

## **UMIDADES ÓTIMA E LIMITANTE PARA O PREPARO DE SOLOS DOS TABULEIROS COSTEIROS DO RIO GRANDE DO NORTE**

Pedro Luan Ferreira da Silva<sup>1</sup>; Flávio Pereira de Oliveira<sup>2</sup>; Adriana Ferreira Martins<sup>2</sup>; Walter Esfrain Pereira<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Engenheiro Agrônomo, mestrando no programa de Pós-Graduação em Agronomia, Departamento de Agronomia, UEM. E-mail: pedroluanferreira@gmail.com

<sup>2</sup>Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Departamento de Solos e Engenharia Rural, Centro de Ciências Agrárias, UFPB. E-mail: flavio.oliveira@academico.ufpb.br; biol.adriana@gmail.com;

<sup>3</sup>Departamento de Ciências Fundamentais e Sociais, Centro de Ciências Agrárias, UFPB. E-mail: walterufpb@yahoo.com.br

**RESUMO:** O objetivo deste trabalho foi determinar umidades ótima e limitante para o preparo do solo na região dos Tabuleiros Costeiros do Rio Grande do Norte, em Arez, utilizando os parâmetros da equação de Van Genuchten. Amostras de solo com estrutura indeformada foram coletadas nas camadas superficiais dos perfis de solo numa topossequência. Nestas amostras determinou-se a retenção de água nos potenciais de -6, -10, -33, -100, -300, -500, -1000 e -1500 kPa. O modelo de van Genuchten foi ajustado aos dados de retenção de água e os parâmetros foram utilizados para a determinação dos seguintes limites: superior úmido ( $\theta_{LSU}$ ), inferior seco ( $\theta_{LIS}$ ), potencial matricial no limite inferior seco ( $h_{LIS}$ ), umidade ótima de preparo do solo ( $\theta_{UOP}$ ) e faixa de umidade para o preparo do solo ( $\Delta\theta$ ). Os valores médios foram avaliados através da análise estatística descritiva e correlação de Pearson (5%). O intervalo de umidade para o preparo do solo mostra-se mais adequado no Argissolo Vermelho Amarelo e no Neossolo Quartzarênico latossólico e restritivo no Neossolo Quartzarênico Órtico. A presença de carbono orgânico do solo influencia nos limites de umidade do solo, principalmente o superior -  $\theta_{LSU}$ .

**Palavras-chave:** Limites de preparo, Neossolo, plasticidade do solo, mecanização.

## **OPTIMAL AND LIMITING MOISTURES FOR SOIL PREPARATION IN COSTAL TABLELANDS IN RIO GRANDE DO NORTE**

**ABSTRACT:** The objective of this work was to determine the optimum and limiting moisture for soil preparation in the Coastal Tablelands region of Rio Grande do Norte, in Arez, using the parameters of the Van Genuchten equation. Soil samples with undisturbed structure were collected in the superficial layers of the soil profiles in a toposequence. In these samples, water retention was determined at potentials of -6, -10, -33, -100, -300, -500, -1000 and -1500 kPa. The van Genuchten equation was fitted to the water retention data and the parameters were used to determine the following limits: upper wet ( $\theta_{UW}$ ), lower dry ( $\theta_{Ld}$ ), matrix potential at the lower dry limit ( $h_{Ld}$ ), optimal moisture of soil preparation ( $\theta_{OMP}$ ) and moisture range for soil preparation ( $\Delta\theta$ ). Mean values were evaluated using descriptive statistical analysis and Pearson's correlation (5%). The range of moisture for soil preparation is more adequate in the Ultisol and the Oxisol, and Entisol and restrictive in the Alfisol. The presence of organic carbon influences the upper limit of soil moisture for tillage.

**Keywords:** Preparation limits, Entisol, soil plasticity, mechanization.

## INTRODUÇÃO

O preparo do solo tem por finalidade a criação de um leito de semeadura que forneça condições apropriadas para a germinação das sementes e emergência das plantas visando um rápido e vigoroso estabelecimento das culturas (OBOUR et al., 2019). Para atender estes objetivos, é necessário o conhecimento dos limites de umidade do solo que estabelecem as condições mecânicas para o fraturamento dos agregados. Neste sentido, o conhecimento de atributos físicos do solo, incluindo os limites de consistência do solo (RIBEIRO; SOUZA, 2020) podem contribuir para a tomada de decisão de quando e como executar as práticas de preparo do solo.

O conceito de trabalhabilidade é definido como a facilidade com que um solo bem drenado pode ser preparado para produzir uma ampla distribuição de tamanho de agregados necessária para que o leito de semeadura propicie bom contato semente-solo e condições físicas que permitam a germinação das sementes e o rápido estabelecimento da cultura (DEXTER; KROESBERGEN, 1985). Contudo, é reconhecido que o preparo mecanizado pode provocar alterações à estrutura do solo, principalmente realizada sob condições de umidade elevada que favorece a compactação do solo (RICHART et al., 2005). Assim, a otimização da prática de preparo demanda que o preparo do solo seja conduzido dentro de uma faixa adequada de umidade (OBOUR et al., 2019). Também é necessário ressaltar que, haverá elevado gasto de energia específica das máquinas agrícolas, quando o preparo é executado em condições de umidade muito baixa (DEXTER; BIRKAS, 2004). Os limites superior e inferior de umidade e, portanto, a faixa ótima de umidade para o preparo têm estreita relação com a textura do solo e carbono orgânico, diminuindo em solos mais arenosos e aumentando naqueles mais argilosos e com elevados teores de carbono orgânico (LUCIANO et al., 2013).

Apesar do amplo conhecimento da importância da umidade para o preparo do solo, os limites de umidade ainda são pouco utilizados no planejamento do preparo mecanizado do solo em regiões de clima tropical, principalmente se tratando de solos com distribuição variável da fração areia e argila ao longo da camada arável. Assim, Dexter e Bird (2001), propuseram a determinação desses limites através da curva de retenção de água no solo (VAN GENUCHTEN, 1980).

Com base na umidade do solo os autores propuseram três limites: inferior seco ( $\theta_{LIS}$ ), superior úmido ( $\theta_{LSU}$ ) e a umidade ótima de preparo do solo ( $\theta_{UOP}$ ). A

umidade ótima de preparo pode ser definida como o conteúdo de água em que o preparo (cultivo) produz a maior proporção de pequenos agregados (DEXTER; BIRD, 2001). Os outros limites LIS e LSU, representem os valores de umidade do solo onde o preparo produz grandes torrões a invés de agregados, podendo ocasionar danos físicos a estrutura do solo (DEXTER; BIRD, 2001). No Nordeste brasileiro, mais precisamente na região dos Tabuleiros Costeiros os solos são cultivados em grande parte com a cana-de-açúcar, cultura esta que demanda um considerável emprego tecnológico, a exemplo do plantio e colheita mecanizada. A utilização de máquinas sobre a superfície desses solos pode ocasionar degradação física do solo, se realizada sem o conhecimento dos limites de umidade do solo.

Dessa forma, o objetivo deste trabalho foi determinar umidades ótima e limitante para o preparo do solo na região dos Tabuleiros Costeiros do Rio Grande do Norte, em Arez, utilizando os parâmetros da equação de de Van Genuchten ajustado à curva de retenção de água no solo para o cálculo dos parâmetros/limites de umidade do solo.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

### Localização da área de estudo

A área de estudo localiza-se no município de Arez (Figura 1). O município possui área territorial de 113 km<sup>2</sup> e está inserido na zona úmida costeira do geoambiente Tabuleiros Costeiros, microrregião do Litoral Sul do Rio Grande do Norte (6° 11' 40" S e 35° 09' 37" W) e altitude de 52 metros acima do nível do mar (Silva et al., 2018). De acordo com a classificação Koppen-Geiger o clima que predomina no município é do tipo (Aw) – tropical chuvoso, com o período chuvoso se estendendo de março a julho e 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).

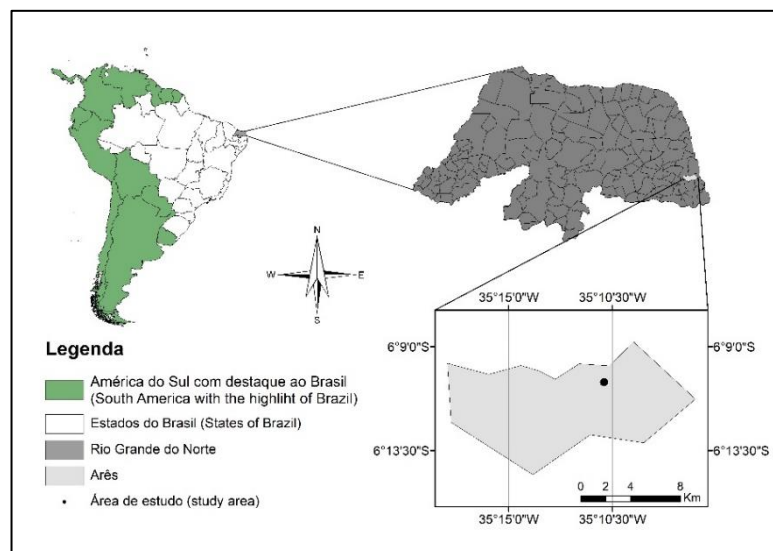


Figura 1. Localização geográfica do município de Arez, Rio Grande do Norte  
 Figure 1. Geographic location of the municipality of Arez, Rio Grande do Norte

A região está assentada em material geológico 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 procedimentos de coleta

A área de coleta das amostras está sob uma topossequência, que foi dividida da seguinte forma: terço inferior (Várzea), terço médio (Encosta) e terço superior (Topo). Em cada terço abriu-se uma trincheira e subdividiu-se os horizontes em camadas para a coleta de amostras de solo, conforme procedimentos metodológicos apresentados no Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SANTOS et al., 2018).

No terço inferior, o solo foi classificado como Argissolo Vermelho Amarelo distrófico arênico abrupto fragipânico, relevo suave ondulado, de textura arenosa/média (PA2TM); nessa classe de solo foram amostrados os seguintes horizontes: Ap1 (0-18 cm), Ap2 (18-50 cm). No terço médio, o solo foi classificado como Neossolo Quartzarênico órtico latossólico, relevo suave ondulado, de textura arenosa (PC3TM), e os horizontes amostrados foram o Ap1 (0-18 cm), Ap2 (18-36 cm). No terço superior, o solo foi classificado como Neossolo Quartzarênico Órtico típico, relevo plano, de textura arenosa (PA7TM), constatando-se a presença dos horizontes Ap1 (0-17 cm), Ap2 (17-48 cm), os quais foram amostrados. Os atributos

básicos do solo obtidos antes da implantação do experimento, assim como o teor de carbono orgânico do solo encontram-se apresentados na Tabela 1.

Para cada solo e horizonte, as amostras de solo com estrutura indeformada foram coletadas com auxílio de cilindros metálicos tipo Uhland com volume de 98,17 cm<sup>3</sup>. A coleta foi realizada em duplicata, totalizando quatro amostras por perfil. As mesmas foram encaminhadas ao Laboratório de Análises Físicas de Solo, do Centro de Ciências Agrárias (CCA), da Universidade Federal da Paraíba (UFPB) para a realização de análises.

Tabela 1. Atributos básicos e teor de carbono orgânico na camada arável (0-50 cm) de solos com diferentes concentrações de areia nos tabuleiros costeiros de Arez, RN\*\*

Table 1. Basic attributes and organic carbon content in the arable layer (0-50 cm) of soils with different concentrations of sand in the coastal boards of Arez, RN \*\*

Perfil	Horizonte	Camada cm	Areia					SIL	ARG	COT
			AMG	AG	AME	AF	AMF			
PA2TM	Ap1	0-18	60	173	366	286	55	20	40	6,39
	Ap2	18-50	79	221	328	280	38	20	34	4,07
PC3TM	Ap1	0-18	53	243	326	248	30	50	20	9,87
	Ap2	18-36	43	185	298	344	58	36	40	3,01
PA7TM	Ap1	0-17	48	243	388	218	30	31	20	8,57
	Ap2	17-48	55	191	317	307	55	54	20	4,56

AMG= Areia muito grossa, AG= Areia grossa, AME= Areia média, AF= Areia fina, AMF= Areia muito fina, SIL= Silte, ARG= Argila, COT= Carbono orgânico total. PA2TM= Argissolo Vermelho Amarelo distrófico arênico abrupto fragipânico, PC3TM= Neossolo Quartzarênico órtico latossólico, PA7TM= Neossolo Quartzarênico Órtico típico.\*\*Fonte: Silva *et al.* (2018).

Tabela 2. Caracterização físico-hídrica do solo na camada arável (0-50 cm) (0-50 cm) de solos com diferentes concentrações de areia nos tabuleiros costeiros de Arez, RN\*\*

Table 2. Physical-hydric characterization of the soil in the arable layer (0-50 cm) (0-50 cm) of soils with different concentrations of sand in the coastal boards of Arez, RN \*\*

Perfil	Horizonte	Camada cm	PT	Ma	Mi	$\theta_{CC}$	$\theta_{PMP}$	$\theta_{INFL}$	$\psi_i$	Ds
PA2TM	Ap1	0-18	0,40	0,27	0,12	0,071	0,049	0,257	1,178	1,57
	Ap2	18-50	0,36	0,22	0,14	0,073	0,043	0,237	1,246	1,66
PC3TM	Ap1	0-18	0,45	0,28	0,17	0,073	0,016	0,272	4,300	1,56
	Ap2	18-36	0,40	0,25	0,14	0,044	0,024	0,246	2,446	1,68
PA7TM	Ap1	0-17	0,38	0,25	0,13	0,041	0,024	0,241	1,628	1,58
	Ap2	17-48	0,34	0,20	0,14	0,048	0,019	0,205	4,280	1,74

PT= Porosidade total, Ma= Macroporosidade, Mi= Microporosidade,  $\theta_{CC}$ = Capacidade de campo,  $\theta_{PMP}$ = Ponto de murcha permanente,  $\psi_i$ = Potencial matricial no ponto de inflexão,  $\theta_{INFL}$ = Umidade no ponto de inflexão, Ds= Densidade do solo.\*\*Fonte: Silva *et al.* (2018).

### Atributos avaliados

As amostras de solo com estrutura indeformada foram saturadas e submetidas aos potenciais matriciais ( $\psi$ ): -6 em mesa de tensão, -10, -33, -100, -300, -500, -1000e -1500 kPa em extrator de Richards com placas porosas (KLUTE, 1965), para obtenção da curva de retenção de água no solo (CRA).

O teor de água no solo saturado foi calculado através da umidade correspondente ao volume de saturação (Ma/Vt), onde Ma representa a massa de

água contida na amostra saturada ( $\text{g kg}^{-1}$ ) e  $V_t$  representa o volume do cilindro ocupado pelo solo ( $\text{cm}^3$ ).

A densidade do solo foi calculada através da relação ( $M_{ss}/V_t$ ), onde  $M_{ss}$  representa a massa do solo seco a  $\pm 105^\circ\text{C}$  ( $\text{g kg}^{-1}$ ) e  $V_t$  representa o volume do cilindro ocupado pelo solo ( $\text{cm}^3$ ), conforme Blakee Hartge (1986). Os dados de  $\theta(\psi)$  foram ajustados ao modelo de Van Genuchten (1980) – equação 1, utilizando o *software* SWRC (DOURADO NETO et al., 2000).

$$(\theta) = \theta_r + \frac{(\theta_s - \theta_r)}{[(1 + (\alpha\Psi m)^n)^m]} \quad \text{Equação 1}$$

em que:  $\theta$  é o conteúdo de água no solo ( $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ );  $\theta_r$  representa a umidade residual do solo;  $\theta_s$  é a umidade do solo saturado;  $\Psi$  é o valor absoluto do potencial matricial (kPa);  $n$ ,  $m$  e ( $\alpha - \text{kPa}^{-1}$ ) são coeficientes do modelo. O parâmetro  $m$  foi descrito pela dependência  $m = 1 - 1/n$  proposta por Mualem (1976). As curvas não foram apresentadas, pois para a determinação dos limites de preparo é necessário, apenas, a utilização dos coeficientes de ajuste do modelo.

#### Umidade correspondente aos limites de preparo do solo

De acordo com metodologia descrita por Dexter e Bird (2001), foram determinados três limites de umidade que podem ser limitantes ao preparo do solo: i) Limite superior úmido ( $\theta_{LSU}$ ) - Umidade no qual o teor de água no solo é superior ao ótimo e contribui para a formação de torrões durante o preparo do solo; ii) Limite inferior seco ( $\theta_{LIS}$ ) - Umidade na qual a força do solo é o dobro da força necessária para o preparo do solo no ponto ótimo. iii) Umidade ótima de preparo ( $\theta_{UOP}$ ) - Umidade na qual o preparo do solo produz a maior proporção de agregados pequenos ao invés de torrões. Com os limites de umidade ( $\theta_{LSU}-\theta_{LIS}$ ) determinou-se a faixa de umidade para o preparo do solo ( $\Delta\theta$ ), faixa essa onde o preparo pode ser realizado de forma satisfatória.

#### Determinação dos limites de preparo

A umidade do solo correspondente ao limite superior úmido ( $\theta_{LSU}$ ) foi estimada de acordo com metodologia descrita por Dexter e Bird (2001), usando a equação:  $\theta_{LSU} = \theta_{INFL} + 0.4 * (\theta_s - \theta_{INFL})$ , em que  $\theta_{INFL}$  é a umidade no ponto de inflexão da curva de retenção de água no solo ( $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ ) e  $\theta_s$  corresponde a umidade do solo saturado ( $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ ). O potencial matricial no limite inferior seco ( $h_{LIS}$ ) foi estimado de acordo com o proposto por Dexter et al. (2005):



$$(h_{LIS}) \approx \frac{2}{\alpha} [1/(1-1/n)]^{1/n} \quad \text{Equação 2}$$

A partir dos valores de  $(h_{LIS}; \text{kPa})$ , determinou-se a umidade do solo correspondente ao limite inferior seco ( $\theta_{LIS}$ ), usando a seguinte equação:

$$\theta_{LIS} = \theta_{sat} * [1 + (\alpha h_{LIS})^n]^{1-(1/n)} \quad \text{Equação 3}$$

em que: –  $\theta_{LIS}$  a umidade correspondente ao potencial matricial do solo no limite inferior seco ( $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ ).

O limite de plasticidade ( $\theta_{LP}$ ) foi estimado de acordo com o proposto por Dexter e Bird (2001) que equivale ao  $\theta_{LSU}$ :

$$\theta_{LP} = \theta_{LSU}(\text{m}^3 \text{m}^{-3}) \quad \text{Equação 4}$$

A umidade ótima de preparo do solo ( $\theta_{UOP}$ ) foi estimada de acordo como descrito por Dexter e Bird (2001), de acordo com a equação apresentada abaixo:

$$\theta_{INFL} = (\theta_s - \theta_r) * [1 + 1/m]^{-m} + \theta_r \quad \text{Equação 5}$$

em que:  $\theta_{INFL}$  corresponde a umidade do solo no ponto de inflexão da CRA ( $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ ). A faixa de umidade para o preparo do solo ( $\Delta\theta; \text{m}^3 \text{m}^{-3}$ ) foi determinada pela diferença entre  $\theta_{LSU}$  e  $\theta_{LIS}$ . Boekel (1965) verificou que há relação entre o limite de plasticidade (equivalente ao  $\theta_{LSU}$ ) e a capacidade de campo ( $\theta_{CC}$ ). Assim, quando  $\theta_{CC}/\theta_{LP} < 1$  a água no solo drenará até um teor de umidade onde nenhum dano excessivo ocorrerá à estrutura do solo e às plantas; se  $\theta_{CC}/\theta_{LP} > 1$ , a água no solo nunca drenará para um teor de umidade que seja ideal para o solo e as plantas (DEXTER; BIRD, 2001). Dessa forma, calculou-se a relação  $\theta_{CC}/\theta_{LP}$  para a camada arável das três classes de solo (camada de interesse).

#### Procedimentos estatísticos

Determinou-se o coeficiente de correlação de Pearson ( $r$ ) utilizando o *software* estatístico R (R CORE TEAM, 2013) e a estatística descritiva utilizando o *Excel*.

## RESULTADOS

Os coeficientes de ajuste da equação proposta por Van Genuchten (1980) para os três perfis/camadas superficiais de solo são apresentados na Tabela 3. Verifica-se que em todos os perfis, o horizonte Ap1 apresentou maior conteúdo de água no solo correspondente a umidade no ponto de saturação ( $\theta_s$ ).

Tabela 3. Parâmetros de ajuste das curvas de retenção de água no solo na camada arável (0-50 cm) de solos com diferentes concentrações de areia nos tabuleiros costeiros de Arez, RN\*\*  
 Table 3. Adjustment parameters of soil water retention curves in the arable layer (0-50 cm) of soils with different concentrations of sand in the coastal trays of Arez, RN \*\*

Perfil	Horizonte	Camada	$\theta_s$	$\theta_r$	$\alpha$	m	n	R <sup>2</sup>
		-- cm --	m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup>	kPa <sup>-1</sup>				
PA2TM	Ap1	0-18	0,400	0,047	1,381	0,427	1,746	0,992
	Ap2	18-50	0,360	0,039	1,508	0,368	1,583	0,985
PC3TM	Ap1	0-18	0,450	0,072	0,250	0,749	3,995	0,994
	Ap2	18-36	0,400	0,044	0,548	0,533	2,145	0,990
PA7TM	Ap1	0-17	0,380	0,039	0,972	0,440	1,788	0,996
	Ap2	17-48	0,340	0,048	0,261	0,695	3,282	0,992

$\theta_s$ = Umidade de saturação,  $\theta_r$ = Umidade residual, m, n,  $\alpha$ = parâmetros empíricos de ajustes da curva de retenção, R<sup>2</sup>= coeficiente de determinação. PA2TM= Argissolo Vermelho Amarelo distrófico arênico abrupto fragipânico, PC3TM= Neossolo Quartzarênico órtico latossólico, PA7TM= Neossolo Quartzarênico Órtico típico. \*\*Fonte: Silva et al. (2018).

Os valores de umidade correspondente aos limites de preparo do solo estão apresentados na Tabela 4. Verifica-se que o limite superior úmido ( $\theta_{LSU}$ ) foi maior nas camadas superficiais em detrimento as camadas subsuperficiais, com amplitudes de 0,028, 0,036 e 0,037 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup> para os solos PA2TM, PC3TM e PA7TM, respectivamente.

Tabela 4. Limites de umidade correspondentes aos limites de preparo de solos com diferentes concentrações de areia nos tabuleiros costeiros de Arez, RN\*\*.  
 Table 4. Humidity limits corresponding to the limits of soil preparation with different concentrations of sand in the coastal trays of Arez, RN \*\*.

Perfil	Horizonte	Camada	$h_{LIS}$	$\theta_{LSU}$	$\theta_{LIS}$	$\theta_{UOP}$	$\Delta\theta$
		-- cm --	-kPa-	m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup>			
PA2TM	Ap1	0-18	2,357	0,314	0,227	0,257	0,087
	Ap2	18-50	1,916	0,286	0,183	0,237	0,103
PC3TM	Ap1	0-18	2,952	0,343	0,339	0,272	0,004
	Ap2	18-36	9,867	0,307	0,239	0,246	0,068
PA7TM	Ap1	0-17	2,952	0,296	0,208	0,241	0,088
	Ap2	17-48	9,867	0,259	0,206	0,205	0,052

$h_{LIS}$  = Potencial matricial no limite inferior seco;  $\theta_{LSU}$  = umidade correspondente ao limite superior úmido;  $\theta_{LIS}$  = umidade correspondente ao limite inferior seco;  $\theta_{UOP}$ = Umidade ótima de preparo do solo;  $\Delta\theta$ = Faixa de umidade para o preparo do solo. PA2TM= Argissolo Vermelho Amarelo distrófico arênico abrupto fragipânico, PC3TM= Neossolo Quartzarênico órtico latossólico, PA7TM= Neossolo Quartzarênico órtico típico.



Em relação ao limite inferior seco ( $\theta_{LIS}$ ) verificou-se valores menores nos horizontes subsuperficiais dos solos avaliados, mostrando-se um pouco mais seco no Ap2-PA2TM com  $0,183 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$  (Tabela 4). Nas Figuras abaixo (Figura 2-a, b e c) encontram-se apresentados as faixas de umidade para o preparo do solo e os valores médios na Tabela 3. O menor valor foi verificado no Ap1-PC3TM com  $0,004 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ . É um fato preocupante, pois quanto menor for essa faixa, maiores são as possibilidades de degradação física do solo

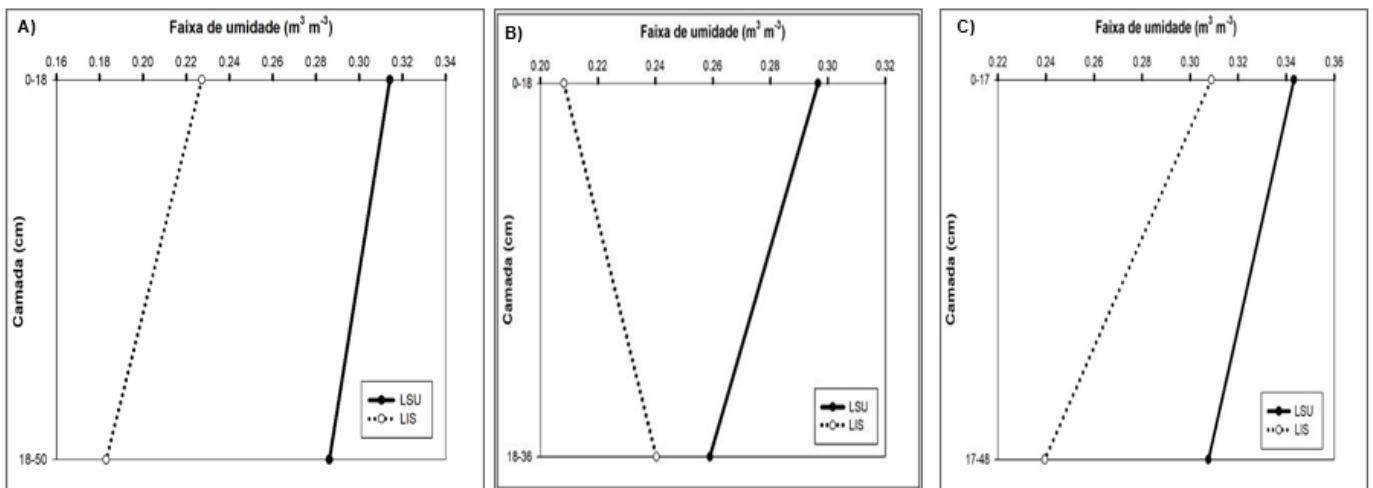


Figura 2. Faixas de umidade para o preparo do solo, de solos com diferentes concentrações de Areia nos tabuleiros costeiros de Arez, Rio Grande do Norte. (a) PA2TM= Argissolo Vermelho Amarelo distrófico arênico abrupto fragipânico, (b) PC3TM= Neossolo Quartzarênico órtico latossólico, (c) PA7TM= Neossolo Quartzarênico Órtico típico)

Figure 2. Moisture ranges for soil preparation, soils with different concentrations of sand in the coastal trays of Arez, Rio Grande do Norte. (a) PA2TM = Arsenic Red Yellow Dystrophic Arrenic Abriptic Fragipanic, (b) PC3TM = Neosol Quartzarenic Orthosol Latosol, (c) PA7TM = Typical Neosol Quartzarenic Orthotic.

Na Figura 3 estão apresentadas as relações entre a capacidade de campo e o limite de plasticidade do solo em função da profundidade.

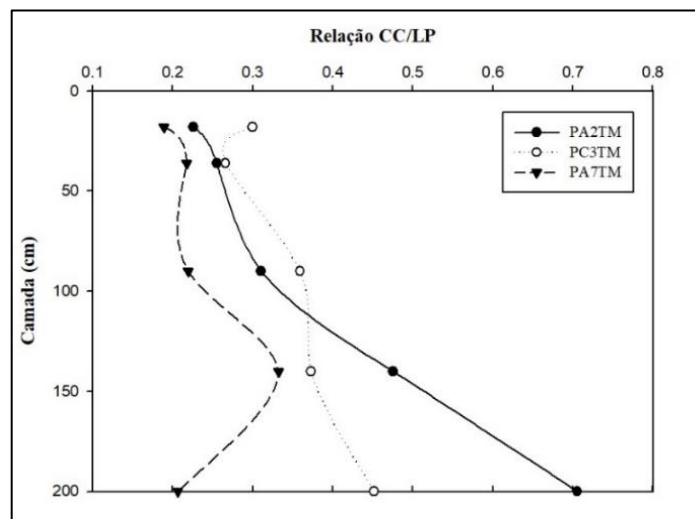


Figura 3. Variação da relação  $\theta_{CC}/\theta_{LP}$  (0-200 cm) de solos com diferentes concentrações de areia nos tabuleiros costeiros de Arez, RN\*\*

Figure 3. Variation of the  $\theta_{CC} / \theta_{LP}$  (0-200 cm) ratio of soils with different concentrations of sand in the coastal boards of Arez, RN \*\*.

Na Tabela 4, encontram-se apresentados os coeficientes de correlação de Pearson (r) entre os limites de umidade de preparo e a granulometria do solo.

Tabela 4. Coeficientes de Pearson para limites de preparo, textura e teor de carbono orgânico total de solos com diferentes concentrações de areia nos tabuleiros costeiros de Arez, RN\*\*  
Table 4. Pearson coefficients for preparation limits, texture and total organic carbon content of soils with different concentrations of sand in the coastal trays of Arez, RN \*\*

	$h_{LIS}$	$\theta_{LSU}$	$\theta_{UOP}$	$\theta_{LIS}$	$\Delta\theta$	$A_1$	AG	AME	AF	AMF	SIL	ARG	COT
$h_{LIS}$	-	-	0,79***	-0,89***	-	-	-	0,34	-	-	-	-0,26	-
$\theta_{LSU}$		1,00***	0,39	-	-	0,38	0,60*	-	-0,42	-	-	-0,39	0,46*
$\theta_{UOP}$			0,39	-	-	-	0,60*	-	-0,42	-	-	-0,39	0,46*
$\theta_{LIS}$				-0,92***	-	0,54*	0,54*	-	-	-	-	-0,61*	0,44*
$\Delta\theta$					-	0,42	-0,33	-0,42	-	-	-	0,49*	-
$A_1$						0,33	-	-	-	-	-	-0,49*	-
AG							0,69*	-	-0,87***	-	-	-0,69**	0,56*
AME								-	-0,48*	-	-0,72**	0,44	-
AF									0,53*	-	-0,47*	-	-
AMF										-	-	-0,48	-
SIL											-	-0,52	-
ARG												-	-
COT													-

$h_{LIS}$  = Potencial matricial no limite inferior seco;  $\theta_{LSU}$  = umidade correspondente ao limite superior úmido;  $\theta_{LIS}$  = umidade correspondente ao limite inferior seco;  $\theta_{UOP}$  = Umidade ótima de preparo do solo;  $\Delta\theta$  = Faixa de umidade para o preparo do solo. PA2TM= Argissolo Vermelho Amarelo distrófico arênico abruptico fragipânico, PC3TM= Neossolo Quartzarênico órtico latossólico, PA7TM= Neossolo Quartzarênico Órtico típico).  $A_1$ = Areia grossa, AMG= Areia muito grossa, AME= Areia média, AF= Areia muito fina, AF= Areia fina, SIL= Silte, ARG= Argila, COT= Carbono orgânico total do solo.

Na Figura 4, encontra-se apresentada a análise de correlação entre a capacidade de campo, o limite de plasticidade ( $\theta_{LSU}$ ) e a relação entre ( $\theta_{CC}/\theta_{LP}$ ) para as três classes de solo até na camada de 0-50 cm.

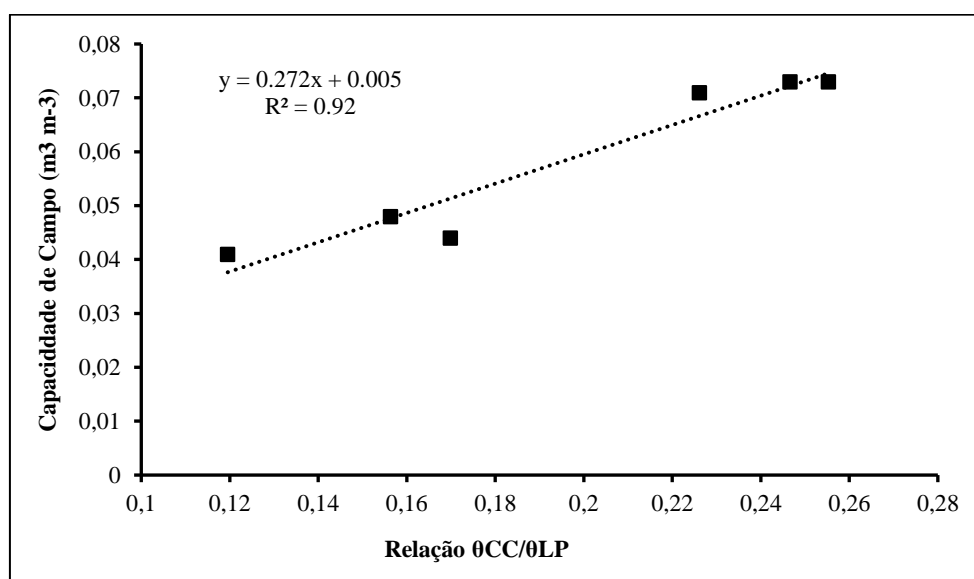


Figura 4. Análise de correlação entre a capacidade de campo e o limite de plasticidade ( $\theta_{CC}/\theta_{LP}$ ), de solos com diferentes concentrações de Areia, em Arez, Rio Grande do Norte.

Figure 4. Correlation analysis between field capacity and plasticity limit ( $\theta_{CC} / \theta_{LP}$ ), of soils with different concentrations of sand, in Arez, Rio Grande do Norte.

## DISCUSSÃO

Levando-se em consideração que quanto mais distante o  $\theta_{LSU}$  estiver da umidade ótima de preparo ( $\theta_{UOP}$ ), maiores são as possibilidades de produção de torrões durante o preparo do solo (DEXTER; BIRD, 2001), pode-se afirmar que o Ap1-PC3TM apresenta-se como o mais limitante, pois verificou-se uma diferença de  $0,071 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$  entre o  $\theta_{LSU}$  e a  $\theta_{UOP}$  (Tabela 4). Esse comportamento deve estar relacionado à granulometria do solo, pois Ribeiro e Souza (2020) observaram que a granulometria é um dos principais fatores relacionados aos limites de consistência do solo.

Aceitando-se o  $\theta_{LSU}$  como sendo o limite de plasticidade do solo, limite no qual a consistência do solo recém moldado muda de plástico para quebradiço, pode-se inferir, levando-se em consideração as informações apresentadas na Tabela 4, que esse limite é mais facilmente atingível nos horizontes Ap2-PA2TM e nos Ap1 e Ap2-PA7-TM. Nesse caso, afirma-se que a possibilidade de degradação da estrutura do solo em função do preparo é mais provável de ocorrer nesses horizontes. Não obstante, nesses horizontes observou-se os menores valores de  $\theta_s$ , como apresentado na Tabela 3. Assim como destacado por Dexter et al. (2005), o  $\theta_{LIS}$  não é um atributo bem definido, contudo aceita-se como o limite no qual a força necessária para o preparo do solo é duas vezes maior que na umidade ótima ( $\theta_{UOP}$ ). Cabe ressaltar que quanto menor for o  $\theta_{LIS}$ , maior será o gasto de energia para o preparo do solo (DEXTER et al., 2005).

A umidade ótima de preparo do solo reduziu com o aumento de profundidade, verificando-se o valor de  $0,205 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$  no Ap2-PA7TM, o menor entre os solos avaliados (Tabela 4). É nesse ponto, portanto, onde a presença de torrões provenientes do preparo é mínima (ALLMARAS et al., 1969) e também o ponto de ruptura dos agregados, onde os poros estruturais estão preenchidos com ar (DEXTER; BIRD, 2001), facilitando a degradação física da estrutura do solo.

Maior quantidade de poros estruturais cheios de ar levam a menor resistência e maior friabilidade do solo, desintegrando-o (ZOLFAGHAR et al., 2015). Uma melhor distribuição de poros por tamanho favorece a melhoria dos níveis de umidade ótima do solo (OBOUR et al., 2019). No caso de solos arenosos, esse comportamento pode ser influenciado pelo teor de matéria orgânica (PARAHYBA et al., 2019).

É possível observar que no PC3TM essa faixa reduziu com o aumento de profundidade (Figura 2b), diferentemente das demais classes de solo, onde verificou-se tendência constante no PA2TM (Figura 2a) e tendência de aumento no PA7TM

(Figura 2c) em profundidade. Contudo, avaliando-se a amplitude de valores na camada arável (0-20 cm), pode-se afirmar que os solos PA2TM e PC3TM apresentam-se mais resistentes à degradação física do solo por ocasião do preparo. Nesses solos houve maior distanciamento entre as umidades no limite superior úmido e limite inferior seco. Ou seja, quanto mais distantes forem esses limites, maior será o intervalo de segurança para o preparo do solo. Essa faixa geralmente é estreita em solos argilosos e ampla em solos arenosos (DEXTER; BIRD, 2001).

Em superfície, maior relação  $\theta_{CC}/\theta_{LP}$  foi verificada no PC3TM. Com o aumento de profundidade notou-se um aumento considerável da relação  $\theta_{CC}/\theta_{LP}$  para o PA2TM. Esse aumento em profundidade, verificado no PA2TM pode estar relacionado ao aumento de umidade na capacidade de campo (-10 kPa) nas camadas subsuperficiais do solo. Como salientado por Boekel (1965), existe relação entre o limite de plasticidade ( $\theta_{LSU}$ ) e a ( $\theta_{CC}$ ) do solo. Dessa forma, salienta-se que a relação  $\theta_{CC}/\theta_{LP}$  foi  $< 1$  na camada arável das três classes de solo, indicando considerável capacidade de drenagem desses solos (Figura 3).

Verificou-se correlação positiva e significativa entre  $\theta_{LSU}$  com  $\theta_{UOP}$  (1,00,  $p < 0,01$ ),  $\theta_{LSU}$  com  $h_{LIS}$  (0,79,  $p < 0,01$ ). Correlação positiva entre AG e AME com  $\theta_{LIS}$  (0,60  $p < 0,01$ ), sugerem que esses parâmetros são diretamente proporcionais, ou seja, o aumento no teor de AG e AME elevam o  $\theta_{LIS}$ . No caso, quanto mais distante em relação ao  $\theta_{UOP}$  estiver o  $\theta_{LIS}$ , maior será a faixa de umidade adequada para o preparo do solo. Essa informação pode ser justificada avaliando-se os valores de correlação entre do  $\theta_{LIS}$  e  $\Delta\theta$  ( $r = -0,92$ ,  $p < 0,01$ ) apresentados na Tabela 4. Ou seja, o aumento do limite inferior seco em solos arenosos tende a reduzir a faixa de umidade e ocasionar degradação física do solo.

Por outro lado, verifica-se que houve correlação negativa entre argila e  $\theta_{LIS}$  ( $r = -0,61$ ,  $p < 0,05$ ). Esse é um bom resultado, já que o aumento no teor de argila tende a aumentar o limite superior úmido do solo (DEXTER; BIRD, 2001; OBOUR et al., 2019). O carbono orgânico total (COT) apresentou correlação positiva o  $\theta_{LSU}$  (0,46,  $p < 0,1$ ), com a  $\theta_{UOP}$  (0,46,  $p < 0,1$ ) e com o  $\theta_{LPS}$  (0,44,  $p < 0,1$ ). Apesar da correlação moderada entre a maioria dos atributos, verifica-se que o COT é muito importante para a manutenção da umidade ótima e limitante para o preparo do solo arenoso. Conforme observado por Carvalho et al. (2014), a matéria orgânica e o teor de argila influenciam consideravelmente a umidade do solo. Além do mais Dexter e Bird (2001) salientam

que a faixa de umidade ótima de preparo do solo reduz com a diminuição no teor de matéria orgânica do solo.

Nota-se que o aumento da capacidade de campo em relação do limite de plasticidade ( $\theta_{LSU}$ ), tende a aumentar a relação ( $\theta_{CC}/\theta_{LP}$ ). Como visto anteriormente, o aumento dessa relação a valores  $>1$ , indica que o solo não consegue fornecer condições para que a água drene até um limite de umidade adequado ( $\theta_{UOP}$ ).

## CONCLUSÕES

A faixa de umidade para o preparo do solo foi mais adequada no Argissolo Vermelho Amarelo e no Neossolo Quartzarênico latossólico e, restritiva no Neossolo Quartzarênico Órtico. A umidade correspondente ao limite inferior seco acentua-se com o predomínio de areia grossa e média no solo.

O teor carbono orgânico do solo correlaciona-se positivamente com o limite máximo de umidade do solo (superior) e, a areia média como a umidade ótima de preparo do solo. A umidade ótima de preparo do solo mostrou-se maior na camada superficial das três classes de solo. A relação entre a capacidade de campo e o limite de plasticidade do solo mostrou que os solos arenosos estudados em questão apresentam elevada capacidade de drenagem natural, atingindo mais facilmente os valores adequados de umidade ótima do solo.

## REFERÊNCIAS

ALLMARAS, R.R.; BURWELL, R.E.; HOLT, R.F. Plow-layer porosity and surface roughness from tillage as affected by initial porosity and soil moisture at tillage time. **Soil Science Society American Proceedings**, 31(4): 50-556, 1969.

BLAKE, G. R.; HARTGE, K. K. 1986. Bulk density. p. 363-382. In: KLUTE, A., ed. *Methods of soil analysis*. **Soil Science Society of America, Madison**: SSSA, 1986.

BOEKEL, P. Handhaving van een goede bodemstructuur op klei-en zavelgronden. *Landbouwk. Tijdschr*, 77(2): 842-849.

CARVALHO, L. A.; REZENDE, I. S.; PANACHUJI, E.; SILVA JUNIOR, C. A.; NOVAK, E.; SILVA, G. F. C. 2014. Variáveis físicas do solo e produtividade da cana-de-açúcar sob sistemas de preparo na reforma do canavial. **Agrarian Academy**, 1(1): 259-274, 2014.

CLIMATE-DATA.ORG **Clima de Arez-RN**. 2018. Disponível em: <https://pt.climate-data.org/location/42741>

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**, 57(4): 203-212, 2001.

DEXTER, A.R.; BIRKAS, M. Prediction of the soil structures produced by tillage. **Soil and Tillage Research**, 82(6): 29-37, 2004.

DEXTER, A.R., KROESBERGEN, B. Methodology for determination of tensile-strength of soil aggregates. **Journal of Agricultural Engineering Research**,31(2): 139-147, 1985

DEXTER, A.R.; CZYŻ, E.A.; BIRKAS, M.; DIAZ-PEREIRA, E.; DUMITRU, E.; ENACHE, R.; FLEIGE, H.; HORN, R.; RAJKAJ, K.; DE LA ROSA, D.; SIMOTA. SIDASS project Part 3. The optimum and the range of water content for tillage – further developments. **Soil and Tillage Research**, 82(1): 233-238, 2005.

DEXTER, A.R.; RICHARD, G. Tillage of soils in relation to their bi-modal pore size distributions. **Soil and Tillage Research**, 103(1): 113-118, 2009.

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**, 5(9):185-196, 2014.

DOURADO NETO, D.; NIELSEN, D. R.; HOPMANS, J. W.; REICHARDT, K.; BACCHI, O. O. Software to model soil water retention curve SWRC version 2.00. **Scientia Agricola**, 57(1): 91-192, 2000.

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. Rio de Janeiro: **Embrapa Solos**, 1971.

KLUTE, A. Laboratory measurement of hydraulic conductivity of saturated soil. p. 210-221. In: BLAKE, C. A., ed. Methods of soil analysis part I. Madison: **American Society of Agronomy**, 1965.

LUCIANO, R. V.; ALBUQUERQUE, J. A.; COSTA, A.; BATISTELLA, B.; WARMLING, M. T. Atributos físicos relacionados a compactação de solos sob vegetação nativa e regiões de altitude no sul do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 36(6): 1733-1744, 2013.

MUALEM, I. Hydraulic conductivity of unsaturated soils: prediction and formulas. p. 799-823. In: KLUTE A., ed. Methods of soil analysis: I Physical and mineralogical methods. Madison: **American Society of Agronomy**, 1976.

OBOUR, P. B.; KELLER, T.; JENSEN, J. L.; EDWARDS, G.; LAMANDÉ, M.; WATTS, C. W.; SØRENSEN, C. G.; MUNKHOLM, L. J. Soil water contents for tillage: A comparison approaches and consequences for the number of workable days. **Soil and Tillage Research**,195(1): 1-10, 2019.



PARAHYBA, R. B. V.; ARAUJO, M. S. B.; ALMEIDA, B. G.; ROLIM NETO, F. C.; SAMPAIO, E. V. S. B.; CALDAS, A. M. Water retention capacity in Arenosols and Ferralsols in a semiarid area in the state of Bahia, Brazil. **Annals of the Brazilian Academy of Sciences**, 91(4): 1-20, 2019.

R DEVELOPMENT CORE TEAM. **A language and environment for statistical computing**. 2013. Disponível em: <https://www.r-project.org>

RIBEIRO, K. D.; SOUZA, L. K. Limites de Atterberg e sua correlação com a granulometria e matéria orgânica dos solos. **Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas**, 12(2): 185-196, 2020.

RICHART, A.; TAVARES FILHO, J.; BRITO, O, R.; LLANILLO, R. F.; FERREIRA, R. Compactação do solo: Causas e efeitos. **Semina: Ciências Agrárias**, 26(3): 321-344, 2005.

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. Rio de Janeiro: **Embrapa Solos**, 2018.

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**, 13(4): 581-589, 2018.

VAN GENUCHTEN, M. T. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity on unsaturated soil. **Soil Science Society of American Journal**, 44(5): 892-897, 1980.

ZOLFAGHARI, Z.; MOSADDEGHI, M.R.; AYOUBI, S.; KELISHADI, H. Soil Atterberg limits and consistency indices as influenced by land use and slope position in Western Iran. **Journal of Mountain Science**, 12(6): 1471-1483, 2015.