

**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO**  
**PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO**  
**COORDENADORIA GERAL DE PROGRAMAS ESPECIAIS**



**RELATÓRIO FINAL DAS ATIVIDADES DE BOLSISTA DO PROGRAMA  
INSTITUCIONAL DE BOLSAS DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA (PIBIC/CNPq)**

**BOLSISTA:** Camila Gomes Bezerra de Melo

**Recife, Julho 2018**

## **1. IDENTIFICAÇÃO**

Aluno: Camila Gomes Bezerra de Melo

Curso: Engenharia Agrícola e Ambiental

Orientador: Mário Monteiro Rolim

Departamento Engenharia Agrícola

## **2. TÍTULO**

**Estudo de compactação e cisalhamento de solos coesos em tabuleiro costeiro:  
experimentação e modelagem.**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)  
Sistema Integrado de Bibliotecas da UFRPE  
Biblioteca Central, Recife-PE, Brasil

M528e Melo, Camila Gomes Bezerra de.  
Estudo de compactação e cisalhamento de solos coesos em  
Tabuleiro Costeiro: experimentação e modelagem / Camila Gomes Bezerra  
de Melo. – Recife, 2018.  
12 f.: il.

Orientador(a): Mário Monteiro Rolim.  
Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade Federal  
Rural de Pernambuco, Departamento de Engenharia Agrícola e Ambiental,  
Recife, BR-PE, 2018.  
Inclui referências.

1. Textura 2. Resistência ao cisalhamento 3. Compactação 4. Solo  
I. Rolim, Mário Monteiro, orient.. II. Título

CDD 630

## SUMÁRIO

<b>RESUMO.....</b>	<b>5</b>
<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>6</b>
<b>2. OBJETIVOS.....</b>	<b>6</b>
<b>2.1 Geral.....</b>	<b>7</b>
<b>2.2 Específicos.....</b>	<b>7</b>
<b>3. MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>7</b>
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>8</b>
<b>5. CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>11</b>
<b>6. REFERÊNCIAS .....</b>	<b>11</b>

## **RESUMO**

Importante propriedade dinâmica do solo, a resistência do solo ao cisalhamento pode ser definida como a tensão máxima cisalhante que o solo pode suportar sem sofrer ruptura. O ensaio de resistência ao cisalhamento do solo é capaz de identificar o nível de compactação do mesmo pois solos mais compactados apresentam maior resistência ao cisalhamento, e vice-versa. Em áreas de cultivo agrícola a compactação pode ser causada pelo tráfego de veículos. Portanto, o objetivo deste trabalho é avaliar o cisalhamento e modelar as tensões e deformações em Argissolo coeso de tabuleiros costeiros. Este estudo foi realizado na Estação Experimental de Cana-de-açúcar de Carpina (EECAC) em duas áreas: uma em pousio e outra cultivada há 4 anos com cana-de-açúcar. Quatro amostras de solo foram coletada nas duas áreas, nas camadas 0,00-0,20 m e 0,20-0,40 m. Para a caracterização do solo foi analisada a granulometria do solo, a densidade e a umidade, a resistência ao cisalhamento do solo, coesão e o ângulo de atrito. A análise granulométrica dos solos das duas áreas, mostrou que estes tratam-se de solos de textura franco arenosa, enquanto a densidade aumentou com a profundidade. Como consequência do seu alto teor de areia, este solo apresentou alta resistência a tensão cisalhante. A resistência ao cisalhamento na camada 0,00-0,20 m foi semelhante nas duas áreas estudadas. Não houve diferença estatística para a coesão ou ângulo de atrito do solo. A resistência ao cisalhamento foi proporcional a tensão normal aplicada.

**PALAVRAS-CHAVE:** granulometria, textura, resistência ao cisalhamento, compactação, solo.

## **1. INTRODUÇÃO**

Importante propriedade dinâmica do solo, a resistência do solo ao cisalhamento pode ser definida como a tensão máxima cisalhante que o solo pode suportar sem sofrer ruptura, esta ruptura é caracterizada por deslocamentos relativos entre partículas. Este parâmetro é capaz de identificar casos de compactação do solo (Ayers & Perumpral, 1982), fator causado pelo tráfego de máquinas e pela pulverização mecanizada do solo, fatores externos que provocam a destruição dos torrões do solo, a frequente passagem dessas máquinas acaba criando uma camada compacta de solo entre 20 e 30 cm de profundidade, dificultando assim a drenagem de água e a aeração ao longo do perfil do solo (Silva; Silva, 2012).

A resistência ao cisalhamento do solo pode ser expressa pela equação de Coulomb ( $\sigma = c + \sigma_n \operatorname{tg}\phi$ ). Esta equação define a linha de ruptura da resistência do solo, sendo que, qualquer esforço aplicado acima do limite desta linha, levará à sua ruptura.

O ensaio de resistência ao cisalhamento do solo é capaz de identificar o nível de compactação do mesmo, pois relacionam as forças normais e tangenciais aplicadas sobre o solo. De acordo com Azevedo (1999), solos mais compactados apresentam maior resistência ao cisalhamento, em decorrência da menor distância entre suas partículas, resultando assim num menor índice de vazios e uma maior dificuldade de manejo para preparar o solo para o cultivo. A compactação pode ser entendida como a redução do espaço poroso do solo devido à aplicação de forças externas, como por exemplo, o pisoteio animal e o tráfego de máquinas (Rocha, 2003).

Devido ao seu uso, nesta área é recorrente o tráfego de maquinários e também operações de adubação e aplicação de herbicidas e inseticidas, por estes fatores, a compactação pode ser um problema para esta região, e por isso é necessário quantificar a resistência ao cisalhamento que possui o solo deste local.

## **2. OBJETIVOS**

## 2.1 Geral

Avaliar a resistência ao cisalhamento do solo e modelar as tensões e deformações em Argissolo coeso de tabuleiros costeiros da Zona da Mata do Estado de Pernambuco.

## 2.2 Específicos

- Caracterizar Argissolo coeso sob cultivo de cana-de-açúcar
- Quantificar a resistência ao cisalhamento do Argissolo coeso

## 3. MATERIAL E MÉTODOS

Este estudo foi realizado na Estação Experimental de Cana-De-Açúcar do Carpina (EECAC), localizada no município Carpina, Mata Setentrional de Pernambuco, ambas distando cerca de 60 km de Recife, no período de novembro a dezembro de 2017. O solo da região é classificado como Argissolo Amarelo distrocoeso (Tabela 1).

Tabela 1. Caracterização do Argissolo Amarelo distrocoeso estudado

	Areia (%)	Silte (%)	Argila (%)
0,00-0,20 m			
T0	79,75	9,67	9,99
T5	76,69	10,39	12,93
0,20-0,40 m			
T0	71,31	11,06	17,04
T5	71,63	9,58	18,8

Foi estabelecida uma área de 10x15 m em dois talhões de 0,5 ha. Um talhão não possuía plantio de cana-de-açúcar e estava há quase dois anos de repouso (T0), já a segunda estava há 4 anos sob colheita e corte de cana-de-açúcar da variedade RB92759 (T5) no momento da coleta das amostras. As amostras de solo, para todas as análises, foram coletadas em 4 pontos em cada área, e nas profundidades de 0,00-0,20 m e 0,20-0,40 m.

Na caracterização do solo foram analisadas a granulometria, densidade do solo e de umidade de acordo com a metodologia da Embrapa (2011). A densidade e a umidade do solo foram obtida com amostras indeformadas por meio do amostrador de Uhland, e granulometria foi obtida pelo método do densímetro de Boyoucos, respectivamente.

Para a resistência ao cisalhamento, realizou-se a coleta das amostras indeformadas de solo em forma de blocos de 20x20cm. Após o corte no formato de

bloco, aplicaram-se camadas de parafina com uma trincha, e adicionada uma tela de proteção e então outra camada de parafina, a amostra foi devidamente acondicionada em caixas de madeira. O ensaio de resistência ao cisalhamento foi feito pelo equipamento de cisalhamento direto segundo a metodologia D6528 (ASTM, 2007), com o auxílio de uma prensa de cisalhamento direto convencional, com as tensões normais de 10, 25, 42 e 50 KPa para a camada 0,00-0,20 m e 55, 65, 70 e 75 KPa para a camada 0,20-0,40 m. Os dados resultantes deste ensaio geraram as retas de resistência ao cisalhamento.

Os valores de coesão ( $c$ ) e ângulo de atrito ( $\phi$ ) foram obtidos pelo ajustamento da equação de Coulomb:  $\sigma = c + \sigma_n \operatorname{tg}\phi$ , onde  $\sigma$  é a máxima tensão de cisalhamento suportada pelo solo;  $\sigma_n$  é a tensão normal na linha de falha do solo;  $c$  é a coesão aparente e  $\phi$ , é o ângulo de atrito interno.

As análises dos materiais coletados foram realizadas no Laboratório de Mecânica de Solos e Aproveitamento de Resíduos.

Para o relatório parcial foram apresentados os resultados da área T0, por meio de gráficos e médias, neste relatório serão apresentados também os dados da área T5 e será feita uma comparação entre elas através de teste de média de Tukey, utilizando o software Infostat.

#### **4. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

A análise granulométrica do solo apresentada na Tabela 1, mostrou que este solo nas duas áreas trata-se de um solo de textura franco arenosa, com maior porcentagem de areia e silte em sua composição, no entanto há aumento do teor de argila com a profundidade, o que não acontece com os teores de areia, este fator pode estar presente devido à translocação de argila da camada para o horizonte B, onde a argila fica depositada (Oliveira et al., 2010). A granulometria da pesquisa também está de acordo com Costa et al. (2014) e Simões Neto et al. (2015), com mais de 70% de areia para o Argissolo.

A densidade do solo aumentou com a profundidade (Tabela 2), este resultado pode estar relacionado a maior compactação ocasionada pelo peso das camadas subjacentes. Resultados semelhantes foram observados por Costa et al. (2014) que identificou uma densidade do solo de 1,36 g/cm<sup>3</sup> e Simões Neto et al. (2015) que

identificou 1,41 g/cm<sup>3</sup> para Argissolos Amarelos. Para Reinert et al. (2008) a ausência de valores de densidade elevados na camada inicial se deve à maior densidade de raízes e ao maior teor de matéria orgânica, entretanto essas condições não tiveram efeito no presente estudo já que as áreas não estão cultivadas e não apresentam maiores teores de carbono orgânico na camada mais superficial.

Tabela 2. Resultados das análises de umidade e densidade do solo

	Ds (g/cm <sup>3</sup> )		CO (dag/Kg)	
	0,00-0,20 m			
T0	1,46		0,85	
T5	1,6		1,73	
0,20-0,40 m				
T0	1,58		1,74	
T5	1,56		2,26	

A Figura 1 apresenta as retas de resistência ao cisalhamento do Argissolo estudado. Na camada 0,00-0,20 os tratamentos T0 e T5 apresentaram praticamente os mesmos resultados de tensão cisalhante para as respectivas tensões normais aplicadas, e apresentaram R<sup>2</sup> acima de 0,89, indicando bom ajuste da reta (Tabela 3).

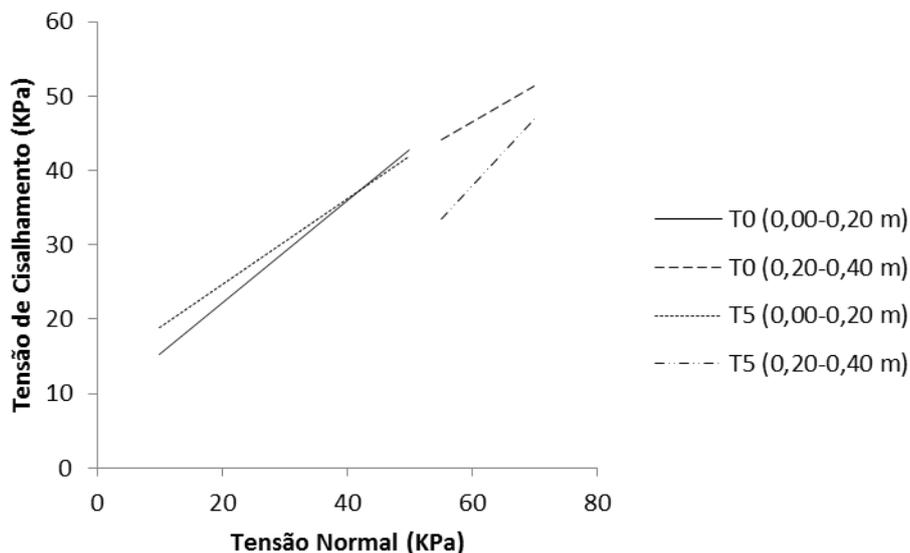


Figura 1. Retas de Resistência ao Cisalhamento de um Argissolo

As retas mais curtas da camada 0,20-0,40m foram devidas a proximidade das tensões normais aplicadas (50, 55, 60, 65). Na camada 0,20-0,40m, os tratamentos T0 e T5 não apresentaram resultados semelhantes de tensão cisalhante para as respectivas

tensões normais aplicadas (Figura 1). Contudo, o  $R^2$  observado em T0 foi muito baixo indicando um mal ajuste da reta, o que pode prejudicar a veracidade dos resultados do tratamento T0 nesta camada (Tabela 3).

Na camada 0,20-0,40m, o T0 encontra-se alinhado com o T0 da camada 0,00-0,20m. O T5 (0,20-0,40m) sugere que o solo desta camada teria menos resistência ao cisalhamento que o da camada 0,00-0,20m.

De acordo com a equação da tensão de cisalhamento ( $\sigma = \sigma_n \tan \phi + c$ ) o tratamento T5 na camada 0,20-0,40m apresentou coesão negativa (Tabela 3). A condição saturada do ensaio pode ter influenciado e produzido a coesão negativa, pois quanto maior a umidade menor a coesão do solo. Braida et al. (2007) e Lourenço (2017) também identificaram valores de coesão negativa em suas pesquisas, no entanto, como não existe coesão negativa, considera-se que a coesão é nula ( $c=0$ ).

Tabela 3. Equações da reta e valores de  $R^2$  de cada área analisada.

Área	Equação da reta	$R^2$
0,00-0,20m		
T0	$y = 0,6886x + 8,3714$	$R^2 = 0,90$
T5	$y = 0,5764x + 13,079$	$R^2 = 0,99$
0,20-0,40m		
T0	$y = 0,49x + 17,125$	$R^2 = 0,37$
T5	$y = 0,89x - 15,50$	$R^2 = 0,89$

De acordo com o teste de Tukey (Tabela 4) constatou-se que não houve diferença estatística significativa nas comparações entre médias dos valores de coesão e ângulo de atrito dos tratamentos T0 e T5. Isto pode ter ocorrido devido a condição que as amostras foram submetidas ao ensaio de cisalhamento, todas sob condição de saturação, reduzindo o  $c$ . Na camada 0,20-0,40m não foi testado Tukey em virtude do valor negativo da coesão em T5.

Tabela 4. Média dos valores de coesão ( $c$ ) e ângulo de atrito ( $\phi$ ) do Argissolo Amarelo estudado

	C (kPa)	$\phi$ (°)
0,00-0,20 m		
T0	8.65A	33.5A
T5	13.08A	29.89A
0,20-0,40 m		
T0	8.65	33.5A
T5	0	41.25A

Letras maiúsculas iguais na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5%

O ângulo de atrito em ambos os tratamentos foi elevado. Segundo Lebert & Horn (1991), solos de textura arenosa elevam a resistência ao cisalhamento por causa do atrito entre as partículas, enquanto em solos argilosos a coesão do solo é que promove maior resistência ao cisalhamento.

De uma forma geral, todas as tensões cisalhantes foram diretamente proporcionais às tensões normais aplicadas. Na camada 0,00-0,20m, as retas indicam não haver diferença entre o tratamento T0 e o T5 estudados confirmados pela homogeneidade do ângulo de atrito e coesão obtidos, isto é, do ponto de vista da resistência ao cisalhamento, a área de estudo com dois anos de repouso (T0) é muito semelhante a área de estudo com 4 anos de colheita (T5), não sendo possível realizar a modelagem ou avaliar a evolução dos parâmetros estudados ao longo do tempo de cultivo.

## **5. CONSIDERAÇÕES FINAIS**

O relatório apresenta resultados finais do estudo do cisalhamento em Argissolo coeso.

- Em ambos os tratamentos, a densidade do solo aumentou com a profundidade.
- Os solos possuem textura franco arenosa
- A resistência ao cisalhamento foi proporcional a tensão normal aplicada.
- A resistência ao cisalhamento de T0 e T5 foram semelhantes na camada 0,00-0,20 m.
- Não houve diferença estatística para coesão ou ângulo de atrito entre T0 e T5.
- T5 apresentou coesão negativa na camada 0,20-0,40 m.
- No tratamento T5, a resistência ao cisalhamento é maior na camada 0,00-0,20 m.

## **6. REFERÊNCIAS**

ASTM – AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **D 6528: Standard Test Method for Consolidated Undrained Direct Simple Shear Testing of Cohesive Soils.** West Conshohocken, 2007. 9p.

AYERS, P. D.; PERUMPRAL, J.V. **Moisture and density effect on cone index.** Trans. American Society of Agricultural Engineers, v.21, p.1169-1172, 1982.

AZEVEDO, M. A. A. **Contribuição ao estudo geotécnico de solos de Viçosa – MG,** Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1999. 169p. Dissertação de Mestrado.

BRAIDA, J. A.; REICHERT, J. M.; SOARES, J. M. D; REINERT, D. J. **Resistência inter e intra-agregados em ensaios de cisalhamento direto de um Nitossolo vermelho distrófico.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.31, p.379-386, 2007.

COSTA, D. B.; ANDRADE, P. K. B.; SILVA, S. A. M.; SIMÕES NETO, D. E.; FREIRE, F. J.; OLIVEIRA, E. C. A. **Adubação fosfatada em cana planta e soca em Argissolos do Nordeste de diferentes texturas.** Revista Caatinga, v.27, p.47-56, 2014.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Manual de métodos de análises de solo.** 2.ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2011. 230p.

LEBERT, M.; HORN, T. **A method to predict the mechanical strength of agricultural soils.** Soil and Tillage Research, v.9, p.275-286, 1991.

OLIVEIRA, V. S.; ROLIM, M. M.; VASCONCELOS, R. F.; COSTA, Y. D.; PEDROSA, E. M. **Compactação de um Argissolo Amarelo distrocoeso submetido a diferentes manejos.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.14, p.914-920, 2010.

REINERT, D. J.; ALBUQUERQUE, J. A.; REICHERT, J. M.; AITA, C.; ANDRADA, M. M. C. **Bulk density critical limits for normal root growth of cover crops.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.32, p.1805-1816, 2008.

SILVA, J. P. N.; SILVA, M. R. N. **Noções da Cultura da Cana-de-Açúcar.** Inhumas: IFG; Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, p. 1-106, 2012

SIMÕES NETO, D. E.; OLIVEIRA, A. C.; FREIRE, F. J.; FREIRE, M. B. G. S.; OLIVEIRA, E. C. A.; ROCHA, A. T. **Adubação fosfatada para cana planta em solos representativos para o cultivo da espécie no Nordeste brasileiro.** Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.50, p.73-81, 2015.