.climate-data.org/location/42741/>>. Acesso em: 27 dez. 2017.
- DINIZ, M. T. M.; ARAÚJO, F. H. R.; MEDEIROS, J. R. Geografia física do Rio Grande do Norte em atividade de campo: aspectos fisiográficos e de ocupação humana. Revista Ensino de Geografia, v.5, n.9, p. 185-196, 2014.
- DONAGEMA, G. K.; FREITAS, P. L.; BALIEIRO, F. C.; FONTANA, A.; SPERA, S. T.; LUMBRERAS, J. F.; VIANA, J. H. M.; ARAÚJO FILHO, J. C.; SANTOS, F. C.; ALBUQUERQUE, M. R.; MACEDO, M. C. M.; TEIXEIRA, R. C.; AMARAL, A. J.; BORTOLON, E.; BORTOLON, L. Caracterização, potencial agrícola e perspectivas de manejo de solos leves no Brasil. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.51, n.9, p. 1003-1020, 2016.
- FIDALSKI, J.; TORMENA, C. A.; ALVES, S. J.; AULER, P. A. M. Influência das frações de areia na retenção e disponibilidade de água em solos das formações Caiuá e Paranaíba. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 37, p.613-621, 2013.
- GALINDO, I. C. L. RIBEIRO, M. R.; SANTOS, M. F. A. V.; LIMA, J. F. W. F.; FERREIRA, R. F. A. L. Relações solo-vegetação em áreas sob processo de desertificação no município de Jataíba-PE. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 32, p.1233-1296, 2008.
- GASPARETTO, E. C.; BARIDA, J. A.; CARNEIRO, M.; SCARIOT, J. J.; TABOLKA, C. L. Grau de floculação da argila de um Latossolo Vermelho utilizado com lavoura e mata nativa. Synergismus Scyentifica, v. 04, p.1-3, 2007.
- GAZOLLA, P. R.; GUARESCHI, R. F.; PERIN, A.; PEREIRA, M. G.; ROSSI, C. Q. Frações de matéria orgânica do solo sob pastagem, sistema plantio direto e integração lavoura-pecuária. Semina: Ciências Agrárias, v.36, n.2, p. 693-704, 2015.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Panorama: Arês – RN. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rn/ares/panorama>>. Acesso em: 27 dez. 2017.
- KLEIN, V. A.; VIREIRA, M. L.; DURIGON, F. F.; MASSING, J. P.; FÁVERO, F. Air-filled porosity in Latosol and wheat grain yield under no-tillage chiseled. Ciência Rural, v. 38, n. 2, p. 365-371, 2008.
- KLEIN, V. A.; LIBARDI, P. L. Densidade e distribuição do diâmetro de poros de um Latossolo Vermelho, sob diferentes sistemas de uso e manejo. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 26, p.857-867, 2002.
- KLEIN, V. A.; VIEIRA, M. L.; DURIGON, F. F.; MASSING, J. P.; FÁVERO, F. Porosidade de aeração de um Latossolo Vermelho e rendimento de trigo em plantio direto escarificado. Ciência Rural, v.14, n.1, p. 365-371, 2015.
- LOSS, A.; RIBEIRO, E. C.; PEREIRA, M. G.; COSTA, E. M. Atributos físicos e químicos do solo em sistemas de consórcio e sucessão de lavoura, pastagem e silvipastoril em Santa Teresa, ES. Bioscience Journal, v. 30, n. 5, p. 1347-1357, 2014.
- LUCAS, A. A. T.; FRIZZONE, J. A.; COELHO FILHO, M. A. Características de distribuição radicular de maracujazeiro sob fertirrigação. Irriga, v. 17, n. 2, p. 245-801, 2002.
- MELO, M. L. A. ARAÚJO, G. S. S.; GUIMARÃES, E. V.; SILVA, B. M.; CAIXETA, S. P. Resistência do solo a penetração em pasto de Capim-Tifton 85 sob irrigação e adubação nitrogenada. Enciclopédia Biosfera, v.14, n. 25, p. 1145-1158, 2016.
- MOTA, J. C. A.; ALENCAR, T. C.; ASSIS JÚNIOR, R. N. Alterações físicas de um Cambissolo cultivado com bananeira irrigada na capada do Apodi. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 39, p.1015-1024, 2015.
- OLIVEIRA, H. L. M. Manejo de solo arenoso com aporte de matéria orgânica. Pioneer sementes. Disponível em: <<http://www.pioneersementes.com.br/blog/107/manejo-de-solo-arenoso-com-aporte-de-materia-organica>>. Acesso em: 29 dez. 2017.
- PARAHYBA, R. B. V. SILVA, F. H. B. B.; SILVA, M. S. L.; ROLIM NETO, F. C.; MENDES, H. C. M. Retenção de água

- em solos arenosos em Petrolândia-PE. In: XVIII Reunião Brasileira de Manejo e Conservação do solo e Água, Teresina, Anais... 2010. p. 1-5.
- PEZARICO, C. R.; VITORINO, A. C. T.; MERCANTE, F. M.; DANIEL, O. Indicadores de qualidade do solo em sistemas agroflorestais. *Revista de Ciências Agrárias*, v.56, n.1, p 40-47. 2013.
- PRADO, R. M.; NATALE, W. Alterações na granulometria, grau de flocculação e propriedades químicas de um Latossolo Vermelho distrófico, sob plantio direto e reflorestamento. *Acta Scientiarum. Agronomy*, v.25, n.1, p. 45-52, 2003.
- REICHARDT, K.; TIMM, L. C. Água e sustentabilidade no sistema solo-planta-atmosfera. 1. ed. Barueri: Manole, 2016. 229p.
- REICHERT, J. M.; REINERT, D. J.; BRAIDA, J. A. Qualidade dos solos e sustentabilidade de sistemas agrícolas. *Ciência e Ambiente*, v. 27, p.29-48, 2003.
- REICHERT, J. M.; SUZUKI, L. E. A. S.; REINERT, D. J. Compactação do solo em sistemas agropecuários e florestais: identificação, efeitos, limites críticos e mitigação. *Tópicos Especiais em Ciência do Solo*, v.5, p.49-134, 2007.
- RESENDE, T. M.; MORAES, E. R.; FRANCO, F. O.; ARRUDA, E. M.; ARAÚJO, J. R.; SANTOS, D. S.; BORGES, E. N.; RIBEIRO, B. T. Avaliação física do solo em áreas sob diferentes usos com adição de dejetos animais no bioma cerrado. *Bioscience Journal*, v.28, n.1, p. 179-184, 2012.
- REYNOLDS, W. D.; BOWMAN, B. T.; DRURY, C. F.; TAN, C. S.; LU, X. Indicators of good soil physical quality: Density and storage parameters. *Geoderma*, v.110, p.131-146, 2002.
- RIBEIRO, K. D.; MENEZES, S. M.; MESQUITA, M. G. B. F.; SAMPAIO, F. M. T. Propriedades físicas do solo, influenciadas pela distribuição de poros, de seis classes de solos da região de Lavras-MG. *Ciência e Agrotecnologia*, v.31, n.4, p. 1167-1175, 2007.
- TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. Manual de métodos de análise de solos. 3.ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos. 2017. 573p.
- SALES, L. E. O.; CARNEIRO, M. A. C.; SEVERIANO, E. C.; OLIVEIRA, G. C.; FERREIRA, M. M. Qualidade física de um Neossolo Quartzarênico submetido a diferentes sistemas de uso agrícola. *Ciência e Agrotecnologia*, v.34, n.3, p. 667-674, 2010.
- SANTOS, L. N. S.; PASSOS, R. R.; SILVA, L. V. M.; OLIVEIRA, P. P.; GARCIA, G. O.; CECÍLIO, R. A. Avaliação de alguns atributos físicos de um Latossolo Vermelho-amarelo sob diferentes coberturas vegetais. *Bioscience Journal*, v.26, p.940-947, 2010.
- SILVA, É. A.; BENEVENUTE, P. A. N.; MELO, L. B. B. Qualidade física de um Latossolo estimada por estudos de curvas de retenção de água, indicadores de fácil determinação e “índice s”. *Tecnologia & Ciência Agropecuária*, v. 11, n. 4, p. 49-54, 2017.
- SOUZA, B. I.; ARTIGAS, R. C.; LIMA, E. R. V. Caatinga e desertificação. *Mercator*, v.14, n.1, p. 131-150, 2015.
- SOUZA, B. I.; MARTINS, V. L. Infiltração da água em solos de zona semiárida e sua relação com os processos de desertificação. *Boletim Gaúcho de Geografia*, v. 39, p.25-40, 2012.
- STONE, L. F.; SILVEIRA, P. M. Efeitos do sistema de preparo e da rotação de culturas na porosidade e densidade do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.25, n.2, p.395-401, 2001.
- TORMENA, C. A. BARBOSA, M. C.; COSTA, A. C. S.; GONÇALVES, A. C. A. Densidade, porosidade e resistência à penetração em Latossolo cultivado sob diferentes sistemas de preparo do solo. *Scientia Agricola*, v. 59, n. 4, p. 795-801, 2002.
- VICENTE, T. F. S. PEDROSA, E. M. R.; ROLIM, M. M.; OLIVEIRA, V. S.; OLIVEIRA, A. K. S.; SOUZA, A. M. P. L. Relações dos atributos do solo e estabilidade de agregados em canaviais com ou sem vinhaça. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 16, n. 11, p. 1215-1222, 2012.
- WOHLENBERG, E. V.; REICHERT, J. M.; REINERT, D. J.; BLUME, E. Dinâmica da agregação de um solo franco arenoso em cinco sistemas de culturas em rotação e sucessão. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 28, p.891-900, 2004.