



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA**  
**CURSO DE AGRONOMIA**

**JÔNATHAS DA SILVA MELO**

**QUALIDADE FÍSICA DO SOLO EM FUNÇÃO DO TIPO DE PREPARO**  
**E CARGAS VERTICAIS APLICADAS NO DEPÓSITO DE FERTILIZANTES**  
**DA SEMEADORA**

**FORTALEZA**

**2014**

**JÔNATHAS DA SILVA MELO**

**QUALIDADE FÍSICA DO SOLO EM FUNÇÃO DO TIPO DE PREPARO  
E CARGAS VERTICAIS APLICADAS NO DEPÓSITO DE FERTILIZANTES  
DA SEMEADORA**

Monografia apresentada ao Curso de Agronomia do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do Título de Eng. Agrônomo.

Orientador: Prof. Dr. Leonardo de Almeida Monteiro.

Coorientador: Prof. Dr. Carlos Alessandro Chioderoli.

**FORTALEZA**

**2014**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Universidade Federal do Ceará  
Biblioteca de Ciências e Tecnologia

---

M485q      Melo, Jônathas da Silva.  
              Qualidade física do solo em função do tipo de preparo e cargas verticais aplicadas no depósito de fertilizantes da semeadora / Jônathas da Silva Melo. – 2014.  
              62 f. : il., enc. ; 30 cm.

              Monografia (Graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Departamento de Fitotecnia, Curso de Agronomia, Fortaleza, 2014.  
              Orientação: Prof. Dr. Leonardo de Almeida Monteiro.  
              Coorientação: Prof. Dr. Carlos Alessandro Chioderoli.

              1. Física do solo. 2. Solos - Compactação. 3. Solos - Manejo. I. Título.

---

CDD 631

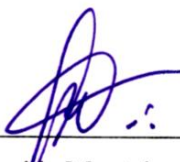
**JÔNATHAS DA SILVA MELO**

**QUALIDADE FÍSICA DO SOLO EM FUNÇÃO DO TIPO DE PREPARO  
E CARGAS VERTICAIS APLICADAS NO DEPÓSITO DE FERTILIZANTES  
DA SEMEADORA**

Monografia apresentada ao Curso de Agronomia do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do Título de Eng. Agrônomo.

Aprovada em 06/06/2014.

**BANCA EXAMINADORA**



---

Prof. Dr. Leonardo de Almeida Monteiro (Orientador Pedagógico)  
Universidade Federal do Ceará (UFC)



---

Prof. Dr. Daniel Albiero  
Universidade Federal do Ceará (UFC)



---

Prof. Msc. Danilo Roberto Loureiro  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

A Deus.

Aos amigos.

Aos orientadores.

## AGRADECIMENTOS

A Deus, por sempre ter guiado meus passos.

A Universidade Federal do Ceará (UFC), pela oportunidade de realização do curso de Agronomia, infraestrutura oferecida, ensino e qualidade dos docentes, palestras, cursos de curta duração, apresentação de trabalhos, viagens de campo, serviços da biblioteca e apoio financeiro com a manutenção da bolsa de monitoria.

Ao Laboratório de Investigação de Acidentes com Máquinas Agrícolas (LIMA), pelas oportunidades de publicação de trabalhos e atividades de campo, as quais contribuíram para elevar minha experiência prática.

Ao Prof. Dr. Leonardo de Almeida Monteiro e ao Prof. Dr. Carlos Alessandro Chioderoli, pelas orientações neste trabalho, tempo disponibilizado, amizade, paciência, confiança, compreensão e oportunidades de trabalho que foram abertas.

Aos professores participantes da banca examinadora Leonardo de Almeida Monteiro, Daniel Albiero e Danilo Roberto Loureiro pela atenção neste trabalho, pelas importantes observações, correções e sugestões.

Aos colegas que realizam o mestrado, pelos conselhos e preciosa ajuda recebida, especialmente Wesley Araújo da Mota, José Evanaldo Lima Lopes e Neyson Braz de Souza.

Às amigas Giovana Lopes da Silva e Selma Freire de Brito, por termos nos conhecido no Laboratório de Sementes da UFC. À Pesquisadora Josefa Diva Nogueira Diniz, pelos trabalhos que me proporcionou publicar enquanto estive no Laboratório de Cultura de Tecidos Vegetais do Departamento de Fitotecnia da UFC.

Ao meu colega de turma Francisco Felype Marques Magalhães (*in memoriam*), cuja breve passagem nos trouxe reflexões, companheirismo e ensinamentos. As palavras não são suficientes para expressar o que sinto.

Aos amigos Wanderson Rodrigues Oliveira, Thaissa de Sousa Lins, João Germano Gomes, Alessandra Maia Fernandes, João Paulo Góis Soares, Larissa Gomes Girão Paiva, Antônio Vanklane Rodrigues de Almeida, Marcelo Queiroz Amorim, Keivia Lino Chagas, Andréia Pinheiro Queiroz Viana, Cícero Aquino do Nascimento e tantos outros, pela amizade e companheirismo durante o tempo em que estivemos juntos.

A todos que um dia conheci e que deixaram algo importante gravado através dos sentimentos e das ações em nossa memória.

## RESUMO

O cultivo intensivo com máquinas agrícolas tem alterado as propriedades físicas do solo, influenciando a produtividade das culturas. A adoção de sistema de manejo inadequado pode causar compactação, aumento da erosão e perda de nutrientes. O objetivo deste trabalho foi avaliar a alteração da qualidade física de solo de textura franco arenoso, submetido a diferentes preparos e cargas verticais no depósito de fertilizantes da semeadora, no processo de semeadura do milho (*Zea mays* L.). O delineamento experimental foi o de blocos ao acaso, em esquema fatorial 2x3, com quatro repetições, sendo dois tipos de preparo do solo (preparo 1 – aração e gradagem; preparo 2 - escarificação) associados às cargas de 50, 80 e 100 % da capacidade do depósito de fertilizantes da semeadora. Foram avaliados os atributos físicos de macroporosidade, microporosidade, porosidade total e densidade do solo nas camadas de 0-0,10, 0,10-0,20 e 0,20-0,30 após o processo de semeadura. Os dados foram submetidos à análise de variância pela estatística F, sendo as médias comparadas pelo teste de Tukey, a 10 % de significância. O preparo com arado e grade proporcionou o aumento dos valores de macroporosidade e microporosidade no perfil de 0-0,20 m, porosidade total no perfil de 0-0,30 m, e de densidade no perfil de 0,10-0,30 m. No perfil de 0,20-0,30 m, as cargas de 100 e 80 % proporcionaram os menores valores de densidade do solo. Não houve diferença significativa entre as cargas, no perfil de 0-0,30 m, para os parâmetros de macroporosidade, microporosidade e porosidade total. Ambos os preparos reduziram a qualidade física do solo. O preparo com arado e grade proporcionou melhores resultados acerca da qualidade física do solo comparado ao preparo com escarificador.

**Palavras-chave:** Macroporosidade do Solo. Sistema Convencional. Escarificador.

## ABSTRACT

The intensive tillage with agricultural machines has changed the physical properties of the soil, influencing crop yields. The adoption of inadequate management system can cause compaction, increased erosion and nutrient loss. The aim of this study was to evaluate the variation of soil physical properties under different tillage and vertical loads of fertilizer deposit in the planting of corn (*Zea mays* L.). The experimental design was in complete randomized blocks, in factorial design 2x3, with four replications, with two types of tillage (preparation 1 - plowing and harrowing; preparation 2 - scarification) associated with loads 50, 80 and 100 % in the deposit capacity of fertilizer seeder. The physical attributes of macroporosity, microporosity, total porosity and density of soil were evaluated in layers of 0-0.10, 0.10-0.20 and 0.20-0.30 after the process of maize sowing. The data were submitted to analysis of variance by F test, and the averages compared by Tukey test at 10% probability. The preparation with harrow and chisel plow promoted increased values of macroporosity and microporosity in the profile 0-0.20 m, total porosity in the profile 0-0.30 m, and density in the profile 0.10-0.30 m. In profile 0.20-0.30 m, the loads 100 and 80% showed the lowest values of soil density. There was no significant difference between the loads, in profile 0-0.30 m, to the parameters of macroporosity, microporosity and total porosity. Both preparations reduced the soil physical quality. The preparation with plow and harrow provided better results on physical soil quality compared to chisel plow.

**Keywords:** Macroporosity of Soil. Conventional Tillage. Chisel Plow.



## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Esquema das parcelas experimentais. ....	22
Figura 2 – Arado de disco fixo, acoplado ao trator 4x2 TDA, modelo VALTRA A950. ....	23
Figura 3 – Grade MARCHESAN, modelo GN, Off-Set, acoplado ao trator 4x2 TDA, modelo VALTRA BM125i. ....	24
Figura 4 – Escarificador MARCHESAN, modelo AST/MATIC 450, acoplado ao trator 4x2 TDA, modelo VALTRA BM125i. ....	24
Figura 5 – Semeadora adubadora Jumil, modelo JM2090 PD, acoplado ao trator 4x2 TDA, modelo VALTRA BM120. ....	25
Figura 6 – Variação da carga no depósito de fertilizantes da semeadora. ....	26
Figura 7 – Coleta das amostras de monólitos indeformados. ....	27
Figura 8 – Mesa de tensão. ....	27
Figura 9 – Parâmetros de macro e microporosidade ( $m^3 m^{-3}$ ), avaliados nas camadas de 0-0,10; 0,10-0,20 e 0,20-0,30 m, entre os dois tipos de preparos do solo ....	36

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Composição granulométrica e densidade, nas camadas de 0-0,10, 0,10-0,20 e 0,20-0,30 m. ....	21
Tabela 2 – Valores médios de macroporosidade, microporosidade e porosidade total do solo, avaliados nas camadas de 0-0,10, 0,10-0,20 e 0,20-0,30 m, obtidos antes dos preparos e semeadura. ....	28
Tabela 3 – Valores médios de macroporosidade ( $m^3 m^{-3}$ ) do solo, avaliados nas camadas de 0-0,10, 0,10-0,20 e 0,20-0,30 m, em função do preparo do solo associado às cargas verticais no depósito de fertilizante da semeadora, após os preparos e semeadura. ....	28
Tabela 4 – Valores médios de microporosidade ( $m^3 m^{-3}$ ) do solo, avaliados nas camadas de 0-0,10, 0,10-0,20 e 0,20-0,30 m, em função do preparo do solo associado às cargas verticais no depósito de fertilizante da semeadora, após os preparos e semeadura. ....	30
Tabela 5 – Valores médios de porosidade total ( $m^3 m^{-3}$ ) do solo, avaliados nas camadas de 0-0,10, 0,10-0,20 e 0,20-0,30 m, em função do preparo do solo associado às cargas verticais no depósito de fertilizante da semeadora, após os preparos e semeadura. ....	31
Tabela 6 – Valores médios de densidade ( $kg dm^{-3}$ ) do solo, avaliados nas camadas de 0-0,10, 0,10-0,20 e 0,20-0,30 m, em função do preparo do solo associado às cargas verticais no depósito de fertilizante da semeadora, após os preparos e semeadura. ....	33
Tabela 7 – Resultados de ANOVA para o parâmetro de macroporosidade, avaliado na camada de 0-0,10 m, em função do preparo do solo associado às cargas verticais no depósito de fertilizantes da semeadora. ....	45
Tabela 8 – Resultados de ANOVA para o parâmetro de microporosidade, avaliado na camada de 0-0,10 m, em função do preparo do solo associado às cargas verticais no depósito de fertilizantes da semeadora. ....	45
Tabela 9 – Resultados de ANOVA para o parâmetro de porosidade total, avaliado na camada de 0-0,10 m, em função do preparo do solo associado às cargas verticais no depósito de fertilizantes da semeadora. ....	46

Tabela 10 – Resultados de ANOVA para o parâmetro de densidade, avaliado na camada de 0-0,10 m, em função do preparo do solo associado às cargas verticais no depósito de fertilizantes da semeadora. ....	46
Tabela 11 – Resultados de ANOVA para o parâmetro de macroporosidade, avaliado na camada de 0,10-0,20 m, em função do preparo do solo associado às cargas verticais no depósito de fertilizantes da semeadora. ....	47
Tabela 12 – Resultados de ANOVA para o parâmetro de microporosidade, avaliado na camada de 0,10-0,20 m, em função do preparo do solo associado às cargas verticais no depósito de fertilizantes da semeadora. ....	47
Tabela 13 – Resultados de ANOVA para o parâmetro de porosidade total, avaliado na camada de 0,10-0,20 m, em função do preparo do solo associado às cargas verticais no depósito de fertilizantes da semeadora. ....	48
Tabela 14 – Resultados de ANOVA para o parâmetro de densidade, avaliado na camada de 0,10-0,20 m, em função do preparo do solo associado às cargas verticais no depósito de fertilizantes da semeadora. ....	48
Tabela 15 – Resultados de ANOVA para o parâmetro de macroporosidade, avaliado na camada de 0,20-0,30 m, em função do preparo do solo associado às cargas verticais no depósito de fertilizantes da semeadora. ....	49
Tabela 16 – Resultados de ANOVA para o parâmetro de microporosidade, avaliado na camada de 0,20-0,30 m, em função do preparo do solo associado às cargas verticais no depósito de fertilizantes da semeadora. ....	49
Tabela 17 – Resultados de ANOVA para o parâmetro de porosidade total, avaliado na camada de 0,20-0,30 m, em função do preparo do solo associado às cargas verticais no depósito de fertilizantes da semeadora. ....	50
Tabela 18 – Resultados de ANOVA para o parâmetro de densidade, avaliado na camada de 0,20-0,30 m, em função do preparo do solo associado às cargas verticais no depósito de fertilizantes da semeadora. ....	50
Tabela 19 – Estatísticas descritivas básicas para o parâmetro de macroporosidade, avaliado na camada de 0-0,10 m. ....	51
Tabela 20 – Estatísticas descritivas básicas para o parâmetro de microporosidade, avaliado na camada de 0-0,10 m. ....	52
Tabela 21 – Estatísticas descritivas básicas para o parâmetro de porosidade total, avaliado na camada de 0-0,10 m. ....	53

Tabela 22 – Estatísticas descritivas básicas para o parâmetro de densidade, avaliado na camada de 0-0,10 m. ....	54
Tabela 23 – Estatísticas descritivas básicas para o parâmetro de macroporosidade, avaliado na camada de 0,10-0,20 m. ....	55
Tabela 24 – Estatísticas descritivas básicas para o parâmetro de microporosidade, avaliado na camada de 0,10-0,20 m. ....	56
Tabela 25 – Estatísticas descritivas básicas para o parâmetro de porosidade total, avaliado na camada de 0,10-0,20 m. ....	57
Tabela 26 – Estatísticas descritivas básicas para o parâmetro de densidade, avaliado na camada de 0,10-0,20 m. ....	58
Tabela 27 – Estatísticas descritivas básicas para o parâmetro de macroporosidade, avaliado na camada de 0,20-0,30 m. ....	59
Tabela 28 – Estatísticas descritivas básicas para o parâmetro de microporosidade, avaliado na camada de 0,20-0,30 m. ....	60
Tabela 29 – Estatísticas descritivas básicas para o parâmetro de porosidade total, avaliado na camada de 0,20-0,30 m. ....	61
Tabela 30 – Estatísticas descritivas básicas para o parâmetro de densidade, avaliado na camada de 0,20-0,30 m. ....	62

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO .....	13
2	REVISÃO DE LITERATURA .....	14
3.1	Qualidade física do solo .....	14
3.2	O preparo com arado e grade .....	16
3.3	O preparo com escarificador .....	17
3.4	Carga vertical no depósito de fertilizantes da semeadora .....	18
3.5	O trator .....	19
4	MATERIAL E MÉTODOS .....	20
4.1	Local .....	20
4.2	Caracterização da área experimental .....	20
4.3	Delineamento experimental .....	21
4.4	Equipamentos agrícolas .....	22
4.5	Métodos de avaliação .....	26
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	28
6	CONCLUSÕES .....	37
	REFERÊNCIAS .....	38
	APÊNDICE A – RESULTADOS DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA (ANOVA) .....	45
	APÊNDICE B – ESTATÍSTICAS DESCRITIVAS .....	51

## 1 INTRODUÇÃO

A utilização crescente de máquinas agrícolas no campo tem contribuído para o aumento da produção das culturas, de modo a suprir a necessidade cada vez maior de alimentos e elevar a qualidade de vida da população. Entretanto, por meio do uso irrestrito e repetitivo das atividades mecanizadas sobre o solo, após longo período, poderá ocorrer o surgimento de camadas compactadas, de modo a causar o aumento da erosão, perda de nutrientes e redução da produtividade das culturas.

Durante muito tempo, era consenso que a melhor forma de preparar o solo para a semeadura seria a utilização de uma aração profunda, seguida de duas ou mais gradagens, conforme o tipo de solo. No entanto, observou-se que o manejo com práticas mecanizadas resultou em maior densidade do solo quando comparado ao solo encontrado em condições nativas. O tráfego com maquinários agrícolas no campo, ainda que seja minimamente reduzido, continua sendo de grande potencial para a compactação do perfil do solo, tanto em superfície quanto em subsuperfície (SANTOS *et al.*, 2008). Em muitas regiões, faz-se necessária alguma medida para substituir os sistemas de preparo convencional por outros que promovam o mínimo de mobilização do solo. Visando evitar os impactos negativos causados sobre o solo, um dos métodos alternativos adotados é o preparo com escarificador agrícola, o qual já vem substituindo arados e grades com vantagens em muitas regiões brasileiras (LANÇAS, 2002). A determinação dos equipamentos e dos métodos de preparo podem contribuir para elevar o percentual dos macroporos do solo, aumentando o armazenamento de água e nutrientes, além de incrementar o rendimento das culturas.

A compactação aplicada sobre o solo, tanto por meio dos pneus do trator quanto através dos órgãos da semeadora adubadora em contato com o solo, pode ou não ser benéfica à germinação das sementes e emergência das plântulas. A razão disto é que as sementes necessitam de certa compactação para germinarem e se desenvolverem, mas em solos muito compactados este processo pode impedir o desenvolvimento das raízes das plantas em maiores profundidades. O percentual de enchimento do depósito de fertilizantes da semeadora, ao transmitir sobre os solos maiores ou menores cargas, também podem interferir nesses processos. Deste modo, o preparo com escarificador associado com menores cargas no depósito de fertilizantes podem proporcionar a melhoria da qualidade física do solo.

O objetivo deste trabalho foi avaliar a alteração da qualidade física de solo de textura franco arenoso, submetido a diferentes preparos e cargas verticais no depósito de fertilizantes da semeadora, no processo de semeadura do milho (*Zea mays* L.).

### 3 REVISÃO DE LITERATURA

#### 3.1 Qualidade física do solo

O desenvolvimento das culturas está relacionado a fatores que envolvem a dinâmica dos componentes das partículas do solo (CARNEIRO *et al.*, 2009). Essas variações, relacionadas ao manejo, ocorrem em diversos atributos que podem ser avaliados por meio das características físicas das partículas do solo (NETTO; KATO; GOEDERT, 2009).

A densidade dos fragmentos do solo influencia sobre a quantidade de poros, alterando a movimentação de água e oxigênio (ASSIS *et al.*, 2009). Estudos indicam que há problemas globais que podem ser gerados pela compactação dos solos agrícolas, tais como inundações, erosão, lixiviação de agrotóxicos, emissão de gases do efeito estufa, além de perdas de produtividade pelas culturas (KELLER; LAMANDÉ, 2010).

Para avaliação da qualidade física do solo, são usados com frequência os atributos de densidade, porosidade, condutividade hidráulica, curva de retenção de água, resistência do solo à penetração e estabilidade de agregados (SCHIAVO; COLODRO, 2012). Segundo Aguiar (2008), a estrutura pode ser avaliada pela densidade do solo, macro e microporosidade, estabilidade de agregados, resistência à penetração e infiltração da água no solo.

Segundo Lanzasova *et al.* (2007, *apud* KUNZ *et al.*, 2013) os atributos físicos mais estudados para avaliar a compactação e suas alterações sobre as partículas, são a densidade e a porosidade do solo. Para Brito (2010) e Netto *et al.* (2009), o estudo das atividades mecanizadas na agricultura, por meio das propriedades físicas do solo, sobretudo a porosidade e densidade, podem ser feitas a fim de analisar a capacidade de retenção de água e o desenvolvimento de raízes.

Os efeitos da compactação pelos métodos de manejo com mecanização agrícola podem variar conforme o tipo de preparo, a intensidade de movimentação, trânsito de máquinas e manejo dos resíduos vegetais (MATIAS *et al.*, 2009).

A porção volumétrica do solo não ocupada por detritos sólidos corresponde à porosidade do solo, a qual inclui os espaços preenchidos por líquidos e gases. A soma da macroporosidade com a microporosidade resulta na porosidade total do solo (SILVA, 2010). O volume total de poros pode ser denominado de porosidade total do solo (MICHELON, 2010).

Conforme Klein e Libardi (2002, *apud* STUMPF, 2011), a porção de porosidade maior do que 0,05 mm são os macroporos, e a porção menor do que 0,05 mm são os microporos. Segundo Vieira *et al.* (1988, *apud* SANCHEZ, 2012), os macroporos estão presentes em

maior quantidade nas partículas de areia e nos agregados, enquanto que os microporos predominam em poros reduzidos, como ocorre nos minerais de argila.

A porosidade é formada pelo conjunto de fenômenos e mecanismos, na física de solos, que são responsáveis pela retenção e do fluxo da água e do ar. Os microporos são responsáveis pela retenção de água no perfil do solo, ao passo que os macroporos realizam a aeração e infiltração de água, além de permitirem a penetração de raízes (SUGUINO *et al.*, 2011; SILVEIRA, 2013). A quantidade de macroporos influencia no crescimento das raízes e, por conseguinte, na absorção de água e nutrientes, e sua redução pode induzir ao crescimento lateral de raízes, pelo aumento da densidade. No entanto, a microporosidade é de essencial importância em momentos críticos de escassez de água, atuando como reservatório (SANCHEZ, 2012).

O atributo de densidade do solo é muito utilizado para caracterizar fisicamente a estrutura do solo, sendo indicador de sua compactação (GONÇALVES *et al.*, 2013). A densidade é o atributo físico do solo que fornece informações sobre o seu estado de conservação, interferindo sobre a infiltração, retenção hídrica, penetração de raízes, trocas gasosas e susceptibilidade aos processos erosivos, sendo importante atributo para avaliação da compactação dos solos (GUARIZ *et al.*, 2009). O elevado grau de densidade do solo pode prejudicar o desenvolvimento das plantas, em razão dos fatores mencionados, além de poder levar ao acúmulo de gás carbônico no volume poroso em que as raízes se encontram, podendo levar à morte das plantas.

A susceptibilidade à compactação pode ser alterada pelo acúmulo de matéria orgânica. Porém, a textura do solo e seus efeitos associados à retenção de água, coesão e densidade do solo determinarão a magnitude e o tipo de efeito (BRAIDA *et al.*, 2010).

Reichert *et al.* (2009) afirmam que o aumento da densidade pode não ser prejudicial às culturas agrícolas, em razão de que, até certo ponto, esta elevação pode contribuir para a retenção e o estoque de água no solo. Porém, se esse aumento atingir o nível crítico, pode ocorrer prejuízos para a produtividade agrícola e o surgimento de camadas compactadas. Estes mesmos autores definiram limites críticos de densidade do solo de acordo com teor de argila; dessa forma, seria possível inferir sobre o estado de compactação do solo à partir dos valores críticos de sua densidade.

O valor ideal de densidade depende do seu espaço poroso. Por isso, solos com maior volume poroso têm menor densidade. Deste modo, todos os fatores que interferem sobre a porosidade do solo irão interferir em sua densidade (MACHADO; FAVARETTO, 2006 *apud* ALMEIDA, 2013).



Os atributos físicos podem ser modificados de acordo com a forma de cultivo do solo, incluindo sua intensidade e métodos de preparo escolhidos (VENDRUSCOLO *et al.*, 2011; BOTTEGA *et al.*, 2011). Sendo assim, a escolha dos métodos de preparo, aliado ao manejo correto e aplicação, se tornam de fundamental importância nos sistemas agrícolas de produção, a fim de promover a preservação do solo.

Albiero *et al.* (2011a) verificaram que o novo método de cultivo do solo, com a utilização do implemento denominado “paraplow rotativo”, demonstrou o seu caráter de conservação, capaz de quebrar torrões para o plantio, sem alterar as propriedades físicas do solo originais. Estes mesmos autores concluíram que o mesmo produz uma faixa de solo bem preparado, com características ideais para semear, caracterizados por uma largura superficial pequena e subsuperficial grande, o que significa uma menor exposição do solo superficial à erosão (ALBIERO *et al.*, 2011b).

### **3.2 O preparo com arado e grade**

O sistema convencional tradicionalmente é aplicado com uma aração e uma ou mais gradagens, realizando o trabalho de revolvimento, destorroamento e nivelamento do terreno, propiciando o leito favorável ao desenvolvimento das culturas. Para Rosseto e Santiago (2007), este tipo de preparo realiza o trabalho de revolvimento das camadas superficiais, de modo a reduzir a compactação, aumentar a porosidade do solo, a permeabilidade e o armazenamento de água e ar.

Além dessas funções, é comum o uso do preparo com arado e grade para controlar a disseminação de plantas invasoras, incorporar corretivos e adubos, além de controlar as pragas nas plantas e os patógenos do solo, de modo a favorecer o crescimento e desenvolvimento radicular. No entanto, graves problemas tem surgido do seu uso indiscriminado (REICHERT *et al.*, 2009), tais como o aumento da densidade do solo (SILVA, *et al.*, 2011).

O preparo com arado e grade quando aplicado em solos arenosos, com elevada erodibilidade, criam efeitos sinérgicos negativos, podendo gerar compactação, empobrecimento gradual do solo e redução da produtividade das culturas (OTSUBO *et al.*, 2013).

O papel do arado é realizar o corte, elevar e inverter a leiva, produzindo o efeito de cisalhamento. A grade deverá complementar este trabalho, por meio de pulverização dos torrões e nivelamento do solo, propiciando o leito favorável ao desenvolvimento das plantas. No entanto, esta prática, se utilizada de modo repetitivo e único, pode desenvolver sérios problemas com o passar dos anos (GABRIEL FILHO *et al.*, 2000). Outros problemas decorrentes

do seu uso intensivo podem ocorrer, como a desagregação do solo, dispersão das argilas, o qual facilita o seu arraste pela ação dos agentes erosivos, levando à perda de nutrientes. A inversão das leivas pode levar à maior perda evaporativa da água contida nos macroagregados e microagregados do solo.

Outros efeitos negativos do preparo com arado e grade sobre o solo são a exposição das camadas subsuperficiais do solo, levando-o à oxidação, o qual pode levar a perda de carbono do solo para a atmosfera, e também pela erosão, podendo favorecer a perda de matéria orgânica do solo (CRUZ *et al.*, 2002).

O preparo intensivo com arado e grade podem gerar consequências negativas sobre a estrutura do solo, interferindo no meio ambiente, economia e sociedade, e tem feito muitos agricultores procurarem alternativas para o meio de cultivo mais sustentável (FALCÃO *et al.*, 2013). Esta alternativa deve procurar alterar minimamente a estrutura do solo, mantendo os agregados com elevada capacidade de retenção de água, nutrientes, resistência à erosão, elevado percentual de macroporos e com aeração adequada para o bom desenvolvimento e crescimento das plantas.

### **3.3 O preparo com escarificador**

O escarificador é o implemento agrícola que se apresenta como opção para o agricultor, dentro da ótica do manejo conservacionista, trazendo, como vantagens, o fato de que mobiliza o solo sem revolvê-lo, promovendo a incorporação de menos de 1/3 do material existente na superfície (ORTIZ–CAÑAVATE; HERNANZ, 1989).

Lañas (2002) afirma que o escarificador tem o mesmo princípio de rompimento do solo por propagação das trincas, ou seja, o solo não é cortado como na aração ou gradagem e sim rompido nas suas linhas de fraturas naturais ou através das interfaces dos seus agregados. Desta forma, ambos os equipamentos utilizam hastes que são cravadas no solo e provocam o seu rompimento para frente, para cima e para os lados. É o chamado rompimento tridimensional do solo em blocos. Isto permite dizer que este tipo de mobilização é menos agressiva do que aquelas nos quais as lâminas cortam o solo de forma indiscriminada e contínua, destruindo sua estrutura original.

Vários trabalhos indicam o uso dos implementos escarificadores como alternativa viável para redução dos impactos negativos provindos de práticas mecanizadas intensivas do preparo com arado e grade sobre o solo. Derpsch, Sidira e Roth (1986) concluíram que não houve surgimento de camadas compactadas no solo quando aplicados implementos de preparo

com hastes. Solos trabalhados desta forma tendem a apresentar menores valores de resistência à penetração e densidade, quando comparados aos sistemas convencionais de preparo. Medeiros *et al.* (2009), ao avaliar o Latossolo vermelho, quando comparou os sistemas de plantio direto, o preparo com escarificador, o preparo com arado e grade e o sistema de rotavação, concluiu que o preparo com escarificador apresentou a melhor distribuição de poros tanto em quantidade quanto em qualidade, além de infiltração notadamente maior em relação aos outros tratamentos de preparo e manejo do solo, o que indica a melhor qualidade física dos agregados do solo para a agricultura.

Segundo Borges, Fancelli e Cordeiro (2010), o escarificador contribui para o aumento da macroporosidade do solo, facilitando o processo de incorporação de calcário. O uso de implementos como os escarificadores, que produzem superfícies mais rugosas, que os implementos de disco, como as grades pesadas, têm por objetivo aumentar a porosidade, reduzir a densidade e, ao mesmo tempo, romper as camadas subsuperficiais compactadas (KOC-HHANN; DENARDIN, 2000).

### **3.4 Carga vertical no depósito de fertilizantes da semeadora**

Estudos indicam que o peso representado pelas sementes e adubos nos respectivos depósitos pode ter influência sobre o desempenho, o funcionamento dos conjuntos operacionais e sobre a área de revolvimento do solo.

Furlani *et al.* (2006), utilizando duas cargas de adubo (100 e 400 kg), verificaram que a carga de depósito de adubo alterou a força de tração, influenciando sobre a capacidade de campo teórica, o consumo de combustível horário e operacional. A maior potência exigida no motor foi observada na maior carga e velocidade. Avaliando a carga no depósito de adubo, verificou-se que com reservatório cheio ocorre maior distribuição de adubo, e à medida que o reservatório esvazia-se, ocorre diminuição na dose de adubo aplicada.

Santos *et al.* (2013) verificaram que a carga sobre o depósito de adubo afetou a força de tração exigida. Houve o aumento no consumo horário de combustível e da potência exigida com o aumento das marchas.

Silva *et al.* (2012) concluíram que, para todas as coberturas vegetais estudadas, quanto maior a carga vertical aplicada sobre a semeadora maior foi a profundidade de penetração dos discos. Os mesmos autores concluíram que os discos lisos obtiveram maiores valores de profundidade que os discos ondulados. Grotta *et al.* (2007) verificaram que a área mobilizada foi proporcional à profundidade das hastes sulcadoras da semeadora.

### 3.5 O trator

O trator e as máquinas agrícolas são essenciais para a agricultura. A produção em alta escala é dependente da mecanização agrícola, condição necessária para a subsistência da crescente população. A mecanização agrícola, quando bem aplicada, ajuda o agricultor a aumentar a sua produção e produtividade.

No entanto, vários impactos negativos têm ocorrido na agricultura, com o surgimento de camadas compactadas no solo, seja pelo uso indevido, de modo repetitivo, excessivo ou inapropriado da mesma técnica de preparo do solo (REICHERT *et al.*, 2009). O tráfego e o preparo intensivo com máquinas é o principal responsável pelo aumento da densidade e resistência ao desenvolvimento das plantas (SILVA *et al.*, 2011).

Ribeiro (2009) afirma que a maioria das ocorrências do processo de compactação do solo na agricultura moderna se dá pelo tráfego de implementos agrícolas, o qual é parte integrante do sistema de manejo das culturas, por isso devem-se buscar alternativas que proporcionem a sustentabilidade do solo agrícola, principalmente em relação à estrutura do solo.

A compactação do solo é o processo que resulta diretamente do aumento da densidade do solo (PANDOLFI *et al.*, 2007), o que leva a mudanças em outras propriedades do solo, tais como: porosidade, retenção de água, aeração e resistência do solo à penetração das raízes (ASSIS *et al.*, 2009; SILVA *et al.*, 2000).

A utilização de equipamentos mecanizados na agricultura acaba exercendo pressões sobre os horizontes do solo, em superfície e em subsuperfície (SANTOS *et al.*, 2008), podendo causar a reorganização das partículas e redução da sua porosidade. Uma das condições que favorecem um aumento da compactação é a alta umidade do solo no cultivo com atividades mecanizadas (SILVA *et al.*, 2009). No entanto, segundo Saffih-Hdadi *et al.* (2009), mesmo sem considerarmos o teor de umidade do solo, há relatos que demonstram a ocorrência cada vez maior de problemas de compactação gerados em solos agrícolas, os quais têm sido atribuídos às operações mecanizadas.

A escolha do equipamento e do método de preparo do solo pode ajudar na redução das perdas de água e solo (COELHO *et al.*, 2012; LLANILLO *et al.*, 2006; GABRIEL FILHO *et al.*, 2010).

## 4 MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1 Local

O estudo foi realizado no campo experimental da área de mecanização do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal do Ceará, pertencente ao Laboratório de Investigação de Acidentes com Máquinas Agrícolas – LIMA, localizado nas coordenadas geográficas 03°44' de latitude S e 38°34' de longitude W, com altitude média de 26 m, no período de março e abril de 2014. A precipitação total no período estudado foi de 491,0 mm e a temperatura média de 27,2 °C, com dados fornecidos pela Estação Agrometeorológica Professor Aroldo Cipriano Pequeno, do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal do Ceará.

### 4.2 Caracterização da área experimental

O solo foi classificado conforme Melo *et al.* (2013), como Argissolo Vermelho Amarelo, seguindo a metodologia da EMBRAPA (1999). O local do ensaio foi utilizado em aulas com operações mecanizadas nos últimos três anos. O solo no momento das operações mecanizadas encontrava-se na friabilidade para os equipamentos utilizados. Na operação com máquinas agrícolas, foram aplicados os métodos de segurança preconizados por Monteiro e Albiero (2013), Monteiro *et al.* (2010) e Monteiro e Silva (2009).

A Tabela 1 mostra os resultados dos parâmetros de composição granulométrica e densidade, obtidos previamente à realização deste experimento, por meio de análise física do solo, realizada pelo Laboratório de Solo e Água do Departamento de Ciências do Solo da UFC, localizado em Fortaleza/CE.

Tabela 1 – Composição granulométrica e densidade, nas camadas de 0-0,10, 0,10-0,20 e 0,20-0,30 m.

Profundidade (m)	Composição Granulométrica (g kg <sup>-1</sup> )					Classificação textural	Densidade global (g cm <sup>-3</sup> )
	Areia Grossa	Areia Fina	Silte	Argila	Argila Natural		
0 – 0,10	435	371	76	118	71	Franco arenosa	1,37
0,10 – 0,20	466	331	72	131	93	Franco arenosa	1,37
0,20 – 0,30	300	481	73	146	97	Franco arenosa	1,53

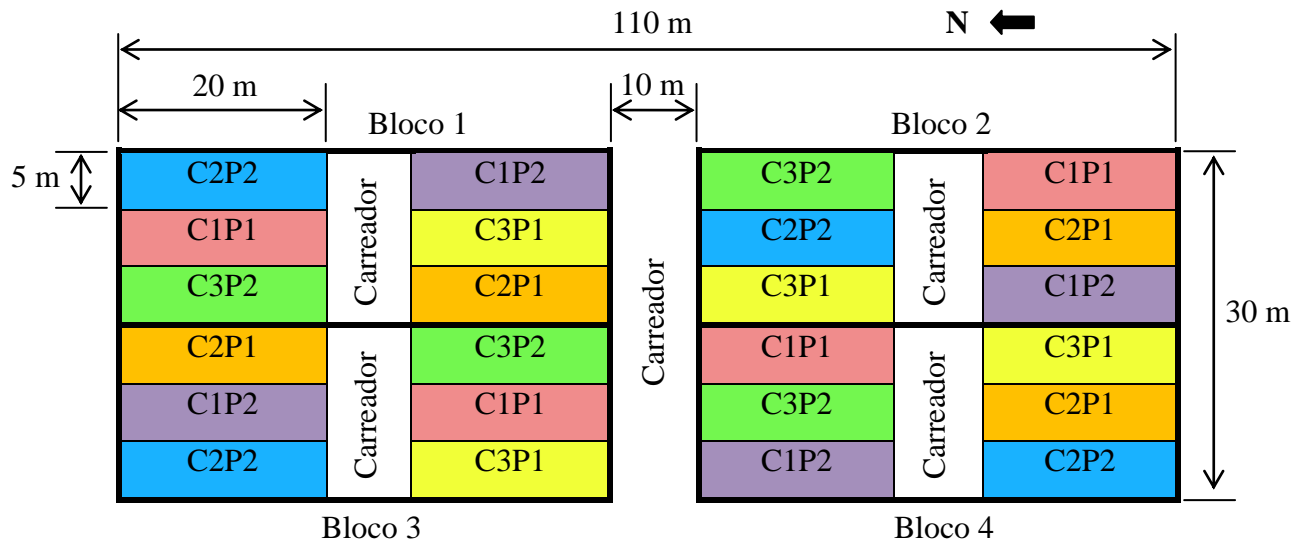
Fonte: Elaborado pelo autor.

### 4.3 Delineamento experimental

O delineamento experimental escolhido foi o de blocos ao acaso, em esquema fatorial 2x3, com quatro repetições, sendo aplicados dois preparos do solo, 1 aração + 1 gradagem e escarificação, na profundidade de trabalho de 0-0,30 m, associados a três cargas verticais no depósito de fertilizantes, 50 % (75 kg), 80 % (120 kg) e 100 % (150 kg), totalizando seis tratamentos, sendo esta massa de carga obtida do somatório dos três depósitos de adubos da semeadora, configurada com 3 linhas, por ocasião da semeadura do milho (*Zea mays* L.). Foi utilizado um fertilizante de formulação 06-24-12 (NPK) com 7,2 % Ca e 3,0 % S, em mistura de grânulos.

A parcela experimental foi de 100 m<sup>2</sup>, constituídas de três linhas de milho, espaçadas em 0,80 m e com 20 m de comprimento, com carregadores de 10 m para as manobras das máquinas e implementos (FIGURA 1).

Figura 1 – Esquema das parcelas experimentais.



Legenda:

P1 – preparo com arado e grade; P2 – preparo com escarificador;

C1 – carga de 100 % (150 kg); C2 – carga de 80 % (120 kg); C3 – carga de 50 % (75 kg).

Fonte: elaborado pelo autor.

#### 4.4 Equipamentos agrícolas

Para o processo de aração, foi utilizado arado de disco fixo, montado, com três discos lisos de 24'', acoplado ao trator 4x2 TDA, modelo VALTRA A950, conforme Figura 2, com potência máxima de 70,6 kW (96 cv) no motor, na rotação de 2300 rpm, apresentando massa de 5.280 kg distribuídos com 40 % na dianteira e 60 % na traseira, pneus dianteiros com pressão de inflação de 110 kPa (16 psi), e pneus traseiros com pressão de inflação de 124 kPa (18 psi), conforme recomendação do fabricante.

Figura 2 – Arado de disco fixo, acoplado ao trator 4x2 TDA, modelo VALTRA A950.



Fonte: elaborado pelo autor.

Foi utilizada a grade leve de arrasto da marca MARCHESAN, modelo GN, Off-Set, com 28 discos de 20”, pesando 836 kg, utilizada após o processo de aração para destorroamento e nivelamento do solo, acoplado ao trator 4x2 TDA, modelo VALTRA BM125i, conforme Figura 3, com potência máxima de 91,9 kW (125 cv) no motor, na rotação de 2300 rpm, apresentando massa de 6.250 kg, distribuídos com 35 % na dianteira e 65 % na traseira, pneus dianteiros com pressão de inflação de 110 kPa (16 psi), e pneus traseiros com pressão de inflação de 124 kPa (18 psi), conforme recomendação do fabricante.



Figura 3 – Grade MARCHESAN, modelo GN, Off-Set, acoplado ao trator 4x2 TDA, modelo VALTRA BM125i.



Fonte: elaborado pelo autor.

Foi utilizado o escarificador da marca MARCHESAN, modelo AST/MATIC 450, configurado com cinco hastes e ponteira estreita com rolo destorroador, acoplado ao trator 4x2 TDA, modelo VALTRA BM125i, conforme Figura 4, com potência máxima de 91,9 kW (125 cv) no motor, na rotação de 2300 rpm, apresentando massa de 6.875 kg, distribuídos 35 % na dianteira e 65 % na traseira, pneus dianteiros com pressão de inflação de 110 kPa (16 psi), e pneus traseiros com pressão de inflação de 124 kPa (18 psi), conforme recomendação do fabricante.

Figura 4 – Escarificador MARCHESAN, modelo AST/MATIC 450, acoplado ao trator 4x2 TDA, modelo VALTRA BM125i.



Fonte: elaborado pelo autor.

Para a semeadura do milho (*Zea mays* L.), utilizou-se a semeadora pneumática de precisão da marca Jumil, modelo JM2090 PD, com três linhas espaçadas de 0,80 m, acoplado ao trator 4x2 TDA, modelo VALTRA BM120, conforme Figura 5, com potência máxima de 88,32 kW (120 cv) no motor, na rotação de 1.900 rpm, apresentando massa de 6.600 kg, distribuídos 40% na dianteira e 60% na traseira, pneus dianteiros com pressão de inflação de 110 kPa (16 psi), e pneus traseiros com pressão de inflação de 124 kPa (18 psi), conforme recomendação do fabricante.

Figura 5 – Semeadora adubadora Jumil, modelo JM2090 PD, acoplada ao trator 4x2 TDA, modelo VALTRA BM120.



Fonte: elaborado pelo autor.

A Figura 6 mostra as diferentes cargas utilizadas no depósito de fertilizantes da semeadora.

Figura 6 – Variação da carga no depósito de fertilizantes da semeadora.



Carga de 100 % (3 x 50 kg)

Carga de 80 % (3 x 40 kg)

Carga de 50 % (3 x 25 kg)

Fonte: elaborado pelo autor.

#### 4.5 Métodos de avaliação

Foram avaliados os atributos físicos do solo de macroporosidade, microporosidade, porosidade total e densidade, determinados por meio da coleta de monólitos indeformados após os preparos e semeadura, por meio de anéis de dimensões 5,0 x 4,3 cm retirados com amostradores Uhland adaptados, conforme Figura 7, nas camadas de 0-0,10; 0,10-0,20 e 0,20-0,30 m, segundo metodologia da Embrapa (1997). Esta metodologia foi aplicada para coleta de monólitos indeformados antes dos preparos e semeadura, para servir de testemunha, com a obtenção dos parâmetros de macroporosidade, microporosidade e porosidade total. A área útil (2,5 m<sup>2</sup>), avaliada para determinação dos atributos físicos do solo, foi formada pelos quatro metros centrais, desprezando os oito metros das extremidades das bordaduras.



Figura 7 – Coleta das amostras de monólitos indeformados.



Fonte: elaborado pelo autor.

Para as determinações da densidade, macroporosidade e microporosidade utilizou-se o método da mesa de tensão (EMBRAPA, 1997), conforme Figura 8.

Figura 8 – Mesa de tensão.



Fonte: elaborado pelo autor.

A porosidade total foi obtida pela soma dos valores de macroporosidade e microporosidade do solo. Os dados foram submetidos à análise de variância pela estatística F, sendo as médias comparadas pelo teste de Tukey, a 10 % de significância, utilizando-se o *Software* SISVAR, versão 5.3.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A tabela 2 demonstra os resultados médios para os parâmetros de macroporosidade, microporosidade e porosidade total, obtidos antes dos preparos e semeadura.

Tabela 2 – Valores médios de macroporosidade, microporosidade e porosidade total do solo, avaliados nas camadas de 0-0,10, 0,10-0,20 e 0,20-0,30 m, obtidos antes dos preparos e semeadura.

Parâmetros	Profundidade (m)		
	0,0 - 0,10	0,10 - 0,20	0,20 - 0,30
Macroporosidade ( $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ )	0,131	0,113	0,096
Microporosidade ( $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ )	0,170	0,183	0,194
Porosidade Total ( $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ )	0,301	0,296	0,290

Fonte: elaborado pelo autor.

Os resultados da análise de variância (ANOVA) dos parâmetros avaliados são demonstrados no Apêndice A, e as estatísticas descritivas básicas no Apêndice B.

A Tabela 3 demonstra os resultados médios para os valores de macroporosidade do solo, obtidos após os preparos e semeadura.

Tabela 3 – Valores médios de macroporosidade ( $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ ) do solo, avaliados nas camadas de 0-0,10, 0,10-0,20 e 0,20-0,30 m, em função do preparo do solo associado às cargas verticais no depósito de fertilizante da semeadora, após os preparos e semeadura.

Causas de Variação		Profundidade (m)		
		0 - 0,10	0,10 - 0,20	0,20 - 0,30
Preparo (P)	Arado + Grade	0,066 a	0,059 a	0,056
	Escarificador	0,040 b	0,035 b	0,038
Carga (C)	C1	0,061	0,052	0,061
	C2	0,051	0,047	0,042
	C3	0,047	0,042	0,039
CV (%)		59,54	66,45	61,96

C1 – 100 % (150 kg); C2 – 80 % (120 kg); C3 – 50 % (75 kg); CV – coeficiente de variação. Médias seguidas de mesma letra e sem letras nas colunas não diferem entre si pelo teste de Tukey para um nível de 10 % de significância. Fonte: elaborado pelo autor.

Verificou-se que, no perfil de 0-0,20 m, os valores médios de macroporosidade do preparo com arado e grade foram superiores ao preparo com escarificador. Não houve diferença significativa entre as cargas, no perfil de 0-0,30 m, e entre os preparos, no perfil de 0,20-0,30 m.

Uma das funções do preparo com arado e grade é o rompimento das camadas compactadas do solo (ROSSETTO; SANTIAGO, 2007, SILVA *et al.*, 2011; REICHERT *et al.*, 2009; SAFFI-HDADI *et al.*, 2009). A inversão de leivas, através dos órgãos ativos do arado, e posterior destorroamento e nivelamento, proporcionados pela passagem da grade, podem ter atuado de modo mais intensivo no aumento dos espaços porosos do solo, contribuindo para obtenção de maiores valores de macroporosidade. Esses resultados corroboram com os obtidos por Mello Ivo e Mielniczuk (1999), ao estudarem o solo Podzólico Vermelho-Escuro. Segundo esses autores, o preparo convencional (aração e gradagens) obteve os maiores valores de macroporosidade, comparado ao preparo escarificador e plantio direto, após cinco anos de utilização. Os mesmos afirmam que isto ocorreu devido à quebra do perfil compactado pelo arado e grade, devido à fraqueza entre os agregados.

De acordo com Stolf *et al.* (2011), diversos estudos indicam o valor de 10 % (0,10 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>) de macroporosidade como um limite crítico de aeração do solo. Observou-se que os valores obtidos de macroporosidade pelas amostras testemunhas (TABELA 2) se demonstraram favoráveis à qualidade física do solo. No entanto, os resultados obtidos, após os preparos, quanto ao parâmetro de macroporosidade, não se demonstraram favoráveis à qualidade física do solo, nos tipos de preparos e cargas verticais, nas condições deste experimento. Isto pode ser explicado pela ação desagregadora dos órgãos ativos dos implementos aplicados no perfil, conforme SANTOS *et al.* (2008), e à fraca estrutura do solo. Oliveira *et al.* (2013) relataram que o efeito imediato de baixos valores de macroporosidade é a degradação do solo e aumento da densidade, resultando em menor infiltração e drenagem de água no solo. Segundo Kiehl (1979 *apud* MÜLLER, 2011), um solo ideal deve possuir espaço poroso total de 50%, sendo que aproximadamente 33% devem ser relativos aos macroporos e o restante ocupado por microporos.

Para o parâmetro de macroporosidade, o CV foi classificado como muito alto nas três camadas, segundo Gomes (1990 *apud* CARGNELUTTI FILHO; STORCK, 2007). De acordo com este autor, há necessidade de se considerar na avaliação do coeficiente de variação não só a variável em estudo, mas também o tipo de experimento instalado, além do número de repetições, entre outros fatores. Neste experimento, foi verificado que os dados obtidos do CV no parâmetro de macroporosidade são compatíveis com a literatura, corroborando com

os resultados obtidos por Chioderoli *et al.* (2012), Basso *et al.* (2011) e Souza *et al.* (2004a). Isto pode ser explicado pela elevada variabilidade da configuração espacial dos macroporos (CAMARA; KLEIN, 2005), que pode ser gerada por condições climáticas e o efeito irregular das hastes do escarificador sobre o perfil do solo, segundo Basso *et al.* (2011).

A Tabela 4 demonstra os resultados médios para os valores de microporosidade do solo, obtidos após os preparos e semeadura.

Tabela 4 – Valores médios de microporosidade ( $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ ) do solo, avaliados nas camadas de 0-0,10, 0,10-0,20 e 0,20-0,30 m, em função do preparo do solo associado às cargas verticais no depósito de fertilizante da semeadora, após os preparos e semeadura.

Causas de Variação		Profundidade (m)		
		0 – 0,10	0,10 – 0,20	0,20 – 0,30
Preparo (P)	Arado + Grade	0,262 a	0,265 a	0,259
	Escarificador	0,240 b	0,231 b	0,240
Carga (C)	C1	0,250	0,245	0,251
	C2	0,256	0,250	0,248
	C3	0,246	0,249	0,250
CV (%)		8,09	9,58	11,24

C1 – 100 % (150 kg); C2 – 80 % (120 kg); C3 – 50 % (75 kg); CV – coeficiente de variação. Médias seguidas de mesma letra e sem letras nas colunas não diferem entre si pelo teste de Tukey para um nível de 10 % de significância. Fonte: elaborado pelo autor.

Verificou-se que, no perfil de 0-0,20 m, os valores médios de microporosidade do preparo com escarificador foram superiores ao preparo com arado e grade. Este resultado pode ser explicado pelo maior rompimento dos agregados do solo (TABELA 3) pelo preparo com arado e grade, dando origem ao maior percentual de microporos na sua estrutura. Não houve diferença significativa entre as cargas, no perfil de 0-0,30 m, e entre os preparos, no perfil de 0,20-0,30 m.

A elevação da microporosidade pode resultar na compactação do solo (JIMENEZ *et al.*, 2008), sendo um fator limitante para a penetração das raízes e ao pleno desenvolvimento das plantas. Verificou-se que os valores de microporosidade das amostras coletadas após os preparos foram superiores às amostras testemunhas (TABELA 2). Isto pode ser explicado pela ação desagregadora dos órgãos ativos dos implementos aplicados no perfil, conforme SANTOS *et al.* (2008), e à fraca estrutura do solo. A obtenção de maiores valores médios dos parâmetros de macroporosidade e microporosidade pelo preparo com arado e grade pode ter

ocorrido devido à natureza dos órgãos ativos dos implementos utilizados, por meio da inversão da leiva e destorroamento, enquanto que as hastes do escarificador atuaram de modo desuniforme sobre o perfil do solo (BASSO *et al.*, 2011), resultando em menor pulverização dos agregados do solo.

Nos parâmetros de macro e microporosidade, no perfil de 0,20-0,30 m, a diferença não significativa entre os dois tipos de preparos pode ser explicada devido à maior densidade do solo nesta camada (TABELA 1), demonstrando-se com maior poder de cimentação entre as partículas e resistência ao trabalho dos órgãos ativos do arado e grade nesta profundidade, reduzindo a formação de grandes espaços porosos e, por consequência, mantendo os valores de microporosidade elevados. Lanças (2002) afirma que a utilização de máquinas tais como o arado e grade, resolve o problema da compactação do solo nas camadas superficiais; porém, na maioria dos casos, a transfere para camadas mais profundas, dando origem a camadas compactadas subsuperficiais.

Para a microporosidade, os valores do CV foram considerados baixos no perfil de 0-0,20 m, e médios no perfil de 0,20-0,30 m, com CV variando de 8,09 a 11,24 %, corroborando com os dados obtidos por Carvalho, Soratto e Freddi (2002), Souza *et al.* (2004a) e Basso *et al.* (2011), que encontraram valores entre 4,25 e 8,70 %.

A Tabela 5 demonstra os resultados médios para os valores de porosidade total do solo, obtidos após os preparos e semeadura.

Tabela 5 – Valores médios de porosidade total ( $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ ) do solo, avaliados nas camadas de 0-0,10, 0,10-0,20 e 0,20-0,30 m, em função do preparo do solo associado às cargas verticais no depósito de fertilizante da semeadora, após os preparos e semeadura.

Causas de Variação		Profundidade (m)		
		0 – 0,10	0,10 – 0,20	0,20 – 0,30
Preparo (P)	Arado + Grade	0,328 a	0,324 a	0,315 a
	Escarificador	0,279 b	0,265 b	0,278 b
Carga (C)	C1	0,311	0,297	0,312
	C2	0,307	0,296	0,289
	C3	0,292	0,291	0,289
CV (%)		9,65	8,29	7,79

C1 – 100 % (150 kg); C2 – 80 % (120 kg); C3 – 50 % (75 kg); CV – coeficiente de variação. Médias seguidas de mesma letra e sem letras nas colunas não diferem entre si pelo teste de Tukey para um nível de 10 % de significância. Fonte: elaborado pelo autor.



Verificou-se que, no perfil de 0-0,30 m, os valores médios de porosidade total do preparo com arado e grade foram superiores ao preparo com escarificador. Não houve diferença significativa entre as cargas, no perfil de 0-0,30 m.

A soma da macroporosidade com a microporosidade resulta na porosidade total do solo (SILVA, 2010; MICHELON, 2010). Os maiores valores de porosidade total do preparo com arado e grade podem ser explicados pelos valores superiores obtidos de macroporosidade (TABELA 3) e microporosidade (TABELA 4) do preparo com arado e grade em relação ao preparo com escarificador. Estes resultados corroboram com os obtidos por Greco *et al.* (2012), os quais concluíram que o sistema de manejo convencional apresentou maior macroporosidade e porosidade total do solo do que em sistemas conservacionistas, devido ao revolvimento do solo durante seu preparo.

Lanças (2002) considera que o percentual de macroporos é um método preciso de determinação da compactação do solo, enquanto que Stolf (1987) demonstrou que este é o melhor método de indicação do grau de compactação do solo. Apesar dos melhores resultados de macroporosidade, no preparo com arado e grade, isto não significou a melhoria da qualidade física do solo, uma vez que estes valores, demonstrados na Tabela 3, ficaram muito abaixo do valor crítico para a aeração e penetração das raízes (STOLF *et al.*, 2011), e podem ser prejudiciais ao desenvolvimento das culturas.

A porosidade total apresentou baixa variabilidade, com CV entre 7,79 e 9,65 %, classificados como baixos nas três profundidades, corroborando com os dados obtidos por Carvalho *et al.* (2002), Souza *et al.* (2004a), Basso *et al.* (2011) e Chioderoli *et al.* (2012), os quais variaram entre 4,12 e 8,41%.

A Tabela 6 demonstra os resultados médios para os valores de densidade do solo, obtidos após os preparos e semeadura.

Tabela 6 – Valores médios de densidade ( $\text{kg dm}^{-3}$ ) do solo, avaliados nas camadas de 0-0,10, 0,10-0,20 e 0,20-0,30 m, em função do preparo do solo associado às cargas verticais no depósito de fertilizante da semeadora, após os preparos e semeadura.

Causas de Variação		Profundidade (m)		
		0 – 0,10	0,10 – 0,20	0,20 – 0,30
Preparo (P)	Arado + Grade	1,691	1,693 b	1,700 b
	Escarificador	1,721	1,743 a	1,745 a
Carga (C)	C1	1,687	1,696	1,689 b
	C2	1,685	1,710	1,715 ab
	C3	1,746	1,749	1,763 a
CV (%)		4,30	3,38	3,63

C1 – 100 % (150 kg); C2 – 80 % (120 kg); C3 – 50 % (75 kg); CV – coeficiente de variação. Médias seguidas de mesma letra e sem letras nas colunas não diferem entre si pelo teste de Tukey para um nível de 10 % de significância. Fonte: elaborado pelo autor.

Foi observado que, no perfil de 0,10-0,30 m, o preparo com arado e grade demonstrou valores médios inferiores de densidade quando comparado ao preparo com escarificador. No perfil de 0,20-0,30 m, as cargas de 100 e 80 % demonstraram menores valores médios de densidade do que a carga de 50 %, enquanto que as cargas de 80 e 50 % não diferiram entre si. Não houve diferença significativa entre as cargas, no perfil de 0-0,20 m, e entre os tipos de preparos no perfil de 0-0,10 m.

A densidade e o percentual de macroporos são considerados métodos analíticos precisos para determinação da compactação do solo (LANÇAS, 2002). Os resultados de menor densidade obtidos do preparo com arado e grade, de 0,10-0,30 m, podem ser explicados em razão dos valores superiores obtidos de macroporosidade, demonstrados na Tabela 3. Mazurana *et al.* (2011) constataram menor densidade nos sistemas de preparo com maior mobilização do solo, em solo de textura franco-argiloarenosa. Gonçalves *et al.* (2013) concluíram que o preparo com grade aradora resultou em menor densidade do que o preparo com escarificador, comparados pelo método do anel volumétrico, em solo de textura argilosa. De acordo com Abreu, Reichert e Reinert (2004), a presença de maiores valores de densidade do solo no preparo escarificador está relacionada com a reconsolidação do solo entre o período da realização do preparo do solo e a amostragem.

No parâmetro de densidade, no perfil de 0-0,10 m, não houve diferença significativa entre os tipos de preparos. Isto pode ser explicado pela ação do rolo destorroador e a desagregação mais abrangente causada pelo escarificador na superfície do que nas camadas sub-

superficiais. Lanças (2002) afirma que o escarificador tem o princípio de rompimento do solo pelas suas linhas de fraturas naturais, por meio das interfaces dos seus agregados; as hastes são cravadas no solo e provocam o seu rompimento para frente, para cima e para os lados.

Corrêa *et al.* (2009) afirmaram que os impactos das práticas de manejo sobre as propriedades físicas dos solos são mais acentuados em solos arenosos do que em solos argilosos. Sá e Junior (2005 *apud* SANCHEZ, 2012) relataram que, em solos arenosos, os valores de densidade naturalmente são mais elevados do que em solos argilosos. Como exemplo, citam a densidade de  $1,5 \text{ g cm}^{-3}$ , no qual em solo argiloso pode significar um elevado grau de compactação, enquanto que em um solo arenoso não significa este problema. Para um mesmo valor de densidade, o solo argiloso pode estar muito compactado, enquanto para outro tipo de solo com textura mais arenosa esse valor pode indicar solo solto (BEUTLER *et al.*, 2008). Reinert *et al.* (2001) consideram o valor crítico de  $1,65 \text{ g cm}^{-3}$  para solos com teor de argila menor que 20 %. Deste modo, considerando que o solo avaliado possui textura franco-arenosa (TABELA 2), com percentagem de argila variando entre 11,8 e 14,6 %, os valores médios de densidade obtidos, conforme Tabela 6, indicam que há compactação neste solo.

Niero *et al.* (2010) e Oliveira *et al.* (2012), analisando um Latossolo Vermelho, observaram que houve relação entre o maior grau de umidade e a elevação do nível de compactação do solo. Sendo assim, o total pluviométrico no período deste ensaio pode ter influenciado no aumento do nível de compactação deste solo, conforme Nicoloso *et al.* (2008).

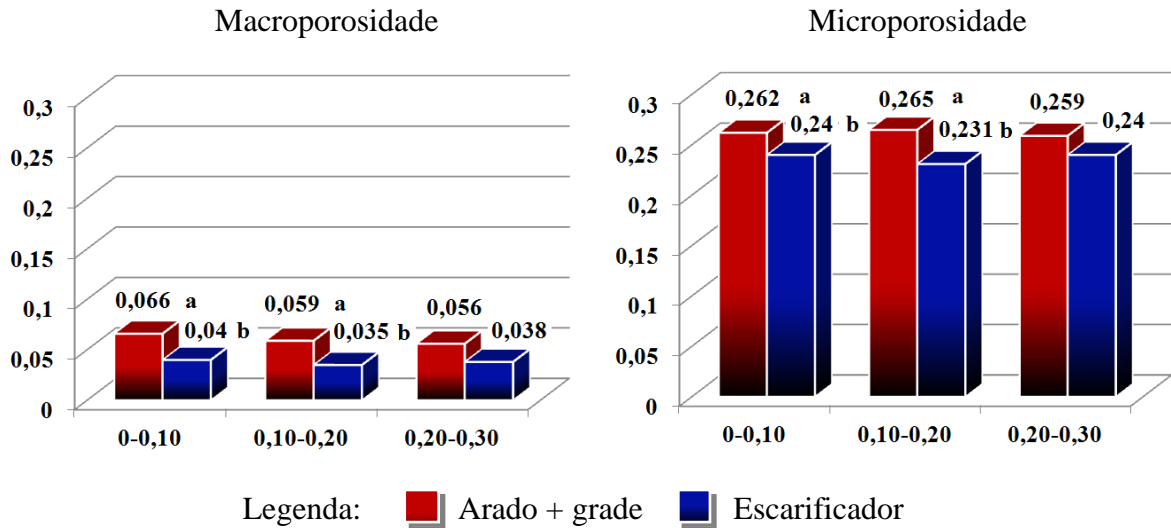
Os valores de densidade do solo apresentaram baixa variabilidade, com CV entre 3,38 e 4,30 % nas três profundidades, corroborando na mesma ordem de grandeza que aqueles observados por Souza *et al.* (2001; 2004a, 2004b), Carvalho *et al.* (2002), Basso *et al.* (2011) e Chioderoli *et al.* (2012), os quais variaram entre 4,21 e 9,07 %.

A ausência de diferença significativa entre os três níveis percentuais no depósito de fertilizantes da semeadora, quanto aos parâmetros de macroporosidade, microporosidade e porosidade total do solo, no perfil de 0-0,30 m, e de densidade, no perfil de 0-0,20 m, pode ser explicada pelo modo de acoplamento da semeadora ao trator, à presença de rodas limitadoras de profundidade na semeadora e ao fato de que as cargas aplicadas sobre o depósito de fertilizantes foram consideradas insignificantes comparadas ao peso da semeadora. No entanto, no parâmetro de densidade, no perfil de 0,20-0,30 m, as cargas de 100 e 80 % demonstraram menores valores médios do que a carga de 50 %, enquanto que as cargas de 80 e 50 % não diferiram entre si. Silva *et al.* (2012) afirmam que, para todas as coberturas vegetais estudadas, as maiores cargas verticais aplicadas sobre a semeadora resultaram em aumento da penetração dos discos. Os mesmos autores afirmam que os discos lisos obtiveram maiores valores

de profundidade que os discos ondulados. Grotta *et al.* (2007) verificaram que a área mobilizada foi proporcional à profundidade das hastes sulcadoras da semeadora. Deste modo, as maiores cargas verticais no depósito de fertilizantes da semeadora podem ter aumentado a área de contato dos discos com o solo mobilizado, reduzindo a pressão exercida pelo peso da semeadora sobre a superfície de contato, resultando em menores valores de densidade, transferida para a profundidade de 0,20-0,30 m. Novos estudos são necessários para verificar a influência dos tipos de preparos e de diferentes cargas no depósito de fertilizantes sobre o desenvolvimento das culturas.

Conforme Stolf (1987), o parâmetro de macroporosidade pode ser considerado melhor indicador de compactação do solo do que a densidade. Jimenez *et al.* (2008) afirmam que solos compactados possuem número de microporos em maior quantidade, ao passo que o número de macroporos é reduzido, também associado com maior densidade do perfil. Isto foi verificado no atual experimento, sendo que ambos os tipos de preparos apresentaram valores percentuais absolutos de microporosidade elevados e de macroporosidade reduzidos, conforme demonstrado na Figura 9.

Figura 9 – Parâmetros de macro e microporosidade ( $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ ), avaliados nas camadas de 0-0,10; 0,10-0,20 e 0,20-0,30 m, entre os dois tipos de preparo do solo.



Fonte: elaborado pelo autor.

Os resultados obtidos no presente trabalho corroboram com os obtidos por Silva *et al.* (2008), os quais concluíram que, na fase inicial do estabelecimento da cultura da mandioca, o plantio convencional (aração e gradagens) resultou em menor densidade, maior macroporosidade e porosidade total do solo, em comparação ao plantio direto, em solo Argiloso vermelho, de textura arenosa.

Para evitar maiores problemas decorrentes do uso excessivo de práticas mecanizadas, poderiam ser recomendadas atividades conservacionistas para a recomposição da estrutura deste solo. Braida *et al.* (2010) afirmam que a susceptibilidade à compactação pode ser alterada pelo acúmulo de matéria orgânica. Stefanoski *et al.* (2013) recomendam que, em solos degradados, os indicadores de qualidade física do solo evidenciam a necessidade da adoção de sistemas que favorecem a estruturação do solo, como aqueles que elevam os teores de matéria orgânica. No entanto, deve-se ressaltar a possibilidade de elevada complexidade de execução no processo de recuperação do solo com elevados custos de realização (LANÇAS, 2002).

## 6 CONCLUSÕES

- Ambos os preparos reduziram a qualidade física do solo;
- O preparo com arado e grade proporcionou melhores resultados acerca da qualidade física do solo comparado ao preparo com escarificador;
- Não houve diferença estatística entre as cargas nos parâmetros avaliados de porosidade.

## REFERÊNCIAS

- ABREU, S. L.; REICHERT, J. M.; REINERT, D. J. Escarificação mecânica e biológica para a redução da compactação em Argissolo franco-arenoso sob plantio direto. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, Viçosa, v.28, p.519-53. 2004.
- ALBIERO, Daniel et al. Dimensional analysis of soil properties after treatment with the rotary paraplow, a new conservationist tillage tool. **Spanish Journal of Agricultural Research**, v. 9, n. 3, p. 693-701, 2011a.
- ALBIERO, Daniel; DA SILVA-MACIEL, Antonio J.; TUNUSSI, Renan D. Características del suelo en respuesta al uso de la herramienta de labranza conservacionista Paraplow Rotatorio. **Agrociencia**, v. 45, n. 2, p. 147-156, 2011b.
- ALMEIDA, M.C. **Mineralogia de solos e sua relação com a fertilidade natural na transição mata-agreste norte do Estado de Pernambuco**. 2013. 125 f. Tese (Doutorado em Ciências do Solo) – Universidade Rural de Pernambuco, Recife, 2013.
- AGUIAR, M. I. **Qualidade física do solo em sistemas agroflorestais**. Viçosa: UFV, 2008. 91p. Dissertação Mestrado.
- ASSIS, R. L. et al. Avaliação da resistência do solo à penetração em diferentes solos com a variação do teor de água. **Engenharia Agrícola**, v.29, n.4, p.558-568, 2009.
- BASSO, F. C. et al. Correlação linear e espacial entre a produtividade e o teor de proteína bruta do guandu anão e os atributos de um Latossolo. **Brazilian Journal of Agricultural Sciences/Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 6, n. 3, 2011.
- BEUTLER, A. N. et al. Soil compaction by machine traffic and least limiting water range related to soybean yield. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.43, p.1591-1600, 2008.
- BORGES, A. L.; FANCELLI, M.; CORDEIRO, Z. J. M. **Sistema orgânico de produção para bananeira**. Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2010.
- BOTTEGA, E. L. et al. Variabilidade espacial da resistência do solo à penetração em um Latossolo Vermelho distroférico. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.6, n.2, p.331-336, 2011.
- BRAIDA, J. A. et al. Teor de carbono orgânico e a susceptibilidade à compactação de um Nitossolo e Argissolo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.14, p.131-139, 2010.
- BRITO, A. S. **Variabilidade espacial da condutividade hidráulica e da permeabilidade ao ar em função dos conteúdos de água e ar no solo**. 2010. 143 f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2010.

- CARNEIRO, M. A. C. et al. Atributos físicos, químicos e biológicos de solo de cerrado sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 33, n.1, p. 147-157, 2009.
- CAMARA, R. K.; KLEIN, V. A. Escarificação em plantio direto como técnica de conservação do solo e da água. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.29, n.5, p.789-96, 2005.
- CARGNELUTTI FILHO, A.; STORCK, L. Estatísticas de avaliação da precisão experimental em ensaios de cultivares de milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, n. 01, p. 17-24, 2007.
- CARVALHO, M. P.; SORATTO, R. P., FREDDI, O. S. Variabilidade espacial dos atributos físicos em um Latossolo Vermelho Distroférrico sob preparo convencional em Selvíria (MS). **Acta Scientiarum Agronomy**, v.24, n.1, p.1353-1361, 2002.
- CHIODEROLI, C. A. et al. Atributos físicos do solo e produtividade de soja em sistema de consórcio milho e braquiária. **R. Bras. Eng. Agríc. Amb**, v. 16, p. 37-43, 2012.
- COELHO, H. et al. Deslizamento de rodados de tratores de pneus em diferentes operações agrícolas. **Revista Ceres**, Viçosa, MG, v.59, n.3, p.330-336, maio/jun. 2012.
- CORRÊA, R. M. et al. Atributos químicos de solos sob diferentes usos em perímetro irrigado no semiárido de Pernambuco. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.33, n.2, p.305-314, 2009.
- CRUZ, J. C. et al. **Cultivo do milho**: Sistema de plantio direto. Sete Lagoas: Embrapa-CNPMS, 2002.
- DERPSCH, R.; SIDIRAS, N.; ROTH, C. H. Results of studies made from 1977 to 1984 to control erosion by cover crops and tillage techniques in Paraná, Brazil. **Soil Tillage Research**, v.8, p.253-263, 1986.
- EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. Brasília: Embrapa-CNPS, 1997. 212 p.
- EMBRAPA, Centro Nacional de Pesquisa de Solo (Rio de Janeiro, RJ). **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Rio de Janeiro, 1999, 412p.
- FALCÃO, J. V. et al. Qualidade do solo cultivado com morangueiro sob manejo convencional e orgânico. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 43, n. 4, p. 450-459, out./dez. 2013.
- FURLANI, C. E. A. et al. Avaliação do desempenho de uma semeadora-adubadora em função da velocidade de deslocamento e carga no depósito de fertilizante. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v. 14, n. 4, p.268-275, out./dez. 2006.
- GABRIEL FILHO, A. et al. Desempenho de trator agrícola em três superfícies de solo e quatro velocidades de deslocamento. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.14, n.3, p.333-339, 2010.



- GABRIEL FILHO, A. et al. Preparo convencional e cultivo mínimo do solo na cultura de mandioca em condições de adubação verde com ervilhaca e aveia preta. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.30, n.6, p.953-957, 2000.
- GONÇALVES, F. C. et al. Métodos de determinação da densidade do solo em diferentes sistemas de manejo. **Energia na Agricultura**, v. 28, n. 3, p. 165-169, 2013.
- GRECO, A. M. F. et al. Influência do manejo nas propriedades físicas do solo. **Anais do Salião Internacional de Ensino, Pesquisa e Extensão**, v. 4, n. 2, 2012.
- GROTTA, D. C. et al. Cultura da soja em função da profundidade de semeadura e da carga vertical sobre a fileira de semeadura. **Engenharia Agrícola**, v. 27, 2007.
- GUARIZ, Hugo Roldi. Variação da umidade e da densidade do solo sob diferentes coberturas vegetais. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 14., 2009, Natal. **Anais...** [S.l.]: INPE, 2009. p.7709-7716.
- JIMENEZ, R. L. et al. Crescimento de plantas de cobertura sob diferentes níveis de compactação em um latossolo vermelho. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.12, n.2. p.116-121, 2008.
- KELLER, T.; LAMANDÉ, M. Challenges in the development of analytical soil compaction models. **Soil and Tillage Research**, v.111, n.1, p.54-64, 2010.
- KOCHHANN, R. A.; DENARDIN, J. E. Implementação e manejo do sistema plantio direto. Passo Fundo, EMBRAPA-CNPT, 36p. 2000.
- KUNZ, M. et al. Compactação do solo na integração soja-pecuária de leite em Latossolo argiloso com semeadura direta e escarificação. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 37, n.6, p.1699-1708, 2013.
- LANÇAS, K. P. Subsolação ou escarificação. **Cultivar Maquinas**, Set/Out., p.34-37. 2002.
- LLANILLO, R. F. et al. Evolução de propriedades físicas do solo em função dos sistemas de manejo em culturas anuais. **Semina: Ciências Agrárias**, v.27, n.2, p.205-220, 2006.
- MAZURANA, M. et al. Sistemas de preparo de solo: alterações na estrutura do solo e rendimento das culturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, n. 4, p. 1197-1206, 2011.
- MEDEIROS, G. A. et al. Influência do sistema de preparo e manejo de um latossolo vermelho nas suas propriedades físico-hídricas. São Paulo, UNESP. **Geociências**, v. 28, n. 4, p. 453-465, 2009.
- MATIAS, S. S. R. et al. Atributos físicos de um Latossolo Vermelho submetido a diferentes usos. **Revista Ciência Agronômica**, v.40, n.3, p.331-338, 2009.
- MELO, R. P. et al. Qualidade na distribuição de sementes de milho em semeadoras em um solo cearense. **Revista Ciência Agronômica**, v.44, n.1, p.94-101, 2013.

MELLO IVO, W. M. P.; MIELNICZUK, J. Influência da estrutura do solo na distribuição e na morfologia do sistema radicular do milho sob três métodos de preparo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 23, n. 1, p. 135-143, 1999.

MICHELON, C. J. **Pedofunções para retenção de água de solos do Rio Grande do sul irrigados por aspersão**. 2010. 110 f. Tese (Doutorado em Ciências do Solo) – Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2010.

MONTEIRO, Leonardo de Almeida ; Daniel Albiero. **Segurança na operação com máquinas agrícolas**. 1. ed. Fortaleza: Imprensa Universitária. v. 1. 124p. 2013.

MONTEIRO, Leonardo de Almeida ; LANCAS, K. P. ; Guarnetti ; GUERRA, S. P. S. ; PEREIRA, G. C. ; SILVA, P. R. A. **Prevenção de acidentes com tratores agrícolas e florestais**. 1. ed. Botucatu: Editora Diagrama. v. 1. 106p. 2010.

MONTEIRO, Leonardo de Almeida ; SILVA, P. R. A. **Operação com tratores agrícolas**. 1. ed. Botucatu: Edição do Autor. v. 1. 78p. 2009.

MÜLLER, J. **Atributos físicos do solo e produtividade da soja em função de doses de resíduos vegetais e tráfego de máquinas em semeadura direta**. 2011. 71 f. Dissertação (Programa de Pós Graduação em Ciência do Solo) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 2011.

NETTO, I. T. Pignataro; KATO, Eiyti; GOEDERT, Wenceslau J. Atributos físicos e químicos de um Latossolo vermelho-amarelo sob pastagens com diferentes históricos de uso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.33, n.5, p.1441-1448, out. 2009.

NICOLOSO, R. S. et al. Eficiência da escarificação mecânica e biológica na melhoria dos atributos físicos de um latossolo muito argiloso e no incremento do rendimento de soja. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, MG, v.32, n.4, ago. 2008.

NIERO, L. A. C. et al. Avaliações visuais como índice de qualidade do solo e sua validação por análises físicas e químicas em um Latossolo Vermelho distroférico com usos e manejos distintos. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v.34, n.4, p.1271-1282, 2010.

OLIVEIRA, J. G. R. et al. Qualidade física do solo das trilhas do parque estadual do Cerrado-PR. **Semina: Ciências Agrárias**, v.34, n.4, p.1715-1722, 2013.

OLIVEIRA, P. R. et al. Qualidade física de um Latossolo Vermelho cultivado com soja submetido a níveis de compactação e de irrigação. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**. Viçosa, MG, v.36, n.2, abr. 2012.

ORTIZ-CAÑAVATE, J.; HERNANZ, J. L. **Técnica de la mecanización agrária**. Madrid, Ediciones Mundi-Prensa, 1989, 643p.

OTSUBO, A. A. et al. **Produtividade de mandioca cultivada em plantio direto sobre diferentes plantas de cobertura**. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2013. 4 p. (Circular técnica 21).

- PANDOLFI, F. et al. Alterações na porosidade total do solo de um Latossolo Vermelho-Amarelo sob diferentes coberturas vegetais. In: ENCONTRO LATINO AMERICANO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 11., 2007, São José dos Campos, SP. **Anais...** São José dos Campos, SP: Universidade do Vale do Paraíba, 2007. p.3412-3415.
- REICHERT, J. M. et al. Reference bulk density and critical degree-of-compactness for no-till crop production in subtropical highly weathered soils. **Soil and Tillage Research**, v.102, n.2, p.242-254, 2009.
- REINERT, D. J. et al. **Propriedades físicas de solos em sistema plantio direto irrigado**. In: Irrigação por aspersão no Rio Grande do Sul. Carlesso, R. et al. (Ed.). Santa Maria, RS: UFSM, 2001. p.114-133.
- RIBEIRO, I. A. **Compactação do solo pelo uso de maquinários**. 2009. 29 f. (Graduação em Tecnólogo em Cafeicultura) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sul de Minas Gerais, Muzambinho, MG, 2009.
- ROSSETTO, Raffaella; SANTIAGO, Antonio Dias. **Cultivo mínimo**. [2007?]. Disponível em: <[http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-de-acucar/arvore/CONTAG01\\_85\\_22122006154841.html](http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-de-acucar/arvore/CONTAG01_85_22122006154841.html)>. Acesso em: 27 abr. 2014.
- SAFFIH-HDADI, K. et al. A method for predicting soil susceptibility to the compaction of surface layers as a function of water content and bulk density. **Soil and Tillage Research**. v.105, n.1, p.96-103, 2009.
- SANCHEZ, E. **Propriedades físicas do solo e produtividade de soja em sucessão a plantas de cobertura de inverno**. 2012. 48 f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) - Universidade Estadual do Centro-Oeste, Guarapuava, PR, 2012.
- SANTOS, A. P. et al. Desempenho de três semeadoras-adubadoras de plantio direto para a cultura do milho. **Ciência e Agrotecnologia**, v.32, n.2, p.540-546, mar./abr. 2008.
- SANTOS, E. P. et al. Análise operacional de um conjunto trator semeadora em função da velocidade de deslocamento e da carga no depósito de adubo. **21º Simpósio de Iniciação Científica**, 2013. Disponível em: <<https://uspdigital.usp.br/siicusp/cdOnlineTrabalhoVisualizarResumo?numeroInscricaoTrabalho=2747&numeroEdicao=14>> Acesso em: 22 de maio 2014.
- SCHIAVO, J. A.; COLODRO, G. Agregação e resistência à penetração de um Latossolo Vermelho sob sistema de integração lavoura-pecuária. **Bragantia**, Campinas, v.71, n.3, 2012.
- SILVA, A. R. et al. Avaliação da intensidade de tráfego e carga de um forwarder sobre a compactação de um Latossolo Vermelho-Amarelo. **Revista Árvore**, v.35, n.3, p.547-554. 2011.
- SILVA, F. M. F. **Matéria orgânica na cafeicultura**. 2010. 38 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Tecnologia em Cafeicultura) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sul de Minas Gerais, Muzambinho, 2010.

SILVA, P. R. et al. Semeadora-adubadora: Mecanismos de corte de palha e cargas verticais aplicadas. **R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental**, v. 16, n. 12, p. 1367-1373, 2012.

SILVA, R. B. et al. Estimation and evaluation of dynamic properties as indicators of changes on soil structure in sugarcane fields of São Paulo state – Brazil. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v.103, n.2, p.265-270, 2009.

SILVA, R. F. et al. Atributos físicos e teor de matéria orgânica na camada superficial de um argissolo vermelho cultivado com mandioca sob diferentes manejos. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, v. 32, n. 6, p. 2435-2441, 2008.

SILVA, V. R. et al. Densidade do solo, atributos químicos e sistema radicular do milho afetados pelo pastejo e manejo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.24, n.1, p.191-199, 2000.

SILVEIRA, V. H. **Atributos físicos de um argissolo espessarênico com cultivo de citros manejados em sistemas orgânico e convencional**. 2013. 65 f. Dissertação (Mestrado em Ciências do Solo) - Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 2013.

SOUZA, Z. M. et al. Variabilidade espacial de atributos físicos de um Latossolo Vermelho Distroférico sob semeadura direta em Selvíria (MS). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.25, n.3, p.699-707, 2001.

SOUZA, Z. M. et al. Variabilidade espacial de atributos físicos de um Latossolo Vermelho sob cultivo de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.8, n.1, p.51-58, 2004a.

SOUZA, Z. M. et al. Variabilidade espacial de atributos físicos do solo em diferentes formas de relevo sob cultivo de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.28, n.6, p.937-944, 2004b.

STEFANOSKI, D. C. et al. Uso e manejo do solo e seus impactos sobre a qualidade física. **R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental**, v. 17, n. 12, p. 1301-1309, 2013.

STOLF, R. A compactação do solo e perspectivas da subsolagem em citrus. **Laranja**, Cordeirópolis, v.2, n.8, p. 283-308, 1987.

STOLF, R. et al. Method to estimate soil macroporosity and microporosity based on sand content and bulk density. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 35, n.2, p.447-459, 2011.

STUMPF, L. **Atributos físicos e mecânicos de um solo construído em área de mineração de carvão em Candiota-RS, cultivado com diferentes espécies vegetais**. 2011. 124 f. Dissertação (Mestrado em Solos) - Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, RS, 2011.

SUGUINO, E. et al. Efeito da porosidade do substrato casca de pínus no desenvolvimento de mudas de grumixameira. **Revista Brasileira de Fruticultura**, p. 643-648, out. 2011. Volume especial.

VENDRUSCOLO, J. et al. Propriedades físicas de um Latossolo e Argissolo comparados a quatro tipos de solos na Paraíba – **Brasil. Revista Verde**, v.6, n.4, p.204-212, 2011.

## APÊNDICE A – RESULTADOS DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA (ANOVA)

Tabela 7 – Resultados de ANOVA para o parâmetro de macroporosidade, avaliado na camada de 0-0,10 m, em função do preparo do solo associado às cargas verticais no depósito de fertilizantes da semeadora.

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr > Fc
PREPARO	1	0.004020	0.004020	4.051	0.0624
CARGA	2	0.000865	0.000432	0.436	0.6547
PREPARO*CARGA	2	0.000664	0.000332	0.335	0.7207
BLOCO	3	0.004111	0.001370	1.381	0.2868
Erro	15	0.014884	0.000992		

FV – fontes de variação; GL – graus de liberdade; SQ – soma de quadrados; QM – quadrados médios; Fc – Valor de F estatístico calculado. Valores de Pr>Fc iguais ou menores que 0,10 indicam diferença ao nível de significância de 10 %. Fonte: elaborado pelo autor.

Tabela 8 – Resultados de ANOVA para o parâmetro de microporosidade, avaliado na camada de 0-0,10 m, em função do preparo do solo associado às cargas verticais no depósito de fertilizantes da semeadora.

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr > Fc
PREPARO	1	0.002965	0.002965	7.226	0.0169
CARGA	2	0.000437	0.000218	0.532	0.5980
PREPARO*CARGA	2	0.001635	0.000818	1.993	0.1708
BLOCO	3	0.016357	0.005452	13.289	0.0002
Erro	15	0.006154	0.000410		

FV – fontes de variação; GL – graus de liberdade; SQ – soma de quadrados; QM – quadrados médios; Fc – Valor de F estatístico calculado. Valores de Pr>Fc iguais ou menores que 0,10 indicam diferença ao nível de significância de 10 %. Fonte: elaborado pelo autor.

Tabela 9 – Resultados de ANOVA para o parâmetro de porosidade total, avaliado na camada de 0-0,10 m, em função do preparo do solo associado às cargas verticais no depósito de fertilizantes da semeadora.

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr > Fc
PREPARO	1	0.013890	0.013890	16.213	0.0011
CARGA	2	0.001547	0.000774	0.903	0.4263
PREPARO*CARGA	2	0.001139	0.000569	0.664	0.5290
BLOCO	3	0.005257	0.001752	2.045	0.1507
Erro	15	0.012851	0.000857		

FV – fontes de variação; GL – graus de liberdade; SQ – soma de quadrados; QM – quadrados médios; Fc – Valor de F estatístico calculado. Valores de Pr>Fc iguais ou menores que 0,10 indicam diferença ao nível de significância de 10 %. Fonte: elaborado pelo autor.

Tabela 10 – Resultados de ANOVA para o parâmetro de densidade, avaliado na camada de 0-0,10 m, em função do preparo do solo associado às cargas verticais no depósito de fertilizantes da semeadora.

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr > Fc
PREPARO	1	0.005628	0.005628	1.045	0.3228
CARGA	2	0.019172	0.009586	1.780	0.2024
PREPARO*CARGA	2	0.005354	0.002677	0.497	0.6179
BLOCO	3	0.008374	0.002791	0.518	0.6759
Erro	15	0.080763	0.005384		

FV – fontes de variação; GL – graus de liberdade; SQ – soma de quadrados; QM – quadrados médios; Fc – Valor de F estatístico calculado. Valores de Pr>Fc iguais ou menores que 0,10 indicam diferença ao nível de significância de 10 %. Fonte: elaborado pelo autor.

Tabela 11 – Resultados de ANOVA para o parâmetro de macroporosidade, avaliado na camada de 0,10-0,20 m, em função do preparo do solo associado às cargas verticais no depósito de fertilizantes da semeadora.

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr > Fc
PREPARO	1	0.003498	0.003498	3.559	0.0787
CARGA	2	0.000365	0.000183	0.186	0.8324
PREPARO*CARGA	2	0.003862	0.001931	1.964	0.1747
BLOCO	3	0.005214	0.001738	1.768	0.1963
Erro	15	0.014744	0.000983		

FV – fontes de variação; GL – graus de liberdade; SQ – soma de quadrados; QM – quadrados médios; Fc – Valor de F estatístico calculado. Valores de Pr>Fc iguais ou menores que 0,10 indicam diferença ao nível de significância de 10 %. Fonte: elaborado pelo autor.

Tabela 12 – Resultados de ANOVA para o parâmetro de microporosidade, avaliado na camada de 0,10-0,20 m, em função do preparo do solo associado às cargas verticais no depósito de fertilizantes da semeadora.

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr > Fc
PREPARO	1	0.007122	0.007122	12.630	0.0029
CARGA	2	0.000109	0.000055	0.097	0.9083
PREPARO*CARGA	2	0.002546	0.001273	2.258	0.1389
BLOCO	3	0.013542	0.004514	8.005	0.0020
Erro	15	0.008458	0.000564		

FV – fontes de variação; GL – graus de liberdade; SQ – soma de quadrados; QM – quadrados médios; Fc – Valor de F estatístico calculado. Valores de Pr>Fc iguais ou menores que 0,10 indicam diferença ao nível de significância de 10 %. Fonte: elaborado pelo autor.



Tabela 13 – Resultados de ANOVA para o parâmetro de porosidade total, avaliado na camada de 0,10-0,20 m, em função do preparo do solo associado às cargas verticais no depósito de fertilizantes da semeadora.

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr > Fc
PREPARO	1	0.020993	0.020993	35.164	0.0000
CARGA	2	0.000167	0.000083	0.140	0.8706
PREPARO*CARGA	2	0.000451	0.000226	0.378	0.6915
BLOCO	3	0.002417	0.000806	1.350	0.2959
Erro	15	0.008955	0.000597		

FV – fontes de variação; GL – graus de liberdade; SQ – soma de quadrados; QM – quadrados médios; Fc – Valor de F estatístico calculado. Valores de Pr>Fc iguais ou menores que 0,10 indicam diferença ao nível de significância de 10 %. Fonte: elaborado pelo autor.

Tabela 14 – Resultados de ANOVA para o parâmetro de densidade, avaliado na camada de 0,10-0,20 m, em função do preparo do solo associado às cargas verticais no depósito de fertilizantes da semeadora.

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr > Fc
PREPARO	1	0.014925	0.014925	4.429	0.0526
CARGA	2	0.012003	0.006002	1.781	0.2023
PREPARO*CARGA	2	0.011447	0.005724	1.699	0.2163
BLOCO	3	0.009625	0.003208	0.952	0.4405
Erro	15	0.050545	0.003370		

FV – fontes de variação; GL – graus de liberdade; SQ – soma de quadrados; QM – quadrados médios; Fc – Valor de F estatístico calculado. Valores de Pr>Fc iguais ou menores que 0,10 indicam diferença ao nível de significância de 10 %. Fonte: elaborado pelo autor.

Tabela 15 – Resultados de ANOVA para o parâmetro de macroporosidade, avaliado na camada de 0,20-0,30 m, em função do preparo do solo associado às cargas verticais no depósito de fertilizantes da semeadora.

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr > Fc
PREPARO	1	0.001848	0.001848	2.163	0.1620
CARGA	2	0.002277	0.001139	1.333	0.2933
PREPARO*CARGA	2	0.004141	0.002071	2.423	0.1225
BLOCO	3	0.008918	0.002973	3.479	0.0426
Erro	15	0.012816	0.000854		

FV – fontes de variação; GL – graus de liberdade; SQ – soma de quadrados; QM – quadrados médios; Fc – Valor de F estatístico calculado. Valores de Pr>Fc iguais ou menores que 0,10 indicam diferença ao nível de significância de 10 %. Fonte: elaborado pelo autor.

Tabela 16 – Resultados de ANOVA para o parâmetro de microporosidade, avaliado na camada de 0,20-0,30 m, em função do preparo do solo associado às cargas verticais no depósito de fertilizantes da semeadora.

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr > Fc
PREPARO	1	0.002151	0.002151	2.737	0.1188
CARGA	2	0.000044	0.000022	0.028	0.9722
PREPARO*CARGA	2	0.000673	0.000337	0.428	0.6593
BLOCO	3	0.015377	0.005126	6.522	0.0048
Erro	15	0.011789	0.000786		

FV – fontes de variação; GL – graus de liberdade; SQ – soma de quadrados; QM – quadrados médios; Fc – Valor de F estatístico calculado. Valores de Pr>Fc iguais ou menores que 0,10 indicam diferença ao nível de significância de 10 %. Fonte: elaborado pelo autor.

Tabela 17 – Resultados de ANOVA para o parâmetro de porosidade total, avaliado na camada de 0,20-0,30 m, em função do preparo do solo associado às cargas verticais no depósito de fertilizantes da semeadora.

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr > Fc
PREPARO	1	0.007986	0.007986	14.970	0.0015
CARGA	2	0.002723	0.001362	2.552	0.1112
PREPARO*CARGA	2	0.001747	0.000873	1.637	0.2275
BLOCO	3	0.002300	0.000767	1.437	0.2713
Erro	15	0.008002	0.000533		

FV – fontes de variação; GL – graus de liberdade; SQ – soma de quadrados; QM – quadrados médios; Fc – Valor de F estatístico calculado. Valores de Pr>Fc iguais ou menores que 0,10 indicam diferença ao nível de significância de 10 %. Fonte: elaborado pelo autor.

Tabela 18 – Resultados de ANOVA para o parâmetro de densidade, avaliado na camada de 0,20-0,30 m, em função do preparo do solo associado às cargas verticais no depósito de fertilizantes da semeadora.

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr > Fc
PREPARO	1	0.012277	0.012277	3.144	0.0965
CARGA	2	0.022994	0.011497	2.944	0.0835
PREPARO*CARGA	2	0.010864	0.005432	1.391	0.2792
BLOCO	3	0.022555	0.007518	1.925	0.1689
Erro	15	0.058579	0.003905		

FV – fontes de variação; GL – graus de liberdade; SQ – soma de quadrados; QM – quadrados médios; Fc – Valor de F estatístico calculado. Valores de Pr>Fc iguais ou menores que 0,10 indicam diferença ao nível de significância de 10 %. Fonte: elaborado pelo autor.

## APÊNDICE B – ESTATÍSTICAS DESCRITIVAS

Tabela 19 – Estatísticas descritivas básicas para o parâmetro de macroporosidade, avaliado na camada de 0-0,10 m.

Variável analisada: Macroporosidade	
n:	24
média aritmética amostral:	0.052904166667
média harmônica amostral:	0.038762120648
média geométrica amostral:	0.045317325450
variância:	0.001067177130
desvio padrão:	0.032667677140
desvio padrão não viesado:	0.033024584559
coeficiente de variação (em %):	61.748779345922
erro padrão da média:	0.006668261673
soma total:	1.269700000000
soma de quadrados não corrig.:	0.091717494400
soma de quadrados corrigida:	0.024545073983
amplitude total (A ou R):	0.159070000000
mínimo:	0.012670000000
máximo:	0.171740000000
amplitude estudentizada (W):	4.869339173375
Estatísticas da natureza da distribuição	
Coef. de Assimetria - Estimador beta:	1.971885935692
Coef. de Assimetria - Estimador gama:	2.105855888476
Coef. de curtose - Estimador beta:	8.276313889296
Coef. de curtose - Estimador gama:	6.865542178236
Momento de ordem 3 centrado na média:	0.000067296868
Momento de ordem 4 centrado na média:	0.000009032887

Fonte: elaborado pelo autor.

Tabela 20 – Estatísticas descritivas básicas para o parâmetro de microporosidade, avaliado na camada de 0-0,10 m.

Variável analisada: Microporosidade	
n:	24
média aritmética amostral:	0.250507916667
média harmônica amostral:	0.245836496551
média geométrica amostral:	0.248185703266
variância:	0.001197731609
desvio padrão:	0.034608259253
desvio padrão não viesado:	0.034986368307
coeficiente de variação(em %):	13.815235747192
erro padrão da média:	0.007064381338
soma total:	6.012190000000
soma de quadrados não corrig.:	1.533649018500
soma de quadrados corrigida:	0.027547826996
amplitude total (A ou R):	0.122710000000
mínimo:	0.183030000000
máximo:	0.305740000000
amplitude estudentizada (W):	3.545685412935
Estatísticas da natureza da distribuição	
Coef. de Assimetria - Estimador beta:	0.028403805202
Coef. de Assimetria - Estimador gama:	0.030333560049
Coef. de curtose - Estimador beta:	2.179086061600
Coef. de curtose - Estimador gama:	-0.722998949308
Momento de ordem 3 centrado na média:	0.000001152588
Momento de ordem 4 centrado na média:	0.000002995781

Fonte: elaborado pelo autor.

Tabela 21 – Estatísticas descritivas básicas para o parâmetro de porosidade total, avaliado na camada de 0-0,10 m.

Variável analisada: Porosidade Total	
n:	24
média aritmética amostral:	0.303412500000
média harmônica amostral:	0.298823074661
média geométrica amostral:	0.301087113168
variância:	0.001508019846
desvio padrão:	0.038833231203
desvio padrão não viesado:	0.039257499763
coeficiente de variação(em %):	12.798823780440
erro padrão da média:	0.007926800126
soma total:	7.281900000000
soma de quadrados não corrig.:	2.244103940200
soma de quadrados corrigida:	0.034684456450
amplitude total (A ou R):	0.134690000000
mínimo:	0.239500000000
máximo:	0.374190000000
amplitude estudentizada (W):	3.468421139011
Estatísticas da natureza da distribuição	
Coef. de Assimetria - Estimador beta:	0.436179017084
Coef. de Assimetria - Estimador gama:	0.465813024440
Coef. de curtose - Estimador beta:	2.232103941938
Coef. de curtose - Estimador gama:	-0.657013492177
Momento de ordem 3 centrado na média:	0.000025005391
Momento de ordem 4 centrado na média:	0.000004864577

Fonte: elaborado pelo autor.

Tabela 22 – Estatísticas descritivas básicas para o parâmetro de densidade, avaliado na camada de 0-0,10 m.

Variável analisada: Densidade	
n:	24
média aritmética amostral:	1.705900833333
média harmônica amostral:	1.703006510950
média geométrica amostral:	1.704450558403
variância:	0.005186536538
desvio padrão:	0.072017612696
desvio padrão não viesado:	0.072804433877
coeficiente de variação(em %):	4.221676388721
erro padrão da média:	0.014700533633
soma total:	40.941620000000
soma de quadrados não corrig.:	69.961634016400
soma de quadrados corrigida:	0.119290340383
amplitude total (A ou R):	0.298720000000
mínimo:	1.581740000000
máximo:	1.880460000000
amplitude estudentizada (W):	4.147874232678
Estatísticas da natureza da distribuição	
Coef. de Assimetria - Estimador beta:	0.234619952520
Coef. de Assimetria - Estimador gama:	0.250560034749
Coef. de curtose - Estimador beta:	2.864847376182
Coef. de curtose - Estimador gama:	0.130491864296
Momento de ordem 3 centrado na média:	0.000085790540
Momento de ordem 4 centrado na média:	0.000073853821

Fonte: elaborado pelo autor.

Tabela 23 – Estatísticas descritivas básicas para o parâmetro de macroporosidade, avaliado na camada de 0,10-0,20 m.

Variável analisada: Macroporosidade	
n:	24
média aritmética amostral:	0.047178750000
média harmônica amostral:	0.023439774077
média geométrica amostral:	0.036066175730
variância:	0.001203581638
desvio padrão:	0.034692674119
desvio padrão não viesado:	0.035071705439
coeficiente de variação(em %):	73.534534337194
erro padrão da média:	0.007081612450
soma total:	1.132290000000
soma de quadrados não corrig.:	0.081102404500
soma de quadrados corrigida:	0.027682377663
amplitude total (A ou R):	0.168980000000
mínimo:	0.003310000000
máximo:	0.172290000000
amplitude estudentizada (W):	4.870768953188
Estatísticas da natureza da distribuição	
Coef. de Assimetria - Estimador beta:	1.912715871355
Coef. de Assimetria - Estimador gama:	2.042665809298
Coef. de curtose - Estimador beta:	8.080128760513
Coef. de curtose - Estimador gama:	6.621372375097
Momento de ordem 3 centrado na média:	0.000078184757
Momento de ordem 4 centrado na média:	0.000011217239

Fonte: elaborado pelo autor.



Tabela 24 – Estatísticas descritivas básicas para o parâmetro de microporosidade, avaliado na camada de 0,10-0,20 m.

Variável analisada: Microporosidade	
n:	24
média aritmética amostral:	0.247920416667
média harmônica amostral:	0.242745714014
média geométrica amostral:	0.245309473549
variância:	0.001381636056
desvio padrão:	0.037170365297
desvio padrão não viesado:	0.037576466383
coeficiente de variação(em %):	14.992861740530
erro padrão da média:	0.007587369044
soma total:	5.950090000000
soma de quadrados não corrig.:	1.506926421300
soma de quadrados corrigida:	0.031777629296
amplitude total (A ou R):	0.153700000000
mínimo:	0.174220000000
máximo:	0.327920000000
amplitude estudentizada (W):	4.135014514125
Estatísticas da natureza da distribuição	
Coef. de Assimetria - Estimador beta:	0.480795608948
Coef. de Assimetria - Estimador gama:	0.513460868061
Coef. de curtose - Estimador beta:	2.904001854471
Coef. de curtose - Estimador gama:	0.179223087274
Momento de ordem 3 centrado na média:	0.000024171816
Momento de ordem 4 centrado na média:	0.000005312523

Fonte: elaborado pelo autor.

Tabela 25 – Estatísticas descritivas básicas para o parâmetro de porosidade total, avaliado na camada de 0,10-0,20 m.

Variável analisada: Porosidade Total	
n:	24
média aritmética amostral:	0.294823750000
média harmônica amostral:	0.290216442253
média geométrica amostral:	0.292508845949
variância:	0.001434063938
desvio padrão:	0.037869036659
desvio padrão não viesado:	0.038282771009
coeficiente de variação(em %):	12.844635704978
erro padrão da média:	0.007729984739
soma total:	7.075770000000
soma de quadrados não corrig.:	2.119088516100
soma de quadrados corrigida:	0.032983470563
amplitude total (A ou R):	0.131800000000
mínimo:	0.230680000000
máximo:	0.362480000000
amplitude estudentizada (W):	3.480415971125
Estatísticas da natureza da distribuição	
Coef. de Assimetria - Estimador beta:	0.229871820935
Coef. de Assimetria - Estimador gama:	0.245489315050
Coef. de curtose - Estimador beta:	2.085408525512
Coef. de curtose - Estimador gama:	-0.839588956344
Momento de ordem 3 centrado na média:	0.000012220720
Momento de ordem 4 centrado na média:	0.000004110028

Fonte: elaborado pelo autor.

Tabela 26 – Estatísticas descritivas básicas para o parâmetro de densidade, avaliado na camada de 0,10-0,20 m.

Variável analisada: Densidade	
n:	24
média aritmética amostral:	1.718066666667
média harmônica amostral:	1.715646927929
média geométrica amostral:	1.716861792374
variância:	0.004284594849
desvio padrão:	0.065456816675
desvio padrão não viesado:	0.066171958540
coeficiente de variação(em %):	3.809911334953
erro padrão da média:	0.013361316753
soma total:	41.233600000000
soma de quadrados não corrig.:	70.940619388200
soma de quadrados corrigida:	0.098545681533
amplitude total (A ou R):	0.268280000000
mínimo:	1.576230000000
máximo:	1.844510000000
amplitude estudentizada (W):	4.098580004745
Estatísticas da natureza da distribuição	
Coef. de Assimetria - Estimador beta:	-0.274342184308
Coef. de Assimetria - Estimador gama:	-0.292980995415
Coef. de curtose - Estimador beta:	2.566930412637
Coef. de curtose - Estimador gama:	-0.240292235355
Momento de ordem 3 centrado na média:	-0.000075320905
Momento de ordem 4 centrado na média:	0.000045159613

Fonte: elaborado pelo autor.

Tabela 27 – Estatísticas descritivas básicas para o parâmetro de macroporosidade, avaliado na camada de 0,20-0,30 m.

Variável analisada: Macroporosidade	
n:	24
média aritmética amostral:	0.047177916667
média harmônica amostral:	0.033919580350
média geométrica amostral:	0.039457074116
variância:	0.001304375843
desvio padrão:	0.036116143804
desvio padrão não viesado:	0.036510727100
coeficiente de variação(em %):	76.553070495960
erro padrão da média:	0.007372176983
soma total:	1.132270000000
soma de quadrados não corrig.:	0.083418784100
soma de quadrados corrigida:	0.030000644396
amplitude total (A ou R):	0.182750000000
mínimo:	0.012950000000
máximo:	0.195700000000
amplitude estudentizada (W):	5.060064025383
Estatísticas da natureza da distribuição	
Coef. de Assimetria - Estimador beta:	3.009004861783
Coef. de Assimetria - Estimador gama:	3.213436686141
Coef. de curtose - Estimador beta:	13.134305578778
Coef. de curtose - Estimador gama:	12.911743956271
Momento de ordem 3 centrado na média:	0.000138766715
Momento de ordem 4 centrado na média:	0.000021415549

Fonte: elaborado pelo autor.

Tabela 28 – Estatísticas descritivas básicas para o parâmetro de microporosidade, avaliado na camada de 0,20-0,30 m.

Variável analisada: Microporosidade	
n:	24
média aritmética amostral:	0.249503750000
média harmônica amostral:	0.244220685628
média geométrica amostral:	0.246914680239
variância:	0.001305875781
desvio padrão:	0.036136903312
desvio padrão não viesado:	0.036531713413
coeficiente de variação(em %):	14.483511094308
erro padrão da média:	0.007376414500
soma total:	5.988090000000
soma de quadrados não corrig.:	1.524086053300
soma de quadrados corrigida:	0.030035142963
amplitude total (A ou R):	0.156590000000
mínimo:	0.165400000000
máximo:	0.321990000000
amplitude estudentizada (W):	4.333243461627
Estatísticas da natureza da distribuição	
Coef. de Assimetria - Estimador beta:	-0.052239825911
Coef. de Assimetria - Estimador gama:	-0.055789000275
Coef. de curtose - Estimador beta:	2.912761041483
Coef. de curtose - Estimador gama:	0.190124672841
Momento de ordem 3 centrado na média:	-0.000002413308
Momento de ordem 4 centrado na média:	0.000004760200

Fonte: elaborado pelo autor.

Tabela 29 – Estatísticas descritivas básicas para o parâmetro de porosidade total, avaliado na camada de 0,20-0,30 m.

Variável analisada: Porosidade Total	
n:	24
média aritmética amostral:	0.296683333333
média harmônica amostral:	0.293767518035
média geométrica amostral:	0.295179245584
variância:	0.000989515441
desvio padrão:	0.031456564348
desvio padrão não viesado:	0.031800239877
coeficiente de variação(em %):	10.602740637491
erro padrão da média:	0.006421044309
soma total:	7.120400000000
soma de quadrados não corrig.:	2.135262861800
soma de quadrados corrigida:	0.022758855133
amplitude total (A ou R):	0.106320000000
mínimo:	0.258780000000
máximo:	0.365100000000
amplitude estudentizada (W):	3.379898669918
Estatísticas da natureza da distribuição	
Coef. de Assimetria - Estimador beta:	1.012564025257
Coef. de Assimetria - Estimador gama:	1.081357636591
Coef. de curtose - Estimador beta:	2.887514271193
Coef. de curtose - Estimador gama:	0.158702826701
Momento de ordem 3 centrado na média:	0.000030854226
Momento de ordem 4 centrado na média:	0.000002709480

Fonte: elaborado pelo autor.

Tabela 30 – Estatísticas descritivas básicas para o parâmetro de densidade, avaliado na camada de 0,20-0,30 m.

Variável analisada: Densidade	
n:	24
média aritmética amostral:	1.722174583333
média harmônica amostral:	1.719115044049
média geométrica amostral:	1.720641690663
variância:	0.005533393756
desvio padrão:	0.074386784823
desvio padrão não viesado:	0.075199490156
coeficiente de variação(em %):	4.319352146010
erro padrão da média:	0.015184138869
soma total:	41.332190000000
soma de quadrados não corrig.:	71.308515147900
soma de quadrados corrigida:	0.127268056396
amplitude total (A ou R):	0.319100000000
mínimo:	1.579400000000
máximo:	1.898500000000
amplitude estudentizada (W):	4.289740452665
Estatísticas da natureza da distribuição	
Coef. de Assimetria - Estimador beta:	0.227940236617
Coef. de Assimetria - Estimador gama:	0.243426498872
Coef. de curtose - Estimador beta:	2.883758854679
Coef. de curtose - Estimador gama:	0.154028877577
Momento de ordem 3 centrado na média:	0.000091847355
Momento de ordem 4 centrado na média:	0.000084617207

Fonte: elaborado pelo autor.