



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E NATURAIS
BACHARELADO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA**

RUBEM SMITH ALMEIDA LIMA

**AVALIAÇÃO DA COMPACTAÇÃO DO SOLO EM SISTEMA DE CULTIVO
LAVOURA-PECUÁRIA COM A CULTURA DO MILHO**

**MOSSORÓ-RN
2018**

RUBEM SMITH ALMEIDA LIMA

**AVALIAÇÃO DA COMPACTAÇÃO DO SOLO EM SISTEMA DE CULTIVO
LAVOURA-PECUÁRIA COM A CULTURA DO MILHO**

Monografia apresentada à Universidade
Federal Rural do Semi-Árido – UFERSA
campus Mossoró para obtenção do título
Bacharel em Ciência e Tecnologia

Orientador: Prof. Dr. Joaquim Odilon Pereira –
Ufersa

**MOSSORÓ/RN
2018**

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

A895a Almeida Lima, Rubem Smith.
Avaliação da Compactação do Solo em Sistema de
Cultivo Lavoura-Pecuária com a Cultura do Milho /
Rubem Smith Almeida Lima. - 2018.
40 f. : il.

Orientador: Joaquim Odilon Pereira.
Coorientador: Roberto Vieira Pordeus.
Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de Ciência e
Tecnologia, 2018.

1. Pré-compressão do solo. 2. Densidade do
solo. 3. Manejo do solo. I. Odilon Pereira,
Joaquim, orient. II. Vieira Pordeus, Roberto, co-
orient. III. Título.

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

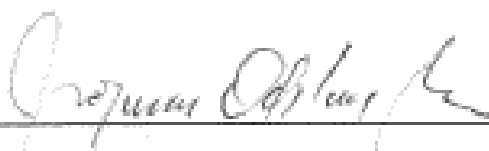
RUBEM SMITH ALMEIDA LIMA

**AValiação da compactação do solo em sistema de cultivo
lavoura-pecuária com a cultura do milho**

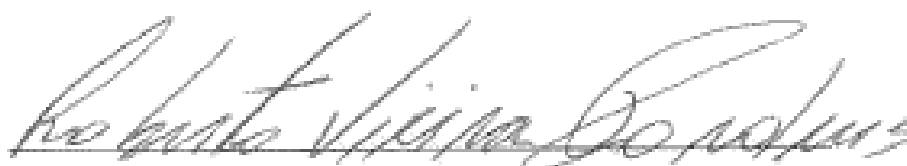
Monografia apresentada à Universidade
Federal Rural do Semi-Árido – UFERSA
campus Mossoró para obtenção do título
Bacharel em Ciência e Tecnologia.

APROVADA EM: 17 / 04 / 2018

BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Sc. Joaquim Odilon Pereira - UFERSA
Presidente



Prof. Dr. Sc. Roberto Vieira Pordeus - UFERSA
Primeiro Membro



M. Sc. Jonatan Levi Ferreira de Medeiros - UFERSA
Segundo Membro

Ao meu avô **Raimundo Rodrigues de Almeida** (In Memoriam), por todo amor, ensinamento e encorajamento.

À **Deus**, que tem sido meu porto seguro em todas as horas e me capacitou.

À minha mãe **Iris Silva de Almeida**, por todo cuidado e amor, e a meus irmãos **Valéria Ingrith Almeida Lima** e **Hudson Magno Almeida Lima**, por sempre estarem me apoiando, mostrando o valor da família.

AGRADECIMENTOS

Ao meu Deus, o perfeito criador. Tudo o que sou e tenho vem de ti.

Aos meus pais Iris Silva de Almeida e Valdeci Ferreira de Lima, pelo amor e carinho e principalmente pelos ensinamentos que me guiaram até aqui.

Aos meus avós Raimundo Rodrigues de Almeida (em memória) e Maria Dominga da Silva, que tem sido meu amparo e fonte de inspiração a cada decisão tomada.

À minha irmã, PhD Valéria Ingrith Almeida Lima, a quem nos dá o orgulho maior. Que mesmo distante, nunca deixou de declarar seu amor se fazendo sempre presente com seus infinitos concelhos e sermões que me traziam à luz da compreensão.

À meu irmão Hudson Magno Almeida Lima, pelo apoio concedido, pelo amor compartilhado e por sempre ter me incentivado a seguir em frente com palavras de motivação.

À minha noiva Monalisa Érica Duarte Dantas, pelos momentos de alegria, por estar sempre ao meu lado sendo uma companheira de todas as horas e de infinitas ajudas, a ti devo a minha admiração e respeito.

Ao Projeto Cactus Baja SAE juntamente com todos os amigos que ali obtive e de onde pude extrair grande conhecimento prático da mecânica e que também culminou na nossa vitória do Campeonato Regional Baja SAE 2016.

Aos amigos do curso de Ciência e Tecnologia, pelos momentos que compartilhamos durante esse longo caminho, mas que concluímos com a graça de Deus.

Ao professor Roberto Vieira Pordeus. Obrigado por ser um orientador e um amigo, pelos concelhos e ensinamentos de grande valor, certamente grande parte do que aprendi na vida acadêmica devo a ti.

Ao professor e amigo Joaquim Odilon Pereira, obrigado pelas orientações tanto em projetos de pesquisas como no TCC em um momento tão importante. A conclusão desse trabalho só foi possível graças a sua imensa ajuda e paciência.

Ao Doutorando Jonatan Levi Ferreira de Medeiros, pela disponibilidade e aceitação em participar da banca avaliadora.

A todos os professores, muito obrigado pelo conhecimento compartilhado.

Ao CNPq e a Universidade Federal Rural do Semi-Árido, pela concessão de bolsas de iniciação científica.

A todos que de alguma forma contribuíram com essa conquista, o meu muito obrigado!

FAITH! It make things possible, not easy.

“Be strong and courageous! Do not be afraid or discouraged. For the LORD your God is with you wherever you go.”

Joshua 1.9

RESUMO

A intensificação do uso do solo em áreas agrícolas tem se tornado um fator preocupante, onde a presença de animais e máquinas de forma demasiada tem provocado o aumento na densidade do solo. A integração lavoura-pecuária (ILP) é um sistema de uso dessas áreas agrícolas com o objetivo de alternância de culturas e animais na mesma área, aumentando a sustentabilidade dos sistemas de produção e melhorando a rentabilidade por meio da introdução do cultivo de pastagens anuais. Diante disso, o objetivo dessa pesquisa foi avaliar o efeito da compactação do solo, em função das características físico-mecânicas em áreas cultivadas com milho submetidas ao sistema de integração lavoura-pecuária. O experimento foi conduzido no município de Riacho dos Cavalos-PB. A área equivalente a um hectare, utilizada para manejo tradicional por dez anos seguidos e atualmente cultivada com milho, realizou-se a coleta de solo nas camadas de 0 a 5, 5 a 10 e 10 a 20 cm de profundidade, tendo como parâmetros: teor de água, densidade do solo e densidade de agregados do solo. De modo geral, para o solo estudado, a pré-compactação do solo aumenta com a redução do teor de água e com o aumento da densidade do solo e além disso o índice de compressão aumenta com o crescimento do teor de água e com a redução da densidade do solo.

Palavras-chave: Pré-compressão do solo. Densidade do solo. Manejo de solo.

ABSTRACT

The intensification use of the soil in agricultural areas has become a worrying factor, where the presence of animals and machines in an intense form has caused the increase in the soil density. The crop-livestock integration (ILP) is a system that use of these agricultural areas with the aim of alternating crops and animals in the same area, increasing the sustainability of production systems and improving profitability through the introduction of annual pasture cultivation. Therefore, the objective of this research was to evaluate the soil compaction effect, as a function of the physical-mechanical characteristics in areas cultivated with corn submitted to (ILP). The experiment was established in the city of Riacho dos Cavalos - PB. The area of one hectare, used for pasture during ten years in a row and currently cultivated with corn, was collected from the layers of 0 to 5, 5 to 10 and 10 to 20 cm of depth, having as parameters: water content, soil density and soil aggregate density. In general, for the studied soil, the pre-compaction of the soil increases with the reduction of the water content and, in addition, the increase of the soil density that the compression index increases with the increase of the water content and with the reduction of the soil density.

Keywords: Soil precompression. Soil density. Soil management.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Localização geográfica da área experimental	20
Figura 2 - Coleta da amostra de solo pelo método do anel volumétrico	23
Figura 3 - Compressão do solo com Oedômetro.....	25
Figura 4 - Pré-compressão do solo em função do teor de água e da densidade inicial do solo.....	27
Figura 5 - Índice de compressão do solo em função do teor de água e da densidade inicial do solo.....	28
Figura 6 - Relação densidade de agregado densidade do solo D_a/D_s em função do índice de compressão do solo e da densidade do solo.....	30

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Composição granulométrica média para as camadas do Neossolo Flúvico cultivado com milho obtidos no Laboratório de Física e Manejo do Solo da UFERSA.....	22
---	----

SIGLAS E ABREVIATURAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

Da – Densidade de Agregado

Ds – Densidade do Solo

ILP – Integração Lavoura-Pecuária

UFERSA – Universidade Federal Rural do Semi-Árido

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	12
1.1. Objetivo.....	13
1.1.1. Objetivo Geral	13
1.1.2. Objetivos Específicos	13
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	14
2.1. Integração Lavoura–Pecuária (ILP).....	14
2.2. Atributos Físicos do Solo	15
2.2.1. Agregados do Solo.....	15
2.2.2. Densidade do Solo	17
2.2.3. Compactação do Solo	17
2.2.4. Pressão de Pré-Compressão do Solo	18
3. MATERIAIS E MÉTODOS.....	19
3.1. Localização da Área Experimental	19
3.2. Clima e Solo	19
3.3. Vegetação	20
3.4. Delineamento Experimental.....	20
3.5. Caracterização da Área Experimental.....	20
3.6. Parâmetros Ponderados	21
3.6.1. Análise Granulométrica.....	21
3.6.2. Densidade de Partículas.....	21
3.6.3. Densidade do Solo (Ds).....	22
3.6.4. Densidade de Agregados (Da).....	22
3.6.5. Porosidade Total	23
3.6.6. Índice de Compressão do Solo	23
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	26
4.1. Pressão de Pré-compactação do solo	26
4.2. Índice de compressão do solo	28
4.3. Relação densidade de agregado com a densidade do solo em função do índice de compressão e com a densidade inicial.....	30
5. CONCLUSÕES.....	32
6. REFERÊNCIAS.....	33

1. INTRODUÇÃO

Em áreas utilizadas para exploração pecuária, o pisoteio do gado pode alterar as condições físicas do solo e afetar o desenvolvimento das culturas, diminuindo a produtividade. Por essa razão, necessita-se de informações mais precisas acerca das condições físicas do solo nessas áreas utilizadas para que, posteriormente à uma análise faça-se um manejo adequado a fim de maximizar a produtividade da cultura e da forragem para a alimentação dos animais.

Segundo Albuquerque et al. (2001), a compactação do solo causada pelo intenso tráfego de máquinas e implementos agrícolas e pelo pisoteio de animais tem sido apontada como uma das principais causas da degradação de áreas cultivadas neste sistema.

De acordo com Balbinot Junior et al. (2009) assim como em qualquer sistema de produção vegetal, é fundamental na rotação de culturas para a sustentabilidade do sistema ILP, na qual melhora a qualidade e a preservação do solo, reduz a incidência de pragas, doenças e plantas daninhas e aumenta a diversificação temporal da exploração econômica na propriedade rural.

De maneira geral, o uso de resíduos deixados pelas culturas, bem como, a substituição do sistema de preparo do solo convencional (aração e gradagem) são técnicas que podem melhorar a estrutura do solo. Neste sentido é fundamental conhecer o efeito do sistema Integração Lavoura Pecuária (ILP) nas propriedades físicas do solo ao longo do seu perfil.

A principal preocupação dos agricultores que usam o sistema ILP é a possibilidade de haver compactação superficial do solo manejado em plantio direto, devido ao pisoteio intenso causado pelos animais criados nesse sistema. A compactação altera a estrutura do solo, aumenta a resistência mecânica ao crescimento de raízes e reduz a porosidade total, a macroporosidade, a disponibilidade de água e nutrientes e a difusão de gases (BALBINOT Jr et al., 2009).

De modo geral, os impactos negativos do pisoteio animal no solo limitam-se as suas camadas superficiais e podem ser temporários e reversíveis (MORAES & LUTOSA, 1997; CASSOL, 2003; LANZANOVA et al., 2007).

1.1. Objetivo

1.1.1. Objetivo Geral

Este trabalho tem como objetivo avaliar a compactação do solo no sistema de cultivo lavoura-pecuária e determinar a propagação da pressão de pré-compressão em função do perfil estrutural do solo de 0 – 20cm, na camada agricultável.

1.1.2. Objetivos Específicos

- Gerar curvas de compactação para diversas camadas de profundidade do solo.
- Nesta avaliação utilizar parâmetros como teor de água, densidade do solo, índice de compressão, pré-compressão e relação densidade de agregado sobre densidade de partícula (D_a/D_s).

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Integração Lavoura–Pecuária (ILP)

A integração lavoura-pecuária – ILP, de acordo com Faleiro e Farias Neto (2008), fundamenta-se na implantação de diversos processos produtivos de agroenergia, carne, fibras, grãos, leite, dentre outros, no mesmo âmbito. Seja em plantio rotacionado, sequencial ou consorciado. Com relação ao uso da terra, seu sistema é alternado entre a lavoura e a pecuária, no tempo e no espaço. E no potencial sinergismo, constitui-se dos vários benefícios da ILP, correspondente aos elementos entre a lavoura e a pastagem.

Segundo Albuquerque et al. (2001), a ILP é capaz de compactar a camada superficial do solo, delimitar o crescimento de raízes e a capacidade de produzir com bom rendimento das culturas nos solos argilosos. Este estudo, de acordo com os autores acima citados, foi realizado com a principal finalidade de calcular e verificar as alterações nas propriedades físicas do solo e da cultura do milho, em regiões sujeitas ao processo de preparo tradicional e plantio direto, com pisoteio animal no decorrer do período chuvoso.

Existem diversos processos produtivos de integração lavoura-pecuária, os quais são modulados conforme o perfil e os propósitos da fazenda. Essas diferenças nos processos produtivos se devem aos atributos e particularidades regionais, como por exemplo: as condições do solo e do clima, o conhecimento do agricultor, a qualidade de automação disponível e a infraestrutura (FALEIRO & FARIAS NETO, 2008).

Alvarenga e Noce (2005), afirmam que a ILP possui como principais propósitos: diminuir os gastos tanto do trabalho agrícola como da atividade pecuária, por meio da lavoura de pastagem e aprimorar as condições biológicas e físicas do solo; reestruturar ou recuperar as pastagens deterioradas contribui para maior dieta dos animais e redução de aquisição de ração externa, tendo em vista a maior produção de ração nestas áreas; e, no período de seca, produzir grãos e forragem com qualidade para alimentação do gado.

Segundo Faleiro e Farias Neto (2008), as fazendas que aderem, como inteligência de produtividade agrícola, a rotação lavoura/pasto, podem se favorecer da melhor subsistência de produção de pastagem para alimentar o rebanho no decorrer do ano todo, assim como também, pode obter melhorias nas propriedades de solo e diminuição de ocorrências de pragas e doenças.

O sistema de integração lavoura-pecuária adéqua-se, a princípio, a propriedade agrícola de todo tamanho, na ocasião em que as condições edafoclimáticas não sejam limitantes. Faleiro e Farias Neto (2008), relembram do plantio de milho com capim, por volta dos anos de 1950 e 1960, que foi uma atividade considerada comum na implantação manual de pastagem nas conhecidas “roças de toco”, viável a ser aplicada na pequena propriedade. Todavia, em propriedades regadas para o uso demasiado de máquinas agrícolas e insumos, como os fertilizantes, herbicidas e pesticidas, podem ser decisório na viabilidade econômica do processo. Dessa forma, é preciso melhor planejamento, equipe capacitada e gestão inteligente.

A alteração dos processos especializadas de produção de carne, fibras, grãos e leite por processos de integração lavoura-pecuária, provoca impactos no solo, no desempenho econômico e no ambiente, entretanto, essas consequências podem ser positivas ou negativas e necessitam ser melhores compreendidas (FALEIRO & FARIAS NETO, 2008). As consequências negativas, mencionado por alguns produtores e apontado em algumas literaturas, às vezes sem validação empírica, é provocado pelo pisoteio animal. Esse tipo de compactação, provocada pela retirada da vegetação pela desfolha, pode reduzir o índice de infiltração, ampliar a erosão e restringir o desenvolvimento das plantas (GREENWOOD & MCKENZIE, 2001). É necessário enfatizar que essa compactação depende, basicamente, do tipo de solo, do teor de umidade, da massa da pastagem e do índice de lotação animal (MORAES et al., 2007).

2.2. Atributos Físicos do Solo

2.2.1. Agregados do Solo

O sistema de agregação abrange um grupo de componentes como a argila, o alumínio, o ferro e a matéria orgânica, no qual operam como fatores fundamentais para a união das partículas do solo, ampliando, assim, segundo Corrêa et al. (2009), a sua agregação. A porosidade do solo é restabelecida através dos agregados estáveis em água sendo, dessa forma, instigado no processamento de infiltração e a relutância à erosão. Todavia, ao menor impacto causado pelas gotas de chuva, os agregados não estáveis possuem probabilidade de desaparecer. À vista disso, a estabilidade dos agregados pode ser conceituada, segundo Silva et al. (2006), como uma capacidade resistente a um desempenho mecânico suscetível de danificar a estrutura do solo e, também, a propensão do solo de resistir as ações compactantes.

Ao fazer utilização de procedimentos de cultivo que amplifiquem o teor de matéria orgânica do solo, existirá colaboração para a expansão da estabilidade de agregados e, por conseguinte, para o melhoramento da propriedade física do solo (VASCONCELOS et al., 2010). Os parâmetros de agregação que podem ser capazes de dar estrutura aos procedimentos agrícolas adotados, segundo Vicente et al. (2012), mensuram e qualificam a estabilização de agregados.

A estabilidade em água dos agregados, de acordo com Bastos et al. (2005), foi melhorado por meio da aplicação de compostos orgânicos. Ao efetivar uma análise a respeito da estabilidade dos agregados em cinco processos de uso e ocupação, Demarchi et al. (2011), encontraram resultados melhores para âmbitos com pastagens e matas nativas. Diversos processos de manejo proporcionaram modificações na divisão de agregados à medida que a estabilização na camada superficial procedeu do desempenho dos ciclos consecutivos de secagem e umedecimento do solo, como também, do teor de matéria orgânica.

As mudanças que acontecem nas estruturas dos solos agrícolas em virtude da utilização e do manuseamento impróprio, conforme Rozane et al. (2010), são fundamentais para a escolha de processos que privilegiem a preservação das particularidades dos solos e ampliem o potencial produtor dessas áreas. Dessa forma, na ocasião que os cultivos intensivos estão expostos aos processos de manejo inadequados e a utilização de implementos agrícolas pesados, o solo é capaz de perder ou ter seu arranjo inicial alterado, colaborando, assim, para a criação de camadas compactadas que ocasionam diminuição no tamanho dos poros e expandem a densidade do solo, acarretando alterações na durabilidade dos agregados do solo (MARIA et al., 2007).

As forças físicas que estão envolvidas no processamento da umidificação e secagem, congelamento e descongelamento, procedimento de compressão pelas raízes e pelas relações organo-mineral, provocam a formação dos agregados (HANKE et al., 2013).

Os solos com agregados estáveis de tamanho superior são classificados como solos fundamentalmente melhores, mais rígidos e fortes ao procedimento erosivo, em razão que a agregação auxilia e simplifica o arejamento do solo, a infiltração de água e as trocas gasosas, em conformidade com a expansão da macroporosidade entre os agregados, assim como também de assegurarem a retenção e a microporosidade da água dentro dos agregados. A capacidade do solo de adquirir carga sem sofrer deformidades plásticas inconversíveis, isto é, expandir a

pressão de pré-consolidação do solo, são ampliados pelos agregados estáveis (CALONEGO & ROSOLEM, 2008).

2.2.2. Densidade do Solo

Resultado da divisão entre a massa e o volume do solo, isto é, a sua densidade, é uma essencial propriedade física, pois oferece informações sobre a preservação, sendo amplamente aplicada na análise da compactação e adensamento do solo (CARVALHO et al., 2007).

A degradação da qualidade do solo, de acordo com Assis e Lanças (2005), tem sido um item fundamental no estudo da ciências do solo, visto que a extração da cobertura vegetal e a aplicação excessiva da mecanização em todos os procedimentos de cultivo do solo, como os tratamentos culturais, a semeadura e a colheita, podem ocasionar na redução da sua eficiência produtiva. Desse modo, o acompanhamento do controle da qualidade do solo é essencial e pode ser efetuado por meio da observação das suas propriedades físicas, as quais tem grande relevância para a sustentabilidade dos sistemas agrícolas. Logo, a densidade do solo tem sido empregada como medida da qualificação do solo em consequência da sua familiaridade com outras características, como condutividade hidráulica, umidade e porosidade do solo (COSTA et al., 2007; DAM et al., 2005; MARTINS et al., 2009; THIMÓTEO et al., 2001).

A densidade do solo pode ser utilizada, de acordo com Reichardt e Timm (2008), como um indicador do nível de compactação de um solo. Devido ao solo ser poroso, a massa pode atingir um volume menor provocado pela compressão, causando danos as propriedades de retenção de água, a estrutura e ao arranjo e volume dos poros.

2.2.3. Compactação do Solo

A compactação pode ser definida como sendo a alteração na estrutura física do solo de modo a reduzir os espaços internos que normalmente são ocupados por água e ar. Em decorrência disso, a disponibilidade desses elementos no solo torna-se reduzida, dificultando, assim, o bom desenvolvimento das culturas (ASSIS et al., 2009).

Os principais fatores que influenciam no processo de compactação do solo são tipo de material, a natureza do esforço de compactação, a energia de compactação aplicada, o teor de água e a espessura da camada a ser compactada. Em geral, o emprego da técnica de

melhoramento é responsável por redução na compressibilidade do solo, pelo aumento da resistência ao cisalhamento e pela redução na permeabilidade dos solos (PEREIRA et al., 2007).

A transição das máquinas agrícolas para preparação do solo, plantio e colheita, de acordo com Flowers e Lal (1998), é o motivo fundamental para ocasionar a compactação em solos agrícolas. Horn et al. (1995) complementam que essa compactação também é ocasionada por forças dinâmicas propiciadas pela vibração do trator e, não apenas por pressão estática.

Alguns solos possuem capacidade de resistir a cargas maiores, em dias de chuva esses solos são manejados com mais facilidade e não dispõe de limites ao desenvolvimento vegetal. O que diferencia as propriedades desses solos, refere-se basicamente as diferentes condições de agregação, teor da água, tensões e matéria orgânica que o solo adquiriu no passado (HORN & LEBERT, 1994). As propriedades do solo que exercem influência em seu desempenho compressivo são afetadas pelo manejo, em que a densidade do solo, a estrutura, o teor da água e a matéria orgânica são exemplos disso (KONDO & DIAS JÚNIOR, 1999; SILVA et al., 2002).

2.2.4. Pressão de Pré-Compressão do Solo

A pressão de pré-compressão é um parâmetro da capacidade de suporte de cargas pelo solo que é obtida através da curva de compressão do solo, no qual tem importância para a determinação de parâmetros de compressibilidade que evitem a compactação excessiva dos solos agrícolas (DIAS JÚNIOR & PIERCE, 1996). De acordo com Souza (2015) esta curva é representada graficamente pela relação entre algum parâmetro da estrutura do solo, mais frequentemente, o índice de vazios ou a densidade do solo com o logaritmo da carga aplicada.

A pressão de pré-compressão tem sido usada, frequentemente, como um critério de avaliação da compactação do solo (LARSON et al., 1980; HORN e LEBERT, 1994; DIAS JÚNIOR & PIERCE, 1995; SALIRE et al., 1994; ARVIDSSON & KELLER, 2004; KELLER et al., 2004).

De acordo com Pereira et al. (2005) os valores de pressão de pré-compressão diminuem com o aumento do tamanho de agregados e com o teor de água do solo.

Baseados na pressão de pré-compressão do solo a diferentes teores de água, Arvidsson et al. (2000) determinaram os riscos de compactação do solo por tráfego de máquinas em diferentes períodos do ano.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. Localização da Área Experimental

O experimento foi desenvolvido em uma propriedade rural, situada no município de Riacho dos Cavalos – PB, na área de coordenadas geográficas 06°26'34''S e 37°39'03''W.



Figura 1. Localização geográfica da área experimental. Fonte: Google Earth (2017)

3.2. Clima e Solo

O clima da região, segundo a classificação de Koppen, é do tipo BSW_h, ou seja, seco e quente, com duas estações climáticas: uma seca que vai geralmente de junho a janeiro e outra chuvosa, de fevereiro a maio, apresentando temperatura média anual de 27°C, e precipitação pluvial de 850 mm na média anual.

O solo foi classificado como NEOSSOLO FLÚVICO Ta EUTRÓFICO (EMBRAPA, 1997). Originado de sedimentos fluviais depositados, em forma de pestanas estreitas e finas, nas margens das confluências do Riacho Barra, que drenam a área de relevo ondulado,

embasado em rochas cristalinas do Pré-Cambriano, circundantes com Argissolo, Luvisolo e Neossolo Litólico Eutrófico.

3.3. Vegetação

A cobertura vegetal natural da região em que se insere a área local deste trabalho é a caatinga, com predomínio de arbustos como o marmeleiro (*Croton Sonderianus* Müll. Arg.), mufumbo (*Cobretum leprosum* Mart), catingueira e arbóreas remanescentes como o angico (*Anadenanthera macrocarpa*), aroeira (*Myracrodrum urundeuva* FR. All.), arbóreas essas esparsas que sobraram e dão testemunho de repasses dos roçados da agricultura familiar. Bem como a presença de vegetação arbórea peculiar constituída por oiticicas (*Licania rigida* Benth.) exuberantes ao longo dos riachos associados à presença de solos mais profundos com melhores condições de umidade no período de estiagem, com ausência de chuva.

3.4. Delineamento Experimental

O experimento utilizado foi do tipo investigativo, onde foram analisados os parâmetros de teores de água, densidade do solo e índice de vazios estrutural do solo. Os fatores correspondem a três profundidades de 0-5, 5-10 e 10-20 cm e três repetições. Foi utilizada uma área experimental de um hectare dividida em quatro blocos de 0,25 ha.

3.5. Caracterização da Área Experimental

A área experimental de um hectare, destinada ao cultivo do milho, foi dividida em quatro áreas semelhantes de 50 m de largura por 50 m de comprimento, totalizando 0,25 ha cada. Para cada uma dessas áreas realizou-se a coleta aleatória de solo nas camadas de 0-5, 5-10 e 10-20 cm de profundidade com 3 repetições, sendo 9 amostras por bloco, totalizando 36 amostras por hectare.

3.6. Parâmetros Ponderados

3.6.1. Análise Granulométrica

A análise granulométrica foi realizada no Laboratório de Física e Manejo do Solo da UFRSA, conforme metodologia da Embrapa (1997). As médias das frações inorgânicas de areia, silte e argila do solo estudado, são apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 - Composição granulométrica média para as camadas do Neossolo Flúvico cultivado com milho obtidos no Laboratório de Física e Manejo do Solo da UFRSA

Camada (cm)	Argila	Silte	Areia Fina kg kg ⁻¹	Areia Grossa	Areia Total	Textura
0 – 5	0,105	0,180	0,430	0,285	0,715	Franco Arenosa
5 – 10	0,220	0,40	0,420	0,320	0,740	Franco Argilo Arenosa
10 – 20	0,200	0,185	0,385	0,230	0,615	Franco Argilo Arenosa

Fonte: Dados obtidos na pesquisa

3.6.2. Densidade de Partículas

A densidade de partícula foi determinada pelo método do picnômetro com água (STENGEL, 1983), para as três camadas analisadas e os cálculos foram determinados pela seguinte expressão:

$$\rho_p = \frac{(m_1 - m_0)}{[(m_3 - m_0) - (m_2 - m_1)]} \quad \text{Eq. (1)}$$

Em que:

ρ_p é a densidade de partícula, em g.cm⁻³;

m_0 é a massa no picnômetro vazio, em g;

m_1 é a massa no picnômetro com solo após ser seco em estufa, em g;

m_2 é a massa no picnômetro com solo e água, em g;

m_3 é a massa no picnômetro com água, em g.

3.6.3. Densidade do Solo (Ds)

A densidade do solo foi determinada pelo método do anel volumétrico, nas mesmas profundidades em estudo, conforme descrito por Embrapa (1997).

Os resultados foram obtidos pela fórmula:

$$\delta_s = \frac{M_s}{V_c} \quad \text{Eq. (2)}$$

Em que:

δ_s é a densidade do solo, g.cm⁻³;

M_s é a massa do solo seco, g;

V_c é o volume do anel volumétrico.



Figura 2. Coleta da amostra de solo pelo método do anel volumétrico.

3.6.4. Densidade de Agregados (Da)

Também chamada de densidade textural do solo foi determinada pelo método de (STENGEL, 1983) que determina a densidade de pequenos fragmentos de solo, com diâmetros entre 2,0 e 3,35 mm, imersos em querosene.

O volume foi determinado pela seguinte equação:

$$V_a = \frac{m}{\rho_q} \quad \text{Eq. (3)}$$

Em que:

V_a é o volume de agregados em cm³;

m é massa dos agregados imersos em querosene, em g;

ρ_q é densidade do querosene em gcm³.

A densidade dos agregados foi determinada pela equação:

$$\rho_a = \frac{m_{as}}{V_a} \quad \text{Eq. (4)}$$

Em que:

ρ_a é a densidade de agregados em g.cm³;

m_{as} é a massa de agregados secos em g;

V_a é o volume dos agregados em cm³.

3.6.5. Porosidade Total

O índice de vazios estrutural do solo foi determinado conforme metodologia de (STENGEL, 1983).

A porosidade total do solo foi determinada em termos de índice de vazios (e_T) total do solo obtido pela seguinte equação:

$$e_T = \frac{\delta_p}{\delta_s} - 1 \quad \text{Eq. (5)}$$

A porosidade textural foi determinada em termo de índice de vazios textural ou de agregados (e_t) do solo pela equação

$$e_t = \frac{\delta_p}{\delta_a} - 1 \quad \text{Eq. (6)}$$

A porosidade estrutural determinada em termos de índice de vazios estruturais (e_s) foi determinada pela diferença entre as equações 5 e 6. O resultado foi obtido pela fórmula:

$$e_s = e_T - e_t \quad \text{Eq. (7)}$$

Em que:

e_s é o índice de vazios estrutural;

e_T é o índice de vazios total do solo;

e_t é o índice de vazios de agregados ou textural do solo.

3.6.6. Índice de Compressão do Solo

O índice de compressão do solo foi calculado das curvas de compressão uniaxial seguindo metodologia utilizada por Guérif (1982) e Weiss (2005). Amostras não deformadas foram utilizadas no experimento empregados com milho com a utilização de animais. As

amostras foram coletadas com cilindros de 70 mm de diâmetro interno e 24 mm de altura e após secas ao ar foram peneiradas em peneiras de 2mm. Para determinação da capacidade de suporte de carga do solo, foram adicionados teores de água de 5, 8, 12, 16 e 20%, aos teores de água do solo em condições naturais (terra seca ao ar).

Após a coleta as mesmas foram conduzidas para o Laboratório de Dinâmica do Solo de Interação Solo – Máquina, UFERSA. As amostras foram levadas ao Oedômetro, onde foram aplicadas as pressões uniaxial sequencial de 25, 50, 75, 100, 200, 300, 450 e 600 kPa.

Cada pressão foi submetida a um tempo de 30s com relaxamento de 120s entre pressões. A deformação foi medida no final de cada carregamento e após cada relaxamento, correspondendo, respectivamente, a deformação máxima e mínima. Foram realizadas três repetições sistemáticas para cada amostra.



Figura 3. Compressão do solo com Oedômetro.

O índice de vazios total do solo foi calculado da deformação usando a seguinte equação:

$$e_{Tj} = e_0 - \frac{\pi r^2 \epsilon_j}{V_s} \quad \text{Eq.(8)}$$

em que:

e_{Tj} é o índice de vazios total obtido após a pressão j , e_0 é o índice de vazios inicial, r é o raio da amostra de solo ($r = 3,5$ cm), V_s é o volume da amostra de solo e e_j é a deformação medida após a pressão j .

Foram determinadas curvas de compressão do solo do índice de vazios estrutural em função da pressão aplicada. As curvas foram modeladas usando o modelo elástico-plástico de deformação do solo segundo Atkinson e Bransby, (1978) como segue:

Para pressões maiores que a pressão de pré-compactação, as mudanças no índice de vazios foram caracterizadas pela Virgin Compression Line (VCL), traduzido como linha de compressão virgem.

O índice de compressão do solo foi calculado pela fórmula:

$$e = e_1 - C_c \log \sigma_1 \quad \text{Eq. (9)}$$

Em que:

e é o índice de vazios a uma determinada pressão

e_1 é o índice de vazios à pressão de 1 kPa (σ_1)

C_c é o índice de compressão do solo.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Pressão de Pré-compactação do solo

Os resultados de pré-compactação do solo em função do teor de água e da densidade inicial do solo são apresentados nos gráficos da figura 4. Em geral verifica-se que a pré-compactação do solo aumenta com a redução do teor de água e com o aumento da densidade do solo. Considerando o efeito do teor de água, observa-se que o crescimento da pré-compactação na camada de até 5 cm de profundidade foi mais acentuado quando diminui o teor de água do que os obtidos nas profundidades de 5 a 10 cm e 10 a 20 cm (Figura 4 A, C e E com coeficientes angulares, respectivamente, de -3,885; -1,785 e -1,046). Pode-se visualizar também pelos gráficos que os teores de água neste solo variaram com a profundidade mantendo na camada superficial com valores entre 12 e 20%, na profundidade de 5 a 10 cm variou de 7 a 20% enquanto na camada de profundidade 10 - 20 cm, os valores variaram 6 a 12%, revelando um nível de compactação do solo mais forte (Figura 4 F). Estes resultados são de acordos com os obtidos por Ajayi et al. (2009) que trabalhando em quatro tipos de solos obtiveram aumento de pré-compressão do solo com o aumento do potencial de água, bem como, com o crescimento da densidade do solo. Segundo os pesquisadores a estrutura influencia a densidade do solo e o estado do arranjo do solo, condicionando a resposta do solo às tensões aplicadas. Resultados com o mesmo comportamento foram obtidos por Pereira et al. (2007) e Chaplin et al. (2011) que encontraram resultados de aumento da pré-compressão do solo com a redução do índice de vazios do solo. No entanto, estudos de Arvidson e Keller (2004) e Mosaddeghi et al. (2003) mostraram que estimativas confiáveis de pressão de pré-compressão meramente com base na densidade do solo são impossíveis, porque este último não permite conclusões sobre a estrutura interna do solo.

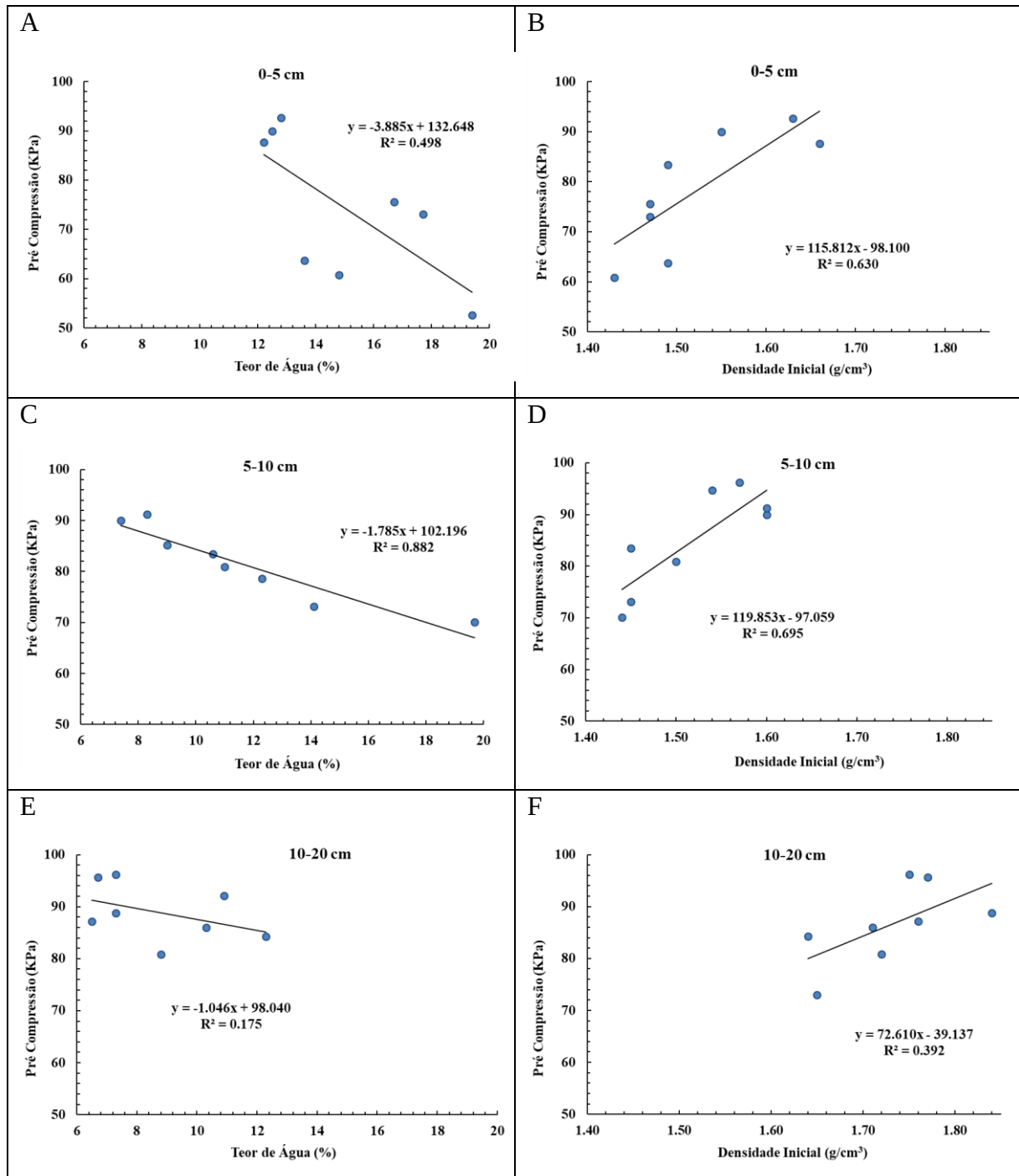


Figura 4. Pré-compressão do solo em função do teor de água e da densidade inicial do solo.

4.2. Índice de compressão do solo

A Figura 5 ilustra as mudanças no índice de compressão do solo em função do teor de água e da densidade inicial do solo. De maneira geral, os resultados mostram que o índice de compressão aumenta com o crescimento do teor de água e com a redução da densidade do solo. A profundidade do solo de 5 a 10 cm (Figura 5 C e D) mostra que este comportamento foi mais forte revelado pelo coeficiente angular da curva de regressão linear, exibindo valor máximo de 0,15 correspondendo a um teor de água de 14% e de 0,12 correspondendo a densidade do solo de $1,44 \text{ g cm}^{-3}$. Pereira et al. (2007) em experimento com solo Silto-argiloso obtiveram aumento do índice de compressão com o índice de água indicando um comportamento similar ao obtido neste trabalho. Os autores obtiveram aumento do índice de compressão com o aumento do índice de vazios, corroborando os resultados deste trabalho.

Os índices de compressão foram muito baixo (0,03 a ,09) na camada de 10 a 20 cm quando o teor de água foi baixo (6 a 11) e a densidade do solo foi muito elevada (1,64 a $1,78 \text{ g cm}^{-3}$). As diferenças nas densidades do solo nas profundidades parcialmente podem explicar essa redução no índice de compressão do solo.

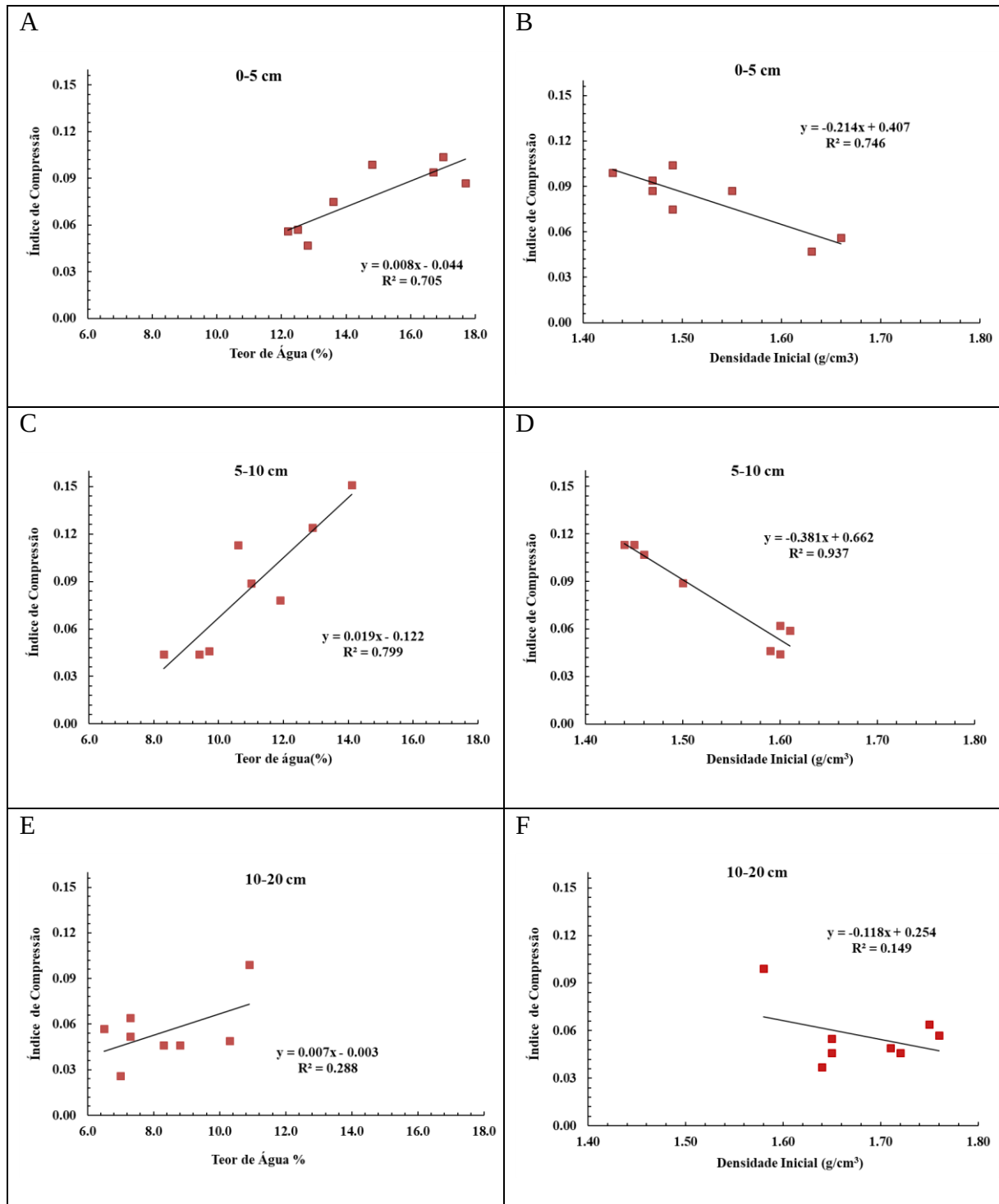


Figura 5. Índice de compressão do solo em função do teor de água e da densidade inicial do solo.

4.3. Relação densidade de agregado com a densidade do solo em função do índice de compressão e com a densidade inicial

Quando os efeitos descritos da densidade inicial do solo e Relação D_a/D_s são pareados entre si, a compressão do solo nos locais testados pode ser descrita pelo uso de modelos linear simples (Figura 6 B, D e F), no entanto é visível a mudança de comportamento dos modelos quando a densidade se torna muito elevada e apresenta baixo teor de água, caso constatado na camada de profundidade de 10 a 20 cm. A distinção entre a densidade agregada e a densidade do solo de todo o solo, no entanto, fornece informações sobre a heterogeneidade da densidade do solo. Segundo Rucknagel et al. (2007), o aumento da heterogeneidade da densidade do solo envolve um declínio na capacidade de suporte de carga entre os agregados.

Quando a razão da densidade de agregado densidade do solo (D_a/D_s) é analisada em função do índice de compressão também se observa forte mudança no comportamento do modelo de regressão na profundidade de 10 a 20 cm (Figura 6 A, C e E). Isto pode explicar o fato de que para solos com densidades muito elevadas e complementada com maior potencial de água, o solo praticamente apresenta baixa porosidade estrutural indicando forte redução dessa relação com o índice de compressão e consequentemente com a densidade do solo.

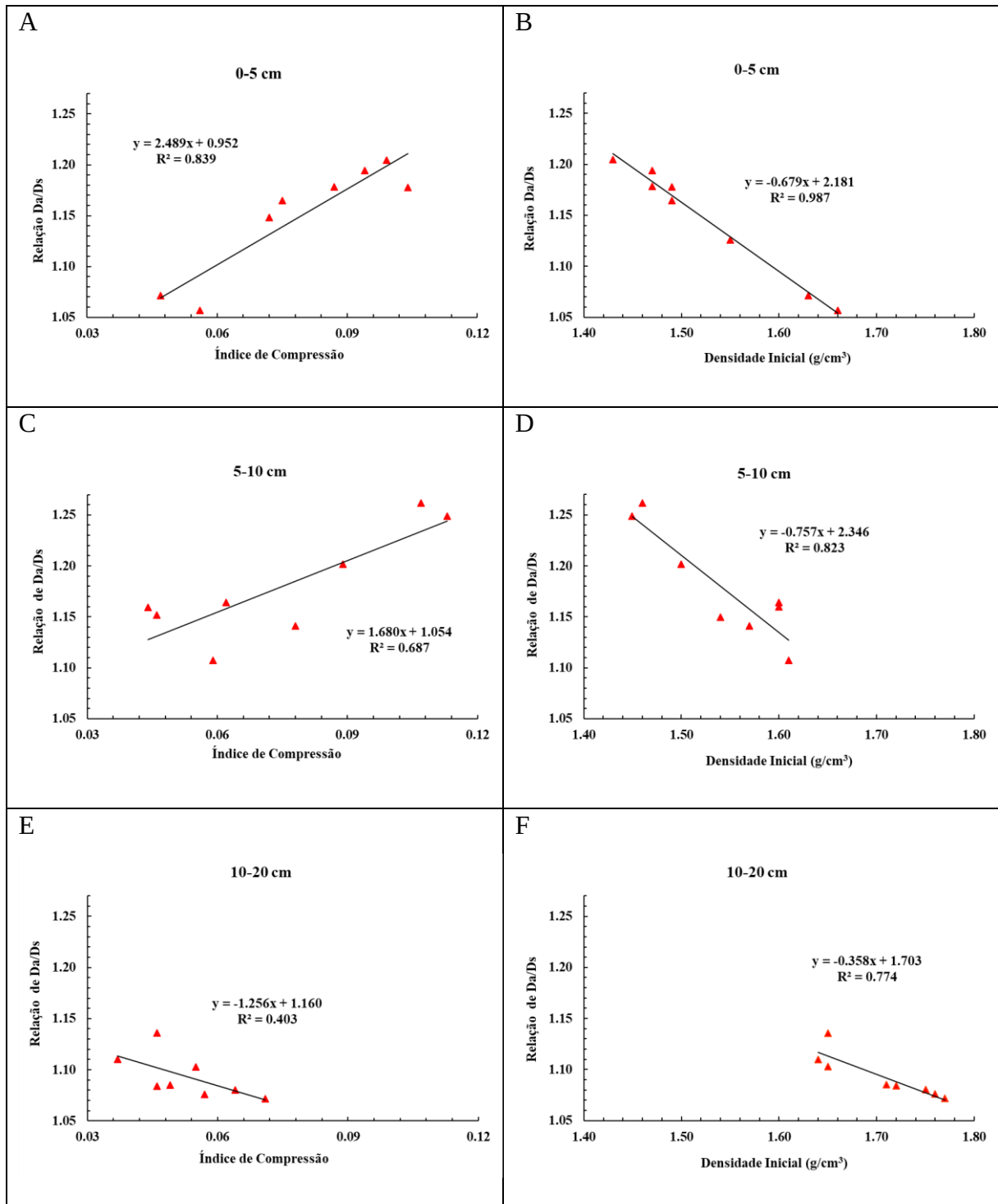


Figura 6. Relação densidade de agregado sobre densidade do solo (D_a/D_s) em função do índice de compressão do solo e da densidade do solo.

5. CONCLUSÕES

- A pré-compactação do solo aumenta com a redução do teor de água e com o aumento da densidade do solo.
- Para o solo estudado o índice de compressão do solo aumenta com o crescimento do teor de água e com a redução da densidade do solo.
- A compactação do solo no sistema lavoura-pecuária tende a crescer com a profundidade do solo aumentando fortemente de 10 a 20 cm revelando um forte indicador da propagação da distribuição de carga pelo uso intenso do solo.

6. REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, J. A.; SANGOI, L.; ENDER, M. Efeitos da integração lavoura-pecuária nas propriedades físicas do solo e características da cultura do milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, vol. 25, núm. 3, 2001, pp. 717-723 Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. Viçosa, Brasil.

ALVARENGA, R. C.; NOCE, M. A.; **Integração Lavoura-Pecuária**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo. Sete Lagoas, MG, 2005.

AJAYI, A. E.; DIAS JÚNIOR, M. de S.; CURI, N.; ARAUJO JUNIOR, C. F.; Souza, T. T. T.; INDA JUNIOR, A. V. Strength attributes and compaction susceptibility of Brazilian Latosols. **Soil & Tillage Research**, v. 105, p.122–127, 2009.

ARVIDSSON, J. KELLER, T. Soil precompression stress. I. A survey of Swedish arable soils. *Soil and Tillage Research*, Amsterdam, v.77, p.85-95, 2004.

ARVIDSSON, J.; TRAUTNER, A.; VAN den AKKER, J. J. H. A model to prevent subsoil compaction. In: *Proceedings of the 15th International Conference of ISTRO*, FORT WORTH, TX, USA, 2000.

ASSIS, R. L. & LANÇAS, K.P. Avaliação dos atributos físicos de um nitossolo vermelho distroférico sob sistema plantio direto, preparo convencional e mata nativa. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 29:515-522, 2005.

ASSIS, R. L.; LAZARINI, G. D.; LANÇAS, K. P.; FILHO, A. C. Avaliação da resistência do solo a penetração em diferentes solos com variação do teor de água. *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, v29, n.4, p.558-568, 2009.

ATKINSON, J.H. & BRANSBY, P.L. *The Mechanics of Soils. An Introduction to Critical State Soil Mechanics*. McGraw-Hill, London, 1978.

BALBINOT JR, A. A.; MORAES, A.; VEIGA, M.; PELISSARI, A.; DIECKOW, J. (2009) Integração lavoura-pecuária: Intensificação de uso de áreas agrícolas. *Ciência Rural*, Santa Maria, v.39, n.6, p.1925-1933.

BASTOS, R. S.; MENDONÇA, E. S.; VENEGAS, V. H. A.; CORRÊA, M. M.; COSTA, L. M. Formação e estabilização de agregados do solo influenciados por ciclos de umedecimento e secagem após adição de compostos orgânicos com diferentes características hidrofóbicas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.29, p.21-31, 2005.

CALONEGO, J. C. & ROSOLEM, C. A. **Estabilidade de agregados do solo após manejo com rotações de culturas e escarificação**. R. Bras. Ci. Solo, 1399-1407, 2008.

CARVALHO, P.C.F.; SILVA, J. L. S.; MORAES, A.; FONTANELLI, R. S.; MACARI, S.; BREMM, C.; TRINDADE, J. Manejo de animais em pastejo em sistemas de integração lavoura-pecuária. In: Moraes, A. et al. **International Symposium on International roplivestock Systems**, Curitiba, 2007, Proceedings...CD-ROM.

CASSOL, L. C. **Relações solo-planta-animal num sistema de integração lavoura-pecuária em semeadura direta com calcário na superfície**. 2003. 144p. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

COSTA, M. J.; ROSA JÚNIOR, E. J.; ROSA, Y. B. C. J.; DE SOUZA, L. C. F.; ROSA, C. B. J. Atributos químicos e físicos de um latossolo sendo influenciados pelo manejo do solo e efeito da gessagem. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 29, n. 5, p. 701-708, 2007.

CORRÊA, J. C.; BULL, L. T.; CRUSCIOL, C. A. C.; MORAES, M. H. Alteração de atributos físicos em Latossolo com aplicação superficial de escória de aciaria, lama cal, lodos de esgoto e calcário. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.33, p.263-272, 2009.

DAM, R. F.; MEHDI, B. B.; BURGESS, M. S. E.; MADRAMOOTOO, C. A.; MEHUYS, G. R.; CALLUM, I. R. Soil bulk density and crop yield under eleven consecutive years of corn

with different tillage and residue practices in a sandy loam soil in central Canada. **Soil and Tillage Research**, v. 84, n. 1, p. 41-53, 2005.

DEMARCHI, J. C.; PERUSI, M. C.; PIROLI, E. L. Análise da estabilidade de agregados de solos da microbacia do Ribeirão São Domingos, Santa Cruz do Rio Pardo – SP, sob diferentes tipos de uso e ocupação. **Revista Brasileira de Tecnologia Aplicada nas Ciências Agrárias**, v.4, p.07-29, 2011.

DIAS JUNIOR, M. de S. & PIERCE, F.J. (1995). A simple procedure for estimating preconsolidation pressure from soil compression curves. *Soil Technology*, Amsterdam. 8 pp. 139-151.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisas de Solos. Ministério da Agricultura e do Abastecimento. Manual de métodos de análise de solo. Rio de Janeiro, 1997.

FARIAS NETO, A. L. de; RIBEIRO JÚNIOR, W. Q.; FALEIRO, F. G. **A Sociedade Brasileira de Melhoramento de Plantas – Regional DF**. Pré-melhoramento, melhoramento e pós-melhoramento: estratégias e desafios – Planaltina, DF: Embrapa Cerrados; Brasília, DF: Embrapa Informações Tecnológica, 2008.

FLOWERS, M. D.; LAL, R. Axle load and tillage effects on soil physical properties and soybean grain yield on a mollic ochraqualf in northwest Ohio. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v.48, p.21-35, 1998.

GREENWOOD, K. L.; McKENZIE, B. M. Grazing effects on soil physical properties and the consequences for pastures: a review. **Australian Journal of Experimental Agriculture**, East Melbourne, v. 41, p. 1231-1250, 2001.

GUÉRIF, J. Compactage d'un massif d'agrégats: effet de la teneur en eau et de la pression appliquée. *Agronomie*, 2, 287–294, 1982.

HANKE, D.; DIECKOW, J.; MELO, V. de F.; BOGNOLA, I. A. Estabilidade de diferentes classes de agregados de solos desenvolvidos de Basalto. **XXXIV Congresso Brasileiro de Ciência do Solo**, Florianópolis-SC, 2013.

HORN, R. et al. Soil compaction processes and their effects on the structure of arable soils and environment. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v.35, p.23-36, 1995.

HORN, R.; LEBERT, M. Soil compactability and compressibility. In: SOANE, B.D.; van OUWERKERK, C. **Soil compaction in crop production**. Amsterdam: Elsevier, 1994. p.45-69.

KELLER, T. et al. Soil precompression stress. II. A comparison of different compaction tests and stress-displacement behaviour of the soil during wheeling. *Soil Tillage Res*, Amsterdam, v. 77, p. 97-108, 2004.

KONDO, M. K.; DIAS JUNIOR, M. S. Compressibilidade de três latossolos em função da umidade e uso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.23, p.211-218, 1999.

LANZANOVA, M. E.; NICOLOSO, R. S.; LOVATO, T.; ELTZ, F. L. F.; AMADO, T. J. C.; REINERT, D. J. Atributos físicos do solo em sistema de integração lavoura-pecuária sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 31, p. 1031-1040, 2007.

LARSON, W.E. et al. Compression of agricultural soil from eight soil orders. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, Madison, v. 44, p. 450-7, 1980.

MARIA, I. C.; KOCSSI, M. A.; DECHEN, S. C. F. **Agregação do solo em área que recebeu lodo de esgoto**. Bragantina, v.66, p.291-298, 2007.

MARTINS, M. V.; PASSOS, E.; CARVALHO, M.; ANDREOTTI, M.; MONTANARI, R. Correlação linear e espacial entre a produtividade do feijoeiro e atributos físicos de um Latossolo Vermelho distroférico de Selvíria, Estado de Mato Grosso do Sul. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 31, n. 1, 147-154, 2009.

MORAES, A. & LUTOSA, S. B.C. Efeito do animal sobre as características do solo e a produção das pastagem. In: SIMPÓSIO SOBRE AVALIAÇÃO DE PASTAGENS COM ANIMAIS, 1997, Maringá. Anais... Maringá: Universidade Estadual de Maringá, 1997. p.129-149.

MORAES, A.; CARVALHO, P. C. F.; PELISSARI, A.; ALVES, S. J.; LANG, C. R. Sistemas de Integração Lavoura-Pecuária no Subtropical da América do Sul: Exemplos do Sul do Brasil. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL EM INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA, 2007, Curitiba. [ANAI...]. Curitiba: UFRP; [S.I]: Ohio State University, 2007. 1 CD-ROM.

MOSADDEGHI, M.R.; HEMMAT, A., HAJABBASI, M.A.; ALEXANDROU, A., 2003. Pre-compression stress and its relation with the physical and mechanical properties of a structurally unstable soil in central Iran. **Soil & Tillage Research**. 70, p. 53–64.

PEREIRA, J. O.; BENEZ, S. H.; de LIMA E SILVA, S.; de QUEIROZ, M. M. F.; COSTA, J. C. B.; TABILE, R. A. Pressão de pré-compressão e comportamento hídrico de um Nitossolo Vermelho distroférico em função do tamanho de agregados. *Acta Scientiarum. Agronomy* [en linea] 2005, 27 (Julho-Setembro): [Fecha de consulta: 14 de abril de 2018] Disponível em:<<http://ucsj.redalyc.org/articulo.oa?id=303026559019>> ISSN 1679-9275.

PEREIRA, J. O., DÉFOSSEZ, P., RICHARD, G. Soil susceptibility to compaction by wheeling as a function of some properties of a silty soil as affected by the tillage system. **European Journal of Soil Science**, v. 58, p.34-44, 2007.

RALISCH, R.; MIRANDA, T. M.; OKUMURA, R. S.; BARBOSA, G. M. de C.; GUIMARÃES, M. de F.; SCOPEL, E.; BALBINO, L. C. Resistência à penetração de um Latossolo Vermelho-Amarelo do Cerrado sob diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.12, n.4, p.381-384, 2008.

REICHARDT, K. & TIMM, L. C. **Solo, planta e atmosfera: conceitos, processos e aplicações**. Barueri: Manole, 2008.

REINERT, D. J.; REICHERT, J. M. **Propriedades físicas do solo** - Análise da zona não saturada do solo. Universidade Federal de Santa Maria. 2006.

ROZANE, D. E.; CENTURION, J. F.; Romualdo, L. M.; Taniguchi, C. A. K.; Trabuco, M.; Alves, A. U. Estoque de carbono e estabilidade de agregados de um Latossolo Vermelho distrófico, sob diferentes manejos. **Bioscience Journal**, v.26, p.24-32, 2010.

RUCKNAGEL, J.; HOFMANN, B.; PAUL, R.; CHRISTEN, O.; HULSBERGEN, K. J. Estimating precompression stress of structured soils on the basis of aggregate density and dry bulk density. **Soil & Tillage Research**, v. 92, p. 213–220, 2007.

SALIRE, E.V. et al. Compresión of intact subsoils under short-duration loading. *Soil Tillage Res.*, Amsterdam, v. 31, p. 235-248, Amsterdam, 1994.

SILVA, A. J. N.; CABEDA, M. S. V.; CARVALHO, F. G. Matéria orgânica e propriedades físicas de um Argissolo Amarelo coeso sob sistemas de manejo com cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.10, p.579-585, 2006.

SILVA, A. P.; TORMENA, C. A.; IMHOFF, S. Intervalo hídrico ótimo. In: MORAES, M. H.; MÜLLER, M. M. L.; FOLONI, J. S. S. **Qualidade física do solo: métodos de estudo sistemas de preparo e manejo do solo**. Jaboticabal: FUNEP, 2002. p.1-18.

SOUZA, W. L. da S. **Comportamento Físico-Mecânico de Dois Solos Cultivados com Cana-de-Açúcar em Diferentes Sistemas de Manejo**. Recife: Universidade Federal Rural de Pernambuco, 2015.

STENGEL, P. Analyse de La porosité. Rapport, séminaire CEE – Agrimed, **INRA Science du Sol**, Avignon, 1983.

THIMÓTEO, C. M. S.; BENINNI, E. R. Y.; MURATA, I. N.; TAVARES FILHO, J. Alterações da porosidade e da densidade de um latossolo vermelho distrófico em dois sistemas de manejo. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 23, p. 1299-1303, 2001.

VASCONCELOS, R. F. B.; CANTALICE, J. R. B.; OLIVEIRA, V. S.; COSTA, Y. D. J.; CAVALCANTE, D. M. Estabilidade de agregados de um Latossolo Amarelo distrocoeso de tabuleiro costeiro sob diferentes aportes de resíduos orgânicos da cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.34, p.309-316, 2010.

VICENTE, T. F. da S.; PEDROSA, E. M. R.; ROLIM, M. M.; OLIVEIRA, V. S.; OLIVEIRA, A. K. S.; SOUZA, A. M. P. L. Relações de atributos do solo e estabilidade de agregados em canaviais com e sem vinhaça. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.16, n.11, p.1215–1222, 2012.

WEISS, A. Projeto, construção e validação do sistema de compressão uniaxial para estimativa e compactação do solo. Cascavel, 48p, 2005. **Dissertação de Mestrado** (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná.