



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

MARCIA BATISTA TORRES

**DESENVOLVIMENTO TEORICO-PRÁTICO DE UM NOVO ÍNDICE PARA
AVALIAÇÃO CONSERVACIONISTA DO PREPARO DO SOLO.**

**FORTALEZA
2017**

MARCIA BATISTA TORRES

DESENVOLVIMENTO TEORICO-PRÁTICO DE UM NOVO ÍNDICE PARA
AVALIAÇÃO CONSERVACIONISTA DO PREPARO DO SOLO.

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Agronomia do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Ceará, como parte das exigências da Disciplina Atividade Supervisionada.

Orientador: Prof. Dr. Daniel Albiero.

FORTALEZA

2017

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

T646d Torres, Marcia Batista Torres.
Desenvolvimento teórico - prático de um novo índice para avaliação conservacionista do preparo do solo
/ Marcia Batista Torres Torres. – 2017.
58 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências
Agrárias, Curso de Agronomia, Fortaleza, 2017.
Orientação: Prof. Dr. Daniel Albiero.

1. Mecanização agrícola. 2. Arado de disco. 3. Subsolador. I. Título.

CDD 630

MARCIA BATISTA TORRES

DESENVOLVIMENTO TEORICO-PRÁTICO DE UM NOVO ÍNDICE PARA
AVALIAÇÃO CONSERVACIONISTA DO PREPARO DO SOLO.

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Agronomia do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Ceará, como parte das exigências da Disciplina Atividade Supervisionada.

Aprovada em: 29/11/2017.

BANCA EXAMINADORA

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

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

Prof. Dr. Jaedson Cláudio Anunciato Mota
Universidade Federal do Ceará (UFC)

À minha mãe Maria Batista.

AGRADECIMENTOS

A Deus por todas as bênçãos, proteção e forças concedidas durante toda a minha vida.

À minha mãe, Maria Batista da Cruz, por todo amor, dedicação, incentivo, compreensão, força, suas orações por mim, e principalmente a sua paciência comigo durante minha jornada de graduação, pois sem ela não teria conseguido concluir o curso.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Daniel Albiero, pela orientação, conhecimentos compartilhados, amizade, oportunidade de trabalho, sua disponibilidade e compreensão durante a realização tanto dessa monografia, como durante a graduação.

Aos membros participantes da banca avaliadora: Prof. Dr. Jaedson Cláudio Anunciato Mota, Prof. Dr. Leonardo de Almeida Monteiro e Prof. Dr. Daniel Albiero, pelas orientações, pelo tempo, sugestões e colaborações.

Aos meus amigos: Alexandre dos Santos, José Igor, Suane de Oliveira, Theyson Duarte, Maria Albertina, Walisson Silveira, Timóteo Machado, Rafael Fernandes, Denílson, Stênio, Ronaldo e William que ajudaram na coleta de dados do experimento.

Ao Laboratório de Investigação de Acidentes com Máquinas Agrícolas (LIMA), Laboratório de Física do Solo e Laboratório de Drenagem e Solo pelo compartilhamento de material e espaço para realização dessa monografia.

Aos meus amigos de profissão: Suane de Oliveira, Theyson Duarte, Alexandre dos Santos, Vitor Oliveira, William Viana, Tiago Machado, Iana Oliveira, Marcio Regis, Henrique Nunes, Walisson Silveira, Sammuell Lucas, Natália Dantas, Moises Lira, Eurileny Lucas, Amnon Rodrigues, Ícaro Vasconcelos, José Igor, Levi Afonso, Francisco Welison, Sergio Alves, Cristiano Severino, Felipe Silva, Lorena Gomes e Hiago Rodrigues por compartilhar conhecimentos e ajudar durante a pesada caminhada acadêmica.

Às minhas amigas Ligia Mesquita e Carliene Bezerra por sua amizade, companheirismo, e torcida por essa conquista e por todos os anos de nossa amizade.

À minha família IF: Alyne Jales, Adriano Mesquita, Jéssica Oliveira, Millena, Rafaelly Naira e Luís Henrique pelo incentivo, amizade, torcida e apoio oferecidos.

Ao meu amigo irmão, Marcio Pimentel, por se fazer presente no meu coração e mesmo que em outro plano torce por essa conquista na minha vida.

Ao Departamento de Engenharia Agrícola pela oportunidade de bolsa de estudo, o qual foi possível aprender e compartilhar conhecimento.

Aos grupos de pesquisas: Grupo de Pesquisa em Energia e Máquinas para a Agricultura do Semiárido (GEMASA) e o Laboratório de Mecânica e Eletrônica Agrícola (LEMA) pela oportunidade de trabalho em equipe, conhecimentos compartilhados e amizade dos membros.

Aos mestres: Prof. Dr. Ricardo Espíndola, Prof. Dr. Raul, Prof. Dr. Jaedson Mota, Prof. Dr. Adunias dos Santos, Prof. Dr. Daniel Albiero, Prof. Dr. Leonardo Monteiro, Prof. Dr. Carlos Chioderoli, Prof. Dr. José Carlos, Prof. Dr. Claudivan Lacerda, Profa. Dra. Carmen Dolores, Prof. Dr. Danilo Loureiro e Prof. Dr. Alexsandro Oliveira, pelos conhecimentos compartilhados e por serem incentivadores na minha vida profissional.

A Universidade Federal do Ceará pela oportunidade de realização do curso, por todo seu quadro de funcionários e estrutura.

“Matemática pura é, à sua maneira, a poesia de ideias lógicas.” (Albert Einstein).

RESUMO

As propriedades físicas do solo são atributos que permitem avaliar a capacidade que o solo pode suportar de tensão, sem gerar falhas em sua estrutura, ocasionando degradação do mesmo. Com a variação dos parâmetros físicos do solo após uma operação de cultivo é possível avaliar os danos oriundo do uso de máquinas agrícolas. Em sua maioria os efeitos das solicitações mecânicas das máquinas agrícolas geram compactação do solo, pelo tipo de manejo realizado. A fim de contribuir com a avaliação do manejo do solo, realizou-se um estudo com metodologia de análise dimensional aplicada aos parâmetros físicos: densidade do solo, teor de água do solo, porosidade, diâmetro ponderado seco, índice de cone e índice de rugosidade relacionados ao preparo do solo em duas configurações (aração profunda e subsolagem). Foram obtidos Pi-terms que relacionaram o fenômeno estudado. Através da utilização do Teorema de Buckingham foram determinadas equações adimensionais que definiram um novo índice de conservacionismo do solo. Com o valor deste índice foi possível determinar uma faixa de variação para preparo do solo onde pode-se concluir por seu efeito ser conservacionista ou não perante o sistema de prepara do solo.

Palavras-chave: Mecanização agrícola. Arado de disco. Subsolador.

ABSTRACT

The physical properties of the soil are attributes that allow to evaluate the capacity that the soil can withstand tension, without generating fault in its structure, causing its degradation. With the variation of the physical parameters of the soil after a cultivation operation it is possible to evaluate the damages originating from the use of agricultural machines. Most of the effects of the mechanical requests of the agricultural machines generate soil compaction, by the type of management performed. In order to contribute to the evaluation of soil management, a study was carried out with a methodology of dimensional analysis applied to the physical parameters: soil density, soil water content, porosity, dry weighted diameter, cone index and roughness index related to soil preparation in two configurations (deep plowing and subsoiling). Pi-terms were obtained that related the phenomenon studied. Through the use of Buckingham 's Theorem, non - dimensional equations were defined that defined a new index of soil conservation. With the value of this index it was possible to determine a range of variation for soil preparation where it can be concluded by its effect being conservationist or not before the system of preparation of the soil.

Keywords: Agricultural mechanization. Disc plow. Subsoiler.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Área utilizada no experimento antes da coleta de amostras.....	30
Figura 2 – Arado de disco acoplado ao trator 4x2 TDA modelo VALTRA A950.....	31
Figura 3 – Subsolador Ast Matic 450 acoplado ao trator 4x4 modelo VALTRA BM120...	32
Figura 4 – Perfilômetro utilizado no experimento.....	33
Figura 5 – Penetrômetro utilizado no experimento.....	34
Figura 6 – Leitura do dado utilizando perfilômetro em campo.....	36
Figura 7 – Obtenção da patinagem em campo.....	38
Figura 8 – Medição do comprimento da fissura em campo.....	38

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	– Tabela de conversão dimensional dos parâmetros avaliados	40
Tabela 2	– Tabela de decomposição dos parâmetros em suas dimensões básicas.....	41
Tabela 3	– Tabela de medidas estatísticas descritivas antes da operação com arado de disco	45
Tabela 4	– Tabela de medidas estatísticas descritivas após da operação com arado de disco	46
Tabela 5	– Tabela de medidas estatísticas descritivas antes da operação com subsolador.....	46
Tabela 6	– Tabela de medidas estatísticas descritivas após da operação com subsolador.....	47

LISTA DE MATRIZES

Matriz 1. Matriz dimensional do experimento	41
Matriz 2. Matriz Sub-espaco considerado para teste da caracteristica da matriz	42
Matriz 3. Matriz solucao do experimento	43

LISTA DE EQUAÇÕES

$\pi A = F(\pi_1, \pi_2, \pi_3, \dots, \pi_n - r)$ Equação 1	27
$\pi A = k * (\pi_1)^a * (\pi_2)^b * (\pi_3)^c * (\pi_4)^d * (\pi_n - r)^x$ Equação 2	27
$y = 0,0235x - 0,0917$ Equação 3	35
$DPS = \frac{\sum(Cn * Ps)}{\sum Ps}$ Equação 4	35
$Inrug = \sigma x * h$ Equação 5	36
$\gamma = \frac{Ms}{v}$ Equação 6	36
$U = \frac{(mu - ms)}{ms}$ Equação 7.....	37
$Pat = \frac{(Nvs - Nvc)}{Nvc} * 100$ Equação 8.....	38
$DU = U * \gamma * vol = [\%] * \frac{[g]}{[cm^3]} * [cm^3] = g$ Equação 9	39
$k_1 + K_5 + K_9 = 0$ Equação 10	42
$-3K_1 + K_2 + K_3 + 3K_4 + K_6 + K_7 + K_8 - K_9 = 0$ Equação 11	42
$-K_8 - 2K_9 = 0$ Equação 12	42
$K_7 = \frac{9K_1}{4} - K_2 - K_3 - 3K_4 - \frac{3K_5}{4} - K_6 = 0$ Equação 13.....	42
$K_8 = \frac{K_1 + K_5}{2}$ Equação 14.....	42
$K_9 = -\frac{(K_1 + K_5)}{4}$ Equação 15	42
$\pi_1 = \frac{\gamma x Pat^{9/4} x v^{1/2}}{IC^{1/4}}$ Equação 16	44
$\pi_2 = \frac{Inrug}{Pat}$ Equação 17	44

$\pi_3 = \frac{DPS}{Pat}$ Equação 18	44
$\pi_4 = \frac{P}{Pat}$ Equação 19	44
$\pi_5 = \frac{U \ x \ v^{1/2}}{Pat^{3/4} \ x \ IC^{1/4}}$ Equação 20	44
$\pi_6 = \frac{CF}{Pat}$ Equação 21	44
$\pi_A = F(\pi_1, \pi_2, \pi_3, \dots, \pi_n - r)$ Equação 28	49
$\emptyset \pi_A = F(\pi_1, \pi_2, \pi_3, \dots, \pi_n - r)$ Equação 29	50
$\phi(\pi_A) = \pi_1$ Equação 30	50
$\phi(\pi_1) = F(\pi_2, \pi_3, \pi_4, \pi_5, \pi_6)$ Equação 31	50
$\phi(\pi_1) = \pi_1$ Equação 32	50
$(\pi_1) = \log k * (\log \pi_2)^a * (\log \pi_3)^b * (\log \pi_4)^c * (\log \pi_5)^d * (\log \pi_6)^e$ Equação 33... 50	
$(\pi_1) = 24,06 * (\pi_2)^{0,27} * (\pi_3)^{2,18} * (\pi_4)^{0,63} * (\pi_5)^{0,62} * (\pi_6)^{-0,93}$ Equação 34	50
$(\pi_1) = 93,42 * (\pi_2)^{13,66} * (\pi_3)^{4,59} * (\pi_4)^{-0,97} * (\pi_5)^{-2,06} * (\pi_6)^{-2,82}$ Equação 35	50

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	14
2	OBJETIVO GERAL.....	15
2.1	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	15
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	16
3.1	Solos do semiárido do Ceará.....	16
3.2	Preparo do solo.....	17
3.3	Manejo conservacionista do solo.....	21
3.4	Arado de disco	22
3.5	Subsolador.....	23
3.6	Dinâmica do solo.....	24
3.7	Análise dimensional.....	25
3.8	Números índices.....	28
4	MATERIAL E METÓDOS.....	29
4.1	Caracterização geral do experimento.....	29
4.2	Caracterização da área experimental.....	29
4.3	Caracterização dos implementos agrícolas utilizados	31
4.4	Caracterização dos equipamentos utilizados na coleta de dados	32
4.4.1	Perfilômetro.....	32
4.4.2	Penetrômetro.....	33
4.4.3	Recipientes para determinação da densidade, porosidade, umidade e diâmetro ponderado seco.....	34
4.5	Métodos.....	34
4.5.1	Metodologia para obtenção dos dados	34
4.5.1.1	Índice de cone	34
4.5.1.2	Diâmetro ponderado seco.....	35
4.5.1.3	Índice de rugosidade	35
4.5.1.4	Densidade do solo.....	36
4.5.1.5	Velocidade efetiva de trabalho.....	37
4.5.1.6	Umidade	37
4.5.1.7	Patinagem	37
4.5.1.8	Comprimento da fissura.....	38
4.5.1.9	Porosidade.....	39
4.5.2	Metodologia para tratamento dos dados.....	39
4.5.3	Metodologia de cálculo da análise dimensional.....	40
5.	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	45
5.1	Estatística descritiva.....	45
5.2	Análise dimensional.....	48
5.2.1	Índice adimensional para o preparo do solo.....	49
6.	CONCLUSÃO.....	52

7.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	53
----	---------------------------------	----

1. INTRODUÇÃO

A região semiárida apresenta características limitantes para o desenvolvimento de práticas agrícolas, pois além de ter um baixo índice pluviométrico possui solos frágeis, rasos e em sua maioria sofreram pouca intemperização. A melhor forma de obter uma boa produtividade agrícola dessa região é buscando sistema de preparo do solo conservacionista, o qual irá proteger o solo e condições para o desenvolvimento das culturas.

Com a elevada intensidade das atividades agrícolas nos últimos anos vêm gerando impactos ambientais, como degradação do solo, compactação do solo, perda de biodiversidade, para isto se faz necessário o desenvolvimento de uma ferramenta que auxilie no diagnóstico se o preparo do solo que está sendo realizado é conservacionista ou não podendo assim diminuir os efeitos gerados.

Supõe-se que seja possível desenvolver um número índice baseado em parâmetros de física do solo aliados a parâmetros operacionais do sistema mecanizado que possa determinar se um sistema de preparo do solo é ou não conservacionista através da determinação de faixas limite para avaliação do valor deste número índice.

Para determinação do número índice foi utilizada a metodologia de análise dimensional com o desenvolvimento dos Pi-termos para o fenômeno em estudo em função de um modelo fenomenológico traduzido por equações baseada no teorema de Buckingham, o qual será capaz de determinar se o preparo do solo é ou não conservacionista.

Foram escolhidos parâmetros físicos do solo característicos para a operação de preparo do solo: densidade do solo, teor de água do solo, porosidade, diâmetro ponderado seco, índice de cone e índice de rugosidade. Este parâmetro caracterizam o preparo do solo, assim os Pi-termos obtidos se correlacionam em suas relações.

Objetivou-se desenvolver um novo índice utilizando o método de análise dimensional, por meio do uso de Pi-termos, para avaliar a ação de implementos agrícolas em preparo do solo conservacionista.

2. OBJETIVO GERAL

Desenvolvimento de um novo índice utilizando o método de análise dimensional, por meio do uso de Pi-termos, para avaliar a ação de implementos agrícolas em preparo do solo conservacionista.

2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- 1- Avaliar os efeitos ocasionados durante o preparo do solo utilizando máquinas agrícolas;
- 2- Aplicar metodologia de análise dimensional para o preparo do solo;
- 3- Obter a partir dos parâmetros definidos pela análise dimensional, Pi-termos que relaciona a ação das máquinas agrícolas com o preparo do solo;
- 4- Obter um novo índice, que indique se o preparo do solo é conservacionista, ou não baseado nos Pi-termos gerados pela análise dimensional;
- 5- Comparar os efeitos ocasionados pela operação do arado de disco e subsolador durante o preparo do solo.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Solos do semiárido do Ceará

“Solo é uma coleção de corpos naturais, constituídos por partes sólidas, líquidas e gasosas, tridimensionais, dinâmicos, formados por materiais minerais e orgânicos que ocupam a maior parte do manto superficial das extensões continentais do nosso planeta, contêm matéria viva e pode ser vegetado na natureza onde ocorrem e, eventualmente, terem sido modificados por interferências antrópicas.” (EMBRAPA, 2013, p. 27).

O semiárido brasileiro é uma região que apresenta características de clima com temperaturas médias anuais entre 26 e 28°C, insolação média de 2.800 horas/ano, umidade relativa em torno de 65%, precipitação pluviométrica anual abaixo de 800 mm irregulares no tempo e no espaço, concentrando-se em três a quatro meses, apresentando alternância bem delimitada de períodos chuvosos com períodos muito secos.

A região semiárida apresenta diversos tipos de solos, os principais são: Latossolos (21%), Neossolos Litólicos (19,2%), Argissolos (14,7%), Luvisolos (13,3), Planossolos (10,5%) e Neossolos Quatzarênicos (9,3%), que juntos constituem aproximadamente 88% dos solos sob domínio do bioma da Caatinga. Jacomine (1996 apud FERREIRA, 2015)

Os solos em sua maioria na região semiárida apresentam alguma restrição ao uso agrícola ou susceptibilidade ao processo de desertificação, seja por limitação de água, fertilidade do solo, pedregosidade, pequena profundidade efetiva, presença de mudança textural abrupta entre os horizontes, declividade, presença de sais ou por limitações na drenagem. (SILVA et al., 2012; RIBEIRO; SAMPAIO; GALINDO, 2009).

Com a nova delimitação territorial, conforme o Ministério da Integração Nacional e a Secretaria de políticas de Desenvolvimento Regional, em 2005 o Ceará passou a ter cento e cinquenta municípios pertencentes ao semiárido ocupando uma área de 126.514,9 km², que representa 86,8% da totalidade do estado. (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE 2010).

Segundo MMA (2004), o estado do Ceará possui 105 municípios na região semiárida susceptível ao processo de desertificação, sendo superando apenas pelos estados da Paraíba e da Bahia, respectivamente com 150 e 159 municípios.

No semiárido cearense os solos são originados em sua maioria de rochas cristalinas, com predominância de gnaisses e, normalmente apresentam horizontes A e, ou, A

+ E de natureza sedimentar. (BRASIL, 1973). Mineralogicamente, são solos poucos intemperizados com ocorrência de feldspatos potássicos, plagioclásios calco-sódicos e argilominerais montmorilonita e mica (MOREIRA, 1979).

3.2 Preparo do solo

Segundo Folle; Seixas (1986), o preparo do solo é o conjunto de operações realizadas antes da semeadura, para revolver o solo expondo-o ao ar, ao sol e à ação das máquinas, além de incorporar restos de culturas, fertilizantes ou corretivos, e enterrar a cobertura vegetal como forma de eliminar plantas daninhas.

O preparo do solo tem como objetivo a mobilização, destorroamento, controle de plantas daninhas, minimizar a erosão do solo, incorporação de corretivos, fertilizantes, defensivos e manejo de resíduos de plantas, proporcionando assim, condições favoráveis para o desenvolvimento radicular da planta.

Segundo Vieira (1985), o preparo do solo é uma prática que atua diretamente sobre a sua estrutura que, por sua vez, interage com ou afeta uma séria de características do perfil, modificando as variáveis a ela ligadas. Os efeitos do preparo do solo sobre sua estrutura dependem da intensidade de revolvimento ou trânsito, tipos de equipamentos utilizados, manejo dos resíduos vegetais e das condições do solo no momento do preparo.

Segundo Hakanson (1994 apud STONE; SILVEIRA, 2000), o preparo do solo é um dos componentes mais importantes do custo de produção e influência a maioria das propriedades físicas e químicas do solo, afeta os processos biológicos e condiciona o estabelecimento e a produção das plantas cultivadas.

As práticas de preparo do solo são importantes na resistência à erosão e no desenvolvimento das culturas. A não adoção de práticas conservacionistas adequadas provoca rápida degradação da matéria orgânica, dos nutrientes e das características físicas do solo, tornando as lavouras suscetíveis à seca. (SIDIRAS et al., 1982).

Segundo EMBRAPA (1984) descreve quatro técnicas diferentes de preparo do solo, que são as seguintes:

- 1- Preparo do solo com duas gradagens com grade aradora em solo seco;
- 2- Aração com arado de disco em solo seco;
- 3- Trituração e pré-incorporação dos restos culturais e posterior aração com arado de disco, em terreno seco; e,
- 4- Trituração e pré-incorporação dos restos culturais e posterior aração com arado

de disco, em terreno úmido.

Segundo Dallmeyer; Boller (1988 apud ALBIERO, 2006), o preparo do solo, como a operação que visa proporcionar condições ótimas de implantação e desenvolvimento de culturas, deve levar em conta, as seguintes características:

- 1- Torná-lo menos resistente à penetração das raízes;
- 2- Permitir livre absorção e moderada retenção de água;
- 3- Permitir ótima relação solo-ar, com moderada troca gasosa com a atmosfera;
- 4- Facilitar a colocação e a incorporação de adubação verde e outros resíduos orgânicos;
- 5- Promover melhor atividade biológica;
- 6- Permitir condições estáveis de tração de implementos agrícolas; e,
- 7- Assegurar uma máxima resistência à erosão.

Segundo Magalhães (1992 apud MAIA, 1999), as alterações nas condições físicas do solo, são causadas pelo seu manejo, com emprego de ferramentas agrícolas, que envolve dois aspectos diferentes: a quantidade de práticas de manipulação do solo e a magnitude das forças necessárias para causar alteração. Essas alterações devem ser realizadas de modo eficiente e de forma aceitável, sendo influenciadas pelos seguintes aspectos:

- 1- Condições iniciais do solo e determinação de quando e quanto estas condições devem ser alteradas pela mobilização;
- 2- Pelo formato da ferramenta, em geral a estrutura do solo será alterada pelo corte ou rompimento da camada a ser preparada, utilizando lâminas, discos de corte, cinzéis ou facas rotativas; e,
- 3- Pelo movimento da ferramenta, normalmente as ferramentas apresentam um movimento linear em relação ao solo.

Segundo Larson; Osborne (1982 apud MAIA, 1999), afirmam que os resultados de pesquisas têm demonstrado que o preparo do solo é responsável pela maior parte da deterioração da estrutura do solo. Os efeitos adversos do preparo na estrutura do solo são bem estabelecidos, como: decomposição da matéria orgânica por exposição na superfície; dispersão das partículas do solo pelo efeito do impacto da gota da chuva no solo descoberto e pela ação dos implementos de preparo do solo. Como consequência, têm-se a erosão do solo pela ação da água e do vento. Quando a redução no movimento da água e do ar é maior há impedimentos para emergência das plantas ou penetração das raízes.

O efeito do preparo do solo sobre suas propriedades químicas, físicas e biológicas não depende apenas do implemento empregado, mas, também, da forma e intensidade de seu

uso. Em muitas ocasiões, o efeito benéfico de determinado implemento pode ser anulado pelo uso inadequado. Sob o ponto de vista da conservação, o melhor preparo é aquele que envolve menor número de operações e deixa o máximo de resíduos culturais na superfície, de forma a proteger os agregados do solo do impacto direto das gotas de chuva.

Segundo Balastreire (1987 apud STONE; SILVEIRA, 2000), afirma que o preparo do solo é dividido em dois tipos: 1- preparo inicial do solo; 2- preparo periódico do solo. O preparo inicial do solo inclui as operações necessárias para criar as condições de implantação de culturas, em áreas anteriormente utilizadas. As operações realizadas são basicamente: desmatamento, enleiramento e limpeza. O preparo periódico são as atividades de inversão da camada superficial do solo, para instalação das culturas periódicas.

Segundo Lucarelli (1997 apud ALBIERO, 2006), o sistema de preparo periódico de solo é enquadrado em dois grupos: 1- Sistema conservacionista; 2- Sistema convencional. O sistema convencional utiliza os implementos arado de disco, aiveca e grade pesada, seguido de gradagens leves, tem como característica principal um revolvimento de toda área a ser cultivada, onde o implemento atua incorporando total ou quase total o resíduo. O sistema convencional tem como princípio o mínimo ou o não revolvimento do solo, usa máquinas que quebrem superficialmente a estrutura do solo, sem revolvê-lo intensamente, visando não destruir os agregados e com isso deixando a maior quantidade de resíduo na superfície do terreno.

Segundo Ortiz-Cañavate (1980 apud FIGUEIREDO, 1991), o preparo periódico do solo é dividido em duas etapas: 1-Preparo primário; 2-Preparo secundário. O preparo primário movimenta a camada superficial do solo até 20 ou 35 cm de profundidade utilizando implementos como arados, grades pesadas, subsoladores e escarificadores. O preparo secundário são operações que iram complementar as atividades realizadas no preparo primário, como o nivelamento do terreno, destorroamento, incorporação de herbicidas e fertilizantes, e eliminação de ervas daninhas no início de seu desenvolvimento, produzindo ambiente favorável ao desenvolvimento inicial da cultura implantada.

Segundo Santiago; Rossetto (2007 apud SILVA et al., 2011), afirmam que o preparo convencional do solo é caracterizado como o revolvimento de camadas superficiais para reduzir a compactação, incorporar corretivos e fertilizantes, aumentar os espaços porosos e, com isso, elevar a permeabilidade e o armazenamento de ar e água. O revolvimento do solo promove o corte e o enterro das plantas daninhas e auxilia no controle de pragas e patógenos do solo e, além disso, esse processo facilita o crescimento das raízes das plantas.

Ao se revolver o solo, ocorre alteração da agregação, dispersando as argilas, que

retém a maior parte dos nutrientes necessários às plantas, facilitando o seu arraste pela ação da chuva e do vento, causando erosão. Conforme estes autores, com a inversão das leivas, enterram-se a cobertura vegetal deixando a superfície do solo exposta aos agentes da erosão e, também, à maior evaporação da água armazenada no solo. (WÜRSCHÉ; DENARDIN, 1980 apud SILVA et al., 2011).

O sistema convencional de preparo do solo consiste na realização de uma aração, caracterizado pelo preparo primário do solo, seguida de duas gradagens para destorroamento e nivelamento também denominado de operações de preparo periódico secundário. O emprego desse mesmo manejo, ao longo de vários anos, poderá proporcionar a desestruturação da superfície dos solos, deixando-os mais suscetível ao processo de erosão e à formação de impedimentos mecânicos logo abaixo das camadas de solo movimentadas pelos equipamentos, os quais podem interferir no desenvolvimento radicular das culturas, acarretando redução na produtividade. (DERPSCH et al., 1991)

De acordo com ASAE (1982), o preparo mínimo ou reduzido do solo pode ser definido como aquele que proporciona menor número de operações que o preparo convencional, resultando em menor incorporação de resíduos vegetais, menor inversão do solo, menor custo de preparo e redução das perdas de solo e água por erosão.

Considera-se como preparo conservacionista aquele que proporciona a menor mobilização possível do solo, visando a preservar sua estruturação, mantendo no mínimo 30% da superfície do solo coberta com resíduos culturais, entre o período compreendido da colheita da cultura anterior e a implantação da cultura seguinte. Assim, pode-se considerar que tanto o preparo reduzido quanto o sistema de semeadura direta, que é um tipo de preparo na linha com mínima mobilização do solo, podem ser enquadrados como preparo conservacionista. (GROHMANN; ARRUDA, 1961)

Segundo Castro Filho et al (1991 apud FIGUEIREDO, 1991), define que um sistema de preparo conservacionista é aquele que, além de produzir um leito de semeadura adequado para a cultura a ser implantada, mantém consideráveis quantidades de resíduos vegetais na superfície do solo, protegendo-o contra o impacto das gotas da chuva.

Para cada condição de solo e operação agrícola, existe um equipamento adequado. O solo deve ser preparado com o mínimo de mobilização, não implicando, com isso, diminuição da profundidade de operação, mas sim redução do número de operações, deixando rugosa a superfície do solo e mantendo os resíduos culturais, total ou parcialmente, sobre a superfície, trazendo benefícios para a sustentabilidade ambiental e também, muitas vezes, maior economia. Observa-se, entretanto, que a maior parte dos equipamentos utilizados na

mobilização do solo não atende a algumas dessas condições tidas como ideais.

3.3 Manejo conservacionista do solo

Manejo do solo é o processo ativo de seleção de sistemas de uso e manejo da terra que funcionam sem perda da estabilidade, produtividade ou utilidade para o uso escolhido.

O manejo do solo proporciona ao cultivo de plantas condições para germinação das sementes, crescimento do sistema radicular, disponibiliza para as plantas água e os nutrientes necessários, além de contribuir para o controle de pragas, doenças e plantas daninhas. (DAVIES et al., 1987).

O manejo do solo conservacionista trata-se tanto de manter e melhorar a estrutura do solo, disponibilizando água, troca de gases e nutrientes para o desenvolvimento das plantas. Para isto ocorrer deve-se manter o nível de agregação do solo favorável, além do menor número de atividades de mecanização no preparo do solo.

O manejo conservacionista busca reduzir a formação de crostas superficiais, além de perdas de solo e de água, ao mesmo modo que deve ser mantido uma quantidade satisfatória de resíduos vegetais no solo, para que se tenha um aumento na rugosidade superficial do solo.

Segundo Magalhães (1990), a escolha do método de manejo do solo mais adequado irá depender de como se encontra a estrutura do solo, o teor de água e equipamentos utilizados.

Para classificar um preparo do solo sendo conservacionista devem ser mantidos pelo menos 30% da superfície do solo coberta com resíduos vegetais após a semeadura.

O manejo conservacionista do solo se faz necessário, pois as ações antrópicas contribuem para diminuição da fertilidade dos solos, poluição dos corpos hídricos, assoreamento dos reservatórios, redução tanto da produtividade, como do equilíbrio dos ecossistemas terrestres e aquáticos, degradação dos solos, modifica a deposição de sedimentos dos solos, além de provocar danos irreversíveis ao ambiente.

Segundo Silva et al., (2011), os preparos conservacionistas e os sistemas de manejo relacionados aos diferentes tipos de cobertura e preparo do solo proporcionam uma maior eficiência no controle da erosão hídrica, pois terá uma menor perda de água por escoamento superficial e redução na erosão superficial.

Em sistemas de manejo conservacionistas o teor de água infiltrada é maior em comparação, ao manejo convencional, pois o conservacionista irá manter a estrutura do solo,

bem como não terá uma compactação do solo permitindo assim melhor desenvolvimento das culturas e dos recursos naturais.

Segundo Bertol et al., (2004), a relação entre o manejo e a qualidade do solo de sistemas agrícolas pode ser avaliada pelo seu efeito nas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo. Em relação às propriedades físicas, as alterações são mais acentuadas no sistema de preparo convencional, do que em sistema de preparo conservacionista, pois em geral ocorre mudança na densidade do solo, no volume, na distribuição e tamanho dos poros e na estabilidade dos agregados, que irá influenciar na infiltração de água, na erosão hídrica e no desenvolvimento do sistema radicular das plantas.

O manejo conservacionista do solo proporciona a manutenção da estrutura do solo, bom nível de agregação do solo e superfície rugosa, assim como o espaço poroso, para que haja disponibilidade de água, nutrientes e trocas gasosas suficientes para o desenvolvimento das plantas. (CARVALHO FILHO et al., 2007).

3.4 Arado de disco

Segundo Mialhe (1996), aração consiste na operação de cortar, elevar e inverter, uma camada de solo, chamada de leiva. Esta ação tem como objetivo permitir a infiltração de água e aeração do solo, incorporação de corretivos e restos vegetais, controle de plantas invasoras e eliminação de pragas de solo. A realização dessa atividade é feita pela peça ativa do arado. (GALETI, 1981).

O arado pode ser classificado em função de: 1- Tipo de órgão ativo; 2- Movimento dos órgãos ativos; 3- Quantidade de órgãos ativos; 4- Tipo de acoplamento; e o 5- Tipo de tração. Quanto ao tipo de órgão ativo pode ser: arado de disco ou arado de aiveca. O movimento dos órgãos ativos pode ser fixo ou reversível. A quantidade de órgãos ativos se tem monocorpo ou corpos múltiplos. O tipo de acoplamento será montado, semi-montado ou de arrasto. O tipo de tração tem-se animal ou mecânica.

O arado de disco teve como origem a grade de discos. Este por sua vez atua na camada superficial do solo fazendo um corte e invertendo-a por meio da rotação do disco, que por sua vez é provocada pela resistência do solo. Pode ser utilizado em solos duros, secos, pegajosos, com raízes e pedras.

O arado de disco possui como órgão ativo, seus discos, os quais desempenham suas funções com base no movimento de rotação, que isto faz que diminua os riscos de impactos sobre a estrutura.

O arado de disco é constituído por chassi, torre, suporte, barra transversal, roda guia, coluna, limpador, disco e mancal. O disco pode ser liso ou recortado. No liso a curvatura, o espaçamento, o número de discos, o peso, a velocidade de trabalho e a inclinação vertical e horizontal que irão definir a sua penetração no solo. O disco recortado possui ângulo de afiamento na parte externa e interna. Este é mais utilizado em áreas que apresentam grandes quantidades de restos culturais. A mola da roda guia irá influenciar na penetração do solo, com base na pressão estabelecida, se for uma maior pressão em solos leves e soltos, com uma pressão menor em solos duros.

As regulagens do arado de disco podem ser por: centralização, nivelamento horizontal e nivelamento vertical. O ângulo horizontal irá influenciar na largura de corte e na capacidade de revolvimento do solo, este por sua vez apresenta uma angulação ideal para cada tipo de solo, se for um solo argiloso é 42°, arenoso 60 ° e médios 45°. Já o ângulo vertical interfere na capacidade de penetração dos discos, que para solos argilosos é de 15°, arenosos de 25° e médios 18°. A largura de corte é ajustada na barra transversal em função do tipo de solo, o qual terá menor largura em solo duro e resistente, largura mediana em solos médios e maior largura em solos leves e soltos.

3.5 Subsolador

Subsolagem é uma prática de mobilização subsuperficial do solo, com finalidade de rompimento das camadas compactadas, sem a inversão do solo, isto ocorrerá quando houver uma camada endurecida em profundidade, e esta por sua vez não tiver como ser atingida por outros implementos. (CAMARGO; ALLEONI, 1997).

Segundo Boller (2001), define subsolagem como sendo uma operação de descompactação do solo, quando este apresenta uma camada compactada maior que 0,30 m de profundidade.

Quando se tem uma camada compactada numa profundidade maior que 0,20 a 0,25 m, a operação a ser desenvolvida é a subsolagem passando a ter uma profundidade de trabalho de no mínimo 0,30 m. (CASTRO, 1985). Segundo a ASAE (1982 apud GAMERO, 2008), a profundidade de subsolagem deve ser maior que 0,40 m, para que ocorra a desagregação do solo, e com isso ocorra o desenvolvimento das raízes em profundidade e a infiltração da água no solo.

O implemento agrícola que irá desempenhar a função de descompactar camada de solo em profundidade é o subsolador, o qual possui como órgãos ativos as hastes que auxiliam

na descompactação da camada de solo.

O subsolador é constituído por: barra porta-ferramenta ou chassi, roda limitadora de profundidade, haste e ponteira. O chassi pode ser classificado quanto a sua forma de acoplamento podendo ser montado ou de arrasto, e em função da sua geometria sendo esta angular ou quadrangular.

As hastes do subsolador são classificadas em função do seu formato podendo ser: reta, inclinada, curva ou parabólica. A reta possui ângulo de 90°, com o plano horizontal, exige grande esforço de tração, além de apresentar dificuldades para penetrar no solo e consequentemente descompactar a camada de solo. A inclinada pode ser três angulações diferentes, 30°, 45° e 60°, esta por sua vez terá um esforço menor de tração, em relação à haste reta. A haste de curva moderada tem facilidade maior de penetração, porém tem uma baixa capacidade de elevação. A haste parabólica é o tipo mais utilizado por ser mais resistente, desempenhar uma maior elevação e por melhor desagregação do solo.

Em relação à ponteira, está pode conter ou não asas. A vantagem de utilizar asa é que terá uma melhoria na reestruturação do solo e aumento da área de solo mobilizada, em contra partida o seu uso requer uma alta força de tração do conjunto mecanizado.

As vantagens de utilizar o subsolador é que ele irá permitir uma maior infiltração da água, melhor desenvolvimento das raízes das culturas, diminuir a erosão e melhora a aeração do solo e a drenagem. Suas limitações, em relação ao uso é que ele, por sua vez requer um alto consumo de combustível, exige uma alta potência por haste, não deve ser utilizado em solos que apresente um alto teor de água, provoca a desestruturação do solo em profundidade e aumenta as perdas de água e nutrientes.

3.6 Dinâmica do solo

Quando se tem a relação entre as forças aplicadas ao solo e suas ações resultantes a essa força, isto é denominado como dinâmica do solo. (GILL; VANDEN BERG, 1968). Porém a dinâmica do solo envolve conceitos físicos e mecânicos que avaliam as forças aplicadas ao solo, de modo a terem consequências comportamentais ou reações. (UPADHYAYA, 1994 apud ALBIERO, 2006).

A dinâmica do solo possibilita a determinação de fatores característicos do solo, entre eles tem-se: o solo é a reação das ações em conjunto da geologia, do tempo, do clima e dos seres vivos; suas modificações são ocasionadas pelo preparo do solo, como pelo manejo escolhido; o solo apresenta características físicas, químicas e biológicas, as quais são

subdivididas e analisadas em suas respectivas categorias; o solo possui uma estrutura atômica e molecular específica, a qual atua nas propriedades químicas, físicas e biológicas, que por sua vez responde a força de atração ocasionada entre as moléculas, de forma que se estas moléculas forem iguais tem-se a coesão e se forem diferentes adesão; a adesão e a coesão das moléculas são determinantes para caracterizar a forma dos solos e os fenômenos, tais como: grau de plasticidade e o grau de dureza; as propriedades mecânicas causadas pela adesão e coesão das moléculas entre si são: resistência a tração, resistência a compressão, resistência ao cisalhamento, coeficientes de atrito, módulo de elasticidade, resistência à penetração, capacidade de suporte; características de resistência ao preparo, características de tração, tensões induzidas. (MCKIBBEN, 1926 apud GILL; VANDEN BERG, 1968 apud ALBIERO, 2006).

Segundo Gill; Vanden Berg (1968 apud ALBIERO, 2006), a dinâmica do solo apresenta as seguintes propriedades: tensão no solo; deformação do solo; relação tensão/deformação; resistência do solo; distribuição de tensão; distribuição de deformação; tensão de escoamento do solo e movimento de corpo rígido. Além dessas propriedades existem os parâmetros dinâmicos do solo que são: cisalhamento, tração, compressão, fluxo plástico, atrito e adesão. Quando é determinado a tanto a propriedade dinâmica, quanto o parâmetro dinâmico é possível ser determinado o comportamento dinâmico do solo por meio da medição da ruptura, abrasão e a movimentação das partículas.

Para que ocorra o deslizamento do solo sobre outro material se faz necessário à ação de alguns fatores determinantes como: textura do solo; umidade do solo; porosidade do solo; dureza do material; o caminho de deslizamento entre uma partícula do solo e a forma geométrica do material; a velocidade de deslizamento; o tipo de material; nível de tensão normal; a rigidez do sistema solo/ferramenta; rigidez do solo; carga quase estática; deslizamento cinemático; valores máximos de tensão normal durante a ação e picos máximos e mínimos de tensão normal. (UPADHYAYA, 1994 apud ALBIERO, 2006).

3.7 Análise dimensional

Análise dimensional pode ser definida como o processo de remoção de informações estranhas de um problema formando grupos adimensionais.

Segundo Langhaar (1951 apud ALBIERO, 2006), define a análise dimensional,

como uma forma de tratamento geral das equações que descrevem os fenômenos naturais. O autor expõe que a análise dimensional é um método que deduz informações sobre fenômenos físicos, este por sua vez deve ser descrito por equações com variáveis padronizadas dimensionalmente. Para isto se faz necessário escolher as variáveis que descrevem o fenômeno e definir as variáveis dependentes e as variáveis independentes. Com isso formar o conjunto de produto adimensional das variáveis determinadas, através de equações algébricas lineares e homogêneas.

A análise dimensional é aplicação direta de álgebra linear em espaços e subespaços lineares independentes, e com coerência em suas dimensões, ou seja, que tenha um padrão dimensional. Para isto se aplica dois princípios: 1- princípio da homogeneidade, o qual estabelece que para que ocorra o estado de igualdade entre duas grandezas, estas por sua vez tem que possuir as mesmas dimensões; 2- quando se aplica a mesma unidade entre duas grandezas, a unidade em que são medidas se torna independente da razão entre elas. (MACIEL, 1993 apud ALBIERO, 2006).

A análise dimensional quando aplicada a uma variável física, o qual o fenômeno em estudo é conhecido, o que se torna desconhecido é o modelo, que irá gerar modelos significativos para o fenômeno estudado tendo em vista as condições do meio em que ocorre o fenômeno. (SZUCS, 1980).

Segundo Murph (1950), a análise dimensional é aplicada quando se faz: classificação de equações e indica suas generalidades; converte as equações ou dados de um sistema de unidades para outro; desenvolve equações; num sistema de dados do experimento ocorre a redução do número de variáveis a ser investigadas; estabelece os princípios de projetos do modelo, operações e interpretações.

O princípio da homogeneidade gera após aplicação algébrica valores adimensionais que não variam com as transformações realizadas pelo modelo matemático do sistema escolhido. Esses valores são as invariantes de similitude, contudo para qualquer conjunto de sistemas similares devem ter adimensionais comuns invariáveis. Isto é um critério de validade entre o modelo proposto e o fenômeno. As invariantes são denominadas de Pi-Termos (π_n). (SZUCS, 1980 apud ALBIERO, 2006).

A metodologia da análise dimensional quando aplicada só é dita verdadeira se somente se as suas equações envolvidas forem homogêneas dimensionalmente. (LANGHAAR, 1951).

Segundo Buckingham (1914 apud LANGHAAR, 1951 apud ALBIERO, 2006) definiu o teorema de Buckingham, como sendo: “Se uma equação é dimensionalmente

homogênea, ela pode ser reduzida em um conjunto completo de produtos de adimensionais”. A equação que expressa a função do conjunto completo de produtos adimensionais é a seguinte:

$$\pi A = F(\pi_1, \pi_2, \pi_3, \dots, \pi_n - r)$$

Em que: π_A - é o adimensional dependente que incorpora a principal variável do fenômeno;

π_n - são os adimensionais invariantes independentes do fenômeno;

n - é o número de variáveis envolvidas no sistema;

r - é o valor da característica da matriz solução do sistema linear.

Tendo o teorema de Buckingham como base, Murph (1950 apud ALBIERO, 2006) obteve uma expressão algébrica baseada nos adimensionais invariantes com expoentes de influência e uma constante.

A equação que representa a expressão algébrica é a seguinte:

$$\pi A = k * (\pi_1)^a * (\pi_2)^b * (\pi_3)^c * (\pi_4)^d * (\pi_n - r)^x \quad (2)$$

Em que: π_A - é o adimensional dependente que incorpora a principal variável do fenômeno;

π_n - são os adimensionais invariantes independentes do fenômeno;

k - é uma constante;

x - são os expoentes de influência do invariante;

n - é o número de variáveis envolvidas no sistema;

r - é o valor da característica da matriz solução do sistema linear.

Aplicação da análise dimensional juntamente com o teorema de Buckingham permite que haja uma redução nos parâmetros definidos, e com isso selecionar os parâmetros adimensionais mais representativos do fenômeno, que por sua vez permitir mais objetividade nos cálculos das funções. (BARQUES, 2005 apud ALBIERO, 2006).

A análise dimensional permite utilizar dados experimentais para que se possa determinar o modelo, e não propor um modelo e depois testa-lo. (TABAK, 2002). Além disso, permite que o fenômeno a ser estudado seja dividido em invariantes adimensionais, o que irá conferir uma avaliação das influências de todas as variáveis envolvidas.

3.8 Números índices

“Os números índices foram idealizados para medir as diferenças na magnitude de um grupo de variáveis relacionadas. Constitui uma medida indireta, uma medida estatística” (HOFFMANN et al., 1978, p.279).

Segundo Formoso (1986), número-índice é uma medida estatística frequentemente empregada no setor de economia, para se obter de forma aproximada, as alterações nos valores de um conjunto de variáveis econômicas.

Número-Índice é um quociente que expressa uma dada quantidade em comparação a uma quantidade base. Em outras palavras, são valores relativos.

Segundo Ferrari (2017), o número índice é a relação entre dois estados de uma variável ou de um grupo de variáveis, suscetível de variar no tempo ou no espaço. Este número permite uma rápida avaliação da variação relativa, em forma percentual, sofrida por uma determinada variável ou um grupo de variáveis.

Segundo Toledo; Ovalle (1991 apud FERRARI, 2017) classificam os números índices em simples e ponderados. Os indicadores simples são obtidos a partir de medidas aritméticas, harmônicas ou geométricas simples dos índices relativos. Já os índices ponderados são obtidos introduzindo-se um elemento de ponderação.

Os casos de estudos envolvendo números índices estão associados às comparações no tempo ou espaço, de um conjunto de produtos ou serviços.

Contudo, os índices não estão associados apenas aos negócios e à economia, mas são largamente utilizados em todos os ramos das ciências físicas, químicas, naturais e sociais.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Caracterização geral do experimento

Visando atender os objetivos descritos neste trabalho, o planejamento do experimento propôs a atender dois itens principais: 1- Caracterização das variáveis de preparo conservacionistas; 2- Características operacionais.

O planejamento para a determinação dos processos experimentais foi baseado na metodologia da análise dimensional, que por sua vez requer definição de variáveis dimensionais dependentes e independentes do fenômeno estudado, vinculados a um método de cálculo algébrico para definir os parâmetros e os componentes.

Com base em estudo na literatura existente sobre máquinas de preparo do solo, foram determinadas as seguintes variáveis:

1- Caracterização das variáveis de preparo conservacionistas:

O Diâmetro ponderado seco (DPS), antes e depois da operação para avaliar o grau de agregação do solo, para as diferentes classes de tamanhos de agregados na estrutura do solo; Índice de rugosidade (Inrug), antes e depois da operação para avaliar as modificações na superfície do solo; Densidade do solo (γ), antes e depois da operação para avaliar as alterações ocorridas pela compactação do solo; Porosidade (P), antes e depois da operação para avaliar o volume do solo não ocupado por partículas sólidas; umidade (U), antes e depois da operação para avaliar o teor de umidade do solo; Comprimento das fissuras (CF); Índice de cone (IC), antes e depois da operação para avaliar a compactação do solo.

2- Características operacionais:

Velocidade efetiva de trabalho (v); Número dimensional de índice de patinamento (Pat).

Os parâmetros descritos nos itens 1 e 2 são considerados variáveis independentes perante a análise dimensional, com exceção do parâmetro Índice de cone que foi determinado como variável dependente para a análise dimensional.

4.2 Caracterização da área experimental

Este trabalho foi desenvolvido na área experimental de mecanização do Departamento de Engenharia Agrícola pertencente à Universidade Federal do Ceará, com as seguintes coordenadas geográficas: Latitude 3°44' Sul, Longitude 38°33' Oeste e altitude média de 26 m. O experimento foi realizado no mês de setembro de 2017.

Segundo a classificação de Köppen, a região do estudo é definida como Aw', que indica tropical chuvoso, muito quente, com predomínio de chuvas nas estações do verão e do

outono e temperatura média em todos os meses superiores a 18°C. (KOPPEN, 1923 apud PINTO, 2008).

O solo da área experimental foi classificado como um Argissolo Amarelo Eutrófico típico, (EMBRAPA, 2006), com textura Areia Franca, estes valores foram coletados amostras em uma profundidade de 0-10 cm. O solo no momento das operações mecanizadas encontrava-se na friabilidade para os equipamentos utilizados.

A área escolhida para o experimento possui 25,80 m de comprimento por 17,60 m de largura, conforme a Figura 1. Esta por sua vez foi dividida em duas regiões para serem coletadas as amostras em suas respectivas áreas, além de ter sido utilizado dois implementos agrícolas diferentes em cada local, arado de disco liso e o subsolador.

Em cada divisão da área foram distribuídos 32 pontos aleatórios em todo o experimento, baseado na largura do implemento, sendo estes pontos escolhidos antes da mecanização no total de 16 e depois da mecanização 16 pontos.

Figura 1: Área utilizada no experimento antes da coleta de amostras.



Fonte: Elaborada pela autora.

4.3 Caracterização dos implementos agrícolas utilizados

O arado de disco fixo, montado, com três discos lisos de 24”, com largura de 2,20 m foi 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, conforme recomendação do fabricante.

Figura 2: Arado de disco acoplado ao trator 4x2 TDA modelo VALTRA A950.



Fonte: Elaborado pela autora.

O subsolador AST MATIC 450, arrasto, com largura de 2,50 m foi acoplado ao trator 4x4 TDA modelo VALTRA BM120, conforme a Figura 3, com potência máxima de 120 cv no motor, na rotação de 2300 RPM, conforme recomendação do fabricante. A profundidade de trabalho do subsolador foi de 35 cm.

Figura 3: Subsolador Ast Matic 450 acoplado ao trator 4x4 TDA modelo VALTRA BM120.



Fonte: Elaborado pela autora.

Os tratores 4x2 TDA modelo VALTRA A95 e o 4x4 TDA modelo VALTRA BM120 trabalharam numa rotação de 2.000 RPM na marcha L3.

4.4 Caracterização dos equipamentos utilizados na coleta de dados

4.4.1 Perfilômetro

O perfilômetro é um equipamento utilizado para determinação do índice de rugosidade superficial, que por sua vez é constituído por réguas paralelas de madeiras com perfuração equidistante ao longo de seu comprimento, através dos quais deslizam hastes perpendiculares ao comprimento das réguas paralelas. (GAMERO E BENEZ, 1990, apud ARAÚJO, 2013). A Figura 4 mostra o perfilômetro utilizado no experimento, este equipamento por sua vez pertence ao Laboratório de Investigação de Acidentes com Máquinas Agrícolas – LIMA, que por sua vez é vinculado à Universidade Federal do Ceará.

Figura 4: Perfilômetro utilizado no experimento.

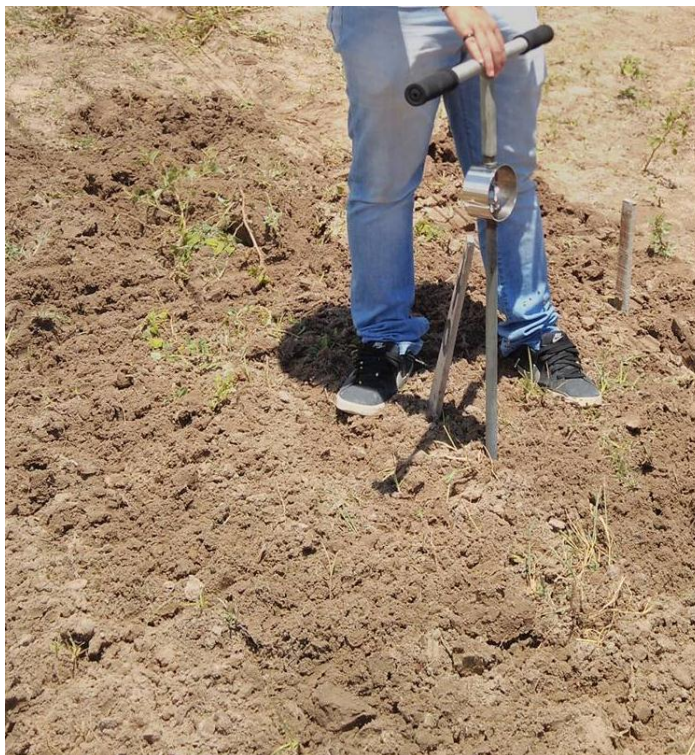


Fonte: Elaborado pela autora.

4.4.2 Penetrômetro

O penetrômetro é um equipamento utilizado na medição a resistência que o solo exerce em relação à penetração de uma ponta cônica padronizada (ASAE, 1983) e expressa como força por unidade de área na base do cone até uma determinada profundidade. O

penetrômetro utilizado foi manual, conforme a Figura 5, este equipamento por sua vez pertence ao Grupo de Pesquisa em Energia e Máquinas para Agricultura do Semiárido – GEMASA, que por **Figura 5:** Penetrômetro utilizado no experimento. o Ceará.



Fonte: Elaborado pela autora.

4.4.3 Recipientes para determinação da densidade, porosidade, umidade e DPS.

A coleta de amostra de solo para determinação da umidade e do diâmetro ponderado seco foram utilizados sacos plásticos, com volume aproximado de 2 litros, após a coleta das amostras estes sacos foram identificados e suas aberturas lacradas com fita gomada.

As amostras de solo correspondente para densidade e porosidade foram coletadas em anéis volumétricos de aço, e uma marreta, após obtenção da amostra foi identificado cada anel e colocado um pano e amarrado em uma de suas extremidades.

4.5 Métodos

4.5.1. Metodologia para obtenção dos dados

4.5.1.1 Índice de cone (IC)

A coleta dos dados da resistência mecânica à penetração foi obtida por um penetrômetro manual, pertencente ao GEMASA/ UFC e aplicado de acordo com a Norma ASAE S-313, à profundidade de 0-200 mm, registrando o índice de cone a cada 10 cm de

profundidade de penetração da haste no solo. A coleta dos dados se deu após a área ter sido dividida e terem sido escolhidos oito pontos ao acaso e demarcados por estacas, isto por sua vez foi realizado antes da operação do implemento na área e depois da operação.

Os dados obtidos em campo foram convertidos utilizando uma equação de conversão para se obter o valor em kPA do índice de cone, conforme OLIVEIRA (2012).

$$Y=0,0235x - 0,0917 \quad (3)$$

Em que: Y- é o valor obtido em campo;

X- é o valor do índice de cone em kPA

4.5.1.2 Diâmetro ponderado seco (DPS)

Buscando obter um parâmetro da distribuição dos agregados do solo em função do preparo do solo antes e depois da operação foi definido o Diâmetro Ponderado Seco (DPS), que suas amostras foram obtidas retiradas de uma profundidade de 10 cm, sem qualquer perturbação do seu estado estrutural em que se encontrava durante o preparo do solo. Estas amostras foram secas ao ar, por 48 horas, após foram peneiradas em um jogo de peneiras de malhas: maior que 4,76 mm; 2,00 mm; 1,00 mm; 0,50 mm; 0,25 mm; menor que 0,25 mm, em seguidas as frações de solo foram pesadas em uma balança analítica com fundo de escala de 0,01g.

Segundo Albiero (2006), a média ponderada dos valores obtidos foi baseada na seguinte equação:

$$DPS = \frac{\sum (Cn \times Ps)}{\sum Ps} \quad (4)$$

Sendo: Cn – é o centro de classe da peneira;

Ps – é o peso seco na temperatura de 105° da amostra respectiva ao centro de classe.

4.5.1.3 Índice de rugosidade (Inrug)

O índice de rugosidade foi determinado utilizando perfilômetro já descrito, anexado ao equipamento foi utilizado para leitura dos dados papel milimétrico, a Figura 6 mostra a leitura em campo do equipamento. Foram obtidos os dados antes e depois da operação.

Os valores da altura das varetas serão obtidos com a contagem dos pontos do papel milimétrico para cada amostra da área, este por sua vez terá o resultado da área em mm².

Figura 6: Leitura do dado utilizando perfilômetro em campo.



Fonte: Elaborado pela autora.

Segundo Mialhe (1996), o valor do índice de rugosidade será obtido com a seguinte equação:

$$I_{nrug} = \sigma_x * \bar{h}$$

(5)

Onde: σ_x – é o erro padrão entre os logaritmos naturais das alturas relativas das varetas;

\bar{h} - é a média das alturas relativas das varetas.

4.5.1.4 Densidade aparente do solo (γ)

A densidade do solo foi determinada pelo método do anel volumétrico, a coleta realizada foi na profundidade de 10 cm do solo, nos pontos distribuídos na área experimental. As amostras foram obtidas antes e depois da operação. As amostras foram pesadas e secas em estufa a 105°C, logo após pesadas novamente.

A densidade aparente do solo foi calculada com a seguinte equação:

$$\gamma = \frac{Ms}{V}$$

(6)

Sendo: Ms – é a massa seca da amostra de solo coletada com o anel volumétrico;

V – é o volume do anel.

4.5.1.5 Velocidade efetiva de trabalho (v)

A velocidade efetiva de trabalho foi obtida considerando o espaço percorrido pelo conjunto trator e implemento (arado de disco e subsolador) na área experimental, que foi de 20 m, que foi delimitado por estacas desconsiderando os cinco primeiros metros, quando a máquina atingia o espaço delimitado, era largada a cronometragem do tempo, quando passava do ponto final era parada a cronometragem.

A velocidade efetiva de trabalho foi determinada dividindo o espaço percorrido pelo tempo medido.

4.5.1.6 Umidade (U)

Para determinação da umidade do solo, as amostras foram coletadas em sacos plásticos identificadas, lacradas com fita gomada e armazenada num isopor para ser pesadas e obtido seu teor de massa úmida, depois foram secadas em estufa a 105°C por 24 horas e logo após pesadas novamente.

Segundo Kiehl (1979), o teor de água do solo foi determinado pela diferença da quantidade de água presente nas amostras, calculado pela seguinte equação:

$$U = \frac{(mu - ms)}{ms} \quad (7)$$

Em que: U – é a proporção de água presente na amostra relativa à massa seca do solo;

mu– é a massa úmida da amostra do solo;

ms – é a massa seca da amostra do solo.

4.5.1.7 Patinagem (Pat)

A patinagem pode ser obtida segundo a metodologia descrita por Mialhe (1996), se faz a marcação na área do espaço que será percorrido pelo conjunto trator e implemento (arado de disco e subsolador), que foi de 20 m. Se faz a contagem do número de voltas que o rodado fez com carga e sem carga no trator. A Figura 7 mostra obtenção da patinagem em campo.

Figura 7: Obtenção da patinagem em campo.



Fonte: Elaborada pela autora.

A patinagem foi calculada pela seguinte equação:

$$Pat = \frac{(Nvs \times Nvc)}{Nvc} \times 100 \quad (8)$$

Sendo: Nvs – é o número de voltas do rodado sem carga;

Nvc – é o número de voltas do rodado com carga.

4.5.1.8 Comprimento da fissura (CF)

Segundo Albiero (2006), o comprimento das fissuras foi obtido com uma leitura de medição utilizando régua, após a passagem do conjunto trator implemento na área experimental nos pontos distribuídos na área. A Figura 8 mostra a medição do comprimento em campo.

Figura 8: Medição do comprimento da fissura em campo.



Fonte: Elaborada pela autora.

4.5.1.9 Porosidade (P)

As amostras de porosidade do solo foram obtidas pelo método do anel volumétrico, a coleta realizada foi na profundidade de 10 cm do solo, nos pontos distribuídos na área experimental. As amostras foram obtidas antes e depois da operação. As amostras foram umedecidas por 24 horas e pesada. Depois foram colocadas na mesa de tensão, segundo Kiehl (1979), para retirada de umidade das amostras por 24 horas e logo após esse tempo secas em estufa a 105°C, logo após pesadas novamente, com isto se determinou porosidade total, macroporosidade e a microporosidade.

4.5.2 Metodologia para tratamento dos dados

A análise dimensional tem duas exigências técnicas que devem ser sempre respeitadas: todas as variáveis devem ter dimensões; todas as variáveis devem estar no mesmo sistema de medidas. A primeira exigência tem como resultado a necessidade de serem feitas manipulações de parâmetros que sejam adimensionais, de tal forma que se transforme em parâmetros dimensionais; a segunda resulta numa homogeneização de todas as unidades em um único sistema de unidades. (ALBIERO, 2006 apud PRACIANO et al, 2013).

Neste trabalho foi necessária uma adequação dos parâmetros a um mesmo sistema de unidades em prol da simplificação dos tratamentos e cálculos, neste caso o sistema de unidades escolhido para o trabalho foi o **sistema GCS** (Gramas (g), Centímetro (cm), Segundo (s)).

Em relação ao teor de água do solo (U) foi feita a conversão utilizando artifício matemático multiplicando pela densidade do solo, a qual foi obtida a amostra de umidade, e depois dividida pelo volume do anel volumétrico utilizado na obtenção da densidade dessa amostra.

$$DU = U * \gamma * Vol = [\%] * \frac{[g]}{[cm^3]} * [cm^3] = g \quad (9)$$

Sendo: DU – é dimensional de água;

γ - densidade do solo;

U – teor de água da amostra;

Vol – volume do anel.

Para o índice de patinagem (Pat) foi considerado o valor do perímetro rodado pelo

pneu.

A velocidade efetiva de trabalho (v) foi convertida em radiano por segundo e depois em cm/s.

Tem-se a tabela de conversão dimensional dos parâmetros avaliados que permitiu o tratamento adequado dos dados considerados neste trabalho, Tabela 1.

Tabela 1: Tabela de conversão dimensional dos parâmetros avaliados.

Nome do Parâmetro	Símbolo do Parâmetro	Dimensão Obtida	Fator de Conversão	Dimensão (GCS)
Densidade do solo	γ	g/cm^3	1	g/cm^3
Índice de Rugosidade	Inrug	mm	x0,1	cm
Diâmetro Ponderado Seco	DPS	mm	x0,1	cm
Porosidade	P	mm ³	x0,1	cm ³
Umidade	U	g	1	g
Comprimento de Fissura	CF	mm	x0,1	cm
Patinagem	Pat	m	x100	cm
Velocidade efetiva de trabalho	v	m/s	x100	cm/s
Índice de Cone	IC	kPa	x0,01	Kgf/cm^2

Fonte: Elaborada pela autora.

4.5.3 Metodologia de cálculo da análise dimensional

A metodologia utilizada na análise dimensional é baseada segundo Murph (1950), Taylor (1974), Langhaar (1951) e Szucs (1980).

Primeiro se faz a conversão dos parâmetros utilizados no experimento, em variáveis genéricas em suas dimensões básicas, conforme a tabela 2.

As dimensões básicas escolhidas foram de massa [M], comprimento [L], e tempo [T], as quais serão convertidas todos os parâmetros.

Tabela 2: Decomposição dos parâmetros em suas dimensões básicas.

Símbolo Genérico	Nome do Parâmetro	Símbolo do Parâmetro	Unidade	Dimensão Básica
K1	Densidade do solo	γ	g/cm^3	$[M]x[L]^{-3}$
K2	Índice de Rugosidade	Inrug	mm	$[L]$
K3	Diâmetro Ponderado Seco	DPS	mm	$[L]$
K4	Porosidade	P	mm^3	$[L]^3$
K5	Umidade	U	g	$[M]$
K6	Comprimento de Fissura	CF	mm	$[L]$
K7	Patinagem	Pat	m	$[L]$
K8	Velocidade efetiva de trabalho	v	m/s	$[L]x[T]^{-1}$
K9	Índice de Cone	IC	kPa	$[M]x[L]^{-1}x[T]^{-2}$

Fonte: Elaborada pela autora.

Segundo montar a matriz dimensional, Matriz 1, composta baseada nos expoentes das dimensões básicas.

Matriz 1:Matriz dimensional do experimento.

$$\begin{array}{c}
 M \\
 L \\
 T
 \end{array}
 \begin{bmatrix}
 K1 & K2 & K3 & K4 & K5 & K6 & K7 & K8 & K9 \\
 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 \\
 -3 & 1 & 1 & 3 & 0 & 1 & 1 & 1 & -1 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & -2
 \end{bmatrix}$$

Terceiro se faz necessário à verificação de que a matriz dimensional representa um sub-espço vetorial do fenômeno em estudo, o qual deve ser tridimensional (M, L, T). para isto se utiliza a propriedade da matriz que estabelece que para que um espaço vetorial tenha a dimensão n, o determinante de qualquer sub-espço referente a menor combinação dimensional (n) de quaisquer dimensões n deste sub-espço deve ser diferente de zero. O sub-espço escolhido para determinação do determinante foi (K1, K3 e K8).

Matriz 2: Sub-espço considerado para teste da característica da matriz.

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 1 \\ -3 & 1 & -1 \\ 0 & 0 & -2 \end{bmatrix}$$

O determinante deste sub-espço é igual a -2 , portanto comprova que a característica do sub-espço geral é 3, representando um sub-espço tridimensional.

Quarto montar o sistema de equações lineares homogêneas, baseado nas linhas da matriz dimensional, estas equações devem ser igualadas a zero, pois o resultado desse sistema linear homogêneo irá definir os Pi-termos, e estes sendo adimensionais, a soma de seus expoentes das dimensões básicas [M], [L] e [T] são zero, obriga que as equações dos operadores algébricos (K_n) sejam iguais a zero. (LANGHAAR 1951 apud ALBIERO, 2006).

Sistema de equações lineares:

$$\left\{ \begin{array}{l} K1 + K5 + K9 = 0 \quad (10) \\ -3K1 + K2 + K3 + 3K4 + K6 + K7 + K8 - K9 = 0 \quad (11) \\ -K8 - 2K9 = 0 \quad (12) \end{array} \right.$$

Resolvendo o Sistema em função $K7$, $K8$ e $k9$, temos:

$$K7 = \frac{9K1}{4} - K2 - K3 - 3K4 - \frac{-3K5}{4} - K6 \quad (13)$$

$$K8 = \frac{K1 + K5}{2} \quad (14)$$

$$K9 = -\frac{(K1 + K5)}{4} \quad (15)$$

Quinto montar a matriz solução, considerando todos os 9 parâmetros definidos estão sendo representados pelos 3 parâmetros principais (K7, K8 e K9). Para determinação do número de Pi-termos é dado pelo número de variáveis, que no caso são 9, menos a dimensão do sub-espço que é 3 obtendo um total de 6 Pi-termos adimensionais. (MACIEL, 1993 apud ALBIERO, 2006). A Matriz 3 mostra a matriz solução.

Matriz 3: Matriz solução do experimento.

	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9
$\pi 1$	1	0	0	0	0	0	9/4	½	-1/4
$\pi 2$	0	1	0	0	0	0	-1	0	0
$\pi 3$	0	0	1	0	0	0	-1	0	0
$\pi 4$	0	0	0	1	0	0	-3	0	0
$\pi 5$	0	0	0	0	1	0	-3/4	½	-1/4
$\pi 6$	0	0	0	0	0	1	-1	0	0

As linhas da matriz solução são os expoentes dos componentes dos Pi-termos, que representam os adimensionais formados pelos parâmetros avaliados, rearranjados de tal forma que estas variáveis independentes conjugadas em função de 3 variáveis principais sejam consideradas independentes entre si, mas dependentes dos parâmetros independentes.

Os Pi-termos são apresentados em sua forma aritmética genérica abaixo:

$$\begin{aligned}\pi 1 &= K1 \times K7^{9/4} \times K8^{1/2} \times K9^{-1/4} \\ \pi 2 &= K2 \times K7^{-1} \\ \pi 3 &= K3 \times K7^{-1} \\ \pi 4 &= K4 \times K7^{-3} \\ \pi 5 &= K5 \times K7^{-3/4} \times K8^{1/2} \times K9^{-1/4} \\ \pi 6 &= K6 \times K7^{-1}\end{aligned}$$

A forma específica dos Pi-termos está representada abaixo:

$$\pi_1 = \frac{\gamma x Pat^{9/4} x v^{1/2}}{IC^{1/4}} \quad (16)$$

$$\pi_2 = \frac{Inrug}{Pat} \quad (17)$$

$$\pi_3 = \frac{DPS}{Pat} \quad (18)$$

$$\pi_4 = \frac{P}{Pat} \quad (19)$$

$$\pi_5 = \frac{U x v^{1/2}}{Pat^{3/4} x IC^{1/4}} \quad (20)$$

$$\pi_6 = \frac{CF}{Pat} \quad (21)$$

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos desse trabalho foram divididos em duas categorias, o primeiro refere-se à estatística descritiva e o segundo ao tratamento da análise dimensional.

A estatística descritiva foi baseada na diferenciação entre os parâmetros coletados antes e depois da mecanização, para ter uma comparação entre o uso dos implementos (arado de disco e subsolador), na área.

A análise dimensional foi baseada na obtenção dos Pi-termos e juntamente com os dados obtidos em campo relacionar o fenômeno de estudo, no caso preparo do solo, e os parâmetros escolhidos, para que fosse possível a determinação do novo índice, baseado no teorema de Buckingham.

5.1. Estatística descritiva

A Estatística Descritiva foi baseada nos seguintes componentes: Desvio padrão; Média; Mínimo; Máximo; Variância; Amplitude; Coeficiente de variação; Assimetria e Curtose.

Os parâmetros avaliados foram os seguintes: Diâmetro Ponderado Seco (DPS); Umidade (U); Densidade aparente do solo (γ); Índice de rugosidade (Inrug); Porosidade (P) e o Índice de Cone (IC).

Na tabela 3 estão dispostas as análises estatísticas descritivas obtidas antes da operação do arado de disco. Na tabela 4 corresponde aos dados após a operação do implemento.

Tabela 3: Medidas estatísticas descritivas antes da operação com arado de disco.

	DPS(mm)	U(%)	Inrug(mm)	$\gamma(g/cm^3)$	P(mm ³)	IC(kPa)
Desvio Padrão	0,170	6,894	0,003	0,1442	0,191	200,157
Média	0,959	4,657	0,063	1,345	0,842	812,41
Mínimo	0,738	0,028	0,059	1,114	0,483	514,54
Máximo	1,281	21,269	0,069	1,482	1,063	1195,39
Variância	0,028	0,475	$1,390 \times 10^{-5}$	0,020	0,036	40063,07
Amplitude	0,542	21,240	0,009	0,368	0,58	680,85
Coeficiente de variação	17,726	148,044	0,058	0,107	0,227	0,246
Assimetria	0,942	254,722	-1,302	-0,75	-0,495	0,697
Curtose	0,820	676,966	-0,767	-0,81	-0,294	1,702

Fonte: Elaborada pela autora.

Tabela 4: Medidas estatísticas descritivas após operação com arado de disco.

	DPS(mm)	U(%)	Inrug(mm)	$\gamma(g/cm^3)$	P(mm ²)	IC(kPa)
Desvio Padrão	0,177	2,093	0,009	0,270	0,385	167,792
Média	0,881	4,944	0,071	1,393	0,855	897,515
Mínimo	0,650	2,399	0,059	1,022	0,018	727,3
Máximo	1,213	9,316	0,087	1,755	1,256	1264,35
Variância	0,031	0,043	$9,17016 \times 10^{-5}$	0,073	0,148	28154,19
Amplitude	0,563	6,917	0,027	0,733	1,238	537,05
Coefficiente de variação	0,201	42,335	0,133	-0,194	0,451	0,186
Assimetria	0,757	134,973	0,542	-0,427	-1,234	-0,119
Curtose	0,626	250,478	-0,879	-1,174	2,347	-2,219

Fonte: Elaborada pela autora.

Pode-se observar que os valores das medias dos parâmetros antes da operação, em comparação com os valores após a operação do arado de disco tiveram uma pequena variação. O coeficiente de variação do parâmetro umidade do solo foi o que mais apresentou alteração em seu valor, quando comparado às duas situações.

Tabela 5: Medidas estatísticas descritivas antes operação com subsolador.

	DPS(mm)	U(%)	Inrug(mm)	$\gamma(g/cm^3)$	P(mm ²)	IC(kPa)
Desvio Padrão	0,087	2,097	0,002	0,141	0,118	139,633
Média	0,928	2,672	0,062	1,375	0,822	1429,43
Mínimo	0,805	0,010	0,060	1,158	0,617	1237,94
Máximo	1,063	6,173	0,067	1,535	0,999	1578,37
Variância	0,007	0,044	$4,91979 \times 10^{-6}$	0,020	0,01	19497,55
Amplitude	0,257	6,162	0,007	0,377	0,382	340,43
Coefficiente de variação	0,094	78,483	0,035	0,102	0,144	0,097
Assimetria	-0,220	43,7652	1,473	-0,595	-0,223	1,111
Curtose	-0,434	-50,894	3,161	-1,093	0,173	1,367

Fonte: Elaborada pela autora.

Tabela 6: Medidas estatísticas descritivas após operação com subsolador.

	DPS(mm)	U(%)	Inrug(mm)	$\gamma(g/cm^3)$	P(mm ³)	IC(kPa)
Desvio Padrão	0,049	3,451	0,012	0,218	0,133	143,419
Média	0,808	5,547	0,085	1,277	0,866	25,17
Mínimo	0,755	0,198	0,076	0,874	0,669	12,41
Máximo	0,902	10,028	0,113	1,496	1,057	429,43
Variância	0,902	0,119	0,0001	0,047	0,017	20569,23
Amplitude	0,146	9,829	0,036	0,622	0,388	417,02
Coefficiente de variação	0,060	62,216	0,148	0,170	0,153	5,698
Assimetria	0,898	-15,04	1,778	-0,975	0,011	2,806
Curtose	0,509	-113,416	2,963	-0,064	-0,790	7,906

Fonte: Elaborada pela autora.

Observar-se que a variação entre as medias dos parâmetros também apresentaram uma baixa variação, quando comparados á situação de antes da mecanização e após mecanização. O coeficiente de variação apresentou uma diferença nos valores dos parâmetros, umidade do solo e no índice de cone, tendo uma variação de uma pequena redução na umidade, e um aumento no índice de cone, isso após a operação com o subsolador.

Pode-se observar que os valores das medias, do parâmetro densidade do solo, tanto para operação com arado de disco e como o subsolador apresentaram um aumento após a mecanização, este fato estar relacionado com a pressão que o solo é submetido durante uma atividade agrícola, o qual irá causar um aumento no número de partículas por unidade de volume e a distribuição de água será alterada por causa distribuição desuniforme da pressão e do movimento das partículas do solo.

O solo da área onde foi realizado o experimento foi classificado como um Argissolo Amarelo Eutrófico típico, o qual apresenta como característica baixa atividade de argila ou alta conjugada com saturação por bases baixa, além de possuir um horizonte B textural logo abaixo de um horizonte superficial e de ter profundidade variável podendo ser bem drenados ou imperfeitamente drenados.

O solo argiloso de uma forma geral apresenta valores de densidade do solo variando entre 0,9 a 1,7 g/cm^3 . Quando submetido a compactação com probabilidade de riscos de restrição ao crescimento radicular, os valores são em torno de 1,45 g/cm^3 . Com os dados obtidos pode-se observar que os valores da media de densidade do solo foram superiores ao pré-estabelecido antes da operação e após a operação apresentaram valores maiores tanto no arado de disco, como no subsolador.

Segundo Pedrotti et al., (2001), a resistência à penetração serve para descrever a resistência física que o solo oferece a algo que tenta se mover através dele. Ela está diretamente correlacionada com vários atributos e condição do solo, como textura, densidade, matéria orgânica e, principalmente, a umidade no momento da determinação. Também pode ser influenciada pela coesão (GIAROLA et al., 2001).

Os valores das medias, do parâmetro índice de cone, apresentaram um aumento quando submetido á ação do arado de disco. Isto mostra que o implemento causa compactação ao solo aumentando a coesão entre as partículas do solo. Quando comparado o valor obtido após a mecanização com o subsolador verifica-se uma redução na media, isto comprova que o implemento causar menos impacto ao solo.

5.2. Análise dimensional

A forma específica dos Pi-termos é explicada baseada na correlação com os parâmetros utilizados neste trabalho.

$$\pi_1 = \frac{\gamma * Pat^{9/4} * v^{1/2}}{IC^{1/4}} \quad (22)$$

A relação entre a densidade do solo, a patinagem, a velocidade efetiva de trabalho e o índice de cone, tem como princípio o teor de umidade do solo, pois este irá influenciar tanto na capacidade de resistência do solo, quanto ao espaço poroso no solo e consequentemente implica nas condições estruturais do solo, fato este que irá interferir tanto na patinagem como na velocidade.

$$\pi_2 = \frac{Inrug}{Pat} \quad (23)$$

A relação entre o índice de rugosidade com a patinagem baseia-se no teor da estruturação do solo, que se este por sua vez apresentar cristas e sulcos irá interferir na velocidade do deslizamento das camadas superficial do solo e na sua capacidade de desagregar e transportar o solo, com isso ocasionando na patinagem valores fora dos limites permitidos.

$$\pi_3 = \frac{DPS}{Pat} \quad (24)$$

A relação entre o diâmetro ponderado seco e a patinagem baseia-se na distribuição

dos agregados no solo por tamanho e se o solo apresenta resistência à dispersão evitando assim alterações nas camadas superficiais durante operações agrícolas.

$$\pi_4 = \frac{P}{Pat} \quad (25)$$

A relação entre a porosidade do solo e a patinagem, estar relacionada com o teor de umidade do solo, ou seja, o espaço ocupado pela água na estrutura do solo, que por sua vez irá interferir na dinâmica desse solo, que este não apresentando uma distribuição coerente no teor de água em seu perfil faz com que durante operação agrícola altere os valores limites permitidos de patinamento.

$$\pi_5 = \frac{U * v^{1/2}}{Pat^{3/4} * IC^{1/4}} \quad (26)$$

A relação entre a umidade do solo, a velocidade efetiva de trabalho, a patinagem e o índice de cone estar relacionada com o teor de água presente no solo, que este por sua vez desempenha papel importante na estruturação do solo, o qual irá influenciar no grau de resistência desse solo, e conseqüentemente interferindo na dinâmica desse solo.

$$\pi_6 = \frac{CF}{Pat} \quad (27)$$

A relação entre o comprimento de fissuras e a patinagem mostra o teor de desagregação do solo oriunda de ações mecânicas interferindo assim na estruturação do solo e a sua dinâmica.

5.2.1 Índice adimensional para o preparo do solo

Com base nos Pi-termos obtidos e aplicando o teorema de BUCKINGHAN foi possível determinar o Índice Adimensional para o preparo de solo. Para isto foi aplicado à função $\phi(\pi_A)$ do teorema. Considerando que o Pi-Termo mais importante para explicar o fenômeno é o (π_1) , o teorema de Buckingham prescreve que a função $\phi(\pi_A)$ é igual a (π_1) .

As equações que representam essa dedução estão representadas a seguir:

1- Teorema de BUCKINGHAN:

$$\pi_A = F(\pi_1, \pi_2, \pi_3, \dots, \pi_n - r) \quad (28)$$

2- Aplicando a função de $\phi(\pi A)$ no teorema temos:

$$\phi(\pi A) = k * (\pi 1)^a * (\pi 2)^b * (\pi 3)^c * (\pi 4)^d * (\pi n - r)^x \gamma \quad (29)$$

3- Definindo que a função de $\phi(\pi A)$ será igual ao Pi-termo $\pi 1$ temos:

$$\phi(\pi A) = \pi 1 \quad (30)$$

4- Aplicando no teorema em função de $\phi(\pi 1)$ temos que:

$$\phi(\pi 1) = F(\pi 2, \pi 3, \pi 4, \pi 5, \pi 6) \quad (31)$$

5- Logo temos que $\phi(\pi 1)$ será igual ao $\pi 1$ e aplicando ao teorema temos a seguinte equação:

$$(\pi 1) = \log k * (\log \pi 2)^a * (\log \pi 3)^b * (\log \pi 4)^c * (\log \pi 5)^d * (\log \pi 6)^e \quad (32)$$

Com os valores obtidos do resultado de cada equação dos Pi-termos foi possível determinar, os valores de cada coeficiente aplicando cálculo algébrico de sistema linear homogêneo. Os dados para arado de disco e subsolador correspondem ao período após operação mecânica.

A expressão que corresponde ao arado de disco é a seguinte:

$$(\pi 1) = 93,42 * (\pi 2)^{13,66} * (\pi 3)^{4,59} * (\pi 4)^{-0,97} * (\pi 5)^{-2,06} * (\pi 6)^{-2,82} \quad (33)$$

A expressão que corresponde ao subsolador é a seguinte:

$$(\pi 1) = 24,06 * (\pi 2)^{0,27} * (\pi 3)^{2,18} * (\pi 4)^{0,63} * (\pi 5)^{0,62} * (\pi 6)^{-0,93} \quad (34)$$

Substituindo os valores correspondentes em todos os Pi-termos foram escolhidos 5 pontos dentro dos 8 existentes e feito uma média desses valores. Isto tanto para o arado de disco, como o subsolador. Após a determinação das médias foi escolhido um ponto do arado de disco, e os seus valores foram substituídos na expressão do subsolador e um ponto do subsolador foi substituído os valores na expressão do arado de disco.

O valor encontrado quando substituído o valor do ponto 7 do arado de disco na expressão do subsolador foi de: $1,899 * 10^{-13}$, enquanto que o valor obtido do ponto 7 do subsolador substituído na expressão do arado de disco foi de: $2,247 * 10^{-83}$.

Na fenomenologia do preparo do solo representada pelo modelo de análise dimensional definido pela função $\phi(\pi 1)$, quando valores de um implemento não conservacionista, no caso deste trabalho foi arado de disco são colocados em uma equação de um implemento conservacionista o subsolador, o resultado é um valor menor do que quando os valores do subsolador são substituídos na equação do subsolador.

Este fato indica a hipótese de que preparos de solo não conservacionistas minoram

o valor da função $\phi(\pi_1)$. Esta hipótese é reforçada pelo fato de que quando se colocar valores de um implemento conservacionista no caso o do subsolador, em uma equação de um implemento não conservacionista, o arado de disco, o resultado segue a mesma tendência, ou seja o valor menor se dá para os dados do implemento não conservacionista.

Esta homologia entre os dados e as equações pode ser interpretada pelo fato de que a análise dimensional conseguiu atingir o âmago do fenômeno de preparo do solo, definindo equações que são imunes as diferentes condições do solo em que a ação das ferramentas ocorre.

Desta forma é possível definir uma faixa de valores para a função $\phi(\pi_1)$ que limita a conceituação de preparo conservacionista. Esta faixa de valores é dependente do tipo de implemento. Assim para o implemento subsolador esta faixa de valores em que considera-se como um preparo adequado (conservacionista) varia entre:

$$1,467 * 10^{-15} > \phi(\pi_1) > 2,401 * 10^{-13}$$

Para o implemento arado de disco a faixa de valores em que considera-se como um preparo adequado (conservacionista) varia entre:

$$2,619 * 10^{-84} > \phi(\pi_1) > 2,267 * 10^{-82}$$

(CQD).

6. CONCLUSÕES

Foram avaliados os efeitos ocasionados durante o preparo de solo com arado de disco e subsolador, ambas as máquinas atuaram no solo e dados de variáveis físicas e operacionais destas foram obtidos. A metodologia de análise dimensional foi aplicada com sucesso.

Os Pi-Termos determinados pela análise dimensional relacionaram diretamente o fenômeno estudo (preparo do solo) com as variáveis físicas e operacionais do arado de discos e o subsolador. Foi determinado o Índice Adimensional para Preparo de Solo segundo a metodologia da álgebra linear e o teorema de Buckingham.

Os efeitos dos implementos utilizados apresentaram variação nas propriedades físicas do solo demonstrando que o subsolador tem uma ação mais conservacionista do que o arado de discos e o Índice Adimensional para Preparo do Solo detectou esta diferença na fenomenologia do preparo do solo sendo que foi possível determinar faixas limites onde o diagnóstico sobre o conservacionismo do preparo é preciso.

A faixa de valores para o implemento subsolador ser considerado um preparo do solo conservacionista é de: $1,467 \times 10^{-15} > \emptyset(\pi 1) > 2,401 \times 10^{-13}$. Para o arado de disco ser considerado conservacionista a faixa de valores encontrada foi de: $2,619 \times 10^{-84} > \emptyset(\pi 1) > 2,267 \times 10^{-82}$.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALBIERO, D. **Avaliação do Preparo de Solo empregando o sistema de Cultivo Conservacionista em Faixas com “Paraplow” Rotativo usando Análise Dimensional**. 2006. 321 p. (Dissertação de Mestrado). Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola da Universidade Estadual de Campinas, 2006.
- ARAÚJO, K. L. B.; VILIOTTI, C. A.; SILVA, S. F. da; FERNANDES, F. R. B.; DUARTE, J. M. de L. **Desempenho operacional e energético de um microtrator acoplado a um arado de disco**. In: X CONGRESSO LATINOAMERICANO Y DEL CARIBE DE INGENIERÍA AGRÍCOLA E XLI CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 2012. Londrina. **Anais...**Londrina: PR 2012. CD-ROM.
- ASAE. AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS. *Terminology and definitions for soil tillage and soil tool relationships*. In: ASAE Standards 1982. St. Joseph, 1982. p.229-41. (ASAE EP291.1).
- BERTOL, I. et al. **Propriedades físicas do solo sob preparo convencional e semeadura direta em rotação e sucessão de culturas, comparadas às do campo nativo**. Viçosa-MG. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. 2004. p. 155-163.
- BOLLER, W. **Cuidados com o solo**. Revista Cultivar Máquinas, v.5, p.06-08, set/out. 2001.
- BRASIL. Ministério da Agricultura. **Divisão de Pesquisa Pedológica, DNPEA. Levantamento exploratório reconhecimento de solos do estado do Ceará**. Recife, convênios MA/DNPEA-SUDENE/DRN, MA/CONTAP/USAID/ETA, 1973. 2v. 502p. (Boletim Técnico, 28).
- CAMARGO, O. A.; ALLEONI, L. R. F. **Compactação do solo e o desenvolvimento das plantas**. Piracicaba: ESALQ, 1997. 132p.
- CARVALHO FILHO, A.; DA SILVA, R. P.; CENTURION, J. F.; CARVALHO, L. C.C.; LOPES, A. **Agregação de um latossolo vermelho submetido a cinco sistemas de preparo do solo**. Uberaba-MG. Engenharia Agrícola. 2007.p. 317-325.
- CASTRO, O. M. **Aspectos de manejo do solo**. Campinas: Fundação Cargill, 1985. 43-70p.
- DERPSCH, R.; ROTH, C.H.; SIDIRAS, N.; KOPKE, U. **Controle da erosão no Paraná, Brasil: sistemas de cobertura do solo, plantio direto e preparo no conservacionismo do solo**. Eschborn: GTZ, 1991. 272 p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3ª ed. Brasília-DF, EMBRAPA, 2013. 353p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Técnicas de preparo do solo. Efeitos na fertilidade e na conservação do solo, nas ervas daninhas e na conservação de água**. Goiânia – GO, EMBRAPA, 1984.Circular Técnica.
- EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro, 2006
- FERRARI, T.S. **Aplicação de números índices no cálculo da cesta básica**. 2017. p.88. (Dissertação de Mestrado). São José do Rio Preto. Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, 2017.
- FERREIRA, J. T. P. **Desenvolvimento de Planossolos em distintas condições geoambientais e o efeito do pousio em áreas sob processo de desertificação**. Fortaleza, Universidade Federal do Ceará, 2015. 113p. (Tese de Doutorado).
- FIGUEIREDO, P.R.A. **Otimização do desempenho de uma máquina de preparo mínimo de solo**. 1991. p.114.(Dissertação de Mestrado). Campinas. Faculdade de Engenharia Agrícola da Universidade Estadual de Campinas, 1991.
- FOLLE, S. M.; SEIXAS, J. M. **Mecanização agrícola**. In: GOEDERT, W. J. (Ed.). **Solos dos cerrados: tecnologia e estratégias de manejo**. São Paulo : NOBEL/Embrapa-CPAC, 1986. p. 385-408.

- FOMOSO, C.T. **Análise dos números índices de preços da indústria da construção – subsetor edificações**. 1986. p.167. (Dissertação de Mestrado). Porto Alegre. Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1986.
- GALETI, P.A. **Mecanização agrícola preparo do solo**. Campinas: Instituto Campineiro de Ensino Agrícola, 1981. 221p.
- GAMERO, A.C. **Desempenho operacional de um subsolador de hastes com curvatura lateral (“paraplow”), em função de diferentes velocidades de deslocamento e profundidades de trabalho**. 2008. 87 p. (Dissertação de Mestrado). Botucatu, Faculdade de Ciências Agrônomicas da Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita Filho”, 2008.
- GIAROLA, N.F.B.; SILVA, A.P.; TORMENA, C.; SOUZA, L.S. & RIBEIRO, L.P. **Similaridades entre o caráter coeso dos solos e o comportamento Hardsetting: Estudo de caso**. R.Bras. Ci. Solo, 25:239-247, 2001
- MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE – MMA. Programa de Ação Nacional de Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca PAN-Brasil. Secretaria de Recursos Hídricos, Brasília – DF, 2004. 213p.
- GILL, W. R.; VANDEN BERG, G. E. **Soil dynamics in tillage and traction**. 1o Ed. Washington: USDA, 1968.
- GROHMANN, F.; ARRUDA, H.V. **Influência do preparo do solo sobre a estrutura da terra roxa legítima**. *Bragantia*, Piracicaba, v.20, p.1203-9, 1961.
- HOFFMANN, Rodolfo. **Estatística para economistas**. São Paulo: Pioneira, 1980. 379 p.
- KIEHL, E. J. **Manual de edafologia**. 1o Ed. São Paulo: Ceres, 1979.
- LANGHAAR, H. L. **Dimensional analysis and theory of models**. 1o Ed. New York: John Wiley and Sons, 1951.
- MAGALHAES, P.S.G. **Manejo de solo e seus efeitos sobre a compactação**. In: IV Cicio de Estudos sobre Mecanização Agrícola. Campinas. Fundação Cargill. 1990. p.156-167.
- MAIA, J. C. S.; DANIEL, L. A. **Determinação de esquemas de amostragem para avaliação de propriedades físicas do solo sob diferentes sistemas de preparo**. 1999 172 p. (Tese de Doutorado). Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola da Universidade Estadual de Campinas, 1999.
- MIALHE, L. G. **Máquinas Agrícolas: Ensaio e certificação**. Piracicaba: FEALQ, 1996.
- MOREIRA, E.G.S. **Caracterização e gênese de três pedons de solonetz solodizado do sertão central e médio Jaguaribe estado do Ceará**. 1979. 83p. (Tese de Doutorado). Piracicaba, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 1979.
- MURPHY, G. **Similitude in engineering**. 1o Ed. New York: Ronald Press, 1980.
- OLIVEIRA, G. S. **Estudo da pressão de compactação gerada por roda compactadora de semeadora de precisão para definição de regulagens adequadas para as condições dos solos do Ceará**. 2012. (Monografia). Fortaleza. Universidade Federal do Ceará, 2012.
- PEDROTTI, A.; PAULETTO, E.A. & CRESTANA, S. **Resistência mecânica à penetração de um Planossolo submetido a diferentes sistemas de cultivo**. R. Bras. Ci.Solo, 25:521-529, 2001.
- PINTO, O. R. O. **Manejo do sorgo granífero submetido a diferentes doses de nitrogênio e potássio aplicadas pelo método convencional e por fertirrigação**. Fortaleza. Universidade Federal do Ceará. 2008. p.75. (Dissertação de Mestrado).
- PRACIANO, A. C; ALBIERO, D; MONTEIRO, L.A; MOTA, J.C.A; COSTA, M.C.G. **Números adimensionais para diagnóstico de conservacionismo do solo em função do implemento agrícola**. XLII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola – CONBEA. 2013.

RIBEIRO, M.R.; SAMPAIO, E.V.S.B.; GALINDO, I.C.L. **Os solos e o processo de desertificação no semiárido brasileiro.** In: RIBEIRO, M.R. *et al.* Tópicos em Ciência do Solo. Viçosa-MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p.413-454, 2009.

SIDIRAS, N.; HENKLAIN, J.C.; DERPSH, R. **Comparação de três métodos de preparo do solo em relação a algumas propriedades físicas, perdas de solo e água e a produtividade de soja e trigo em um latossolo roxo distrofico.** J. agronomy and crop cie., 151:137-48, 1982.

SILVA, J.C; WENDLING, B; CAMARGO, R; MEDONÇA, L.B.P; FREITAS, M.C.M. **Análise comparativa entre os sistemas de preparo do solo: aspectos técnicos e econômicos.** 2011. p.1-11.Goiânia. Enciclopédia Biosfera, Centro Científico Conhecer, 2011.

SILVA, J.E; CORAZZA, E.J; RESCK, D.V.S; GOMES, A.C. **Comportamento de diferentes sistemas de manejo como fonte ou depósito de carbono em relação à vegetação de cerrado. Tópicos em Ciência do Solo.** Viçosa-MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. 1999. p.425-432.

STONE, L. F.;SILVEIRA, P. M. **Efeitos do sistema de preparo e da rotação de culturas na porosidade e densidade do solo.** Goiás, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. p.395-401.

SZUCS, E. **Similitude and modelling.** 1o Ed. Amsterdam: Elsevier, 1980.

TABAK, S. I.; BIRAN, A. B.; MANOR, G. Airflow induced by falling cottonseed particles. **Biosystems Engineering.** 81: 395-405. 2002.

TAYLOR, E. S.. **Dimensional analysis for engineers.** 1o Ed. Oxford: Oxford University Press, 1974.

VIEIRA, M.J. **Cultivo mínimo comparado a outros sistemas; efeitos no solo e na planta.** In: KHERGIA NA AGRICULTURA: TECNOLOGIAS POUPADORAS DE INSUMOS, 1, Jaboticabal, 1984. Anais ... Jaboticabal, UNESP, FUNEP, 1985. p 33-54.