

Efeito do Tempo de Cultivo com Cana-de-Açúcar Sobre a Compactação de um Argissolo dos Tabuleiros Costeiros

EDSON PATTO PACHECO⁽¹⁾ & JOSÉ RAMON BARROS CANTALICE⁽²⁾

RESUMO – O tráfego intenso de máquinas agrícolas para colheita e tratos culturais em plantações de cana-de-açúcar, pode causar a compactação do solo e comprometer a produtividade e longevidade das lavouras. Esse trabalho teve como objetivo avaliar o efeito do cultivo da cana sobre a compactação de um Argissolo, nas profundidades de 0 a 20 e 20 a 40 cm, por meio da compressibilidade e resistência à penetração do solo em laboratório (RPL). As áreas cultivadas com cana, independente do tempo e tipo de cultivo, apresentaram maior tensão de preconsolidação (σ_p) e RPL em relação à mata nativa. A σ_p e a RPL apresentaram correlação significativa com atributos de física do solo determinantes da sua estrutura.

Palavras-Chave: (tensão de preconsolidação, resistência a penetração, atributos físicos.)

Introdução

Devido a grande quantidade de operações motomecanizadas a serem realizadas em curto espaço de tempo, os solos dos tabuleiros costeiros nordestinos, cultivados com cana-de-açúcar, são submetidos a pressões excessivas em condições de teor de umidade que favorecem o processo de degradação física, resultando em compactações adicionais que podem diminuir a produtividade e longevidade das lavouras.

Uma das formas de se estimar a compactação do solo é por meio da tensão de preconsolidação (σ_p), que é determinada pela curva de compressão obtida com ensaio de adensamento uniaxial [1,2]. Essa variável determina a maior pressão que o solo já sofreu no passado e representa a capacidade de suporte de carga, ou seja, é a pressão máxima que o solo suporta antes que ocorra compactação adicional [3]. A σ_p divide a curva de compressão em duas regiões distintas: 1) Curva de compressão secundária e 2) Reta de compressão virgem [3,4]. A curva de compressão secundária representa os níveis de pressões sofridas pelo solo no passado, enquanto a reta de compressão virgem representa as primeiras pressões aplicadas ao solo que poderão resultar em compactação adicional. É na região da curva de compressão secundária, que o solo deve ser cultivado ou trafegado, sem que ocorra esse tipo de compactação [3].

A σ_p está relacionada com a resistência do solo à penetração das raízes, sendo que, valores elevados de tensão de preconsolidação apresentam maior probabilidade de reduzir o crescimento das raízes [5].

Considerando que a σ_p e a resistência do solo à penetração variam em função do teor de umidade, e que existe uma relação significativa, positiva e linear entre as duas variáveis, pode-se afirmar que uma pode ser estimada a partir da outra, por meio de modelos matemáticos [6].

O presente trabalho teve como objetivo avaliar o efeito do tempo de cultivo com cana-de-açúcar sobre a compactação de um Argissolo, por meio da determinação do seu comportamento compressivo e da sua resistência à penetração em laboratório (RPL).

Material e Métodos

O trabalho foi realizado na Usina Coruripe localizada no município de Coruripe – AL, com latitude 10° 07' S e longitude 36° 10' W, pluviosidade média anual de aproximadamente 1.400 mm e temperatura média de 24,4°C. O solo avaliado foi classificado como Argissolo Amarelo Distrófico, relevo plano, textura média (leve)/argilosa.

Foram selecionadas cinco áreas de cana-de-açúcar com diferentes tempos de uso e tipos de cultivo: 4 anos cultivo de inverno (4anos I); 14 anos cultivo de inverno (14anos I); 14 anos cultivo de verão (14anosV); 30 anos cultivo de inverno (30anosI) e 30 anos cultivo de verão (30anosV). No sistema de cultivo de inverno não há preparo do solo com grade, ocorre adubação verde com *Crotalaria spectabilis* e a cana é plantada no final do período chuvoso (inverno). No cultivo de verão ocorre a gradagem e aplicação de composto no sulco de plantio que é realizado no período seco (verão). Em toda área cultivada havia sido realizada a subsolagem para implantação dos canaviais que estavam no quarto corte. As áreas cultivadas foram comparadas entre si e com uma área de mata nativa (Mata), considerada com testemunha padrão.

Para realização dos ensaios de compressibilidade, RPL, bem como, determinação da densidade do solo (D_s), porosidade total (PT), microporosidade (MicroP) e macroporosidade (MacroP), foram retiradas amostras indeformadas em quatro pontos (repetições) de cada área, nas profundidades de 0 a 20 e 20 a 40 cm (horizontes Ap e AB, respectivamente).

Com o objetivo de caracterizar as áreas selecionadas foram retiradas 48 amostras deformadas (seis tratamentos x duas profundidades com quatro repetições). Para determinação dos teores de argila, silte, areia, matéria orgânica total (MOT) e porcentagem de agregação (%Agregação) [7]. Os valores médios da granulometria de cada área, nas duas profundidades estudadas, estão apresentados na Tabela 1. No processo de seleção foi

⁽¹⁾ Pesquisador da Embrapa Tabuleiros Costeiros. Av. Beira 3250, Jardins, 49.025-040, Aracaju-SE. E-mail: patto@cpatc.embrapa.br.

⁽²⁾ Professor Adjunto do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo da Universidade Federal Rural de Pernambuco.

considerado importante a semelhança da granulometria entre as áreas que representariam os seis tratamentos. No entanto, por se tratar de um horizonte de transição, o AB apresentou uma variação nos teores de argila entre as áreas selecionadas (Tabela 1), que não foi considerada prejudicial na qualidade dos dados obtidos.

As amostras indeformadas contidas nos anéis volumétricos (5,2 cm de diâmetro e 2,0 cm de altura) foram saturadas para posterior estabilização do teor de umidade em oito sucções de potenciais matriciais: -1, -4, -6, -10, -33, -100, -500, -1500 kPa. Para tensões entre -1 a -10 kPa foi utilizada mesa de tensão, e câmaras de Richards para sucção de -33 a -1500 kPa. Estabilizado o teor de umidade, as amostras foram submetidas ao ensaio de RPL utilizando um penetrógrafo de bancada com cone de 4mm de diâmetro e velocidade de penetração de 10mm/min. Após o ensaio de RPL, as amostras foram submetidas ao ensaio de compressão uniaxial utilizando uma prensa manual, onde foram aplicadas cargas verticais correspondentes a tensões de 12,5; 25; 50; 100; 200; 400; 800 e 1600 kPa. A razão de carga foi igual a dois e os estágios de carregamentos foram de 30 segundos. Para cada carga aplicada foi medida a deformação vertical da amostra para efetuação do cálculo da σ_p . Ao final do ensaio de compressão as amostras foram secas em estufa a 105°C por 24 horas, para determinação do teor de umidade gravimétrica (U), e cálculo da Ds, PT, MicroP (umidade a -6kPa) e MacroP (PT - MicroP).

Os resultados foram submetidos à análise de variância, sendo a comparação das médias realizada ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Scott Knott. Também foram realizadas análises de correlação de Pearson e, análise de regressão para obtenção dos parâmetros de ajuste dos modelos matemáticos $\sigma_p = f(U)$ e $RPL = f(U)$. Para realização das análises estatísticas foi utilizando o programa estatístico SAEG 9.1 - 2007.

Resultados e Discussão

Nas duas profundidades em estudo, a mata apresentou modelos distintos de σ_p e RPL, em relação às áreas cultivadas (Figura 1 e 2). Nas Tabelas 2 e 3, estão apresentados os parâmetros de ajuste “a e b” dos modelos de regressão para σ_p e RPL, que variaram de forma exponencial com o teor de umidade, conforme modelo proposto por [1]: σ_p e $RPL = 10^{(a + b.U)}$. O solo da Mata apresentou menores valores tanto para o coeficiente angular quanto para o linear, conferindo a esse tratamento uma menor variação da σ_p e da RPL durante o processo de umedecimento e secagem do solo. Para teores de umidade mais baixos, as áreas cultivadas são menos compressíveis e apresentam maior σ_p e RPL, independente do tempo de uso (Figura 1 e 2). Isso indica que o manejo aplicado no cultivo da cana, mesmo em áreas recém abertas, provocou compactação não só na superfície (horizonte Ap), mas também no horizonte subsuperficial AB. Esse fato pode ser comprovado, considerando que as áreas cultivadas apresentaram Ds significativamente maior e PT

significativamente menor do que a Mata, nas duas profundidades estudadas (Tabela 1). Na profundidade de 0 a 20 cm a Mata apresentou teores de MOT de 17,80 g.kg⁻¹, que relativamente, foi bem superior aos teores das áreas cultivadas, que variaram de 8,72 a 11,54 g.kg⁻¹. A cana-de-açúcar é considerada uma cultura que muito contribui com o acúmulo de carbono orgânico no solo. No entanto, o sistema de colheita de cana queimada, combinado com tratamentos culturais que movimentam o solo excessivamente nas entrelinhas, pode ter contribuído para a redução do teor de MOT, que é um dos principais fatores responsáveis na formação de agregados na camada superficial solo, que apresentou 84,4 % de agregação na Mata contra uma variação de 22,36 a 35,11 % de agregação nas áreas cultivadas (Tabela 1).

Para profundidade de 20 a 40 cm os tratamentos apresentaram comportamento semelhante da profundidade de 0 a 20 cm, quanto a Ds, PT e %Agregação. Neste horizonte, o teor de MOT do solo da Mata não apresentou diferença significativa em relação às áreas cultivadas. Portanto, a menor PT e a maior Ds no horizonte AB das áreas cultivadas, parece estar relacionado com pressão imposta na superfície por trânsito de máquinas, que mesmo sendo transmitida de forma atenuada para camadas mais profundas, muitas vezes, essas apresentam teores de umidade favoráveis à compactação, ou seja, apresentam capacidade de carga (σ_p) abaixo da carga aplicada durante operações mecanizadas.

A pressão média que um pneu exerce sobre a superfície do solo é aproximadamente a sua pressão de inflação. Segundo [8], a razão de carga aplicada na superfície do solo, em relação à pressão exercida a 25 cm de profundidade, é de aproximadamente 8,3:1. Considerando que os reboques usados na colheita da cana podem ter seus pneus de caminhão inflados em até 120 PSI (838,2 kPa), os mesmos estariam exercendo uma pressão de aproximadamente 101 kPa a 25 cm de profundidade, o que seria suficiente para ultrapassar a capacidade de suporte de carga (σ_p) do horizonte AB do Argissolo estudado, na sua condição natural (Mata) com teor de umidade praticamente zero, causando a sua compactação, elevando Ds, e conseqüentemente, a σ_p das áreas cultivadas (Figura 2).

Segundo [9], a resistência do solo tende a aumentar com o desenvolvimento de estrutura. Entretanto, [10] argumenta que solos recuperados por processos biológicos, em que as condições estruturais se aproximam das naturais, tendem a apresentar condições de elevada compressibilidade (baixa σ_p), uma vez que, a agregação é acompanhada de um aumento da porosidade, em especial da macroporosidade. Um solo que apresenta macroporosidade elevada é mais compressível, porque apresenta menor número de pontos de contato entre partículas sólidas para conferir resistência mecânica à pressão compressiva imposta a ele. Portanto, a matéria orgânica apresenta efeitos contraditórios sobre a resistência do solo à compactação: a) aumento da força de ligação entre as partículas minerais e b) mudança no arranjo das partículas (porosidade) [11]. O balanço entre esses dois efeitos, que por sua vez depende da origem, estado de decomposição, “status” químico da matéria orgânica, irá determinar o efeito sobre a resistência do solo. De fato, a matéria orgânica pode aumentar ou reduzir a

resistência do solo, dependendo do seu efeito conjunto sobre a densidade, parâmetros de cisalhamento, tensão capilar e grau de saturação de água [12]. Quando predominam os efeitos de redução da densidade, por aumento da porosidade, a resistência à compressão diminui. Entretanto, a matéria orgânica produz aumento na resistência do solo à compressão, quando predomina o efeito de aumento dos parâmetros de cisalhamento, aumento da tensão capilar com aumento da coesão aparente e redução do efeito da água na redução da fricção entre partículas, redução da densidade por efeito de diluição e aumento da elasticidade.

A menor RPL e σ_p de carga do Argissolo sob Mata, em relação às áreas cultivadas com cana, parecem estar vinculados à Ds, PT e MacroP. Essa hipótese pode ser comprovada pela correlação significativa desses atributos com a compressibilidade e resistência do solo à penetração (Tabela 4). A correlação da MacroP com a σ_p e a RPL é negativa e significativa (Tabela 4), ou seja, quanto maior a MacroP menor é a capacidade de suporte de carga e a resistência do solo à penetração de raízes. Na profundidade de 20 a 40 cm a compressibilidade e a resistência a penetração também tiveram correlação significativa com a granulometria (Tabela 4). No entanto, em módulo, os valores da correlação da MacroP são sempre superiores, significando que, para áreas de mesma textura no local do estudo, vale afirmar que a σ_p e a RPL pode ser usados como parâmetros de avaliação da qualidade do solo, no que se refere à compactação. A MOT e a %Agregação também tiveram correlação significativa com a σ_p e a RPL, para as duas profundidades estudadas (Tabela 4). Porém, parece que o efeito desses dois atributos é indireto, ou seja, a matéria orgânica e a agregação interferem na porosidade e densidade do solo, que por sua vez, apresentam um efeito direto sobre a σ_p e a RPL do Argissolos estudado.

A σ_p e a RPL do horizonte AB apresentaram valores bem superiores em relação ao horizonte superficial, independente do tratamento (Figura 2). Essa resposta era esperada e está relacionada ao gradiente textural dos Argissolos, que confere ao horizonte subsuperficial uma maior coesão. Segundo [13] 2000 kPa é um nível de resistência do solo à penetração que pode ser considerado como limitante para o crescimento radicular da maioria das culturas. Na tensão de -10 kPa (capacidade de campo) as áreas cultivadas apresentaram, na profundidade de 20 a 40 cm, teor de umidade de aproximadamente 0,125 kg.kg⁻¹ (Figura 3). Para esse teor de umidade o horizonte AB apresentou aproximadamente 2000 kPa para as áreas cultivadas, com exceção da área cultivada por 14 anosI (Figura 2). Essa elevada resistência à penetração, mesmo em altos teores de umidade, associado aos altos teores de areia da camada subjacente, pode ser a causa do pequeno volume de raízes observado visualmente nessa profundidade, o que provavelmente compromete a produtividade das lavouras de cana-de-açúcar devido aos longos períodos de estiagem da região em questão.

Conclusões

O cultivo da cana-de-açúcar, independente do tempo e tipo de cultivo, causou a compactação do horizonte superficial e do horizonte AB, potencializando a resistência à penetração no horizonte AB do Argissolo estudado.

Considerando que as áreas utilizadas no estudo foram subsoladas antes do plantio, e que, todas estavam no mesmo ciclo de cultivo (quarto corte), pode-se inferir que a pressão exercida no solo durante colheita e tratamentos culturais, usados nas lavouras de cana, pode estar determinando o comportamento físico do solo, ocultando possíveis diferenças dos efeitos do tempo e tipo de cultivo.

Agradecimentos

A Usina Coruripe pela disponibilização das áreas e apoio logístico.

Referências

- [1] DIAS JUNIOR, M.S. 2000. Compactação do solo. Tópicos em Ciência do Solo, Viçosa, v.1, p. 56-94.
- [2] ABNT. **Ensaio de adensamento unidimensional**. ABNT. - NBR 12007. Rio de Janeiro, ABNT, 1990. 13p.
- [3] DIAS JUNIOR, M.S.; PIERCE, F.J. 1996. Revisão de literatura: O processo de compactação do solo e sua modelagem. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 20, p. 175-182.
- [4] LEBERT, M.; HORN, R. A. 1991. method to predict the mechanical strength of agricultural soils. **Soil & Tillage Research**, v. 19, p. 275-286.
- [5] RÖMKENS, M.J.M. & MILLER, R.D. 1971. Predicting root size and frequency from one-dimensional consolidation data – A mathematical model. **Plant Soil**, v. 35, p. 237-248.
- [6] LIMA, C.L.R. de; SILVA, A. P. da. 2006. Estimativa da capacidade de suporte de carga do solo a partir da avaliação da resistência à penetração. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, n. 2, p. 217-223.
- [7] EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). 1997. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. rev. Rio de Janeiro, 212 p.
- [8] REAVES, C. A. & COOPER, A. W. 1960. Stress distribution in soil under tractor roads. *J. Agric. Eng.Soc.*, Bunkyo, 41:20-31.
- [9] HORN, R.; TAUBNER, H.; WUTTKE, M.; BAUMGARTL, T. 1993. Soil physical properties related to soil structure. **Soil Tillage Research**, 30:187-216.
- [10] D'AGOSTINI, L.R. 1992. **Variações temporais da coesividade entre agregados de solo**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 82p. (Tese de Doutorado).
- [11] HORN, R.; LEBERT, M. 1994. Soil compactability and compressibility. In: Soane, B.D.; Ouwerkerk, C van. (Edi.) **Soil compaction in crop production**. Amsterdam, Elsevier, 662p.
- [12] ZHANG, H.; HARTGE, K.H.; RINGE, H. 1997. Effectiveness of organic matter incorporation in reducing soil compactability. **Soil Science Society American Journal**, 61:239-245.
- [13] TORMENA, C. A.; ROLOFF, 1996. G. Dinâmica da resistência à penetração de um solo sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 20, n. 2, p. 333-339.

Tabela 1. Valores médios de granulometria (Areia, Silte e Argila), Densidade do solo (Ds), Porosidade Total (PT), Microporosidade (MicoP), Macroporosidade (MacroP), Matéria Orgânica Total (MOT) e Porcentagem de Agregação (%Agregação), para as seis áreas nas duas profundidades estudadas.

Profundidade 0 a 20 cm									
Tratamento	Areia (g.kg ⁻¹)	Silte (g.kg ⁻¹)	Argila (g.kg ⁻¹)	Ds (Mg.m ⁻³)	PT (m.m ⁻³)	MicroP (m.m ⁻³)	MacroP (m.m ⁻³)	MOT (g.kg ⁻¹)	% Agregação
Mata	868 a	57 a	76 a	1,21 b	0,53 a	0,17 a	0,36 a	17,80 a	84,10 a
4 anos I	867 a	46 a	88 a	1,38 a	0,48 b	0,15 a	0,32 a	9,39 c	34,67 b
14 anos I	866 a	49 a	86 a	1,37 a	0,48 b	0,16 a	0,32 a	11,54 b	35,11 b
14 anos V	873 a	42 a	86 a	1,39 a	0,47 b	0,16 a	0,31 a	10,84 b	31,69 b
30 anos I	885 a	39 a	75 a	1,44 a	0,46 b	0,15 a	0,30 a	9,97 c	22,36 b
30 anos V	868 a	42 a	91 a	1,46 a	0,45 b	0,16 a	0,29 a	8,72 c	31,26 b

Profundidade 20 a 40 cm									
Tratamento	Areia (g.kg ⁻¹)	Silte (g.kg ⁻¹)	Argila (g.kg ⁻¹)	Ds (Mg.m ⁻³)	PT (m.m ⁻³)	MicroP (m.m ⁻³)	MacroP (m.m ⁻³)	MOT (g.kg ⁻¹)	% Agregação
Mata	793 a	56 a	151 b	1,41 b	0,46 a	0,17 a	0,29 a	8,12 a	66,41 a
4 anos I	701 a	65 a	234 a	1,58 a	0,40 b	0,24 a	0,16 b	7,62 a	43,90 b
14 anos I	751 a	66 a	184 b	1,58 a	0,39 b	0,20 a	0,19 b	6,49 a	34,23 b
14 anos V	768 a	63 a	169 b	1,58 a	0,40 b	0,19 a	0,21 b	7,84 a	32,05 b
30 anos I	747 a	81 a	172 b	1,55a	0,41 b	0,21 a	0,19 b	7,06 a	36,98 b
30 anos V	724 a	70 a	207 a	1,53 a	0,41 b	0,21 a	0,20 b	7,21 a	29,90 b

Médias seguidas pela mesma letra nas colunas não diferem entre si pelo teste de Scott Knott, ao nível de 5% de probabilidade

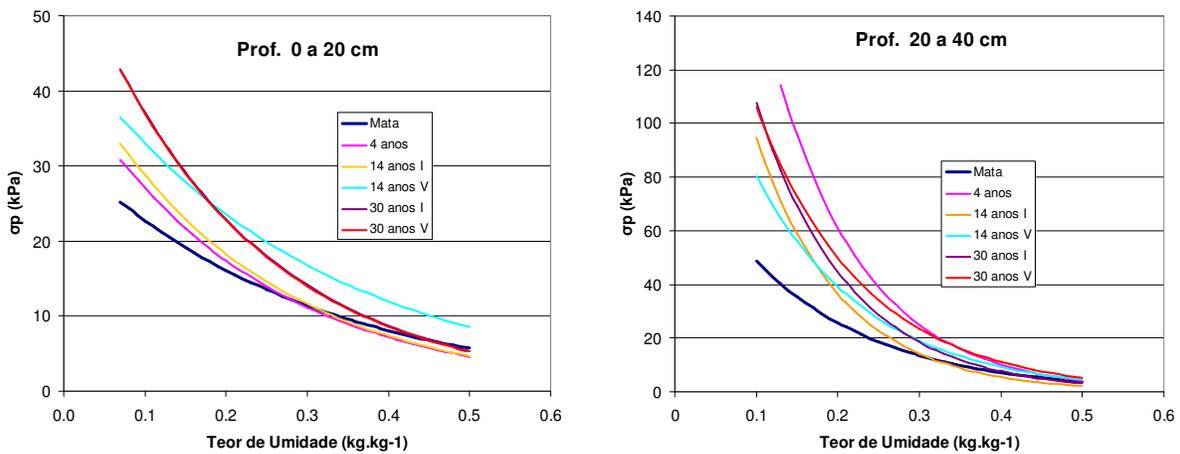


Figura 1. Curvas de Tensão de Preconsolidação (σ_p) em função do teor de umidade: $\sigma_p = 10^{(a + b.U)}$

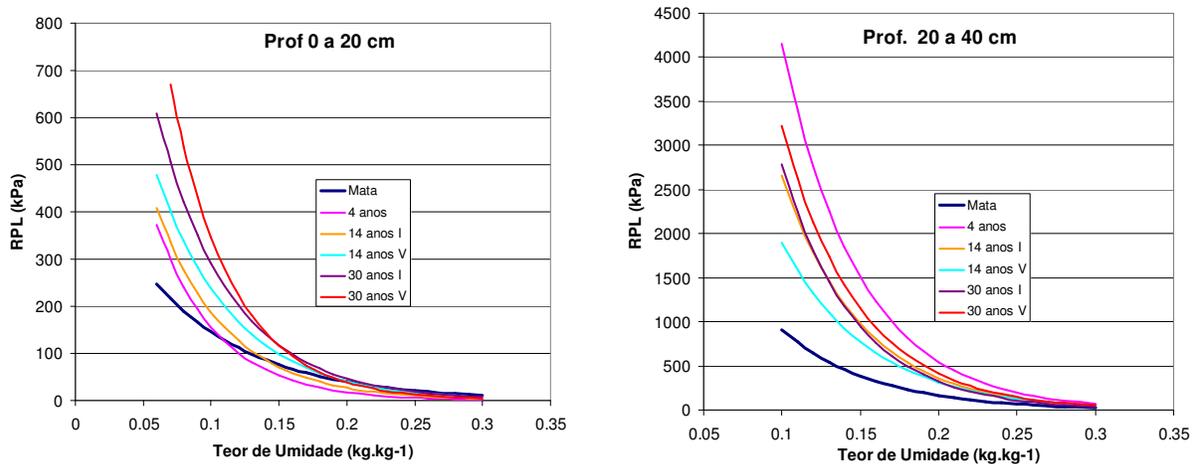


Figura 2. Curvas de Resistência do Solo à Penetração em Laboratório (RPL) em função do teor de umidade: $RPL = 10^{(a + b.U)}$

Tabela 2. Parâmetros de ajuste das equações de regressão da σ_p em função do teor de umidade gravimétrica : $\sigma_p = 10^{(a + b.U)}$

Tratamento	Profundidade 0 a 20 cm			Profundidade 20 a 40 cm		
	a	b	R ²	a	b	R ²
Mata	1,5060	-1,4972	0,6477	1,9695	-2,7779	0,6292
4 anos	1,6234	-1,9174	0,5173	2,5640	-3,8919	0,6248
14 anos Cult. de Inverno	1,6554	-1,9670	0,5257	2,3894	-4,1283	0,6946
14 anos Cult. de Verão	1,6654	-1,4684	0,3397	2,2189	-3,1337	0,5335
30 anos Cult. de Inverno	1,7786	-2,0917	0,6231	2,4146	-3,8256	0,6883
30 anos Cult. de Verão	1,7782	-2,1084	0,5124	2,3517	-3,2666	0,6086

Tabela 3. Parâmetros de ajuste das equações de regressão da RPL em função do teor de umidade gravimétrica: $RPL = 10^{(a + b.U)}$

Tratamento	Profundidade 0 a 20 cm			Profundidade 20 a 40 cm		
	a	b	R ²	a	b	R ²
Mata	2,7309	-5,6596	0,5175	3,7170	-7,5570	0,7194
4 anos	3,1391	-9,4768	0,7988	4,5003	-8,8183	0,5840
14 anos Cult. de Inverno	3,1189	-8,4506	0,7473	4,2902	-8,6598	0,6632
14 anos Cult. de Verão	3,1388	-7,6336	0,5690	4,0623	-7,8315	0,6033
30 anos Cult. de Inverno	3,2619	-7,9581	0,7581	4,3821	-9,3790	0,6971
30 anos Cult. de Verão	3,4928	-9,5190	0,7612	4,4046	-8,9618	0,6885

Tabela 4. Correlação de Pearson da σ_p e RPL com a granulometria (Areia, Silte e Argila), Densidade do solo (Ds), Porosidade Total (PT), Microporosidade (MicoP), Macroporosidade (MacroP), Matéria Orgânica Total (MOT) e Porcentagem de Agregação (%Agreg.), para as seis áreas nas duas profundidades estudadas.

Var.	Profundidade 0 a 20 cm								
	Areia	Silte	Argila	Ds	PT	MicroP	MacroP	MOT	%Agreg.
σ_p	0,045 ^{ns}	-0,486**	0,253 ^{ns}	0,914**	-0,917**	-0,012 ^{ns}	-0,885**	-0,684**	-0,711**
RPL	-0,097 ^{ns}	-0,270 ^{ns}	0,291 ^{ns}	0,835**	-0,840**	0,150 ^{ns}	-0,888**	-0,638**	-0,519**
Var.	Profundidade 20 a 40 cm								
	Areia	Silte	Argila	Ds	PT	MicroP	MacroP	MOT	%Agreg.
σ_p	-0,724**	0,301 ^{ns}	0,734**	0,688**	-0,666**	0,718**	-0,861**	-0,115 ^{ns}	-0,516**
RPL	-0,569**	0,292 ^{ns}	0,554**	0,772**	-0,781**	0,569**	-0,824**	-0,230 ^{ns}	-0,736**

** Correlação de Pearson significativa ao nível de 1% de probabilidade; ^{ns} Correlação de Pearson não significativa

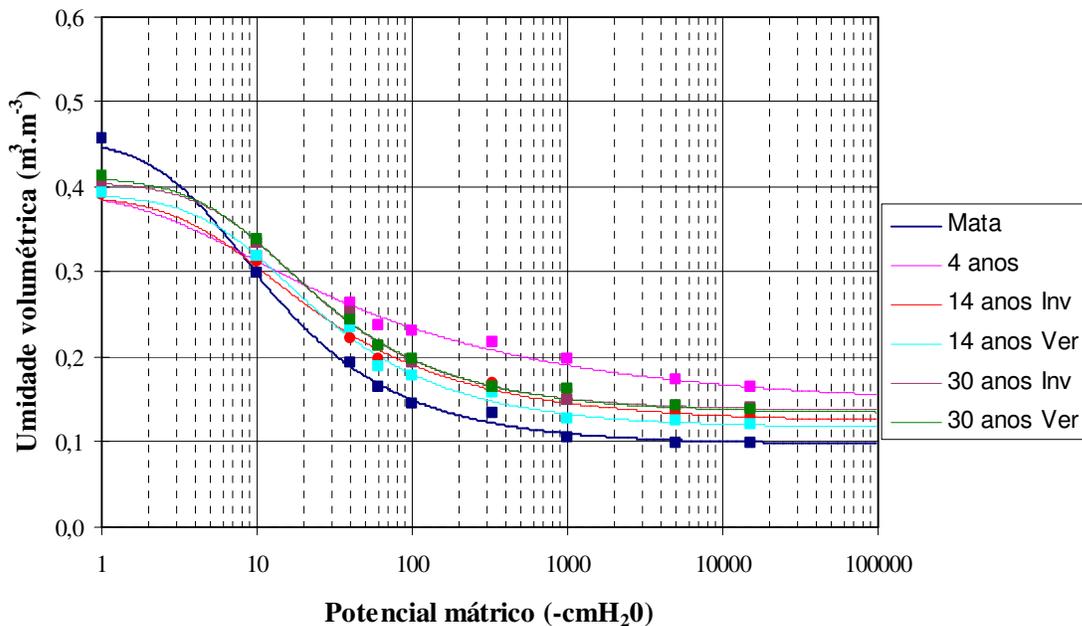


Figura 3. Curvas Características de Retenção de Água para os Seis Tratamentos na Profundidade de 20 a 40 cm.