

# Estimativa da transferência de pressões aplicadas na superfície a camadas subsuperficiais de um argissolo de Tabuleiros Costeiros

Davi Souza de Santana<sup>1</sup>, Edson Patto Pacheco<sup>2</sup>

**Resumo** - O horizonte subsuperficial coeso dos Argissolos de Tabuleiros Costeiros reduz a profundidade efetiva desses solos, podendo comprometer a produtividade e longevidade das lavouras de cultivo perene. Essa limitação pedogenética pode ser potencializada, quando a pressão aplicada na superfície do horizonte Ap, durante o tráfego de máquinas agrícolas, é transmitida para horizontes mais profundos (AB ou Bt), em níveis superiores a capacidade de suporte de carga dessas camadas, causando compactações subsuperficiais adicionais. O objetivo desse trabalho foi estimar a transferência de pressões aplicadas à superfície do horizonte Ap de um Argissolo para camadas subsuperficiais, por meio de ensaios de laboratório. Para a realização dos ensaios, foi utilizado o delineamento experimental em blocos ao acaso, com quatro repetições, no esquema fatorial 5x3x6. Para compor os tratamentos foram consideradas cinco espessuras do horizonte Ap (0,05; 0,10; 0,15; 0,20 e 0,25 m), três níveis de umidades do solo com base na capacidade de campo -  $\theta_{cc}$  (solo seco, 25% e 50% da  $\theta_{cc}$ ), e seis níveis de pressão aplicadas no topo do corpo de prova (25, 50, 100, 150, 200 e 250 KPa). As cinco espessuras do horizonte Ap foram obtidas por meio da contenção de uma massa de solo, com densidade aparente de  $1,42 \text{ Mg ton}^{-3}$ , em cilindros de PVC com diâmetro de 0,10 m, com as respectivas alturas. Os seis níveis de pressão na superfície foram aplicados por meio de uma prensa mecânica da marca Solotest. Foram realizados dois ensaios distintos, utilizando dois discos de metal com área de 20,43 e 65,04  $\text{cm}^2$ , respectivamente, que foram posicionados no topo do corpo de prova. A pressão transmitida foi medida por meio de um disco com área de 6,61  $\text{cm}^2$ , localizado na base dos corpos de prova, e acoplado a uma célula de carga com capacidade de 20 kgf conectada ao “datalogger” do penetrógrafo de bancada da marca Marconi. A umidade do solo apresentou efeito de amortecimento sobre a pressão transmitida de camadas superiores para subsuperfície. A pressão transmitida para subsuperfície apresenta comportamento exponencial com correlação negativa em função da profundidade, independente da pressão aplicada na superfície. O aumento da área de contato para aplicação de pressões na superfície do solo, atenua a transmissão de pressão para camadas inferiores, quando é comparado à mesma pressão aplicada em áreas menores.

**Termos para indexação:** argissolo, capacidade de suporte de carga, compactação subsuperficial.

## Introdução

Os solos dos Tabuleiros Costeiros que incluem os Argissolos são em geral, pobres em nutrientes e em matéria orgânica e são caracterizados pela presença de camadas adensadas (camadas coesas), localizadas quase sempre entre 20 cm e 60 cm de profundidade (Jacomine, 2001).

A cana de açúcar dos Estados da Bahia, Sergipe e Alagoas está assentada predominantemente em Argissolos e Latossolos Amarelos. Assim, apesar do grande potencial dos Tabuleiros Costeiros para a exploração agrícola, relacionado à topografia favorável à mecanização e à proximidade de grandes centros consumidores, há limitações edafoclimáticas que comprometem a produtividade da cultura. A baixa fertilidade desses solos e a má distribuição das chuvas, associada aos horizontes coesos, destacam-se dentre as principais limitações à produção de cana nos Tabuleiros Costeiros (Resende et al., 2015).

A degradação nas propriedades físicas do solo, causado pelas operações motomecanizada, vem sendo instrumentos de pesquisa, por estar diretamente ligada aos efeitos negativos da compactação do solo e desenvolvimento da produtividade das plantas. Com a modernização da mecanização nas operações agrícolas, a introdução de máquinas mais pesadas vem intensificando o aumento da carga aplicada na superfície e subsuperfície dos solos.

A compactação e o adensamento do solo acarretam uma série de problemas que afetam direta ou indiretamente a produção agrícola ao causarem restrição ao crescimento e desenvolvimento radicular (Resende, 2000). Entretanto Cintra (1997) sugere que a camada coesa exerce ação benéfica, por se constituir, também, numa barreira física à perda de água. A citada barreira favorece o armazenamento da água no solo, amenizando o estresse hídrico da planta no início da estação seca. A esses fatores limitantes ao pleno desenvolvimento da atividade sucroalcooleira, deve ser acrescentada a impossibilidade da prática de irrigação na maior parte da área, atualmente ocupada pela cultura da cana, o que torna necessária a seleção de porta-enxertos com boa tolerância à seca.

<sup>1</sup>Graduando em Engenharia Agrícola, bolsista da Embrapa Tabuleiros Costeiros, Aracaju, SE.

<sup>2</sup>Engenheiro-agrônomo, doutor em Ciência do Solo, pesquisador da Embrapa Tabuleiros Costeiros, Aracaju, SE.

Nas áreas canavieiras, esses aspectos pedogenéticos podem ser agravados pela grande quantidade de operações motomecanizadas, o que submete esses solos a pressões excessivas em condições de baixa capacidade de suporte de carga, resultando em compactações adicionais e consequente processo de degradação física do solo. Esta degradação, associada à irregularidade das chuvas e aos períodos de estiagem, podem diminuir a produtividade devido à deficiência das plantas na absorção de nutrientes em condições de solo compactado.

O presente trabalho objetivou-se em avaliar a eficiência de um método de laboratório para estimar a transferência de pressões aplicadas na superfície do solo para camadas subsuperficiais. Obter um modelo para estimar a pressão aplicada no topo do horizonte AB de um Argissolo de Tabuleiros Costeiros, em função da variação de pressão aplicada na superfície do horizonte Ap com diferentes espessuras e umidade. Recomendar a máxima carga no eixo e tipo de rodados de máquinas agrícolas adequados para diminuição da compactação do solo.

## Material e Métodos

O trabalho foi desenvolvido no laboratório de Física do Solo da Embrapa Tabuleiros Costeiros, os volumes de solo, com estrutura não preservada utilizados nos ensaios, foram obtidos de uma área cultivada com cana-de-açúcar, localizado no paralelo 10°02'60''S e meridiano 36°10'31'', da Fazenda Progresso, de propriedade da Usina Coruripe – Alagoas. O solo foi extraído na profundidade 0 a 20 m, representado pelo horizonte Ap, respectivamente, classificado como Argissolo Amarelo Distrocoeso (Embrapa, 2006), relevo plano, textura média (leve)/argilosa, formado do sedimento grupo Barreiras, característico da unidade geomorfológica Tabuleiros Costeiros (Jacomini et al., 1975).

O delineamento experimental inteiramente ao acaso, com quatro repetições, no esquema fatorial 5x3x6, totalizando 90 tratamentos, sendo consideradas cinco espessuras do horizonte Ap (0,05 m; 0,10 m; 0,15 m; 0,20 m e 0,25 m), três níveis de umidades do solo com base na capacidade de campo -  $\theta_{cc}$  (solo seco, 25% da  $\theta_{cc}$  e 50% da  $\theta_{cc}$ ) e seis níveis de pressão aplicadas no topo do corpo de prova (25 kPa, 50 kPa, 100 kPa, 150 kPa, 200 kPa e 250 kPa), totalizando 720 ensaios.

As cinco espessuras do horizonte Ap (EHAp) serão obtidas por meio da contenção de uma massa de solo, em cilindros de PVC com diâmetro de 0,10 m e com alturas variadas, conforme especificado anteriormente. A massa de solo será calculada conforme o volume de solo necessário, para obter uma densidade do solo ( $D_s$ ) avaliada por meio de amostras indeformadas coletados com trado de Huland.

Para os três níveis de umidade do solo ( $\theta$ ) serão considerados solo seco a sombra, e adição de água ao solo seco para obtenção das umidades volumétricas de 25% e 50% da capacidade de campo ( $\theta_{cc}$ ).

Os seis níveis de pressão na superfície (PS) serão obtidos por meio de uma prensa mecânica de acionamento manual, da marca Solotest. Dois disco de metal de 0,051 m e 0,091 m de diâmetro (20 cm<sup>2</sup>, 43 cm<sup>2</sup> e 65,04 cm<sup>2</sup>) será posicionado no topo do corpo de prova, e sobre ele acionada uma carga de 18,07 kgf; 36,15 kgf; 72,30 kgf e 144,59 kgf que corresponderão aos seis níveis de pressão preestabelecidos de 25 kpa, 50 kpa, 100 kpa, 150 kpa, 200 kpa e 250 kpa, respectivamente. A manivela da prensa deverá ser acionada até que o micrômetro digital para medida da deformação do anel dinamométrico da prensa, indique a leitura correspondente à carga desejada no ensaio em questão.

A leitura da força transmitida até a base do corpo de prova será medida por meio de uma célula de carga com capacidade de 20 kgf, que conectada ao *datalogger* do penetrógrafo de bancada da marca Marconi registrará a força em kgf transmitida a cada segundo. Utilizando software específico, os dados de força serão registrados em um arquivo txt, do qual deverá ser selecionado o maior valor registrado. Esse valor será utilizado para calcular a pressão transmitida do topo para a base do corpo de prova, conforme equação a seguir:

$$PTPS = \left( \frac{FMS}{6,16} \right) * 98,0665$$

Em que:

PTPS = pressão transmitida para subsuperfície (kPa);

FMS = força máxima na subsuperfície (kgf);

6,16 = área de contato da célula de carga com a subsuperfície (cm<sup>2</sup>);

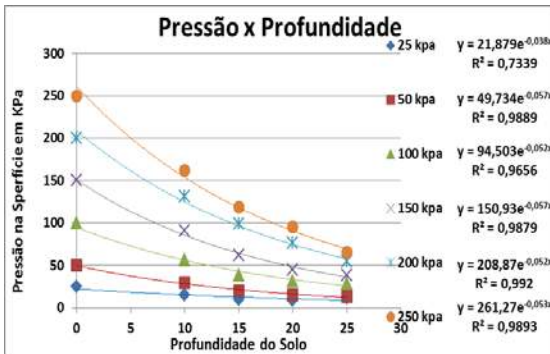
98,0665 = transformação de kgf cm<sup>-2</sup> para kPa.

Após a determinação das PTPS para cada ensaio, será elaborado um modelo, por meio de regressão, para estimativa da pressão transmitida para subsuperfície (PTPS) em função da espessura do horizonte Ap (EHAp), umidade do solo ( $\theta$ ) e pressão na superfície (PS), portanto:  $PTPS = f(EHAp; \theta; PS)$ .

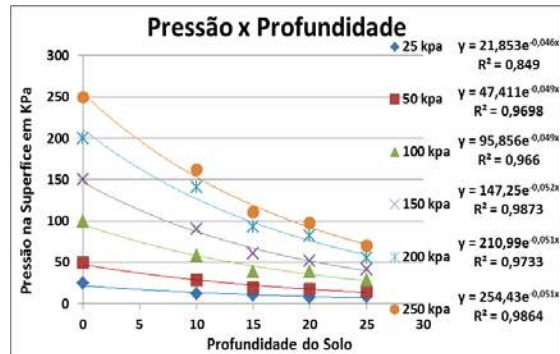
## Resultados e Discussão

Os gráficos a seguir foram obtidos a partir de pressões aplicadas por meio de dois discos com área de contato 20,43 cm<sup>2</sup> e 65,04 cm<sup>2</sup>, respectivamente, que foram posicionados no topo do corpo de prova. Os pontos foram obtidos pela média de quatro repetições. Para obtenção das curvas de regressão apresentadas nas figuras 1, 2 e 3, por motivos operacionais durante os ensaios, optou-se por excluir os pontos referentes à profundidade de 5 cm, o que conferiu um melhor ajuste das curvas de regressão.

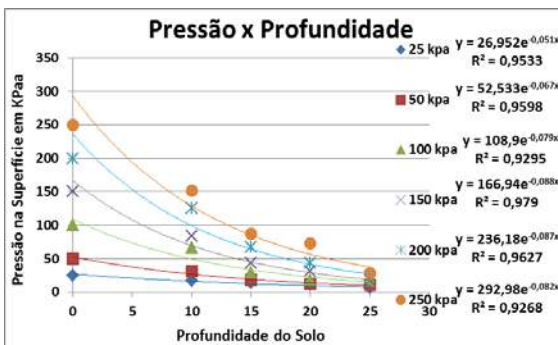
### 3.1 Transmissão de pressão com menor área de contato



**Figura 1.** Curvas de regressão para pressão transmitida para subsuperfície (PSS) em função da profundidade, para solo com 0% da capacidade de campo e seis pressões aplicadas na superfície (PS).



**Figura 2.** Curvas de regressão para pressão transmitida para subsuperfície (PSS) em função da profundidade, para solo com 25% da capacidade de campo e seis pressões aplicadas na superfície (PS).



**Figura 3.** Curvas de regressão para pressão transmitida para subsuperfície (PSS) em função da profundidade, para solo com 50% da capacidade de campo e seis pressões aplicadas na superfície (PS).

Para estimar a pressão transmitida para camadas inferiores durante a aplicação de uma pressão aplicada no topo do horizonte superficial, o melhor ajuste dos modelos de regressão foi do tipo exponencial  $y = a \cdot e^{-bx}$ , onde  $y$  é a pressão transmitida para a subsuperfície (PSS) em função da profundidade ( $x$ ). As equações de regressão foram obtidas por meio do software Excel, considerando os três níveis de umidade e seis níveis de pressão aplicadas no topo do corpo de prova (PS), simulando pressões aplicadas na superfície do solo durante o tráfego de máquinas agrícolas. Para os ensaios realizados com pressão aplicada com o disco de menor área (Figuras 1, 2 e 3), pode-se observar um comportamento distinto quando as pressões foram aplicadas ao solo com umidade de 50 % CC (Figura 3), sendo que, para a profundidade de 15 cm a PSS não atingiu 100 kPa, mesmo para uma pressão de 250 kPa aplicada na superfície do corpo de prova. A explicação para esse comportamento é o menor atrito entre as partículas do solo proporcionado pela água, fazendo que o corpo de prova apresente uma maior deformação durante a aplicação da pressão na sua superfície, funcionando como uma “mola”, consequentemente, diminuindo as pressões transmitidas para camadas mais profundas. Isso pode ser comprovado por meio da diminuição do coeficiente “b” das equações de regressão, chegando a -0,088 para a curva referente à PS de 150 kPa, para umidade do solo de 50% CC (Tabela 1).

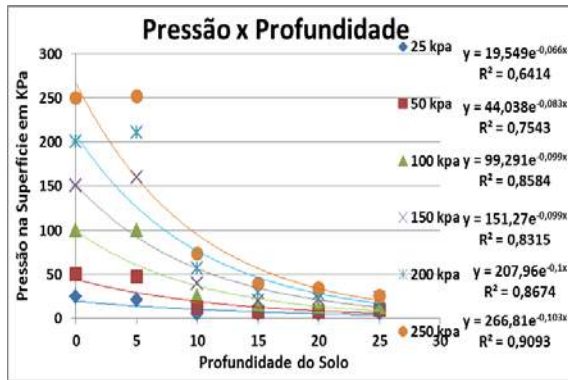
**Tabela 1.** Coeficientes de regressão para PSS em função da profundidade, para três Umidades e seis PS, para ensaios com disco menor (área de contato 20,43 cm<sup>2</sup>).

Umidade (%CC)	Pressão (kPa)	Coeficientes de Regressão		
		a	b	R <sup>2</sup>
0%	25	21,879	-0,038	0,7339
	50	49,734	-0,057	0,9889
	100	94,503	-0,052	0,9656
	150	150,93	-0,057	0,9879
	200	208,87	-0,052	0,992
	250	261,27	-0,053	0,9893
25%	25	21,853	-0,046	0,849
	50	47,411	-0,049	0,9698
	100	95,856	-0,049	0,966
	150	147,25	-0,052	0,9873
	200	210,99	-0,051	0,9733
	250	254,43	-0,051	0,9864
50%	25	26,952	-0,051	0,9533
	50	52,533	-0,067	0,9598
	100	108,9	-0,079	0,9295
	150	166,94	-0,088	0,979
	200	236,18	-0,087	0,9627
	250	292,98	-0,082	0,9268

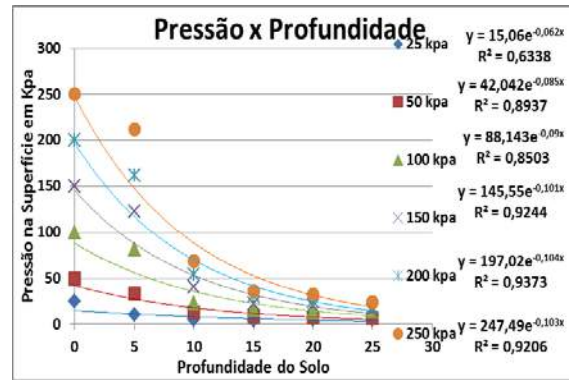
Segundo Hillel (1980) e Dias Junior (1994), esse comportamento ocorre porque a água exerce de duas formas sobre a resistência do solo ao cisalhamento: diminuindo a coesão entre as partículas sólidas e formando filmes entre as partículas sólidas, resultando em menor atrito entre as mesmas. Segundo (Silva et al., 2000) o volume de água é um importante fator, que identifica a possível intensidade de deformação que pode acontecer no solo durante a aplicação da pressão, pois atua como lubrificante entre as partículas, permitindo o deslocamento das mesmas, o qual é favorecido à medida que aumenta. Portanto para o tipo de solo considerado no estudo, por se tratar de um solo com alto teor de areia no horizonte superficial, com aumento de argila nas camadas mais profundas, maiores umidades nas camadas superficiais podem conferir uma maior deformação dessas camadas, funcionando assim com um amortecedor, atenuando as pressões transmitidas para as camadas argilosas adjacentes, onde compactações adicionais podem comprometer o aprofundamento de raízes e o desenvolvimento das lavouras.

### 3.2 Transmissão de pressão com maior área de contato

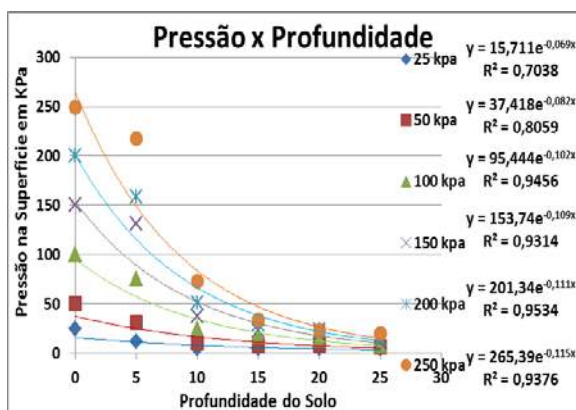
Comparando as duas áreas de contato observa-se que o aumento da área de contato para aplicação da pressão na superfície, resultou em uma diminuição das pressões transmitidas para as camadas inferiores. Nesse caso, a água ainda teve um papel de lubrificante entre as partículas do solo, funcionando como um amortecedor das pressões aplicadas na superfície. Para os corpos de prova com teor de água de 50% CC, a pressão transmitida para subsuperfície não atinge 50 kpa mesmo para a pressão de 250 kpa aplicada na superfície (Figura 6), valor que é ultrapassado na profundidade de 15 cm quando a pressão era aplicada no solo com umidade de 0% e 25% CC, conforme pode ser observado nas Figuras 4 e 5. O teor de água teve importância na atenuação das pressões transferidas, no entanto, o aumento da área de contato foi mais expressivo, para pressões constante, reduzindo a PSS de aproximadamente 100 kpa (Figuras 1, 2 e 3) para 50 kpa (Figuras 4, 5 e 6) na profundidade de 15 cm, quando a pressão aplicada no topo dos corpos de prova era de 250 kpa. Isso pode ser comprovado observando que os valores do coeficiente “b”, das equações de regressão obtidas nos ensaios com o disco de área maior (Tabela 2), são menores do que os das equações obtidas por meio dos ensaios com o disco de área menor (Tabela 1), o que confere uma maior inclinação das curvas, principalmente para as camadas menos espessas, o que significa atenuação das pressões transmitidas.



**Figura 4.** Curvas de regressão para pressão transmitida para subsuperfície (PSS) em função da profundidade, para solo com 0% da capacidade de campo e seis pressões aplicadas na superfície (PS).



**Figura 5.** Curvas de regressão para pressão transmitida para subsuperfície (PSS) em função da profundidade, para solo com 25% da capacidade de campo e seis pressões aplicadas na superfície (PS).



**Figura 6.** Curvas de regressão para pressão transmitida para subsuperfície (PSS) em função da profundidade, para solo com 50% da capacidade de campo e seis pressões aplicadas na superfície (PS).

**Tabela 2.** Coeficientes de regressão para PSS em função da profundidade, para três umidades e seis PS, para ensaios com disco menor (área de contato 65,04 cm<sup>2</sup>).

Umidade (%CC)	Pressão (kPa)	Coeficientes de Regressão		
		a	b	R <sup>2</sup>
0%	25	19,549	-0,066	0,6414
	50	44,038	-0,083	0,7543
	100	99,291	-0,099	0,8584
	150	151,27	-0,099	0,8315
	200	207,96	-0,1	0,8674
	250	266,81	-0,103	0,9093
25%	25	15,06	-0,062	0,6338
	50	42,042	-0,085	0,8937
	100	88,143	-0,09	0,8503
	150	145,55	-0,101	0,9244
	200	197,02	-0,104	0,9373
	250	247,49	-0,103	0,9206
50%	25	15,711	-0,069	0,7038
	50	37,418	-0,082	0,8059
	100	95,444	-0,102	0,9456
	150	153,74	-0,109	0,9314
	200	201,34	-0,111	0,9534
	250	265,39	-0,115	0,9376

Com o aumento da área de contato a pressão que chega aos horizontes subsuperficiais é menor, devido à melhor distribuição das forças. Segundo Fernandes et al. (2013), a diminuição do prejuízo de compactação é efetivamente obtida quando se reduz a pressão

aplicada por unidade de área e eleva-se a área de contato por meio da utilização de esteiras ou de pneus mais largos com menor pressão de inflação. Um exemplo são os pneus radiais de baixa pressão e alta flutuação destinados aos veículos de transporte de cana-de-açúcar e carretas agrícolas que tem como características maior capacidade de carga com baixas pressões de calibragem, possibilitando o transporte de cargas pesadas em baixas pressões do pneu sobre o solo.

## Conclusões

1. A umidade do solo apresentou efeito de amortecimento sobre a pressão transmitida de camadas superiores para subsuperfície.
2. A pressão transmitida para subsuperfície apresenta comportamento exponencial com correlação negativa em função da profundidade, independente da pressão aplicada na superfície.
3. O aumento da área de contato para aplicação de pressões na superfície do solo atenua a transmissão de pressão para camadas inferiores, quando é comparado à mesma pressão aplicada em áreas menores.

## Referências

- CINTRA, F. L. D. **Disponibilidade de água no solo para porta-enxertos de citros em ecossistema de Tabuleiro Costeiro**. 1997. 90 f. Tese (Doutorado)- ESALQ, Piracicaba, São Paulo, 1997.
- DIAS JUNIOR, M. S. Compactação do solo. **Tópicos em ciência do solo**, v. 1, p. 56-94, 2000.
- SANTOS, H. G. dos; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C. dos; OLIVEIRA, V. A. de; OLIVEIRA, J. B. de; COELHO, M. R.; LUMBRERAS, J. F.; CUNHA, T. J. F. (Ed.). **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306 p.
- HILLEL, D. **Fundamentals of soil physics**. New York: Academic Press, 1980. 413 p.
- JACOMINE, P. K. T. Evolução do conhecimento sobre solos coesos no Brasil. In: CINTRA, F. L. D.; ANJOS, J. L.; IVO, W. M. P. M. WORKSHOP COESÃO EM SOLOS DOS TABULEIROS COSTEIROS, 2001, Aracaju. **Anais...** Aracaju: EMBRAPA-CPATC, 2001. p. 19-46.
- JACOMINE, P. K. T.; CAVALCANTI, A. C.; PESSÔA, S. C. P.; SILVEIRA, C. O. da. **Levantamento exploratório - reconhecimento de solos do Estado de Alagoas**. Recife: EMPBRAPA-CPP, 1975. 532 p. (EMBRAPA-CPP. Boletim técnico, 35; SUDENE-DRN. Recursos de solos, 5). Acompanha 1 mapa color. Escala 1:400.000.
- REZENDE, J. de O.; MAGALHÃES, A. F. de J.; SHIBATA, R. T. **Citricultura nos solos coesos dos tabuleiros costeiros: análises e sugestões**, Salvador: SEAGRI/SPA, 2002a, 96 p. (SEAGRI/SPA, Série Estudos Agrícolas, 3).
- REZENDE, J. O. ; SHIBATA, R. T.; SOUZA, L. S. **Justificativa e recomendações técnicas para o "plantio direto" dos citros nos Tabuleiros Costeiros: ênfase na citricultura dos Estados da Bahia e Sergipe**. Cruz das Almas: Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, 2015. v. 1. 240 p.
- SILVA, A. P.; R. L.; MOLIN, J. P. ; AMARAL, J. R. Caracterização de um penetrômetro hidráulico montado em trator com instrumentação eletrônica para aquisição de dados. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 29., 2000, Fortaleza. **Anais...** Jaboticabal: SBEA, 2000. 1 CD-ROM.
- FEITOSA, J. R.; FERNANDES, H. C.; TEIXEIRA, M. M.; CECON, P. R. Influência da pressão interna dos pneus e velocidade de deslocamento nos parâmetros operacionais de um trator agrícola e nas propriedades físicas do solo. **Engenharia Agrícola**, v. 35, n. 1, 2016.
- FERNANDES, H. C.; LOPES, S. E.; LEITE, D. M.; MILAGRES, R. S.; SANTOS, L. N. Compactação do solo em função do tráfego de máquinas florestais. **Revista Agrotecnologia**, v. 4, n. 2, p. 85-98, 2013.