

# Elementos da Natureza e Propriedades do Solo

Atena Editora



Atena Editora

**ELEMENTOS DA NATUREZA E PROPRIEDADES DO  
SOLO**

---

Atena Editora  
2018



2018 by Atena Editora

Copyright © da Atena Editora

**Editora Chefe:** Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

**Edição de Arte e Capa:** Geraldo Alves

**Revisão:** Os autores

#### Conselho Editorial

Profª Drª Adriana Regina Redivo – Universidade do Estado de Mato Grosso  
Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas  
Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília  
Prof. Dr. Carlos Javier Mosquera Suárez – Universidad Distrital de Bogotá-Colombia  
Prof. Dr. Constantino Ribeiro de Oliveira Junior – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª. Drª. Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná  
Profª Drª. Deusilene Souza Vieira Dall'Acqua – Universidade Federal de Rondônia  
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná  
Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice  
Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins  
Profª. Drª. Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão  
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará  
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista  
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas  
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande  
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

<b>Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)</b>	
A864e	Atena Editora. Elementos da natureza e propriedades do solo [recurso eletrônico] / Atena Editora. – Ponta Grossa (PR): Atena Editora, 2018. 10.500 kbytes – (Ciências Agrárias; v.1)  Formato: PDF Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader Modo de acesso: World Wide Web DOI 10.22533/at.ed.653182002 ISBN 978-85-93243-65-3  1. Agricultura. 2. Ciências agrárias. 3. Solos. 4. Sustentabilidade. I. Título. II. Série.  CDD 631.44
<b>Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422</b>	

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos seus respectivos autores.

2018

Proibida a reprodução parcial ou total desta obra sem autorização da Atena Editora

[www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)

E-mail: [contato@atenaeditora.com.br](mailto:contato@atenaeditora.com.br)

## Sumário

### **CAPÍTULO I**

#### **A INTERAÇÃO ENTRE RIZÓBIOS E PASTAGENS CULTIVADAS**

Rafael Goulart Machado, Enilson Luiz Saccol de Sá e Leandro Hahn ..... 7

### **CAPÍTULO II**

#### **ACÚMULO DE N E PRODUTIVIDADE DO MILHO-DOCE EM FUNÇÃO DE MODOS E ÉPOCAS DO NITROGÊNIO EM COBERTURA**

João Paulo de Moraes Oliveira, Bruna Santos de Oliveira, Dalton Ribeiro, Leandro Mariano da Silva, Jéssica Ferreira Silva e Adilson Pelá.....23

### **CAPÍTULO III**

#### **ADUBAÇÃO NITROGENADA COM UREIA CONVENCIONAL E REVESTIDA COM POLÍMEROS NA CULTURA DO MILHO**

Weslei dos Santos Cunha, Osvaldo Fernandes Júnior, Tadeu Cavalcante Reis, Charles Cardoso Santana, Letícia da Silva Menezes e Adilson Alves Costa.....32

### **CAPÍTULO IV**

#### **AFERIÇÃO DE ATRIBUTOS MICROBIOLÓGICOS EM ÁREAS SOB RECUPERAÇÃO NA SERRA DA BODOQUENA, EM BONITO-MS**

Izabelli dos Santos Ribeiro, Simone da Silva Gomes, Robison Yuzo Ono e Milton Parron Padovan.....40

### **CAPÍTULO V**

#### **ANÁLISE DA COBERTURA DO SOLO DA BACIA DO RIO DOS CACHORROS EM SÃO LUIS (MA) ENTRE OS ANOS DE 1988 E 2010 A PARTIR DE IMAGENS DE SENSORES ORBITAIS**

Janilci Serra Silva e Marcelino Silva Farias Filho .....49

### **CAPÍTULO VI**

#### **ATIVIDADE DA ENZIMA B-GLICOSIDASE EM DIFERENTES CONFORMAÇÕES DE INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA-FLORESTA NO CERRADO BRASILEIRO**

Daniela Tiago da Silva Campos, Ana Carla Stieven, Willian Mesquita Mendes e Flávio de Jesus Wruck.....60

### **CAPÍTULO VII**

#### **ATRIBUTOS PARA MAPEAMENTO DIGITAL DE SOLOS: O ESTUDO DE CASO DA BACIA DO RIBEIRÃO ARROJADO, MUNICÍPIO DE CRISTALINA – GOIÁS**

Lucas Espíndola Rosa, Nicali Bleyer Ferreira dos Santos, Maximiliano Bayer, Selma Simões de Castro, Elizon Dias Nunes e Luís Felipe Soares Cherem .....68

### **CAPÍTULO VIII**

#### **ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO COM DIFERENTES PREPAROS E DOSES DE FÓSFORO EM LATOSSOLO VERMELHO NO NOROESTE PAULISTA**

Elvis Henrique Rocha da Silva, Renato Molina da Silva Junior e Paulo Roberto de Sousa Junior .....83

## **CAPÍTULO IX**

### **AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DO SOLO COMO INSTRUMENTO DE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS PELA MINERAÇÃO**

Alana Rayza Vidal Jerônimo do Nascimento e Karina Patrícia Vieira da Cunha.....91

## **CAPÍTULO X**

### **AVALIAÇÃO DA VARIABILIDADE ESPACIAL DE ATRIBUTOS FÍSICO-QUÍMICOS EM NEOSSOLO QUARTZARÊNICO CULTIVADO COM MUSA SPP. CV. GRANDE NAINÉ EM MISSÃO VELHA-CE**

Ruana Íris Fernandez Cruz, Sebastião Cavalcante de Sousa, José Valmir Feitosa, Antonia Julliana Sarafim Bezerra e Alyne Araújo da Silva..... 111

## **CAPÍTULO XI**

### **AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE USO DE SEDIMENTOS COMO CONDICIONANTE DE SOLO: ESTUDO DE CASO DA LAGOA DA URUSSANGA VELHA (BALNEÁRIO RINCÃO - SC)**

Émilin de Jesus Casagrande de Souza, Fernando Basquioto de Souza e Marcos Back ..... 118

## **CAPÍTULO XII**

### **AVALIAÇÃO E TESTE DE UM MINI PENETRÔMETRO DINÂMICO PARA A DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA DO SOLO À PENETRAÇÃO**

Ludmila Gomes Ferreira, José Fernandes de Melo Filho, João Albany Costa, Ana Carolina Rabelo Nonato, Raquel Almeida Cardoso da Hora e Maria Magali Mota dos Santos ..... 127

## **CAPÍTULO XIII**

### **BIOMASSA MICROBIANA EM SOLOS DO CERRADO SOB DIFERENTES USOS PELO MÉTODO DE IRRADIAÇÃO-EXTRAÇÃO**

Verônica Alves Vieira, Maria Victória Ferreira Ribeiro, Liliane Mendes Gonçalves, Vinícius Santana Mota e Marco Aurélio Pessoa de Souza ..... 146

## **CAPÍTULO XIV**

### **CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DA FIBRA DE ALGODÃO SUBMETIDA A DIFERENTES DOSES E FORMA DE APLICAÇÃO DE ENXOFRE ELEMENTAR**

Elias Almeida dos Reis, Liliane dos Santos Sardeiro, Tadeu Cavalcante Reis, Alberto do Nascimento Silva, Charles Cardoso Santana e Tatiana Cruz Amaral..... 154

## **CAPÍTULO XV**

### **CARACTERIZAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DE ORGANOSSOLOS EM AMBIENTE ALTOMONTANO NO PARQUE NACIONAL DO ITATIAIA**

Paula Fernanda Chaves Soares, Lúcia Helena Cunha dos Anjos, Marcos Gervasio Pereira e Fernando Zuchello.....**Erro! Indicador não definido.**

## **CAPÍTULO XVI**

### **COINOCULAÇÃO COM RIZOBACTÉRIAS EM ASSOCIAÇÃO COM ÁCIDOS HÚMICOS NA CULTURA DO FEIJOEIRO-COMUM**

Érica de Oliveira Araújo, Juliana Guimarães Gerola, Juan Ricardo Rocha, Leandro Cecílio Matte e Kamila Cabral Mielke..... 174

## **CAPÍTULO XVII**

### **COMPORTAMENTO DO CARBONO ORGÂNICO EM SOLO DEGRADADO EM PROCESSO DE RECUPERAÇÃO**

Kellian Kenji Gonzaga da Silva Mizobata, Mayara Maggi, Adriana Avelino Santos e Kátia Luciene Maltoni ..... 188

## **CAPÍTULO XVIII**

### **DESEMPENHO AGRONÔMICO DO MILHO EM FUNÇÃO DA ADUBAÇÃO NITROGENADA**

Elaine Heberle, Daniela Vieira Chaves, José Alves Pessoa Neto, Joaquim Martins de Sousa Filho, Jonas Sousa Santana e Fabio Luiz Zanatta..... 197

## **CAPÍTULO XIX**

### **DESRAMA ARTIFICIAL DE AZADIRACHTA INDICA A. JUSS EM RESPOSTA AO MÉTODO DE CULTIVO EM MACAÍBA, RN**

Camila Costa da Nóbrega, Ciro de Oliveira Ribeiro, Luan Henrique Barbosa de Araújo, Jucier Magson de Souza e Silva, Gualter Guenther Costa da Silva e Ermelinda Maria Mota Oliveira ..... 214

## **CAPÍTULO XX**

### **EFEITO DA COMPACTAÇÃO DO SOLO NO CRESCIMENTO AÉREO E RADICULAR DE MIMOSA CAESALPINIIFOLIA BENTH**

Luan Henrique Barbosa de Araújo, Gualter Guenther Costa da Silva, Camila Costa da Nóbrega, Ermelinda Maria Mota Oliveira, Priscila Lira de Medeiros e Daniel Nunes da Silva Junior ..... 220

## **CAPÍTULO XXI**

### **EFEITO DO ESTERCO DE GALINHA INCORPORADO NOS ATRIBUTOS QUÍMICOS DE UM LATOSSOLO**

Glaudson Luiz Facas, Carlos Augusto Testa, Ana Paula Fiuza Ramalho e Rodrigo Merighi Bega..... 235

## **CAPÍTULO XXII**

### **EFICIÊNCIA AGRONÔMICA DE DIFERENTES FONTES DE FÓSFORO NA CULTURA DO SORGO**

Izabel Maria Almeida Lima, Boanerges Freire de Aquino (*in memoriam*), Bruno Lucio Meneses Nascimento, Daniel Henrique de Melo Romano, Régis Santos Braz e Thiago Henrique Ferreira Matos Castañon..... 243

## **CAPÍTULO XXIII**

### **ESTRUTURA FÍSICA EM LATOSSOLO AMARELO EM DIFERENTES SISTEMAS DE USO E MANEJO DO SOLO, NA REGIÃO DO CERRADO**

Caíque Helder Nascentes Pinheiro, Bruno Oliveira Lima, Simone Rodrigues Miranda Câmara, Marcelo Barcelo Gomes, Hugo Alberto Murillo Camacho e Janne Louize Sousa Santos..... 252

## **CAPÍTULO XXIV**

### **INFLUÊNCIA DA ADUBAÇÃO VERDE NA ACIDEZ DO SOLO E NA DENSIDADE DE ESPOROS DE FUNGOS MICORRIZICOS ARBUSCULARES**

Fernando Ramos de Souza, Ernandes Silva Barbosa, Oclizio Medeiros das Chagas Silva, Manoel Ramos de Menezes Sobrinho, Gean Corrêa Teles, Luiz Rodrigues Freire e Ricardo Luís Louro Berbara.....260

## **CAPÍTULO XXV**

### **NITROGÊNIO EM COBERTURA E PRODUTIVIDADE DO MILHO DOCE**

João Paulo de Moraes Oliveira, Bruna Santos de Oliveira, Dalton Ribeiro,  
Leandro Mariano da Silva, Jéssica Ferreira Silva e Adilson Pelá..... 273

## **CAPÍTULO XXVI**

### **TEOR DE MATÉRIA SECA E PROTEÍNA BRUTA DA PALMA MIÚDA EM RESPOSTA A ADUBAÇÃO ORGÂNICA E ADUBAÇÃO MINERAL**

Jefferson Mateus Alves Pereira dos Santos, Maria Vitória Serafim da Silva,  
Márcio Gleybson da Silva Bezerra, Iara Beatriz Silva Azevedo, Ermelinda Maria  
Mota Oliveira e Gualter Guenther Costa da Silva ..... 281

## **CAPÍTULO XXVII**

### **TEORES FOLIARES DO ABACAXIZEIRO EM DECORRÊNCIA DO USO DE ESTERCO DE GALINHA**

Glaudson Luiz Facas, Gabriel Henrique de Aguiar Lopes, Ana Paula Fiuza  
Ramalho, Weber Pazeto dos Santos e Rodrigo Merighi Bega ..... 289

**Sobre os autores.....296**

## **CAPÍTULO XII**

### **AVALIAÇÃO E TESTE DE UM MINI PENETRÔMETRO DINÂMICO PARA A DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA DO SOLO À PENETRAÇÃO**

---

**Ludmila Gomes Ferreira  
José Fernandes de Melo Filho  
João Albany Costa  
Ana Carolina Rabelo Nonato  
Raquel Almeida Cardoso da Hora  
Maria Magali Mota dos Santos**



## **AVALIAÇÃO E TESTE DE UM MINI PENETRÔMETRO DINÂMICO PARA A DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA DO SOLO À PENETRAÇÃO.**

**Ludmila Gomes Ferreira**

Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Cruz das Almas – Bahia

**José Fernandes de Melo Filho**

Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Cruz das Almas – Bahia

**João Albany Costa**

Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Cruz das Almas – Bahia

**Ana Carolina Rabelo Nonato**

Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Cruz das Almas – Bahia

**Raquel Almeida Cardoso da Hora**

Universidade Federal do Ceará, Fortaleza – Ceará

**Maria Magali Mota dos Santos**

Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Cruz das Almas – Bahia.

**RESUMO:** A resistência do solo à penetração indica a dificuldade que o mesmo oferece ao crescimento das raízes das plantas. O objetivo deste trabalho foi avaliar o desempenho de um mini penetrômetro dinâmico para determinação da resistência do solo à penetração em dois materiais de solo com diferentes texturas. Em laboratório as amostras, depois de saturadas, foram submetidas às tensões de 1, 2, 4, 6, 10, 101, 304, 507 e 1.520 kPa para determinação do conteúdo de água e da correspondente resistência à penetração em dois tipos de equipamentos: Penetrômetro eletrônico de bancada modelo MA – 933® marca Marconi e Mini Penetrômetro dinâmico de bancada. Os resultados foram plotados em um gráfico de resistência à penetração versus umidade gravimétrica e ajustadas equações de regressão, escolhendo-se os modelos que apresentaram maior coeficiente de determinação. Os resultados mostram: que os valores quantificados pelo mini penetrômetro dinâmico de bancada sempre foram superiores para as diferentes texturas, porém, significativamente diferentes para o material de solo com textura arenosa média e iguais para o material de solo com textura argilosa média em relação ao penetrômetro eletrônico. Os ajustes das medidas obtidas com o mini penetrômetro dinâmico de bancada foram altamente significativos e correlacionados com o conteúdo de água, enquanto a densidade do solo teve efeito direto, positivo, porém pouco expressivo, sobre a resistência a penetração. **PALAVRAS-CHAVE:** Compactação, equação de regressão, material de solo.

### **1- INTRODUÇÃO**

O solo é considerado um conjunto de corpos naturais, formado por três fases, sólida, líquida e gasosa, dinâmico, tridimensional, constituído por materiais minerais e orgânicos, que recobre a maior parte da superfície terrestre, abriga diversas formas de vida e, eventualmente, pode ser modificado por interferências antrópicas (DORAN e PARKIN, 1994; COELHO et al., 2002).

A degradação das propriedades químicas, físicas e biológicas do solo pode resultar na limitação de sua capacidade de sustentar o crescimento vegetal, e bem desempenhar suas outras funções ambientais, causando um grande impacto negativo nas comunidades rurais, com repercussões no meio urbano (REINERT et al., 2001; CAMARGO, MARQUES JÚNIOR, PEREIRA, 2010).

Uma das causas mais importantes da degradação física do solo é a compactação, que é decorrente do processo de aumento da densidade e da resistência à penetração em áreas com uso intensivo de máquinas e implementos de preparo mecânico ou onde o pisoteio de animais é intenso, sendo também um dos principais fatores de restrição ao crescimento das raízes das plantas (CAMARGO e ALLEONI, 1997; LIMA et al., 2006).

Segundo Vezzani (2009), a sustentabilidade agrícola depende da manutenção da qualidade do solo no âmbito do ecossistema e da interação positiva com os ecossistemas vizinhos ao longo do tempo. Por isso, em termos agronômicos, os processos de uso e manejo devem sustentar a capacidade do solo para exercer as funções físicas para o crescimento e aprofundamento das raízes e suprimento de água, nutrientes e de gases para às plantas.

Um alto índice de resistência à penetração é um fator limitante para a produção agrícola, tornando fundamental o desenvolvimento de mecanismos e equipamentos capazes de detectar e fornecer medidas eficazes de resistência. Da mesma forma os procedimentos de medida devem levar em consideração fatores que influenciam o estado geral do solo analisado. Equipamentos deste tipo podem, por sua vez, ser incorporados à sistemas maiores de monitoramento de efeitos do manejo sobre o solo e auxiliar na elaboração de técnicas de produção agrícola.

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. Está diretamente correlacionada com vários atributos e condições do solo, como a textura, a estrutura, a estabilidade dos agregados, a densidade do solo, o conteúdo de matéria orgânica e, principalmente, a umidade no momento da determinação. Também pode ser influenciada pela coesão e por apresentar-se muito mais sensível do que a densidade do solo, diversos autores indicam a resistência do solo à penetração como o indicador ideal para estimativa dos efeitos dos sistemas de manejo do solo sobre o sistema radicular da planta (STOLF et al., 1983; MORAES, BENEZ, LIBARDI, 1995; BUSSCHER et al., 1997; GIAROLA et al., 2001; AGUIAR, 2008; RIBON e TAVARES FILHO, 2008).

Com base nessas interações desenvolveram-se variados modelos matemáticos que relacionam a resistência à penetração (RP) com alguns daqueles atributos do solo. O modelo mais utilizado foi o desenvolvido por Busscher (1990), autor que realizou um amplo estudo para verificar a capacidade de dez diferentes funções em descrever a resistência do solo à penetração, tendo identificado uma equação não linear relacionando resistência à penetração, densidade do solo e umidade, capaz de descrever matematicamente o fenômeno com elevados coeficientes de determinação ( $R^2$ ). Por isso, o modelo de Busscher (1990) se tornou uma equação clássica, muito utilizada para a estimativa da resistência à

penetração dos solos do Brasil (KLEIN, LIBARDI, SILVA, 1998; TORMENA et al., 1998; IMHOFF et al., 2000; VAZ, 2001; BEUTLER et al., 2004; DIAS-JÚNIOR, 2004; SÁ et al., 2007; LIMA et al., 2007; SILVA et al., 2008; ALMEIDA et al., 2012).

Conceitualmente a resistência à penetração é quantificada medindo-se a penetração de uma haste cuja extremidade tem um cone com características específicas (ASABE, 2006), o qual gera um resultado chamado de “índice de cone” (BENGOUGH e MULLINS, 1990; FERNANDES et al., 2007). Trata-se de um equipamento largamente utilizado em estudos de quantificação dos efeitos dos sistemas de manejo na degradação física de solos cultivados, tanto em condições de campo (convencional), ou em laboratório (eletrônica) (STOLF, 1991).

Devido a diversidade de modelos a reprodução dos dados pode gerar diferentes interpretações. Neste contexto o mini penetrômetro é apresentado como uma miniatura dos equipamentos de impacto descritos na literatura. Apresenta o mesmo princípio de funcionamento e tem custo acessível e fácil utilização, condições que podem favorecer a sua adoção em maior escala (STOLF, 1991; VAZ et al., 2001) Nesse sentido SÁ et al. (2007) testaram um mini penetrômetro dinâmico de bancada, cujos testes revelaram ser um aparelho sensível, confiável e preciso para ser utilizado em laboratório para a determinação da resistência à penetração de solo e uso em ajustes das relações matemáticas entre o índice de cone e outros atributos de interesse para o manejo do solo, a exemplo do conteúdo de água, densidade do solo e textura. O objetivo do presente trabalho foi avaliar o desempenho de um mini penetrômetro dinâmico de bancada para determinação da resistência à penetração do solo.

## 2- MATERIAIS E MÉTODOS

**Local:** O estudo foi realizado com amostras de material de solo de duas áreas com solos de classes texturais distintas. O local 1 é uma área cultivada a dez anos em sistema agroflorestal orgânico de café com solo de textura arenosa média na Fazenda Bocaiúva Orgânicos, localizada no distrito de Humildes, Feira de Santana, Estado da Bahia. As coordenadas geográficas do local 1 são 12° 16' 00" de latitude Sul e 38° 58' 00" de longitude Oeste e altitude de 234 metros. Segundo Köppen (1948), o clima local é quente e úmido (Cw), com temperatura média anual de 24°C, possui precipitação média anual de 848 mm, passando por longos períodos de seca. O local 2 é uma área, conhecida como “casalheira”, com solo de textura média argilosa, localizada no campus da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia - UFRB, Cruz das Almas, Bahia nas coordenadas geográficas de 39° 06' 26" latitude sul e 12° 40' 39" longitude oeste, com altitude de 226 metros. Segundo a classificação de Köppen o clima é do tipo tropical quente e úmido. A precipitação média é de 1.224 mm por ano, a temperatura média anual é de 24,5° C e a umidade relativa do ar de 82% (Figura 1)

**Sistema de amostragem:** As amostras, em número de 30, do tipo indeformadas, foram coletadas no ponto médio da profundidade de 0 - 0,15

metros, em cilindros volumétricos cujos pontos de amostragem, espaçados de 1 metro, foram alocados em um transecto com trinta metros de comprimento.

**Textura:** As frações granulométricas das amostras dos materiais de solo, foram determinadas pelo método da pipeta conforme (Day, 1965). As frações foram separadas calculando-se seus percentuais conforme Embrapa (1997). Os resultados estão registrados na tabela 1.

$$\text{Teor de argila} = [\text{argila (g)} + \text{dispersante (g)}] - \text{dispersante (g)} \times 1000 \quad [1]$$

$$\text{Teor de terra fina} = \text{areia fina (g)} \times 50 \quad [2]$$

$$\text{Teor de areia grossa} = [\text{areia fina (g)} + \text{areia grossa(g)}] - \text{areia fina (g)} \times 50 \quad [3]$$

$$\text{Teor de silte} = 1.000 - [\text{argila (g)} + \text{areia fina (g)} + \text{areia grossa (g)}] \quad [4]$$

Material de solo	Areia	Silte	Argila	Classe textural
	_____ g / kg _____			
Argissolo Amarelo	816,41	149,49	34,10	Arenosa Média
Latossolo Amarelo	519,06	277,43	203,50	Médio Argilosa

Tabela 1 - Composição textural dos materiais de solo utilizados para a determinação da resistência à penetração

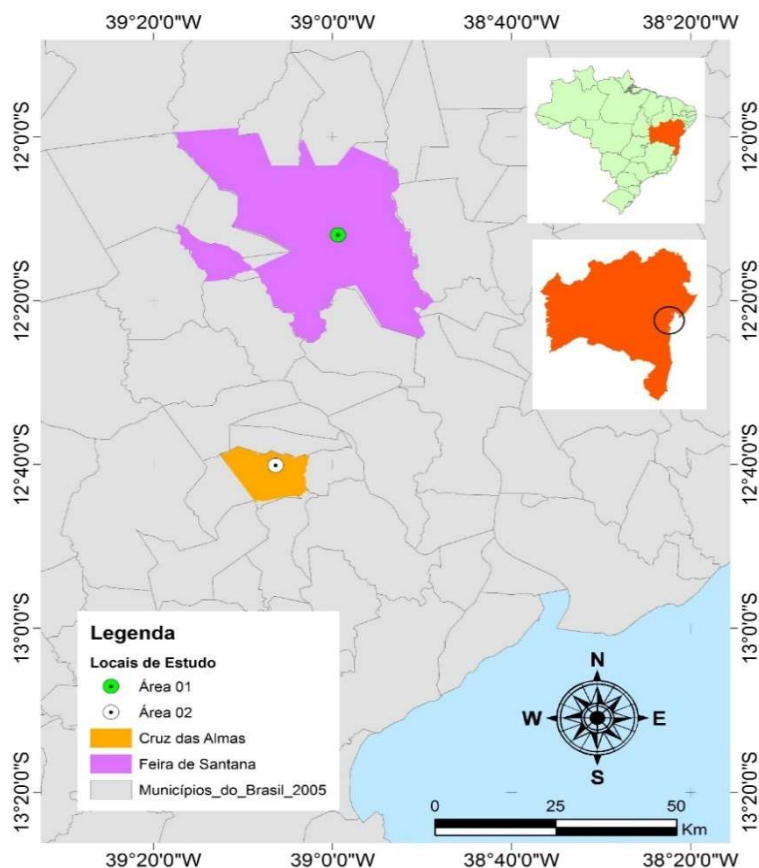


Figura 7 - Áreas de coleta dos materiais de solo.

**Densidade do solo:** Foi determinada através do método do anel volumétrico descrito por Donagema (2014). Com amostras de solo com estrutura indeformada através de um anel de aço (Kopecky), levadas à estufa 105°C por 48 horas. Sendo a equação:

$$D = \frac{a}{b} \quad [5]$$

Onde:

D – Densidade do solo, em g/cm<sup>3</sup>; a – Peso da amostra seca a 105°C (g); b – Volume do anel ou cilindro (cm<sup>3</sup>).

**Determinação do conteúdo de umidade do solo:** Objetivando criar um gradiente de umidade, antes da determinação da resistência à penetração as amostras foram saturadas e posteriormente submetidas a diferentes tensões, sendo parte em mesa de tesão (1, 2, 4, e 6 KPa) e em sistema extrator de Richards (10, 101, 304, 507 e 1.520 kPa), conforme Embrapa (1997).

$$Umidade = 100 \times \frac{(a-b)}{b} \quad [6]$$

Onde:

a = peso da amostra após ser submetida à pressão utilizada; b = peso da amostra seca a 105 °C.

**Aparelho penetrômetro eletrônico de bancada:** Considerado como método

de referência. Neste aparelho a RP foi determinada em um penetrômetro eletrônico de bancada modelo MA – 933 ® marca Marconi acoplado a um microcomputador (Figura 2), utilizando-se um cone de 4 mm de diâmetro, com velocidade de penetração constante de 10 cm min<sup>-1</sup> e leituras a cada 1 segundos, cujos resultados foram em MPa.



Figura 8 - Penetrômetro eletrônico de bancada

**Aparelho mini penetrômetro dinâmico de bancada:** Utilizou-se um equipamento construído conforme a indicação de Sá et al., (2007), visto na figura 3 com as seguintes características: altura de queda (h) i padronizada em 0,10 m, tendo-se utilizado os pesos de massa M = 0,07895 kg para as amostras do material do solo 1 de textura arenosa média, M = 0,09817 kg para as amostras do material do solo 2 de textura média argilosa. No procedimento, a penetração estática, causada apenas pelo peso total do equipamento (Mg + mg), foi desprezada, tendo-se considerado como valor inicial (P1) a posição onde o equipamento se estabiliza, depois de posicionado sobre a amostra, a qual foi medida com régua graduada em milímetros. Após estabilização do aparelho, procedeu-se a execução dos impactos, anotando-se a correspondente penetração até que a haste penetrasse cerca de 0,03 m na amostra, o que caracterizou uma repetição. Foram feitas três repetições por amostra, conforme sugerido por Leão et al., (2004). Com os resultados calculou-se o correspondente índice de cone conforme definido por (Stolf, 1991), tendo-se considerado a média a das três repetições. Após os ensaios, as amostras foram secas em estufa à 105 °C por 24 horas e pesadas, para a determinação da densidade do solo (Ds) em g cm<sup>-3</sup>, do conteúdo gravimétrico de água (U) em g g<sup>-1</sup> e posterior cálculo do conteúdo volumétrico de água ( $\theta$ ), em cm<sup>-3</sup> cm<sup>-3</sup>, pela expressão:

$$\theta = U \times Ds/Da \quad [ 7 ]$$

Em que Da é a densidade da água, considerada, para esse propósito, 1 g cm<sup>-3</sup>.



$$IC = \left( \frac{Mg + mg}{A} \right) + \left[ \left( \frac{M}{M+m} \right) \times \left( \frac{Mg \times h}{A \times x} \right) \right] \quad [8]$$

Onde:

IC – Índice de Cone (kgf cm<sup>2</sup>); Mg – Pesos das massas consideradas (kgf); mg – Pesos das massas consideradas (kgf); A – Área da base do cone (cm<sup>2</sup>); M – Peça de sustentação (0,09817 ou 0,07895); m – Massa dos demais componentes do penetrômetro; h – Altura (cm); x – Medida de penetração unitária (cm).

O índice de cone médio das séries de amostras foi então utilizado para calcular o valor de resistência à penetração de acordo com a equação 9:

$$RP = IC \times 0,0980665 \quad [9]$$

A constante 0,0980665 é apresentada por SÁ et al. (2007) como um parâmetro razoável de aproximação entre o índice de cone e a resistência à penetração.



Figura 9 - Mini penetrômetro dinâmico de bancada

**Avaliações:** Os conjuntos de pares de dados foram submetidos a dois procedimentos de ajuste por regressão não linear. O primeiro do tipo potencial [9] e o segundo ao modelo proposto por Busscher (1990) [10]:

$$RP = K \times Ug^a \quad 0 < R^2 < 1 \quad [9]$$

Onde:

k e a – constantes; Ug – índice de umidade do solo (variável independente); RP – resistência à penetração do solo (variável dependente); R<sup>2</sup> – coeficiente de determinação.

$$IC = a \times Ug^b \times Ds^c \quad [10]$$

Onde:

IC = Índice de Cone (MPa); a, b, c = parâmetros do modelo.

Os conjuntos de pares de dados foram submetidos a análises de estatística descritiva. Na sequência, os dados de resistência à penetração, foram ajustados a modelos de regressões, considerando-se como variável dependente a resistência à penetração (RP) e independentes, o de conteúdo de água (Ug) e a densidade do

solo ( $D_s$ ). Para o ajuste utilizou-se modelos não lineares do tipo potencial. Para o ajuste entre  $RP$  e  $Ug$  utilizou-se o modelo:  $RP = a \times Ug^b$ , onde  $RP$  é a resistência a penetração quantificada em MPa;  $Ug$  é o conteúdo de água, quantificado em  $kg\ kg^{-1}$ ;  $a$  e  $b$  são parâmetros do ajuste. Para o índice de cone utilizou-se o modelo proposto por Busscher (1990),  $IC = a \times Ug^b \times D_s^c$ , onde a variável  $IC$  é o índice de cone, variável dependente, e  $a$ ,  $b$  e  $c$  são as estimativas dos coeficientes da regressão potencial múltipla. Em todos os casos foram calculados também os coeficientes de determinação dos modelos avaliados.

Para complementar a análise de regressão realizou-se uma avaliação de análise de trilha para estimativa de coeficientes que medem a relação linear direta de uma variável sobre outra, no contexto de causa e efeito pelos desdobramentos das correlações estudadas. Este procedimento permitiu quantificar e conhecer qual a contribuição das variáveis, conteúdo de umidade e densidade do solo, para o efeito total da variável explicativa resistência à penetração, quando estas foram analisadas conjuntamente.

### 3- RESULTADOS E DISCUSSÃO

A umidade e a densidade do solo são os dois principais fatores de influência na expressão da resistência à penetração do solo. Os valores desses dois parâmetros estão registrados na tabela 2.

Descritores	Conteúdo de água		Densidade do solo	
	textura		textura	
	arenosa média	média argilosa	arenosa média	média argilosa
	_____	_____	_____	_____
	$kg\ kg^{-1}$		$kg\ dm^{-3}$	
<b>n</b>	8	6	8	8
<b>Média</b>	0,11	0,17	1,64	1,54
<b>D. Padrão</b>	0,05	0,04	0,06	0,05
<b>Mínimo</b>	0,06	0,13	1,57	1,48
<b>Máximo</b>	0,19	0,23	1,73	1,59
<b>CV (%)</b>	41,23	21,92	3,91	2,99
<b>Classe variação</b>	Média	Média	Baixa	Baixa

Tabela 2 - Estatística descritiva para conteúdo de água e densidade do solo em materiais de solo com diferentes texturas

Na tabela 2 verifica-se que, mesmo tendo-se aplicado as mesmas unidades de tensão para formação da curva de resistência, o conteúdo de água no material de solo de textura arenosa média variou de 0,06 kg kg<sup>-1</sup> a 0,19 kg kg<sup>-1</sup>, enquanto no material de solo com textura média argilosa tal variação ocorreu no intervalo de 0,13 a 0,23 kg kg<sup>-1</sup>, condições determinadas pela influência da textura e da porosidade na retenção de água. A variação dos dados no material de solo de textura arenosa média foi o dobro daquela verificada no material de textura média argilosa, muito embora tenham sido classificadas como de média variação, conforme os critérios definidos por Warrick e Nielsen (1980).

Quanto à densidade do solo verifica-se que os valores médios foram semelhantes, tendo sido pouco maior no material de textura mais grosseira, o que é normal e esperado para solos minerais. Em ambos os casos a variação dos dados foi baixa, indicando a homogeneidade do conjunto amostral utilizado.

Na tabela 3 registra-se a estatística descritiva para os valores de resistência à penetração nas condições deste estudo.

Descritores	Arenosa média		Média argilosa	
	RP ELE	RP MINI	RP ELE	RP MINI
	MPa		MPa	
N	8	8	6	6
Média	0,78a	1,68b	2,09c	4,54d
D. Padrão	0,36	0,27	0,90	1,12
Mínimo	0,43	1,14	1,23	3,30
Máximo	1,31	2,03	3,41	6,34
CV (%)	46,26	16,00	43,12	24,76
Classe variação	Média	Média	Média	Média

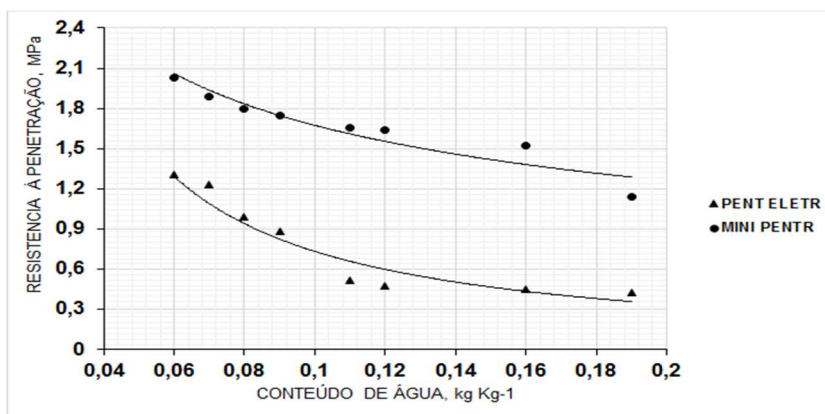
Tabela 3 - Estatística descritiva para resistência do solo à penetração, determinada com dois equipamentos em materiais de solo com diferentes texturas.

Verifica-se que a resistência à penetração, independentemente da classe textural do material, apresentou diferença estatística significativa entre os equipamentos utilizados para quantificá-la, tendo-se apresentado com valores significativamente superiores às medidas realizadas com o mini penetrômetro dinâmico de bancada.

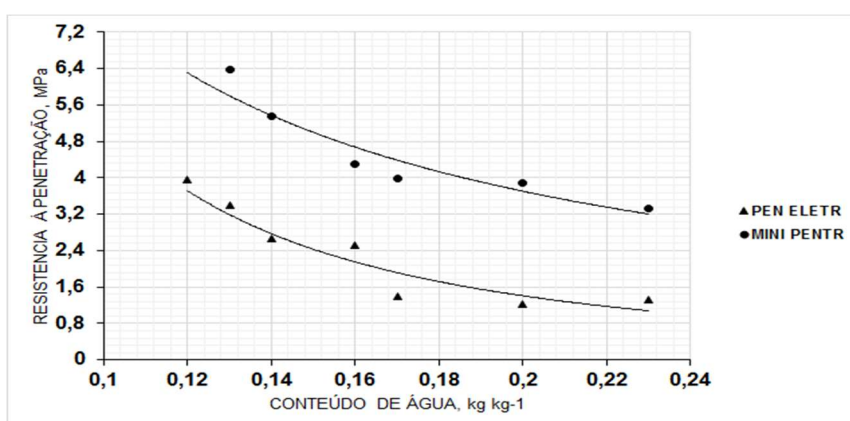
Os aparelhos também diferem na magnitude da variação das medidas, as quais foram muito menores no mini penetrômetro dinâmico de bancada (Tabela 3), muito embora, em ambos os casos tenham sido classificadas como de média variação segundo a proposição de Warrick e Nielsen (1980).

A curva de resistência é considerada um parâmetro de grande utilidade nas

avaliações da qualidade física do solo, pois possibilita identificar valores de umidade e densidade do solo críticos para o desenvolvimento do sistema radicular das plantas (IMHOOF et al., 2000). As curvas de resistência à penetração (RP) em relação ao conteúdo de água no solo ( $U_g$ ) nas duas condições estudadas estão representadas na figura 4, e os modelos ajustados na tabela 4.



(a)



(b)

Figura 10 - Relação entre resistência à penetração e conteúdo de água quantificada em penetrômetro eletrônico e mini penetrômetro dinâmico em dois matérias de solo: (a) material de textura arenosa média e (b) material de textura média argilosa.

Analisando-se a figura 4, observa-se que, independente da textura do solo, a resistência mecânica do solo à penetração variou negativamente e de forma potencial com conteúdo de água no material de solo. Os quatro modelos ajustados para relação RP versus  $U_g$  mostraram parâmetros com altos valores de coeficiente de determinação, apontando alta precisão nas inferências da RP para os dois equipamentos utilizados.

Outra observação refere-se à magnitude dos valores medidos (Figura 3), os quais foram sempre superiores quando quantificados no mini penetrômetro

dinâmico de bancada, embora com amplitudes diferentes, especialmente no material de solo de textura mais grosseira, onde as diferenças foram bem mais discriminadas e estatisticamente significativas. Nesta comparação a relação observada entre os valores médios registrados pelo mini penetrômetro foi 2,17 vezes maior que no penetrômetro eletrônico no material de solo de textura arenosa média, enquanto que no material de textura média argilosa, a razão encontrada foi um pouco menor, de 2,13 vezes em favor do mini penetrômetro. Esses valores são muito próximos, no que resultaram em uma relação média de aproximadamente igual a 2,1 vezes, independente da textura do material de solo utilizado.

A resistência à penetração é influenciada por uma série de fatores, cujos efeitos foram amplamente estudados (TORMENA et al., 1998; IMHOFF et al., 2000), sendo o mais utilizado aquele desenvolvido por Busscher (1990), o qual propôs um modelo não linear relacionando o índice de cone (IC) com a densidade do solo (Ds) e conteúdo de água do solo.

Os resultados do ajuste do conjunto de dados ao modelo de Busscher (1990) estão registrados na tabela 4. Observando-a pode-se verificar que os resultados se revelaram altamente significativos (Teste F=0,05) e representativos (R<sup>2</sup>), podendo ser utilizados com segurança para interpolações e modelagem da dependência entre a resistência à penetração e conteúdo de água para as classes texturais dos materiais de solo e aparelhos utilizados nesta avaliação (BEUTLER et al., 2004; KLEIN, LIBARDI, SILVA, 1998; 2007; LIMA et al., 2007; FREDDI et al., 2008).

Equações de regressão	Coefficiente de determinação
<b>Textura arenosa média</b>	
$RP_E = 0,058416 U_g^{-1,103050} \times D_s^{-0,037926}$	$R^2 = 0,8957$
$RP_M = 0,430465 U_g^{-0,396495} \times D_s^{0,896591}$	$R^2 = 0,8969$
<b>Textura média argilosa</b>	
$RP_E = 0,052773 U_g^{-1,838590} \times D_s^{-0,753649}$	$R^2 = 0,7971$
$RP_M = 0,187296 U_g^{-1,143860} \times D_s^{2,610910}$	$R^2 = 0,9937$

Tabela 4 - Equações de regressão e coeficientes de determinação dos modelos de resistência à penetração (RP) em função do conteúdo de água (U<sub>g</sub>; kg kg<sup>-1</sup>) e da densidade do solo (D<sub>s</sub>; kg dm<sup>-3</sup>), determinadas com penetrômetro eletrônico e mini penetrômetro dinâmico em dois materiais de solo com diferentes texturas

Todas as equações de regressão (tabela 4) obtidas no estudo, foram significativas para o teste de F a 5% e apresentaram altos coeficientes de determinação. Estes resultados confirmam o modelo de Busscher (1990) como função representativa da relação RP versus conteúdo de água e densidade do solo.

A correlação simples permite apenas avaliar a magnitude e o sentido da associação entre duas variáveis, mas não fornece as informações necessárias

sobre os efeitos diretos e indiretos de um grupo de variáveis independentes em relação a uma variável dependente. Neste sentido, uma ferramenta complementar para os estudos de correlação é a análise de trilha, cujos resultados possibilitam verificar a magnitude dos efeitos diretos e indiretos de variáveis independentes sobre uma variável dependente.

Os resultados da aplicação desta técnica no presente estudo estão registrados na tabela 5 para as correlações dos modelos ajustados para o penetrômetro eletrônico e tabela 6 para os modelos ajustados para o equipamento mini penetrômetro dinâmico de bancada.

<b>Penetrômetro eletrônico</b>		
<b>Variável</b>	<b>Ug</b>	<b>Ds</b>
Ug	<b>-0,9470</b>	0,0004
Ds	0,1366	<b>-0,0030</b>
* Coeficiente de determinação $R^2 = 0,8957$		
<b>Mini penetrômetro</b>		
<b>Variável</b>	<b>Ug</b>	<b>Ds</b>
Ug	<b>-0,9036</b>	-0,0267
Ds	0,1304	<b>0,1850</b>
* Coeficiente de determinação $R^2 = 0,8969$		

Tabela 5 - Desdobramento dos coeficientes de correlação dos efeitos diretos do conteúdo de água (Ug;  $\text{kg kg}^{-1}$ ) e da densidade do solo (Ds;  $\text{kg dm}^{-3}$ ), na diagonal em negrito, e dos efeitos indiretos, na horizontal, sobre a resistência à penetração RP determinadas com dois equipamentos em material de solo com textura arenosa média.

Os resultados da análise de trilha na tabela 5 revelam que somente o conteúdo de água do solo teve efeito direto, com coeficiente de correlação negativo, sobre a resistência à penetração no material de solo de textura arenosa média nas quantificações dos dois equipamentos. Da mesma forma os efeitos indiretos tanto do conteúdo de água quanto da densidade do solo foram de pouca expressão.

<b>Penetrômetro eletrônico</b>		
<b>Variável</b>	<b>Ug</b>	<b>Ds</b>
Ug	<b>-0,9060</b>	0,0146
Ds	0,2554	<b>-0,0518</b>
* Coeficiente de determinação $R^2 = 0,7971$		
<b>Mini penetrômetro</b>		



Variável	Ug	Ds
Ug	<b>-0,9949</b>	-0,0932
Ds	0,2926	<b>0,3308</b>

\* Coeficiente de determinação  $R^2 = 0,9937$

Tabela 6 - Desdobramento dos coeficientes de correlação dos efeitos diretos do conteúdo de água (Ug; kg kg<sup>-1</sup>) e da densidade do solo (Ds; kg dm<sup>-3</sup>) na diagonal em negrito, e dos efeitos indiretos, na horizontal, sobre a resistência à penetração RP determinadas com dois equipamentos em material de solo com textura média argilosa

Quando se analisa os efeitos das variáveis na resistência do solo à penetração observa-se que, no material de solo de textura média argilosa, o conteúdo de água teve efeito direto muito expressivo, porém com relação negativa, sobre a resistência a penetração, enquanto a densidade do solo teve efeito direto, positivo, porém pouco expressivo, sobre a resistência a penetração.

Considerando que somente a variável conteúdo de água do solo teve efeito direto e expressivo sobre a RP, optou-se por ajustar uma equação potencial do tipo:  $RP = a \times Ug^b$ , onde RP é a variável dependente, resistência a penetração, Ug é a variável independente, conteúdo de água no solo, sendo a e b coeficientes da função (tabela 7).

Aparelho	Equação	R <sup>2</sup>
<b>Textura arenosa média</b>		
Eletrônico	$RP = 0,056879Ug^{-1,11124}$	<b>0,8959</b>
Mini penetrômetro	$RP = 0,653693Ug^{-0,408411}$	<b>0,8654</b>
<b>Textura média argilosa</b>		
Eletrônico	$RP = 0,077012Ug^{-1,80894}$	<b>0,8550</b>
Mini penetrômetro	$RP = 0,693731Ug^{-1,04113}$	<b>0,8930</b>

Tabela 7 - Equações ajustadas para relação entre resistência à penetração (MPa) e conteúdo de água (kg kg<sup>-1</sup>) em materiais de solo com diferentes texturas.

Aplicando-se o teste t de Student para avaliar a diferença entre os coeficientes das regressões (b1 - b2) das equações ajustadas da variável conteúdo de umidade do material de solo de textura arenosa média, verifica-se que a mesma foi significativa ( $t = 4,41^*$ ) à 5% revelando que o coeficiente ( $b_{(MIM)} = -0,408411$ ) foi estatisticamente superior ao coeficiente ( $b_{(ELE)} = -0,408411$ ) do ajuste para o penetrômetro eletrônico, indicando que os valores medidos pelo mini penetrômetro são realmente superiores àqueles determinados com o penetrômetro eletrônico (Figura 4).

No entanto a aplicação do mesmo critério para a comparação dos coeficientes de ajuste das medidas realizadas no material de solo de textura média argilosa indicou que os coeficientes de ajuste ( $b_{(MIM)} = -1,04113$ ) e ( $b_{(ELE)} = -1,808940$ ) não foram estatisticamente diferentes ( $t = 2,31ns$ ), resultado que tornam as medidas dos equipamentos estatisticamente iguais para o solo de textura mais fina.

#### 4- CONCLUSÕES

Os valores da resistência à penetração quantificados pelo mini penetrômetro dinâmico de bancada em material de solo com textura arenosa média foram mais elevados, com menor variação e estatisticamente diferentes daqueles determinados com o penetrômetro eletrônico.

Os valores da resistência à penetração quantificados pelo mini penetrômetro dinâmico de bancada em material de solo com textura média argilosa foram mais elevados, com menor variação e estatisticamente iguais àqueles determinados com o penetrômetro eletrônico.

Os ajustes das medidas obtidas com o mini penetrômetro dinâmico de bancada foram altamente significativos e correlacionados com o conteúdo de água, enquanto a densidade do solo teve efeito direto, positivo, porém pouco expressivo, sobre a resistência a penetração.

#### REFERÊNCIAS

- AGUIAR, M. I. **Qualidade física do solo em sistemas agroflorestais**. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa. 2008.
- ALMEIDA, C. X.; CENTURION, J. F.; ONÃ. S. F.; JORGE. F. J.; BARBOSA. J. C. Funções de pedotransferência para a curva de resistência do solo à penetração. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.36, n.6, p.1745-1755, 2012.
- ASABE - American Society of Agricultural and Biology Engineering. Standards 2006 93: ASABES313.1 FEB 04 **Soil cone penetrometer**. St. Joseph: ASABE, p.391-398, 2006.
- BENGHOUGH, A. G.; MULLINS, C.E. Mechanical impedance to root growth: a review of experimental techniques and root growth responses. **Journal of Soil Science**, v.41, p.341-358, 1990.
- BEUTLER, A. N.; CENTURION, J. F. Compactação do solo no desenvolvimento radicular e na produtividade da soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.39, n.6, p.581 - 588, 2004.

BUSSCHER, W. J. **Ajustment of flatipped penetrometer resistance data to a common water content.** Transactions of the ASAE, Saint Joseph, v.33, p.519-523, 1990.

BUSSCHER, W. J.; BAUER, P. J.; CAMP, C. R.; SOJKA, R. E. **Correction of cone index for soil water content differences in a coastal plain soil.** Soil and Tillage Research, v.43, n.3-4, p.205-217, 1997.

CAMARGO, L. A.; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, G.T. Spatial variability of physical attributes of an Alfisol under different hillslope curvatures. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.34, n.3, p.617- 630, 2010.

CAMARGO, O.A. & ALLEONI, L.R.F. **Compactação do solo e o desenvolvimento de plantas.** Piracicaba, Potafós, p.132.1997.

COELHO, M. R.; SANTOS, H. G.; SILVA, H. F; AGLIO, M. L. D. O recurso natural solo. In: MANZATTO, C. V.; FREITAS JUNIOR, E.; PERES, J. R. R. (Ed.). **Uso agrícola dos solos brasileiros.** Rio de Janeiro: Embrapa Solos, p.1-11. 2002.

DAY, P.R. Particle fractionation and particle-size analysis. In: BLACK, C.A. (Ed.). **Methods of soil analysis.** Madison: **American Society of Agronomy**, v.1, p.545-566,1965.

DIAS JUNIOR, M. S.; SILVA, A. R.; FONSECA, S.; LEITE, F. P. Método alternativo de avaliação da pressão de preconsolidação por meio de um penetrômetro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.28, n.5, p.805-810, 2004.

DIAS-JÚNIOR, M.S.; PIERCE, F.J.A. A influência da história de tensão e da umidade na modelagem da compactação do solo. In: ALVAREZ, V.V.H.; FONTES, L.E.F.; FONTES, M.P.F. eds. **O solo nos grandes domínios morfoclimáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentável.** Viçosa. **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, p.445-452, 1996.

DONAGEMMA, G. K.; DE CAMPOS, D. V. B.; CALDERANO, S. B.; TEIXEIRA, W. G.; & VIANA, J. H. M. **Manual de métodos de análise de solo.** Embrapa Solos-Documents (INFOTECA-E), 2014.

DORAN, J. W.; PARKIN, T. B. Defining and assessing soil quality. In: DORAN, J. W.; COLEMAN, D. C.; BEZDICEK, D. F. & STEWART, B. A. (eds.) **Defining soil quality for a sustainable environment.** p. 3-21. SSSA Spec. Publ. n. 35. Madison, WI: ASA, CCSA e SSSA, 1994.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Manual de métodos de análises de solo.** 2.ed. Rio de Janeiro, Ministério da Agricultura e do

Abastecimento, p.212; 1997.

FERNANDES, J.C.; RODRIGUES, J.G.L.; GAMERO, C.A.; ACOSTA, J.J.B. & LANÇAS, K.P. Resistência do solo à penetração em diferentes sistemas de manejo e velocidades de semeadura no desenvolvimento de um cultivar de triticale. **Energia Agrícola**, v.3, n.2, p.112-120, 2007.

FREDDI, S.; JORGE, R. F.; BARBOSA, J. C. Funções de pedotransferência para a curva de resistência do solo à penetração. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, n.6, p.2235-2243, 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. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.25, n.1, p.239-247, 2001.

IMHOFF, S., SILVA, A. P.; TORMENA, C.A. Aplicações da resistência no controle da qualidade física de um solo sob pastagem. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.55, n.7, p.1493-1500, 2000.

KLEIN, V. A., LIBARDI, P. L., SILVA, A. P. Resistência mecânica do solo à penetração sob diferentes condições de densidade e teor de água. **Engenharia Agrícola Jaboticabal**, v.18, n.2, p.45-54, 1998.

LEÃO, T. P. SILVA, A. P.; MACEDO, M. C. M.; IMHOFF, S.; EUCLIDES, V. P. B. Intervalo hídrico ótimo na avaliação de sistemas de pastejo contínuo e rotacionado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.28, n.3, p.415-423, 2004.

LIMA, C.L.R.; SILVA, A.P.; IMHOFF, S. & LEÃO, T.P. Estimativa da capacidade de suporte de carga do solo a partir da avaliação da resistência à penetração. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.30, n.2, p.217-223, 2006.

MORAES, M. H.; BENEZ, S. H.; LIBARDI, P. L. Efeitos da compactação em algumas propriedades físicas do solo e seu reflexo no desenvolvimento das raízes de plantas de soja. **Bragantia**, vol.54, n.2, p.393-403, 1995.

PEDROTTI, A.; PAULETTO, E. A.; CRESTANA, S.; FERREIRA, M.M.; GOMES, A.S.; TURATTI, A.L. Resistência mecânica à penetração de um planossolo submetido a diferentes sistemas de cultivo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.25, n.3, p.521-529, 2001.

REINERT, D. J.; REICHERT, J. M.; SILVA, V. R. Propriedades físicas de solos em sistema de plantio direto irrigado. In: **Carlesso, R.; Petry, M. T.; Rosa, G. M.; Ceretta, C.A. (ed.). Irrigação por aspersão no Rio Grande do Sul**. Santa Maria: Imprensa

Universitária, p.114-133. 2001.

RIBON, A. A.; TAVARES FILHO, J. Estimativa da resistência mecânica a penetração de um latossolo vermelho sob cultura perene no norte do estado do Paraná. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, MG, v.32, n.5, p.1817-1821, 2008.

SÁ, M. A. C; SANTOS JUNIOR, J. D. G; RESCK, D. V. S; FERREIRA, E. A. B; FRANZ, C. A. B. Mini penetrômetro dinâmico para determinação da resistência à penetração em amostras de solo indeformadas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.42, n.11, p.1659-1662, 2007.

SILVA, A. P.; TORMENA, C. A.; FIDALSKI, J.; INHOFF, S. Funções de pedotransferência para as curvas de retenção de água e de resistência do solo à penetração. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, n.1, p.1-10, 2008.

STOLF, R. Teoria e teste experimental de fórmulas de transformação dos dados de penetrômetro de impacto em resistência do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.15, n.3, p.229-235, 1991.

STOLF, R.; FERNANDES, J. e URLANI NETO, V.L. **Recomendação para o uso do penetrômetro de impacto - modelo IAA/Planalsucar - Stolf. (Boletim, 1)**. São Paulo, MIC/IAA/ PNMCA Planalsucar, p.8. 1983.

TO, J. & KAY, B.D. Variation in penetrometer resistance with soil properties: The contribution of effective stress and implications for pedotransfer functions. **Geoderma**, v. 126, n.3 p.261-276, 2005.

TORMENA, C.A. e ROLOFF, G. Dinâmica da resistência à penetração de um solo sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.20, n.2, p.333-339, 1996.

TORMENA, C.A.; BARBOSA, M.C. e COSTA, A.C.S. Densidade, porosidade e resistência à penetração em Latossolo cultivado sob diferentes sistemas de preparo do solo. **Scientia Agrícola**., v.59, n.4, p.795-801, 2002.

TORMENA, C.A.; SILVA, A.P.; LIBARDI, P.L. Caracterização do intervalo hídrico ótimo de um Latossolo Roxo sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.22, n.2, p.573-581, 1998.

VAZ, C.M.P. e HOPMANS, J.W. Simultaneous measurement of soil penetration resistance and water content with a combined penetrometer-TDR moisture probe. **Soil Science Society of America Journal**, v.65, p.4-12, 2001.

Vezzani, Fabiane Machado, & Mielniczuk, João. Uma visão sobre qualidade do

solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.33; n.4, p.743-755, 2009.

WARRICK, A.W. e NIELSEN, D.R. Spatial variability of soil physical properties **In the field**. In: HILLEL, D., ed. *Applications of soil physics*. New York, Academic Press, p. 350, 1980.

**ABSTRACT:** The resistance of the soil to penetration indicates the difficulty that it offers to the growth of the roots of the plants. It is an attribute that reveals the degree of soil compaction, being fundamental to evaluate its quality. The purpose of this work was to evaluate the performance of a mini dynamic penetrometer on determining soil resistance to penetration. Two sites were selected for the collection of soil materials, one with sandy and the other clayey texture. In laboratory, the saturated samples were submitted to tensions of 1, 2, 4, 6, 10, 101, 304, 507 and 1,520 kPa, in order to determine their water content and their corresponding resistance to penetration using two types of equipment: 1. An Electronic Penetrometer model MA-933 ® mark Marconi and 2. A Mini-Dynamic Penetrometer. After this procedure, the two sets of data pairs were plotted on a graph of resistance to penetration versus gravimetric moisture and regression equations were fitted, choosing the models that presented the highest coefficient of determination. The results showed that the penetration resistance values quantified by the mini-dynamic penetrometer, regarding the soil material with medium sandy texture, were higher, with lower variation and statistically different from those determined with the electronic penetrometer. They also showed that the penetration resistance values quantified for the soil material with clayey texture were higher, with less variation and statistically equal. Finally, the adjustments of the measurements obtained with the mini-dynamic penetrometer were highly significant and correlated with water content (factor of significant importance) and soil density.

**KEYWORDS:** Compaction, regression equation, soil material.



Agência Brasileira do ISBN  
ISBN 978-85-93243-65-3

