AGRARIAN
OPEN ACCESS
e-ISSN: 1984-2538

Caracterização físico-hídrica de solos arenosos através da curva de retenção de água, índice S e distribuição de poros por tamanho

Physical-hydric characterization of sandy soils through water retention curve, S index and pore size distribution

Pedro Luan Ferreira da Silva
Universidade Estadual de Maringá
E-mail: pedroluanferreira@gmail.com
OrcID: https://orcid.org/0000-0001-5520-7920

Flávio Pereira de Oliveira
Universidade Federal da Paraíba
E-mail: pereira@cca.ufpb.br
OrcID: https://orcid.org/0000-0003-2832-6603

Adriana Ferreira Martins
Universidade Federal da Paraíba
E-mail: biol.adriana@gmail.com
OrcID: https://orcid.org/0000-0002-8960-3101

Walter Esfrain Pereira
Universidade Federal da Paraíba
E-mail: walterufpb@yahoo.com.br
OrcID: https://orcid.org/0000-0003-1085-0191

Tales Emanuel Duarte Santos
Universidade Federal de Lavras
E-mail: taleesss@gmail.com
OrcID: https://orcid.org/0000-0001-7342-956X

André Julio do Amaral
EMBRAPA-UEP-Recife
E-mail: andre.amaral@embrapa.br
OrcID: https://orcid.org/0000-0001-7246-2974

Resumo: Solos arenosos representam um desafio para a produção agrícola. Assim, o objetivo deste estudo foi caracterizar o comportamento físico-hídrico de três classes de solos arenosos através da curva de retenção de água, índice S e distribuição de poros por tamanho no geombiente dos Tabuleiros Costeiros de Arez, no estado do Rio Grande do Norte. Amostras de solo com estrutura indeformada foram coletadas nos horizontes superficiais e subsuperficiais de três perfis de solos para caracterização físico-hídrica através dos seguintes atributos: Curva de retenção de água no solo, capacidade de água disponível às plantas, potencial matricial no ponto de inflexão, umidade no ponto de inflexão, água prontamente disponível, índice de vazios, capacidade de campo relativa (CCr), distribuição de poros por tamanho, carbono orgânico total e textura do solo. Tanto em superfície quanto em subsuperfície o teor de água disponível nos solos foi influenciado positivamente pelo conteúdo de carbono orgânico e, em subsuperfície pelo aumento do teor de argila e pelo percentual de areia fina. A distribuição de poros por tamanho se apresentou de forma regular, característica de solos arenosos, com predomínio de macroporos e mesoporos, exceto para os horizontes subsuperficiais do solo no terço inferior com caráter fragipânico, onde predominou micro e criptoporos. O índice S reduziu em profundidade e os valores de CCr ficaram abaixo de 0,6, indicando uma baixa capacidade de retenção de água no solo, independentemente da posição deles na paisagem. Embora, os solos no terço inferior tenham apresentado maiores teores de água disponível.

Esta obra está licenciada com uma Licença Creative Commons Atribuição-NãoComercial-CompartilhaIgual 3.0 Brasil.

AGRARIAN
OPEN ACCESS
e-ISSN: 1984-2538

Palavras-Chave: Água disponível; Capacidade de campo; Porosidade do solo; Carbono orgânico do solo.

Abstract: Sandy soils represent a challenge for agricultural production. Thus, the aim of this study was to characterize the physical-hydric behavior of three classes of sandy soils through the water retention curve, S index and pore size distribution in the geo environment of the Tabuleiros Costeiros de Arez, in the state of Rio Grande do Norte, Brazil. Soil samples with undeformed structure were collected in the superficial and subsurface horizons of three soil profiles for physical-hydric characterization through the following attributes: Soil water retention curve, available water capacity, matric potential at the inflection point, water content in inflection point, readily available water, voids index, relative field capacity (R_{FC}), pore size distribution, total organic carbon and soil texture. Both on the surface and on the subsurface, the water content available in the soils was positively influenced by the organic carbon content and in the subsurface by the increase in the clay content and the percentage of fine sand. The pore size distribution was regular, characteristic of sandy soils, with a predominance of macropores and mesopores, except for the subsurface horizons of the soil in the lower third with a fragipanic character, where micro and cryptopores predominated. The S index decreased in depth and the R_{FC} values were below 0.6, indicating a low water holding capacity in the soil, regardless of their position in the landscape. Although, the soils in the lower third had higher levels of available water.

Keywords: Available water; Field capacity; Soil porosity; Soil organic carbon.

Data de recebimento: 05/02/2020
Data de aprovação: 02/06/2020
DOI: https://doi.org/10.30612/agrarian.v13i50.10993

Introdução

Os solos arenosos ocupam cerca de 8% do território brasileiro e representam um desafio à produção agrícola, pois apresentam como características marcantes a baixa fertilidade natural, alta suscetibilidade à erosão, facilidade de contaminação e déficit hídrico (DONAGEMMA et al., 2016). Apesar dessas limitações, sua incorporação ao processo produtivo tem se intensificado nos últimos anos, resultando em grande potencial de degradação física e química (SALVIANO et al., 2016). Nesse sentido, a avaliação da qualidade desses solos por meio de critérios distintivos torna-se cada vez mais importante e pode servir de subsídios para a definição de sistemas racionais de manejo que ocasionem o mínimo de impacto sobre a capacidade produtiva do solo (NEVES et al., 2007; SILVA et al., 2017).

Dentre esses critérios distintivos a curva de retenção de água no solo (CRA) tem sido utilizada na avaliação da qualidade física do solo (DEXTER, 2004), pois representa graficamente a relação entre a energia de retenção (potencial matricial Ψ_m) com o respectivo conteúdo de água no solo (CARDUCCI et al., 2011). É um indicador de qualidade física do solo valioso, visto que através dele é possível estimar o teor de água na capacidade de campo (Andrade et al., 2013), no ponto de murcha permanente, a capacidade de água disponível às plantas, além da condutividade hidráulica do solo não saturada (CARDUCCI et al., 2013; SERAFIM et al., 2013).

A CRA é um atributo dependente das características intrínsecas de cada solo, e resulta da ação conjunta de atributos como textura, estrutura, mineralogia e o conteúdo de matéria orgânica do solo (BEUTLER et al., 2002). Além da dinâmica de água, a CRA tem sido utilizada para fins de avaliação da qualidade física do solo por meio de um único parâmetro, o índice S (DEXTER et al., 2004; SILVA et al., 2017). Este parâmetro (S) é expresso pela porosidade estrutural do solo, ou seja, é resultante da ação de microfendas, trincas, bioporos e poros macroestruturais que são formados devido ao uso e manejo do solo para as culturas. Salienta-se que quanto maior for esse índice (S), melhor será a distribuição de poros do solo por tamanho (ROSSETTI & CENTURION, 2018). De acordo com a distribuição dos diferentes tamanhos de poros, pode-se entender o comportamento físico-hídrico do solo e prever possíveis restrições ao fluxo de água (RIBEIRO et al., 2007). Contudo, verifica-se na literatura que existe uma lacuna sobre informações referente a caracterização físico-hídrica de solos com elevados teores de areia no geoambiente dos Tabuleiros Costeiros do Rio Grande do Norte. Essa caracterização torna-se uma imprescindível fonte de informações básicas para estudos futuros relacionados a agronomia, hidrologia, ecologia e problemas ambientais (REICHERT et al., 2020).

Esta obra está licenciada com uma Licença Creative Commons Atribuição-NãoComercial-CompartilhaIgual 3.0 Brasil.

Portanto, objetivou-se com este estudo caracterizar o comportamento físico-hídrico de três classes de solos arenosos através da curva de retenção de água, índice S e distribuição de poros por tamanho no geombiente dos Tabuleiros Costeiros de Arez, no estado do Rio Grande do Norte.

Material e Métodos

Caracterização da área experimental

A área de estudo está localizada em Arez, no estado do Rio Grande do Norte. O município de Arez possui área territorial de 113 km^2 e está inserido na zona úmida costeira do geoambiente Tabuleiros Costeiros, microrregião do Litoral Sul do Rio Grande do Norte, sob coordenadas geográficas (6° 11' 40" latitude S e 35° 09' 37" longitude W) e altitude de 52 metros em relação ao nível do mar (SILVA et al., 2018).

O clima que predomina no município é do tipo (Aw) – tropical chuvoso, de acordo com a classificação Koppen-Geiger. O período chuvoso se estende de março a julho com precipitação média anual de 1300 mm; a temperatura varia de 26,5 a 32 °C e a umidade relativa do ar em torno de 50% (CLIMATE-DATA, 2018). A geologia é correspondente a sedimentos do grupo Barreiras tendo como material de origem sedimentos areno-argilosos (JACOMINE et al., 1971). A vegetação do município é composta por resquícios de floresta tropical subperenifolia e a principal atividade econômica praticada é a agricultura de subsistência com predomínio da cana-de-açúcar – *Sacharum officinarum* (DINIZ et al., 2014).

Caracterização do ambiente e coleta de solo

Um total de três trincheiras foram abertas com a finalidade de descrever a morfologia do solo para fins de classificação taxonômica em três posições do relevo: terços inferior, médio e superior (Figura 1), conforme procedimentos metodológicos apresentados no Sistema Brasileiro de Classificação de Solos – SIBCS (SANTOS et al., 2018).

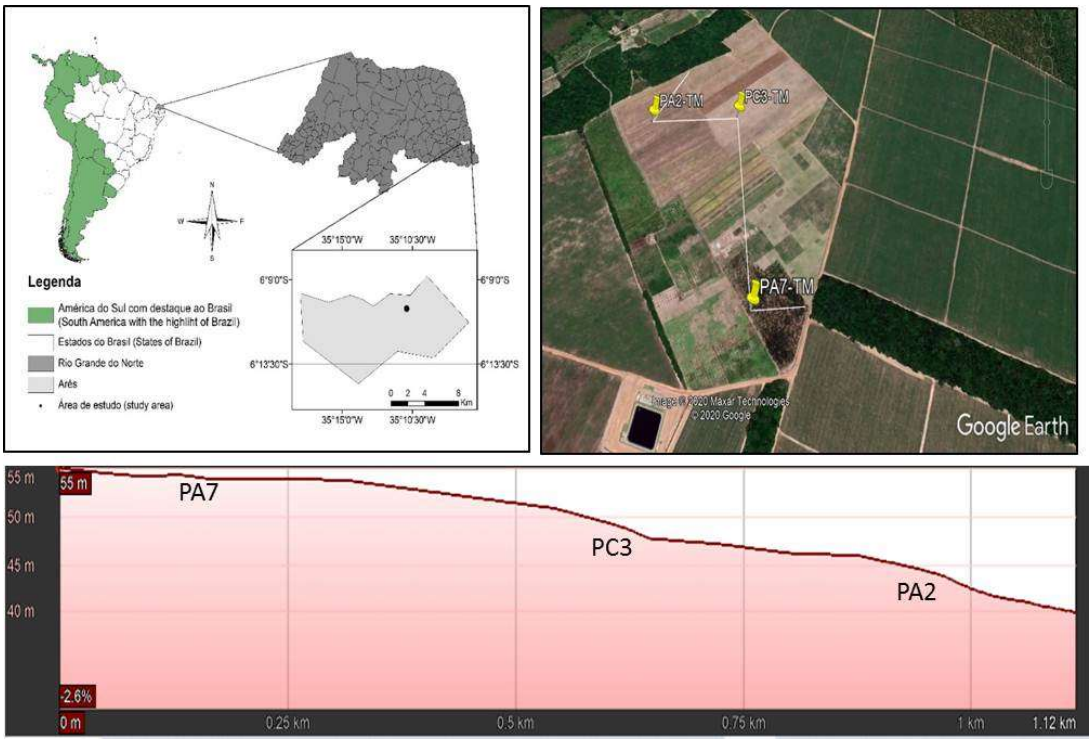

Figura 1. Localização da área experimental e dos perfis de solos, terço superior PA7= NEOSSOLO QUARTZARÊNICO Órtico típico; terço médio PC3= NEOSSOLO QUARTZARÊNICO Órtico latossólico e terço inferior PA2= ARGISSOLO VERMELHO AMARELO Distófico arênico abrúptico fragipânico no Geoambiente dos Tabuleiros Costeiros, Arez, RN. Imagem: Google Earth.

Esta obra está licenciada com uma Licença Creative Commons Atribuição-NãoComercial-CompartilhaIgual 3.0 Brasil.

No terço inferior do relevo o solo foi classificado como ARGISSOLO VERMELHO AMARELO Distrófico arênico abrúptico fragipânico, relevo suave ondulado, de textura arenosa/média, fase floresta tropical subperenifólia (PA2-TM); nessa classe de solo foram constatados os seguintes horizontes: Ap1 (0-18 cm), Ap2 (18-50 cm), AB (50-95 cm), Btx1 (95-130 cm) e Btx2 (130-180 cm). No terço médio o solo foi classificado como NEOSSOLO QUARTZARÊNICO Órtico latossólico, relevo suave ondulado, de textura arenosa, fase floresta tropical subperenifólia (PC3-TM), com horizontes Ap1 (0-18 cm), Ap2 (18-36 cm), AB (36-90 cm), Bw1 (90-140 cm) e Bw2 (140-200 cm). No terço superior do relevo, o solo foi classificado como NEOSSOLO QUARTZARÊNICO Órtico típico, relevo plano, de textura arenosa, fase floresta subperenifólia (PA7-TM), constatando-se a presença dos horizontes Ap1 (0-17 cm), Ap2 (17-48 cm), CA (48-90 cm), C1 (90-145 cm) e C2 (145-485 cm).

Para cada perfil abriu-se uma trincheira, de onde foram coletadas amostras de solo com estrutura indeformada em cilindros metálicos tipo Uhland, com volume de 98,17 cm^{-3}. Em cada horizonte diagnóstico foram coletadas duas amostras, totalizando dez por perfil.

Caracterização dos atributos analisadas

Após finalizados os procedimentos em campo, as amostras de solo foram encaminhadas ao Laboratório de Análises Físicas de Solo, do Departamento de Solos e Engenharia Rural (DSER), da Universidade Federal da Paraíba (UFPB), para a realização de análises. Os atributos analisadas foram: Curva de retenção de água no solo (CRA), índice S, capacidade de água disponível às plantas (θ_{AD}), potencial matricial no ponto de inflexão Ψm (i), umidade no ponto de inflexão (θ_{INFL}), água prontamente disponível (θ_{APD}), índice de vazios (ε),capacidade de campo relativa (CCr), distribuição de poros por tamanho, fracionamento da areia e teor de carbono orgânico total no solo.

Procedimentos metodológicos

A umidade retida nos potenciais de 0 (θ_0); -6 (θ_6) foi mensurada em mesa de tensão e -10 (θ_{10}); -33 (θ_{33}); -100 (θ_{100}); -300 (θ_{300}); -500 (θ_{500}); -1000 (θ_{1000}) e -1500 (θ_{1500}) kPa, utilizando a câmara de Richards com placas porosas (Klute, 1965). A curva de retenção de água no solo (CRA) foi ajustada empregando-se o modelo proposto por Van Genuchten (1980) utilizando o *software* SWRC (DOURADO NETO et al., 2000), e a constante de restrição (m= 1-1/n) proposta por Mualem (1986). A equação utilizada para o ajuste das curvas de retenção encontra-se a seguir:

$$(\theta) = \theta r + \frac{(\theta s - \theta r)}{[(1 + (\alpha \Psi m)^{n}]^{m}} \qquad \text{Eq. 1}$$

Em que: θ é o conteúdo volumétrico de água no solo ($m^3\ m^{-3}$) correspondente ao potencial matricial aplicado (Ψm kPa); θr representa a umidade residual do solo; θs é a umidade correspondente ao volume desaturação; Ψ é o valor absoluto do potencial matricial (kPa); n, m e α, são parâmetros empíricos do modelo, com α expresso em (kPa); n e m são adimensionais.

O índice S foi determinado através do ponto de inflexão da curva de retenção de água no solo (CRA), conforme proposto por Dexter (2004), usando-se a restrição (1- 1/n) proposta por Mualem (1986). A equação utilizada para o cálculo do índice S, encontra-se abaixo:

$$|S| = -n\,(\theta s - \theta r)\,[1 + 1/m]^{-(1+m)} \qquad \text{Eq. 2}$$

Em que: $|S|$ é o valor de inclinação da curva de retenção de água no solo (CRA) no seu ponto de inflexão, θs é a umidade volumétrica do solo na saturação (θ_0, $m^3\ m^{-3}$); θr é a umidade residual do solo ($m^3\ m^{-3}$); m é a restrição proposta por Mualem (1986). Utilizou-se S ≥ 0,045 como o limite mínimo adequado para solos de boa qualidade estrutural (ANDRADE & STONE, 2009). Conforme proposto por Dexter (2004), os valores foram apresentados em módulo de forma a facilitar a discussão e compreensão dos resultados (adimensional).

A capacidade de água disponível as plantas (θ_{AD}) foi determinada através da relação θ_{10} - θ_{1500} kPa ($m^3\ m^{-3}$) (TEIXEIRA et al., 2017). O potencial matricial no ponto de inflexão Ψ_m (i) foi calculado através da regra de cadeia de processos de derivação (DEXTER & BIRD, 2001):

Esta obra está licenciada com uma Licença Creative Commons Atribuição-NãoComercial-CompartilhaIgual 3.0 Brasil.

$$\Psi_m (i) = 1/\alpha * (1/m)^{1/n} \qquad \text{Eq. 3}$$

Em que: Ψ_m (i) é o potencial matricial no ponto de inflexão (-kPa); α, m e n são parâmetros empíricos da equação de ajuste. A umidade no ponto de inflexão (θ_{INFL}) foi calculada utilizando os parâmetros de ajustes da curva de retenção de água no solo (CRA), conforme descrito por Dexter & Bird (2001):

$$\theta_{INFL} = (\theta s - \theta r) * (1 + 1/m)^{-m} + \theta r \qquad \text{Eq. 4}$$

Em que: θ_{INFL} corresponde a umidade do solo no ponto de inflexão ($m^3\ m^{-3}$); θs é a umidade de saturação do solo ($m^3\ m^{-3}$); θr é a umidade residual ($m^3\ m^{-3}$); m é a constante de restrição (m= 1-1/n) Mualem (1986). A água prontamente disponível às plantas (θ_{APD}) foi determinada através da relação (θ_{100} - θ_6) (BARBOSA et al., 2014).

O índice de vazios (ε) foi determinado através da relação entre o volume de vazios (αEst) e o volume de sólidos do solo, conforme apresentado na equação:

$$\varepsilon = \alpha Est/ (1- \alpha Est) \qquad \text{Eq. 5}$$

Em que: (ε) representa o índice do volume de vazios (adimensional) e αEst a porosidade total, que foi estimada através da umidade correspondente ao volume de saturação ($m^3\ m^{-3}$). A capacidade de campo relativa (CCr) foi determinada segundo metodologia apresentada por Reynolds et al. (2007), utilizando a seguinte equação:

$$CCr = (\theta_{CC}/ \theta_S) = [1 – (CAS/ \theta_S)] \qquad \text{Eq. 6}$$

Em que: CCr é a capacidade de campo relativa (adimensional); θ_{CC} é a capacidade de campo ($m^3\ m^{-3}$); θ_S é a umidade do solo saturado ($m^3\ m^{-3}$) e CAS é a capacidade de aeração do solo, obtida através da equação (θ_0 - θ_{33}). A capacidade de campo relativa (CCr) é considerada ótima quando os valores médios se situam entre 0,6 ≤ CCr ≤ 0,7, de forma que haja um balanço adequado entre a capacidade de água e a capacidade de aeração do solo na zona rizosférica (Olness et al., 1998). Valores superiores ou inferiores aos apresentados por essa faixa resultam em redução da atividade microbiana, devido conteúdo ineficiente de água ou ar no solo; quando os valores médios são <0,6 - significa que o solo apresenta baixo conteúdo de água e, quando >0,7 – significa que o solo apresenta baixo conteúdo de ar (REYNOLDS et al., 2007).

A porosidade livre de ar (θar) foi determinada de acordo com metodologia proposta por Reynolds et al. (2007), utilizando a seguinte fórmula [1- (Ds/Dp) – 0,1] ($m^3\ m^{-3}$). Onde: Ds é a densidade do solo (g cm^{-3}) e Dp é a densidade de partículas (g cm^{-3}). A densidade do solo foi determinada de acordo com metodologia descrita por Blake &Hartge (1986) e a densidade de partículas foi determinada de acordo com Teixeira et al. (2017).

Para a quantificação da distribuição de poros por diâmetro utilizou-se a metodologia descrita por Bouma (1991) e através da seguinte equação:

$$D = 4\ \sigma\ Cos\theta/\ \Psi m \qquad \text{Eq. 7}$$

Em que: D é o diâmetro do poro (μm); σ é a tensão superficial da água (0,272 bar a 20 °C); θ é o ângulo de contato entre o menisco e a parede do tubo capilar (considerado como zero) e Ψ_m é o potencial matricial aplicado (kPa). As classes de diâmetro de poros foram subdivididas conforme classificação proposta por Klein e Libardi (2002), sendo Ø > 0,05 mm (50 μm) classificado como macroporos, que perdem água em potenciais menores que -6 kPa; Ø entre 0,05 e 0,0002 mm (50 a 0,2 μm), microporos que perdem água entre -6 e -1500 kPa e, Ø < 0,0002 mm, criptoporos, que perdem água em potenciais maiores que -1500 kPa.

Análise estatística

Por se tratar de uma caracterização físico-hídrica de solos arenosos em diferentes posições na paisagem em área de relevo plano a suave ondulado, os dados foram analisados por meio da estatística descritiva, considerando a média, desvio padrão e o coeficiente de variação realizados com auxílio do programa Microsoft Excel 2016.

Esta obra está licenciada com uma Licença Creative Commons Atribuição-NãoComercial-CompartilhaIgual 3.0 Brasil.

AGRARIAN
OPEN ACCESS
e-ISSN: 1984-2538

Resultados e Discussão

Na Tabela 1 encontram-se apresentadas a areia fracionada, os teores de silte e argila, além da capacidade de troca catiônica (CTC) e o teor de carbono orgânico total do solo (COT). Verifica-se predomínio das frações de areia média (AME) e fina (AF) nos perfis de solo avaliados, com incremento nos teores de AG e redução nos teores de Argila no PA7-TM.

Tabela 1. Granulometria e caracterização química dos três perfis de solo PA2TM (0-180 cm), PC3TM (0-185 cm) e PA7TM (0-185 cm) no geoambiente dos Tabuleiros Costeiros de Arez, RN.

Perfil	Horizonte	Camada	Areia					Silte	Argila	CTC	COT
			AMG	AG	AME	AF	AMF				
		(cm)	---------- g kg^{-1} ----------							$cmol_c$ kg^{-1}	g kg^{-1}
PA2TM	Ap1	0-18	60	173	366	286	55	20	40	4,00	6,39
	Ap2	18-50	79	221	328	280	38	20	34	2,60	4,07
	AB	50-95	83	195	301	261	45	106	10	1,90	4,30
	Btx1	95-130	35	130	281	266	60	76	152	2,27	3,88
	Btx2	130-180	40	149	246	216	45	66	238	2,20	3,20
Média			59,2	173,6	304,4	261,8	48,6	57,6	94,8	2,59	4,36
σ			25,25	36,09	45,61	27,51	8,79	37,34	97,0	0,82	1,20
CV (%)			42,6	20,7	14,9	10,5	18,0	64,8	102	31,7	27,5
PC3TM	Ap1	0-18	53	243	326	248	30	50	20	4,19	9,87
	Ap2	18-36	43	185	298	344	58	36	40	1,54	3,01
	AB	36-90	60	180	319	251	50	94	80	1,59	2,25
	Bw1	90-140	53	195	303	261	45	143	100	1,18	3,35
	Bw2	140-200	53	158	276	256	53	191	100	0,96	1,92
Média			52,4	192,2	304,4	272	47,2	102,8	68	1,89	4,08
σ			6,06	31,4	19,5	40,5	10,7	64,6	21,8	1,31	3,28
CV (%)			11,5	16,3	6,42	14,9	22,6	62,8	74,8	69,2	80,5
PA7TM	Ap1	0-17	48	243	358	248	30	31	20	2,45	8,57
	Ap2	17-48	55	191	317	307	55	54	20	1,76	4,56
	CA	48-90	48	223	365	256	30	78	20	1,38	1,85
	C1	90-145	43	173	295	296	58	73	40	1,30	1,75
	C2	145-185	67	181	301	261	50	117	40	1,19	1,45
Média			52,2	202,2	327,2	273,6	44,6	70,6	28,0	1,61	3,63
σ			9,31	29,6	32,4	26,1	13,6	31,8	23,3	0,51	3,02
CV (%)			17,8	14,6	9,90	9,56	30,5	45,1	78,3	31,7	83,3

AMG= Areia muito grossa (2-0,84 mm); AG= Areia grossa (0,84-0,5 mm); AME= Areia média (0,5-0,21 mm); AF= Areia fina (0,21-0,105 mm); AMF= Areia muito fina (0,105-0,053 mm); CTC= Capacidade de troca catiônica; COT= Carbono orgânico total do solo; CV= Coeficiente de variação; σ= Desvio padrão da média. Metodologia para CTC e COT (Teixeira et al., 2017).

Verifica-se na Tabela 1, o incremento no conteúdo de argila no PA2-TM com o aumento de profundidade e redução no teor de carbono orgânico total e capacidade de troca catiônica. A mesma tendência foi verificada no PA7-TM, porém neste com menor teor de argila. Importante destacar que os teores de COT são maiores nos horizontes superficiais e reduzem em profundidade, na média o solo localizado na encosta (PA2TM) apresentou teores ligeiramente superiores aos demais (Tabela 1). Na Figura 2, encontram-se apresentadas as curvas de retenção de água no solo para os três solos avaliados (PA2TM, PA7TM e PC3TM) e na Tabela 2, os parâmetros de ajustes das curvas de retenção (CRA).

A acentuada inclinação das curvas de retenção de água para os horizontes Ap1, Ap2 e AB (PA2TM), indicam um decréscimo abrupto no conteúdo de água no solo (Figura 2A), principalmente entre -6 e -100 kPa, faixa esta onde está armazenada a água prontamente disponível para as plantas (θ_{APD}) (BARBOSA et al., 2014).

Esta obra está licenciada com uma Licença Creative Commons Atribuição-NãoComercial-CompartilhaIgual 3.0 Brasil.

Nos horizontes com maior concentração de argila (Btx1 e Btx2), observa-se que a retenção de água foi maior em relação aos demais horizontes. Esses resultados demonstram a influência da argila no comportamento das curvas de retenção de água no solo. Fato esse comprovado através do comportamento das curvas no PA2TM (Figura 2A), que apresentou teor médio de argila na ordem de 94,8 g kg^{-1}, superior aos demais solos avaliados. Silva et al. (2018) caracterizando atributos físicos de solo no local do presente estudo, encontraram diferentes concentrações de areia grossa nos horizontes que compõem o perfil PA2TM, com 233, 300, 278, 165 e 189 g kg^{-1} para os horizontes (Ap1, Ap2, AB, Btx1 e Btx2), respectivamente.

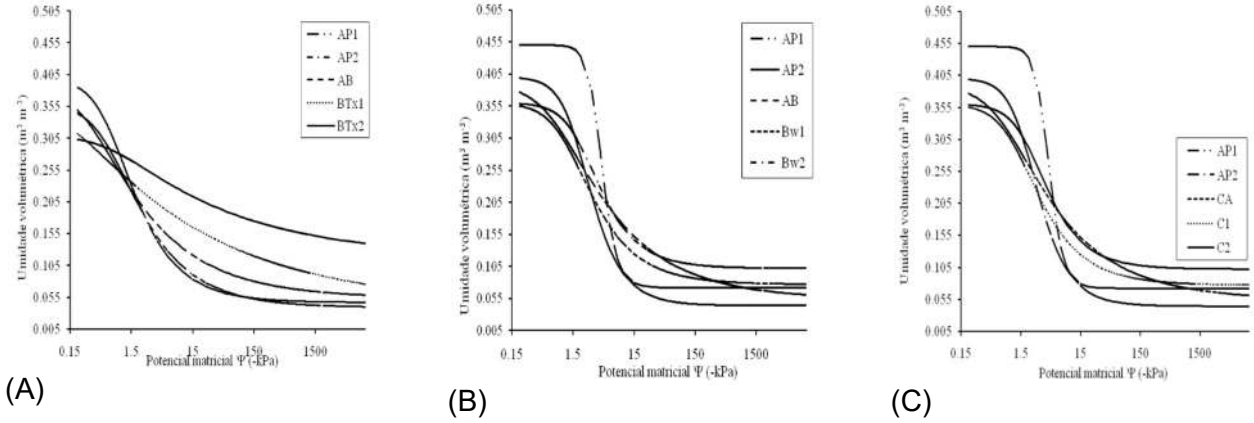

Figura 2. Curva de retenção de água no solo para dos três perfis de solo PA2TM (0-180 cm), PC3TM (0-185 cm) e PA7TM (0-185 cm) no geoambiente dos Tabuleiros Costeiros de Arez, RN.

Verifica-se que a capacidade de retenção de água no solo (PA2TM) seguiu a seguinte ordem decrescente, levando-se em consideração a faixa entre os potencias -100 e -1500 kPa (Btx2 > Btx1 > AB > Ap1 > Ap2), evidenciando que em horizontes com predomínio da fração areia o conteúdo de água no solo é bem menor. Isso foi verificado por Fidalski et al. (2013) avaliando a influência das frações de areia na retenção e disponibilidade de água em solos da formação Caiuá e Paranavaí; eles concluíram que a predominância de areia em sua fração grosseira reduz a disponibilidade de água no solo para as plantas. Em relação a água disponível (Figura 2A), verifica-se que a disponibilidade foi maior nos horizontes Btx1 e Btx2 em função dos maiores teores de argila e maior mesoporosidade.

Dentre os horizontes avaliados, o Btx2 se destacou por apresentar θr = 0,117 m^3 m^{-3} (Tabela 2), sinalizando maior retenção de água. Conforme apresentado na Tabela 2, observa-se que os maiores valores de α foram verificados nos horizontes Btx1 (7,646) e AB (3,318) do PA2TM, reduzindo a capacidade de armazenamento de água no solo em potenciais próximos ao ponto de murcha permanente (θr). No horizonte Btx2 do PA2TM o valor de α foi 1,453, um dos menores observados. Esse fato contribuiu para o aumento da retenção de água no solo em profundidade. O mesmo comportamento foi verificado por Lima et al. (2014) em Latossolo Vermelho, segundo eles, redução nos valores de α contribui para melhorias na retenção de água no solo. Maiores concentrações de carbono orgânico em superfície (Tabela 1) contribuíram para o aumento de retenção de água na saturação (θs) e na capacidade de campo, como observado nas Figuras (2 A, B e C). Segundo Abel et al. (2013), a deposição de matéria orgânica no solo diminui a densidade do solo (Ds) e aumenta o volume total de poros, assim, contribui para o aumento do teor de água no ponto de murcha permanente (θ_{PMP}) e a água disponível as plantas (θ_{APD}).

Tabela 2. Parâmetros de ajuste as curvas de retenção (CRA) em três perfis de solo no geoambiente dos Tabuleiros costeiros em Arez, RN.

Perfil	Horizonte	prof.	θs	θr	m	n	α	R^2
		-- cm --	--- m^3 m^{-3} ---		----------		kPa	----
PA2TM	Ap1	0-18	0,400	0,047	0,427	1,746	1,381	0,992
	Ap2	18-50	0,360	0,039	0,368	1,583	1,508	0,989
	AB	50-95	0,390	0,054	0,291	1,411	3,318	0,984

Esta obra está licenciada com uma Licença Creative Commons Atribuição-NãoComercial-CompartilhaIgual 3.0 Brasil.

	Btx1	95-130	0,360	0,042	0,166	1,199	7,646	0,993
	Btx2	130-180	0,310	0,117	0,181	1,232	1,453	0,988
Média			0,364	0,059	0,286	1,434	3,061	0,989
σ			0,035	0,032	0,114	0,232	2,688	0,004
CV (%)			9,63	54,30	39,80	16,20	87,81	0,360
PC3TM	Ap1	0-18	0,450	0,072	0,749	3,995	0,250	0,994
	Ap2	18-36	0,400	0,044	0,533	2,145	0,548	0,990
	AB	36-90	0,390	0,054	0,291	1,411	1,318	0,984
	Bw1	90-140	0,360	0,077	0,417	1,715	0,792	0,987
	Bw2	140-200	0,360	0,102	0,472	1,895	0,472	0,981
Média			0,362	0,048	0,489	2,130	0,895	0,990
σ			0,014	0,007	0,148	0,731	0,603	0,003
CV (%)			4,09	16,60	30,30	34,34	67,41	0,387
PA7TM	Ap1	0-17	0,380	0,039	0,440	1,788	0,972	0,996
	Ap2	17-48	0,340	0,048	0,695	3,282	0,261	0,992
	CA	48-90	0,360	0,043	0,413	1,703	1,285	0,989
	C1	90-145	0,360	0,050	0,319	1,469	1,644	0,987
	C2	145-185	0,370	0,060	0,582	2,409	0,315	0,987
Média			0,392	0,069	0,492	2,232	0,676	0,987
σ			0,037	0,022	0,168	1,021	0,407	0,005
CV (%)			9,44	32,10	34,30	45,74	60,32	0,513

Em que: PA2TM= ARGISSOLO VERMELHO AMARELO Distrófico arênico abrúptico fragipânico; PA7TM= NEOSSOLO QUARTZARÊNICO Órtico típico; PC3TM= NEOSSOLO QUARTZARÊNICO Órtico latossólico. θs= Umidade de saturação, θr= Umidade residual do solo (Equivalente a θ_{1500} kPa); m, n, α= Parâmetros empírica da equação de ajuste das curvas; R^2= Coeficiente de determinação.

Verifica-se na Figura 2A que os horizontes Ap1, Ap2 e AB apresentaram restrição hídrica na faixa entre -6 e -100 kPa, ficando abaixo do limite mínimo de 10% (0,10 m^3 m^{-3}), reduzindo assim o teor de água prontamente disponível às plantas (θ_{APD}). Para Reynolds et al. (2007), as plantas não conseguem absorver a água do solo quando os seus valores são iguais ou menores que 0,10 m^3 m^{-3}. As curvas de retenção correspondentes aos perfis PA7TM e PC3TM (Figuras 2A e 2C) respectivamente, apresentaram um comportamento bem distinto em relação a curva correspondente ao PA2TM, observando-se um decréscimo abrupto no conteúdo de água no solo entre Ψ_m -6 e -100 kPa, acentuando-se nos potenciais mais elevados. No PA7TM (Figura 2A), verifica-se que o horizonte C2 apresentou maior capacidade de retenção de água na profundidade de 145-185 cm, provavelmente pelo aumento de densidade e elevação na microporosidade do solo, fato esse evidenciado pelo valor de θr que foi de 0,060 m^3 m^{-3}, superior aos demais horizontes avaliados. Para Machado et al. (2008) valores baixos de θr estão relacionados a porosidade estrutural do solo, portanto, reduzem com o aumento de densidade e manejo inadequado do solo.

Traçando-se um panorama entre as curvas de retenção de água no solo para o PA7TM, verifica-se que os horizontes apresentaram a seguinte ordem decrescente para a retenção: C2 > CA > C1 > Ap1 > Ap2. Comportamento idêntico ao PA7TM também foi verificado no PC3TM (NEOSSOLO QUARTZARÊNICO Órtico latossólico), com queda brusca no conteúdo de água entre os potenciais Ψ_m -6 e -100 kPa, Figura (2C). Geralmente quando o valor do parâmetro n encontram-se próximos ou superiores a um (1,0) significa que as curvas de retenção de água no solo apresentam menor inclinação no ponto de inflexão e uma maior uniformidade na distribuição do tamanho de poros, característica essa geralmente encontrada em solos arenosos (ENGLES, 2007). Esse comportamento foi verificado nos horizontes dos três solo avaliados, onde os valores de n tenderam a ficar acima de 1,0 (Tabela 4). Em solos onde predomina a fração areia, as curvas de retenção passam a apresentar uma maior declividade, refletindo na pequena variação no tamanho de poros e valores esperados de n maiores (TAVARES et al., 2007). Observa-se na Tabela 1 e Figura (2A) que existe uma clara relação entre o teor de argila e a umidade do solo. Verifica-se no PA2-TM que a retenção de água aumentou com incremento no teor de argila em profundidade.

Levando-se em consideração a umidade prontamente disponível às plantas (θ_{100} - θ_6), pode-se afirmar que alguns vegetais passariam por eventual estresse hídrico, principalmente aqueles com sistema radicular superficial (Tabela 5). Para Fidalski et al. (2013), esse problema é mais evidenciado em solos arenosos com predomínio de areia grossa, que exerce forte influência sobre a capacidade de campo ocasionando a rápida secagem do solo logo após algum evento pluviométrico. Um fato importante a ser destacado é que, em todos

Esta obra está licenciada com uma Licença Creative Commons Atribuição-NãoComercial-CompartilhaIgual 3.0 Brasil.

os perfis avaliados a umidade no solo entre os potenciais -6 e -100 kPa ficou abaixo de 0,10 m^3m^{-3}, evidenciando sérios problemas hídricos relacionados a rápida drenagem de água no solo, embora o fracionamento da areia tenha demonstrado predomínio de AM e AF.

Para Muggler et al. (1996), a retenção de água em solos com elevado teor de areia está relacionada a uma ação conjunta das frações de areia fina e argila. O aumento nos teores de areia média e fina em solos arenosos, principalmente se tratando de Neossolos Quartzarênicos, promovem uma distribuição da rede capilar com menor diâmetro de poros, possibilitando a retenção de água entre as partículas de solo através do movimento mais lento da solução do solo (MUGGLER et al., 1996). Salienta-se que o manejo conservacionista, a textura e estrutura do solo apresentam papéis preponderantes nas características físico-hídricas do solo.

Na Tabela 3, encontram-se apresentados os valores médios do potencial mátrico no ponto de inflexão Ψ_m (i), a umidade no ponto de inflexão (θ_{INFL}), a água prontamente disponível às plantas (θ_{APD}), a capacidade de água disponível (θ_{AD}) e a porosidade livre de ar (θar).

Tabela 3. Potencial matricial no ponto de inflexão Ψ_m (i), teor de umidade no ponto de inflexão (θ_{INFL}), água prontamente disponível às plantas (θ_{APD}), água disponível (θ_{AD}) e porosidade livre de ar (θar) em três perfis de solo no geoambiente dos Tabuleiros costeiros em Arez, RN.

Perfil	Horizonte	Camada	Ψ_m (i)	θ_{INFL}	θ_{APD}	θ_{AD}	θar
		cm	kPa	---------- $m^3 m^{-3}$ ----------			
PA2TM	Ap1	0-18	-1,178	0,257	0,063	0,024	0,30
	Ap2	18-50	-1,246	0,237	0,071	0,034	0,26
	AB	50-95	-0,722	0,271	0,076	0,045	0,29
	Btx1	95-130	-0,584	0,272	0,070	0,104	0,26
	Btx2	130-180	-2,755	0,254	0,057	0,078	0,21
Média			-1,297	0,258	0,067	0,057	0,26
σ			0,863	0,014	0,007	0,033	0,035
CV (%)			66,56	5,55	11,03	58,26	13,2
PC3TM	Ap1	0-18	-4,300	0,272	0,084	0,017	0,35
	Ap2	18-36	-2,446	0,246	0,076	0,025	0,30
	AB	36-90	-1,819	0,271	0,085	0,048	0,28
	Bw1	90-140	-2,102	0,246	0,076	0,032	0,26
	Bw2	140-200	-3,148	0,252	0,086	0,028	0,26
Média			-2,763	0,257	0,081	0,030	0,29
σ			0,099	0,013	0,004	0,011	0,037
CV (%)			35,91	5,09	61,18	38,22	12,9
PA7TM	Ap1	0-17	-1,628	0,241	0,074	0,026	0,28
	Ap2	17-48	-4,280	0,205	0,077	0,019	0,24
	CA	48-90	-1,308	0,233	0,066	0,027	0,26
	C1	90-145	-1,323	0,247	0,083	0,047	0,26
	C2	145-185	-3,974	0,233	0,100	0,040	0,27
Média			-2,503	0,232	0,080	0,024	0,26
σ			1,492	0,016	0,012	0,016	0,014
CV (%)			59,62	6,94	15,93	68,97	5,6

Em que: PA2TM= ARGISSOLO VERMELHO AMARELO Distófico arênico abrúptico fragipânico; PA7TM= NEOSSOLO QUARTZARÊNICO Órtico típico; PC3TM= NEOSSOLO QUARTZARÊNICO Órtico latossólico.

Verifica-se valores baixos de Ψ_m(i) para o PA2TM nos horizontes AB (-0,722) na profundidade de 50-95 cm e no Btx1 (-0,584) na profundidade de 95-130 cm. Nesse caso, pode-se inferir que a energia de retenção da água drenável nesses perfis é menor, sendo fácil e rapidamente liberada no solo. Valores superiores foram encontrados por Silva et al. (2017) avaliando a eficiência de diferentes misturas de substratos na produção de mudas de cafeeiro; para eles o aumento na porosidade total tende a reduzir o potencial matricial do solo no ponto de inflexão Ψ_m (i).

No PA7TM, o Ψ_m (i) variou de -1,308 a -3,974 kPa no horizonte C2 de 145-185 cm, enquanto no PC3TM o Ψ_m (i) variou de -1,819 a -4,300 kPa, destacando-se o maior valor médio no horizonte Ap1 na camada de 0-18 cm. Valores elevados de Ψ_m (i) indicam que nesses horizontes a perda de água drenável pelo solo são menores em relação aos horizontes com Ψ_m (i) < 1,0, sinalizando à presença de poros de menor diâmetro, que

Esta obra está licenciada com uma Licença Creative Commons Atribuição-NãoComercial-CompartilhaIgual 3.0 Brasil.

necessitam de tensões mais elevadas para serem drenados. Verifica-se que nos Neossolos (PC3TM e PA7TM) os valores de Ψ_m (i) foram mais negativos que no Argissolo (PA2TM), mesmo apresentado teores elevados de areia. Nesse caso, pode-se inferir que as partículas menores como as de areia fina e o silte devem estar exercendo influência sobre os valores de potencial mátrico por favorecer a formação de poros intermediários.

Nesse mesmo sentido, verifica-se que a umidade no ponto de inflexão θ_{INFL} ficou acima de 0,200 m^3 m^{-3} em todos os perfis, caracterizando então um valor de umidade ótimo entre os poros estruturais (menor tensão) e os poros texturais (elevada tensão) do solo. Para Dexter & Bird (2001) e Carducci et al. (2015) a θ_{INFL} e o Ψ_m (i), representam o ponto exato em que o conteúdo de água promove uma grande proporção de agregados do solo menores e estáveis, ou seja, a faixa de friabilidade onde o ponto de ruptura dos agregados ocorre nas suas zonas de clivagem, sendo identificado pela rápida entrada de ar no solo; ou seja, representa o limite de separação entre os macroporos e os poros de demais diâmetros (CARDUCCI et al., 2015).

Em alguns casos a θ_{INFL} pode ser utilizada como a umidade ideal para o preparo do solo (DEXTER & BIRD, 2001) e, levando-se em consideração a camada superficial de 0 a 50 cm, demonstram-se que os valores médios de umidade para o preparo do solo foi de 0,247 m^3 m^{-3} no PA2TM, 0,223 m^3 m^{-3} no PA7TM e 0,259 m^3 m^{-3} no PC3TM. Nesse contexto, verifica-se também que o teor de água prontamente disponível às plantas θ_{APD}, com exceção do horizonte C2 no PA7TM (145-185 cm) ficou abaixo de 0,10 m^3 m^{-3}, ou seja, restritivo, o que em termos ambientais ocasionaria problemas relacionados ao déficit hídrico para as plantas, principalmente às mais jovens, por serem mais sensíveis as mudanças no conteúdo de água no solo. A água prontamente disponível (θ_{APD}) foi maior nos horizontes com maior concentração de areia grossa e média (Tabela 1), fato esse que contribui na melhor absorção pelas plantas.

Na Tabela 4, encontram-se apresentados os valores médios do índice S, índice de vazios (ε) e capacidade de campo relativa (CCr) para os três perfis de solo. O índice S variou de 0,110 a 0,026 no PA2TM, indicando haver sérios problemas de degradação a partir da profundidade de 130 cm. Nos demais perfis, o índice S variou de 0,211 a 0,070 no PA7TM e de 0,291 a 0,069 no PC3TM.

Tabela 4. Índice S, índice de vazios (ε) e capacidade de campo relativa (CCr) em três perfis de em três perfis de solo no geoambiente dos Tabuleiros costeiros em Arez, RN.

Perfil	Horizonte	Profundidade	S	ε	CCr
		---- cm ----	----------		
	Ap1	0-18	0,110	0,66	0,19
	Ap2	18-50	0,084	0,56	0,23
PA2TM	AB	50-95	0,069	0,63	0,28
	Btx1	95-130	0,039	0,56	0,45
	Btx2	130-180	0,026	0,44	0,67
Média			0,065	0,57	0,36
σ			0,033	0,084	0,197
CV (%)			51,6	14,8	54,3
	Ap1	0-18	0,291	0,81	0,21
	Ap2	18-36	0,151	0,66	0,19
PC3TM	AB	36-90	0,069	0,61	0,30
	Bw1	90-140	0,085	0,56	0,33
	Bw2	140-200	0,091	0,56	0,40
Média			0,137	0,64	0,286
σ			0,091	0,103	0,086
CV (%)			66,4	16,2	30,3
	Ap1	0-17	0,110	0,61	0,21
	Ap2	17-48	0,211	0,51	0,22
PA7TM	CA	48-90	0,094	0,56	0,21
	C1	90-145	0,070	0,56	0,31
	C2	145-185	0,153	0,58	0,28
Média			0,127	0,56	0,24
σ			0,055	0,036	0,046
CV (%)			43,5	6,46	18,7

Esta obra está licenciada com uma Licença Creative Commons Atribuição-NãoComercial-CompartilhaIgual 3.0 Brasil.

Verifica-se tendência de redução no índice S com o aumento de profundidade no PA2TM, aproximando-se de 0,020, que segundo Dexter (2004) é considerado um solo degradado fisicamente. A redução do índice S em profundidade está relacionado ao aumento de densidade do solo e redução na distribuição de poros, principalmente macroporos, como observado por Souza et al. (2015). Nos horizontes Btx1 e Btx2 do PA2TM verificou-se os menores valores de S, indício do predomínio de poros texturais, por conta do aumento do teor de argila e em função do caráter fragipânico. Nos demais horizontes, verificou-se valores acima de 0,035, indicando o predomínio de poros estruturais, como bioporos e macroporos (SILVA et al., 2015), que são mecanismos essenciais no funcionamento do solo; principalmente se tratando de infiltração e armazenamento de água no solo (Nascimento et al., 2018) e, estiveram muito associados ao aumento das frações areia média e areia fina, bem como pelo os maiores teores de carbono orgânico.

Maia (2011) avaliando o índice S como indicador de qualidade do solo, encontrou valores médios variando de 0,167 a 0,652, valores estes superiores aos verificados no presente estudo. Segundo o autor, valores altos estão relacionados à unidade utilizada para o cálculo de umidade do solo se em (g kg^{-1} ou m^3 m^{-3}), ao nível de restrição utilizado no ajuste das curvas de retenção (m= 1- 1/n) e aos valores de densidade do solo.

A distribuição do tamanho de poros por diâmetro exerce forte influência sobre o comportamento das curvas de retenção de água e dos parâmetros físico-hídricos do solo (Tabela 5). Observa-se que os perfis de solo avaliados apresentaram predomínio de macroporos e mesoporos (Ø > 50 µm) nas camadas superficiais e predomínio de microporos (Ø < 50 e > 0,2 µm) e criptoporos (Ø < 0,2 µm) com o aumento de profundidade do solo (Tabela 5). O aumento do número de poros com diâmetro menor que 0,3 µm em subsuperfície está ligado ao aumento de densidade e principalmente, na elevação dos teores de argila e silte.

Tabela 5. Distribuição de poros por tamanho (m^3 m^{-3}) em três perfis de solo no geoambiente dos Tabuleiros costeiros em Arez, RN.

Perfil	h	prof.	>49	49-29	29-9	9-3	3-1	1-0,6	0,6-0,3	0,3-0,2	<0,2
			---------- µm ----------								
PA2TM	Ap1	0-18	0,27	0,05	0,005	0,004	0,011	0,004	0,00	0,00	0,048
	Ap2	18-50	0,22	0,05	0,012	0,003	0,008	0,018	0,00	0,00	0,043
	AB	50-95	0,22	0,06	0,008	0,005	0,006	0,012	0,00	0,00	0,064
	Btx1	95-130	0,16	0,03	0,017	0,015	0,011	0,018	0,010	0,00	0,091
	Btx2	130-180	0,07	0,031	0,015	0,011	0,015	0,014	0,005	0,00	0,149
Média			0,188	0,044	0,011	0,007	0,010	0,013	0,003	0,00	0,079
σ			0,076	0,013	0,004	0,005	0,003	0,005	0,004	0,00	0,043
CV %			40,7	29,7	43,2	68,1	33,5	43,6	149	0	54,9
PC3TM	Ap1	0-18	0,28	0,076	0,005	0,003	0,001	0,008	0,002	0,003	0,072
	Ap2	18-36	0,26	0,065	0,007	0,004	0,008	0,001	0,009	0,002	0,044
	AB	36-90	0,20	0,066	0,012	0,007	0,008	0,00	0,100	0,001	0,076
	Bw1	90-140	0,18	0,061	0,011	0,004	0,001	0,005	0,003	0,001	0,079
	Bw2	140-200	0,15	0,067	0,013	0,006	0,007	0,004	0,010	0,00	0,103
Média			0,214	0,067	0,009	0,004	0,005	0,003	0,024	0,01	0,074
σ			0,054	0,005	0,003	0,001	0,003	0,003	0,042	0,001	0,021
CV %			25,5	8,24	35,7	34,2	73,4	89,1	170	81,4	28,1
PA7TM	Ap1	0-17	0,25	0,049	0,016	0,009	0,007	0,005	0,004	0,00	0,040
	Ap2	17-48	0,20	0,065	0,008	0,004	0,008	0,005	0,002	0,00	0,048
	CA	48-90	0,23	0,056	0,004	0,006	0,005	0,006	0,008	0,00	0,045
	C1	90-145	0,19	0,06	0,013	0,010	0,009	0,011	0,009	0,00	0,058
	C2	145-185	0,19	0,078	0,014	0,008	0,008	0,009	0,003	0,00	0,060
Média			0,212	0,061	0,011	0,007	0,007	0,007	0,005	0,00	0,050
σ			0,026	0,010	0,004	0,002	0,001	0,002	0,003	0,00	0,008
CV %			12,6	17,6	44,5	32,5	20,4	37,2	59,8	0,00	17,04

Em que: PA2TM= ARGISSOLO VERMELHO AMARELO Distrófico arênico abrúptico fragipânico; PA7TM= NEOSSOLO QUARTZARÊNICO Órtico típico; PC3TM= NEOSSOLO QUARTZARÊNICO Órtico latossólico; h= profundidade da camada; σ= Desvio padrão; CV= Coeficiente de variação.

A uniformidade na distribuição de poros apresentada pelos horizontes AB, Btx1 e Btx2 no (PA2TM) explicam a menor inclinação apresentada pelas curvas de retenção de água no solo, como verificada na Figura

Esta obra está licenciada com uma Licença Creative Commons Atribuição-NãoComercial-CompartilhaIgual 3.0 Brasil.

(2A); pois percebe-se que há uma tendência de aumento no número de mesoporos, microporos e criptoporos, sendo que os dois últimos necessitam de energia elevada (altas tensões) para serem drenados. Verifica-se também que, os horizontes com maior concentração de argila, Btx1 e Btx2 no PA2TM e Bw2 no PC3TM apresentaram poros com diâmetro entre 29 a 0,6 µm, que segundo Silva et al. (2017), são poros extremamente pequenos e, a água retida neles encontram-se em um Ψ_m próximo ao ponto de murcha permanente.

No perfil PA7TM verificou-se grande predomínio de poros com diâmetro entre 0,3 e 49 µm, ou seja, apresentam grande quantidade de macroporos e mesoporos, que são facilmente drenados entre Ψm -6 e -100 kPa. Para Carducci et al. (2013) são nos microporos onde está armazenada a água potencialmente disponível às plantas, água essa que pode se tornar indisponível se observado redução no número de poros com diâmetro < 0,6 µm. A maior homogeneidade na distribuição de poros em profundidades elevadas favoreceu a manutenção de umidade do solo no PA2TM. Andrade et al. (2019), salientam que o conteúdo de carbono orgânico também é fundamental para a formação de poros e aumento no teor de água disponível às plantas, principalmente na camada superficial do solo (0 – 10 cm).

O predomínio de poros estruturais (Ø > 30 µm) nos perfis PC3TM e PA7TM, contribuíram para o maior armazenamento de água entre -0,15 e -15 kPa, como observado nas Figuras (2A e 2B). Esses poros com (Ø > 30 µm) são essenciais para o funcionamento físico-hídrico do solo, principalmente para o armazenamento de água na capacidade de campo (θ_{CC}) (Alencar et al., 2019). A figura 3, ilustra o conteúdo total de água no solo, em cada um dos horizontes estudados e demonstra bastante similaridade entre os perfis localizados no terço superior e médio (PA7TM e PC3TM), pois estes não apresentam incremento de argila em profundidade. Já para o solo localizado no terço inferior (PA2TM) com caráter fragipânico, a disponibilidade de água aumenta.

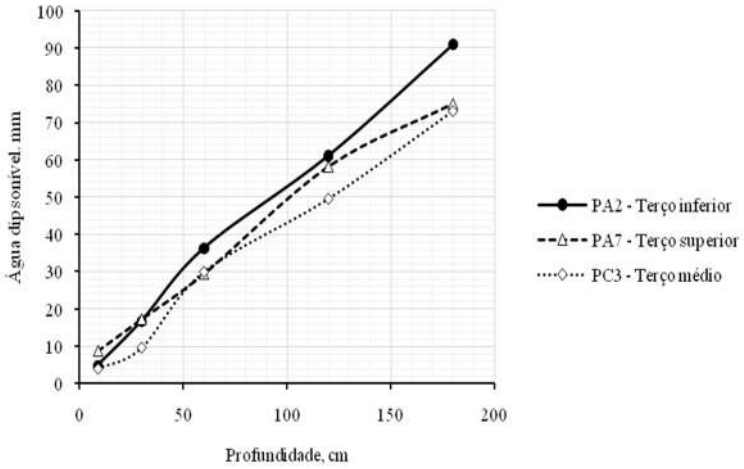

Figura 3. Lâmina de água disponível nos tipos de solos, em função da posição dos mesmos na paisagem e de suas características intrínsecas.

Portanto, a disponibilidade de água para os três perfis foi da ordem de 0,50, 0,42 e 0,41 mm cm^{-1} para as posições de terço inferior (PA2), superior (PA7) e médio (PC3). Com valores totais de 91 mm, 75 mm e 73 mm até a profundidade de 180 cm. Os solos apresentam baixa capacidade de retenção de água e baixa fertilidade natural com valores de CTC variando em média de 1,6 a 2,6 $cmol_c\ kg^{-1}$. Estes são os principais fatores limitantes destes solos e devem ser manejados adequadamente por meio de plantas de cobertura, adubação verde, cultivos consorciados em sistema de plantio direto, bem como uso de sistemas de irrigação eficientes para evitar sua degradação e alcançar níveis de produtividade satisfatórios, pois apresentam como vantagem a ausência de camadas de impedimento físico ao crescimento de raízes de plantas e são profundos e de relevo plano a suave ondulado o que permite a mecanização em praticamente toda a área.

Conclusões

A retenção de água na capacidade de campo e a umidade de saturação foram influenciadas pelo conteúdo de carbono orgânico do solo.

Esta obra está licenciada com uma Licença Creative Commons Atribuição-NãoComercial-CompartilhaIgual 3.0 Brasil.

Em subsuperfície a retenção de disponibilidade de água às plantas foi influenciada pelo aumento no teor de argila e pela presença do caráter fragipânico. Maiores teores de areia fina (0,5 a 0,053 mm) em relação a areia total favorecem a retenção de água nos solos arenosos.

A distribuição de poros por tamanho se apresentou de forma regular característica de solos arenosos, com predomínio de macroporos e mesoporos, exceto para os horizontes subsuperficiais do solo no terço inferior com caráter fragipânico com predomínio de micro e criptoporos.

O índice S, reduziu em profundidade e os valores de CCr ficaram abaixo de 0,6 indicando uma baixa capacidade de retenção de água no solo, independentemente da posição dos mesmos na paisagem.

A presença do caráter fragipânico no solo localizado no terço inferior aumentou o conteúdo de água disponível ficando na faixa de 0,5 mm cm^{-1}, totalizando 91 mm até a profundidade de 180 cm. Enquanto para os demais solos essa disponibilidade ficou na faixa de 0,42 e 0,41 mm cm^{-1}, totalizando 75 mm e 73 mm, respectivamente. Isso representa um aumento de 20% no conteúdo de água disponível em solos localizados no terço inferior.

Referências

ABEL, S.; PETERS, A.; TRINKS, S.; SCHONS, K Y.H.; FACKLAN, M.; WESSOLEK, G. Impact of biochar and hydrochar addition on water retention and water repellency of sandy soil. **Geoderma**, v. 202-203, n. 1, p. 183-191, 2013.

ALENCAR, T.L.; CHAVES, A.F.; FREIRE, A.G.; NASCIMENTO, I.V.; QUEIROZ, A.S.; MOTA, J.C.A. Field capacity: Methodological approach by static and dynamic criteria. **Geoderma**, v. 353, n. 1, p. 81-88, 2019.

ANDRADE, A.P.; RAUBER, L.P.; BORTOLINI, D.; CASARA, A.C.; MINATTI, M.; MAFRA, A.L; SEQUINATTO, L. Water retention in a Rhodic Kandiudox under animal manure application after 20 consecutive years. **Brazilian Journal of Agriculture**, v. 9, n. 2, p. 130-143, 2019.

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.

ANDRADE, R.S.; STONE, L.F.; GODOY, S.G. Estimativa da resistência do solo à penetração baseada no índice S e no estresse efetivo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, n. 9, p. 932-937, 2013.

BARBOSA, S.M.; OLIVEIRA, G.C.; CARDUCCI, C.E.; SILVA, B.M. Potencialidade de usos de Zeólitas na atenuação do déficit hídrico em Latossolo do Cerrado. **Semina. Ciências Agrárias**, v. 35, n. 6, p. 2357-2368, 2014.

BARROS, L.R.; RIBON, A.A.; FERNANDES, K.L.; SOUZA, J.L.; CARRECHEL, V.; BACKES, C.; SANTOS, A.J.M.; ALVES, A.R. Integrated managements systems for the improvement of the physical quality of a Cerrado Oxisol. **Australia Journal of Crop Science**, v. 12, n. 5, p. 711-716, 2018.

BEUTLER, A.N.; CENTURION, J.F.; SOUZA, Z.M.; ANDRIOLI, I.; ROQUE, C.G. Retenção de água em dois tipos de Latossolos sob diferentes usos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 26, n. 3, p. 829-834, 2002.

BLAKE, G.R.; HARTGE, K.K. Bulk density. In: KLUTE, A. (Ed.). **Methods of soil analysis:** pat 1: physical and mineralogical methods. 2nded. Madison: Soil Science Society of America, 1986, p. 363-382.

BOUMA, J. Influence of soil macroporosity on environmental quality. **Advances in Agronomy**, v. 46, n. 1, p. 1-37, 1991.

CARDUCCI, C.E.; OLIVEIRA, G.C.; OLIVEIRA, L.M.; BARBOSA, S.M.; SILVA, E.A. Retenção de água do solo sob sistema conservacionista de manejo com diferentes doses de gesso. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 58, n. 3, p. 284- 291, 2015.

CARDUCCI, C.E.; OLIVEIRA, G.C.; SEVERIANO, E.C.; ZEVIANI, W. M. Modelagem da curva de retenção de água de Latossolos utilizando a equação duplo van Genuchten**. Revista Brasileira Ciência do Solo**, v. 35, n. 1, p. 77-86, 2011.

CARDUCCI, C.E.; OLIVEIRA, G.C.; ZEVIANI, W.M.; LIMA, V.M.P.; SERAFIM, M.E. Bimodal pore distribution on soils under conservation management system for coffee crop. **Engenharia Agrícola**, v. 33, n. 2, p. 291-302, 2013.

Esta obra está licenciada com uma Licença Creative Commons Atribuição-NãoComercial-CompartilhaIgual 3.0 Brasil.

CLMATE-DATA.ORG. **Clima de Arez, RN**. 2018. Disponível em: https://pt.climate-data.org/location/42741/. Acesso em: 27 out. 2018.

CORTEZ, J.W.; SILVA, R.P.; FURLANI, C.E.A.; ARCOVERDE, S.N.S.; OLSZEVSKIN, N. Atributos físicos do solo em sistemas de adubação e de manejo de resíduos culturais em plantio direto. **Agrarian**, v. 11, n. 42, p. 343-351, 2018.

DEXTER, A.R. Soil physical quality part I. Theory, effects, density and organic matter and effects on root growth. **Geoderma**, v. 120, n. 3-4, p. 201-214, 2004.

DEXTER, A.R.; BIRD, N.R.A. Methods for predicting the optimum and the range of soil water contents for tillage based on the water retention curve. **Soil and Tillage Research**, v. 57, n. 3-4, p. 203- 212, 2001.

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.

DONAGEMMA, 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, P.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.

DOURADO-NETO, D.; NIELSEN, D.R.; HOPMANS, J.W.; REICHARDT, K.; BACCHI, O.O.S. Software to model soil water retention curve (SWRC version 2.00). **Scientia Agricola**, v. 57, n. 1, p. 191-192, 2000.

ENGLES, M.P.C. **Desenvolvimento de metodologia para a determinação da mobilidade de água no solo**. São Paulo. 2007. 70 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2007.

FIDALSKI, J.; TORMENA, C A.; ALVEZ, S.J.; AULER, P.A.M. Influência das frações de Areia na retenção e disponibilidade de água em solos das formações Caiuá e Paranavaí. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, n. 3, p. 613-621, 2013.

JACOMINE, P.K.T.; SILVA, F.B.R.; FORMIGA, R.A.; ALMEIDA, J.C.; BELTRÃO, V.A.; PESSOA, S.C.P.; FERREIRA, R.C. **Levantamento exploratório-reconhecimento de solos do estado do Rio Grande do Norte**. 1 ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1971. 531p.

KLEIN, V.A.; LIBARDI, P.L. Densidade e distribuição do diâmetro dos poros de um Latossolo Vermelho sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 26, n. 1, p. 857-867, 2002.

KLUTE, A. Laboratory measurement of hydraulic conductivity of saturated soil. In: BLAKE, C. A. (Ed.). **Methods of soil analysis part I**. Madison: American Society of Agronomy. 1965p. 210-221. https://doi.org/10.2134/agronmonogr9.1.c13

LIMA, J.R.S.; SOUZA, E.S.; ANTONINO, A.C.D.; SILVA, I.F.; LIRA, C.A.B. O. Atributos físico-hídricos de um Latossolo Amarelo cultivado e sob mata nativa no Brejo paraibano. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 9, n. 4, p. 559-605, 2014.

MACHADO, J.L.; TORMENA, C.A.; FIDALSKI, J.; SCAPIM, C.A. Inter-relações entre as propriedades físicas e os coeficientes da curva de retenção de água de um Latossolo sob diferentes sistemas de uso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo,** v. 32, n. 2, p. 495-502, 2008.

MAIA, C.E. Índice S para avaliação da qualidade física de solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, n. 10, n. 8, p. 1959-1965, 2011.

MUALEM, Y. Hydraulic conductivity of unsaturated soils: prediction and formulas. In: KLUTE, A. (Ed.). **Methods of soil analysis: I. Physical and mineralogical methods**. Madison: American Society of Agronomy - Soil Science American Journal. 1986. p. 799-823.

MUGGLER, C.C.; CURI, N.; SILVA, L N.; LIMA, J.M. Características pedológicas de ambientes agrícolas nos Chapadões do Rio Corrente, Sudeste da Bahia. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 31, n. 3, p. 221 - 231, 1996.

Esta obra está licenciada com uma Licença Creative Commons Atribuição-NãoComercial-CompartilhaIgual 3.0 Brasil.

NASCIMENTO, D.M.; CAVALIERI-POLIZELI, K.M.V.; SILVA, A.H.; FAVARETTO, N.; PARRON, L.M. Soil physical quality under long-term integrated agricultural production systems. **Soil and Tillage Research**, v. 186, n. 1, p. 292-299, 2019.

NEVES, C.N.M.; SILVA, M.L.N.; CURI, N.; CARDOSO, E.L.; MACEDO, R.L.G.; FERREIRA, M.M.; SOUZA, F.S. Atributos indicadores de qualidade do solo em sistema agrossilvipastoril no noroeste do estado de Minas Gerais. **Scientia Forestalis**, v. 74, n. 1, p. 45-53, 2007.

OLNESS, A.; CLAPP, C.E.; LIU, R.; PALAZZO, A.J. Biosolids and their effects on soil properties. In: WALLACE, A.; TERRY, R. E. (Eds.). **Hand book of soil conditioners**. New York: Marcel Dekker. 1998. p. 141-165.

REICHERT, J.M.; ALBUQUERQUE, J.A.; PERAZA, J.E.S.; COSTA, A. Estimating water retention and availability in cultivated soils of southern Brazil. **Geoderma Regional**, v. 21, n. 1, p. 1-12, 2020.

REYNOLDS, W.D.; DRURY, C.F.; YANG, X.M.; FOX, C.A.; TAN, C.S.; ZHANG, T. Q. Land management effects on the near-surface physical quality of a clay loam. **Soil and Tillage Research**, v. 96, n. 1-2, p. 316-330, 2007.

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.

ROSSETTI, K.V.; CENTURION, J.F. Use of S-index as a structural quality indicator for a compacted Latosols cultivated with maize. **Revista Caatinga**, v. 31, n. 2, p. 455-465, 2018.

SALVIANO, A.M.; CUNHA, T.J.F.; OLSZEVSKI, N.; OLIVEIRA NETO, M.B.; GIONGO, V.; QUEIROZ, A.F.; MENEZES, F.J.S. Potencialidades e limitações para o uso agrícola de solos arenosos na região semiárida da Bahia. **Magistra**, v. 28, n. 2, p. 137-148, 2016.

SANTOS, H.G.; JACOMINE, P.K.T.; ANJOS, L.H.C.; OLIVEIRA, V.Á.; LUMBRERAS, J.F.; COELHO, M.R.; ALMEIDA, J.A.; ARAÚJO FILHO, J.C.; OLIVEIRA, J.B.; CUNHA, T.J.F. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos.** 5ed. Brasília, Embrapa, 2018. 356p.

SERAFIM, M.E.; OLIVEIRA, G.C.; LIMA, J.M.; SILVA, B.M.; ZEVIANI, W.M.; LIMA, V.M.P. Disponibilidade hídrica e distinção de ambientes para cultivo de cafeeiros**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, n. 3, p. 362-370, 2013.

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.

SILVA, E.N.S.; MONTANARI, R.; PANOSSO, A.R.; CORREIA, A.R.; TOMZA, P.K.; FERRAUDO, A.S. Variabilidade de atributos físicos e químicos do solo e produção de feijoeiro cultivado em sistema de cultivo mínimo com irrigação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, n. 3, p. 598-607, 2015.

SILVA, P.L.F.; OLIVEIRA, F.P.; BORBA, J.O.M.; TAVARES, D.D.; AMARAL, A.J.; MARTINS, A.F. Solos arenosos para sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta em Arez, Rio Grande do Norte. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 13, n. 5, p. 581-589, 2018.

SOUZA, J.M.; BONOMO, R.; BONOMO, D.Z.; PIRES, F.R. Índice S em solo subsolado da região dos Tabuleiros Costeiros, ES. **Magistra**, v. 27, n. 1, p. 14-22, 2015.

TAVARES, L.C.; TIMM, L.C.; TAVARES, V.E.Q.; REISSER JÚNIOR, C.; MANKE, G.; LEMOS, F.D.; LISBOA, H.; PRESTES, R.B.; PAULETTO, E.A.; CUNHA, N.G. Capacidade de retenção de água e parâmetros de ajuste do modelo de Van Genuchten (1980) em quatro solos representativos da região produtora de pêssego, Pelotas-RS. In: Congresso de Iniciação Científica. 16, **Anais**. Pelotas: UFPel. 2007.

TEIXEIRA, P.C.; DONAGEMMA, G.K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W.G. **Manual de métodos e análise de solos**. 1 ed. Brasília: Embrapa, 2017. 573p.

VAN GENUCHTEN, M.T.A closed- form equation for predicting the hydraulic conductivity on unsaturated soil. **Soil Science Society of American Journal**, v. 44, n. 3, p. 892-897, 1980.

Esta obra está licenciada com uma Licença Creative Commons Atribuição-NãoComercial-CompartilhaIgual 3.0 Brasil.