

**DANIEL ZEFANIAS MATSINHE**

**USO DE TUBO DE PVC PARA DETERMINAÇÃO DA DENSIDADE  
DO SOLO VISANDO O MANEJO DA IRRIGAÇÃO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

**VIÇOSA**

**MINAS GERAIS - BRASIL**

**2016**

**Ficha catalográfica preparada pela Biblioteca Central da Universidade  
Federal de Viçosa - Câmpus Viçosa**

T

M434u  
2016 Matsinhe, Daniel Zefanias, 1979-  
Uso de tubo de PVC para determinação da densidade do  
solo visando o manejo da irrigação / Daniel Zefanias Matsinhe. –  
Viçosa, MG, 2016.  
ix, 62f. : il. (algumas color.) ; 29 cm.

Orientador: Sílvio Bueno Pereira.  
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.  
Inclui bibliografia.

1. Solo - Densidade. 2. Canos de plástico. 3. Irrigação  
agrícola. I. Universidade Federal de Viçosa. Departamento de  
Engenharia Agrícola. Programa de Pós-graduação em  
Engenharia Agrícola. II. Título.

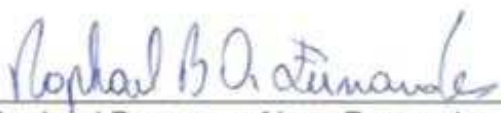
CDD 22. ed. 631.47

DANIEL ZEFANIAS MATSINHE

**USO DE TUBO DE PVC PARA DETERMINAÇÃO DA DENSIDADE DO  
SOLO VISANDO O MANEJO DA IRRIGAÇÃO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 15 de fevereiro de 2016.

  
Raphael Bragança Alves Fernandes

  
Fernando França da Cunha

  
Igor Rodrigues de Assis  
(Coorientador)

  
Silvio Bueno Pereira  
(Orientador)

À Deus,

Aos meus pais Zefanias e Rosa,

À minha esposa,

Ao meu filho

Aos meus irmãos,

Aos meus sobrinhos,

*Pelo amor e apoio incondicionais,*

*Dedico e ofereço este trabalho*

“Não tentes ser bem sucedido, tente antes ser um homem de valor”

*Albert Einstein*

## AGRADECIMENTOS

A Deus, por sua presença constante em minha vida e pela força concedida.

À Universidade Federal de Viçosa e Departamento de Engenharia Agrícola, pela oportunidade de realização deste trabalho.

Ao Projeto NICHE, pelo suporte financeiro.

Ao professor Sílvio Bueno Pereira, pela orientação, confiança e conhecimentos transmitidos.

Aos coorientadores Rubens Alves de Oliveira e Igor Rodrigues de Assis, pelas sugestões, conselhos e ensinamentos.

Ao professor Igor, por disponibilizar com tanta cordialidade o uso do Laboratório de Física do Solo.

A toda a equipe do Laboratório de Física do Solo, em especial ao Cláudio Márcio Brustolinni, pelo imenso auxílio nas análises físicas do solo.

A todos os integrantes do Grupo de Pesquisa em Recursos Hídricos e Ambientais do Departamento de Engenharia Agrícola.

Aos funcionários Francisco Viana Teixeira, pela imensurável ajuda em etapas muito difíceis deste trabalho, e Policarpo Aguiar da Silva, pela prontidão em me auxiliar sempre que necessário.

Ao meu amigo Vinícius Martins pela valiosa ajuda em todas as etapas do meu trabalho, pela companhia e por me acalmar nos momentos de dificuldades.

Aos meus amigos Gustavo Magalhães, Roberto Lustosa, Francisco Edson Ferreira e Mário Tazene pela ajuda incondicional e contribuição em ideias importantes neste trabalho.

Aos amigos e familiares e meus irmãos e sobrinhos, em especial, à minha esposa Eufásia e o meu filho Nayron, pela torcida e por compreenderem a minha ausência em diversos momentos.

## ÍNDICE

RESUMO .....	vii
ABSTRACT .....	ix
1. INTRODUÇÃO GERAL.....	1
1.1. OBJETIVOS .....	3
1.1.2. Objetivos Específicos.....	3
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	4
CAPÍTULO 1: REFERENCIAL TEÓRICO.....	6
1. IRRIGAÇÃO.....	6
1.1. Propriedades físicas do solo .....	6
1.2. Conceitos sobre alguns atributos físicos do solo.....	7
1.3. Densidade de Partículas .....	9
1.4. Porosidade do solo.....	10
1.5. Solos compactados .....	11
1.6. Fatores que afetam a densidade do solo .....	13
1.6.1. <i>Impacto da gota de chuva</i> .....	13
1.6.2. <i>Operações de preparo do solo</i> .....	13
1.6.3. <i>Tráfego de máquinas agrícolas</i> .....	15
1.7. Métodos de determinação da densidade do solo .....	15
1.7.1. <i>Método do Anel Volumétrico (MAV)</i> .....	16
1.7.2. <i>Método do Torrão Parafinado (MTP)</i> .....	16
1.7.4. <i>Método da Proveta</i> .....	17
CAPÍTULO 2: ARTIGO TÉCNICO E CIENTÍFICO .....	26
ABSTRACT .....	28
1. INTRODUÇÃO.....	29
2. MATERIAL E MÉTODOS .....	31

2.1.	Amostragem e caracterização dos solos.....	31
2.2.1.	Procedimentos para coleta das amostras .....	35
2.2.1.1.	<i>Método do tubo de PVC</i> .....	35
2.2.1.2.	<i>Método do Torrão Parafinado</i> .....	36
2.2.1.3.	<i>Método da Proveta</i> .....	37
2.2.1.4.	<i>Método do Anel Volumétrico</i> .....	38
2.2.1.5.	<i>Método da Escavação com Anel</i> .....	38
2.3.	Análise Estatística .....	39
2.	RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	40
3.1.	Comparação entre métodos para o solo de textura muito argilosa, coletado em Viçosa.....	40
3.2.	Comparação entre métodos para o solo de textura argilosa, coletado em Itabirito .....	47
3.3.	Comparação entre métodos para os solos de textura média e arenosa, coletados em João Pinheiro e Jaíba .....	51
3.	CONCLUSÕES.....	57
5.	SUGESTÕES PARA TRABALHO FUTUROS .....	58
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	59



## RESUMO

MATSINHE, Daniel Zefanias, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, Fevereiro de 2016. **Uso de tubo de pvc para determinação da densidade do solo visando o manejo da irrigação.** Orientador: Silvio Bueno Pereira. Coorientadores: Rubens Alves de Oliveira e Igor Rodrigues de Assis.

Em projetos de irrigação o conhecimento da densidade do solo é de grande importância visto que é possível avaliar certas propriedades como drenagem, porosidade, condutividade hidráulica, permeabilidade ao ar e à água e capacidade de armazenamento de água no solo. Este trabalho teve como objetivo determinar os valores de densidade do solo por meio de tubos de PVC e comparar com métodos convencionais como Torrão Parafinado (MTP), Anel Volumétrico (MAV), Proveta (MP) e Escavação (ME), este segundo proposto como padrão neste trabalho. Foram coletadas amostras de solo em quatro áreas com diferentes granulometrias. A primeira área foi a Estação Experimental de Irrigação e Drenagem do Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, com solo de textura muito argilosa. A segunda área está localizada a 50 km do Projeto Jaíba, no Município de Jaíba-MG, com solo de textura arenosa. A terceira área localiza-se próximo ao trevo de interseção das BRs 040 e 365, conhecido como trevo Pira-Patos (Luislândia), município de João Pinheiro-MG, com solo de textura franco arenosa. A quarta área localiza-se no município de Itabirito-MG, com solo de textura argilosa. As amostras de solo indeformadas foram obtidas com auxílio de tubos de PVC de diferentes dimensões e por anel volumétrico de aproximadamente 100 cm<sup>3</sup>. Ainda foram coletadas amostras indeformadas na forma de torrões e amostras deformadas para determinação da densidade pelo método da proveta. Para todos os métodos as amostras foram coletadas nas profundidades de 0,025 a 0,075 m; 0,050 a 0,10 m; 0,075 a 0,125 m e 0,10 a 0,150 m. Utilizou-se tubos de PVC com 0,1; 0,15; 0,20 e 0,25 m de altura e 40, 50, 60 e 75 mm de diâmetro. O método do tubo de PVC pode ser usado para coleta das amostras de solo para determinação da densidade nos quatro diâmetros avaliados, para solos com textura argilosa e muito argilosa, e para solos de textura arenosa é recomendado o uso de tubo de PVC com diâmetro da 60

a 75 mm, independente da altura, visto que diâmetros menores subestimam os resultados da densidade do solo.

## ABSTRACT

MATSINHE, Daniel Zefanias, M.Sc., Federal University of Viçosa, February, 2016. **Pvc pipe used to determine soil density aiming irrigation management.** Adviser: Silvio Bueno Pereira. Co-Advisers: Rubens Alves de Oliveira and Igor Rodrigues de Assis.

In irrigation projects the knowledge of the density of the soil is of great importance since it is possible to evaluate certain properties as drainage, porosity, hydraulic conductivity, air and water permeability and water storage capacity of the soil. This study aimed to determine soil density values through PVC pipes and compare with conventional methods such as Clod Paraffin (CP), Volumetric Ring (VR), Test Tube (TT) and Excavation Method (ME), the latter proposed as standard in this job. Soil samples were collected in four areas with different particle sizes. The first area was in the Experimental Station of Irrigation and Drainage Department of Agricultural Engineering, at Federal University of Viçosa, with clayey soil. The second area is located 50 km from the Jaíba Project, the municipality of Jaíba-MG, with sandy soils. A third area is located near the intersection of clover BRs 040 and 365, known as Pira-Patos clover (Luislândia ), municipality of João Pinheiro-MG, with soil sandy loam texture. The fourth area located in the municipality of Itabirito-MG, with clay soil. The soil samples were obtained with the aid of PVC pipes of different dimensions and volumetric ring of approximately 100 cm<sup>3</sup>. Undisturbed samples were also collected in the form of lumps and disturbed samples for density determination by the method of the test tube. For all sampling methods, samples were collected at depths from 0.025 to 0.075 m; from 0.050 to 0.10 m; 0.075 to 0.125 and 0.10 to 0.150m. PVC tubes with 0.1; 0.15; 0,20 and 0,25 m in height and 40, 50, 60 and 75 mm diameter were used. The PVC tube method can be used for collecting soil samples to determine the density in all evaluated diameters , for soils with clayey and clayey , and sandy textured soils is type recommended the use of PVC pipe with a diameter of 60 to 75 mm , regardless of height , since smaller diameters underestimate the results of soil density.

## 1. INTRODUÇÃO GERAL

O solo é um dos principais suportes da produção agrícola e seu manejo inadequado pode acarretar alterações nas propriedades químicas, físicas e biológicas do solo. Do ponto de vista físico, a densidade do solo é um dos atributos mais utilizados para avaliar alterações da qualidade de sistemas de uso e manejo do solo. Entre os vários atributos do solo que interferem no manejo de irrigação e crescimento vegetal, a densidade do solo pode ser considerada a principal, sendo muito importante sua medição em projetos de irrigação e drenagem. A densidade do solo é um atributo que é afetado pela estrutura do solo, grau de compactação, manejo e tipos de culturas (AMÉRICO, 1979).

De acordo com Neto et al, 1999, o conhecimento das inter-relações entre a água, o solo e a planta é essencial para uma eficiente exploração agrícola, porque a água necessária ao crescimento vegetal encontra-se principalmente no solo. O comportamento da água no solo depende fundamentalmente de suas propriedades físicas, isto é, quanto maior for a densidade do solo menor será a capacidade de armazenamento de água no solo, visto que o tamanho dos macro e microporos será reduzido em criptoporos, reduzindo a capacidade de armazenamento.

A densidade do solo fornece indicações a respeito do estado de compactação do solo, podendo indicar a necessidade de realização de prática mecânica de descompactação do solo, com a utilização do subsolador ou do escarificador (REICHARDT; TIMM, 2004). Ela é afetada naturalmente pela mineralogia, textura e teor de matéria orgânica do solo e antropicamente pelos sistemas de manejo. Solos compactados caracterizam-se pelo aumento da densidade e redução na porosidade, principalmente nos macroporos.

Os altos valores da densidade do solo podem causar: primeiro, pela falta de oxigênio para a respiração das raízes, devido à baixa porosidade e má drenagem e, segundo, por impedimento mecânico para o crescimento das raízes, limitando-se à zona de absorção de água e nutrientes (Souza et al, 1997).

O cálculo da água disponível a uma determinada profundidade é facilmente realizado desde que se conheçam os teores de umidade correspondentes à

capacidade de campo (CC) e ao ponto de murcha permanente (MP), a densidade do solo (Ds) e a profundidade de interesse (z).

De acordo com diversos estudos(PATRÍCIA et al, 2008; ) realizados sobre métodos de determinação de densidade do solo, foram constatadas algumas desvantagens no uso do método do anel volumétrico, considerado o método padrão, deixando a incerteza daquilo que são as características físicas do solo. Isto devido à possibilidade de compactação do solo no momento da coleta das amostras, ou mesmo por apresentar limitações na coleta das amostras em certas texturas do solo.

Com o intuito de facilitar a coleta de amostras de solo por parte dos produtores rurais, surge a necessidade de desenvolver novas técnicas para determinação da densidade do solo, tal como a utilização do tubo de PVC. Esta técnica vem sendo desenvolvida para auxiliar o uso do Irrigâmetro, aparelho utilizado no manejo da irrigação. Para implementar um programa de manejo de irrigação com uso deste aparelho é necessário fazer o diagnóstico do sistema de irrigação e a caracterização do solo, do clima e da cultura. Os valores da densidade do solo são usados para selecionar a régua de manejo que irá equipar o Irrigâmetro, entretanto é importante o uso de métodos simples de determinação da densidade do solo, que não acarretem elevados custos para sua aquisição, de forma que todo produtor rural possa realizar este procedimento. Vale salientar que a hipótese do uso deste método é que ele pode ser utilizado na coleta de amostras indeformadas de solos com diferentes texturas, além de aproveitar material geralmente encontrado na propriedade rural e com custo acessível.

## **1.1. OBJETIVOS**

### 1.1.1. Objetivo Geral

Determinar a densidade do solo por meio do uso do tubo de PVC, com precisão e exatidão semelhante ao método padrão, visando facilitar a aquisição da informação ao produtor rural e padronizar a amostragem em solos com diferentes granulometrias.

### 1.1.2. Objetivos Específicos

- Comparar a densidade do solo obtido nas diferentes formas de coleta de amostras e métodos de determinação (métodos do anel volumétrico, torrão parafinado, proveta e escavação);
- Identificar o melhor diâmetro e altura do tubo de PVC para determinação da densidade do solo;
- Avaliar a amostragem do solo pelo uso do tubo de PVC em relação aos métodos do anel volumétrico e torrão parafinado, proveta e escavação.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSIS, R. L.; LANÇAS, K. P. Avaliação dos atributos físicos de um Nitossolo Vermelho distroférico sob sistema plantio direto, preparo convencional e mata nativa. **Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa**, v. 29, n. 4, p. 515-522, 2005.

CAVALIERI, K. M. V.; TORMENA, C.A.; VIDIGAL FILHO, S. P.; ANDRADE GONÇALVES, C. A.; SARAIVA DA COSTA, C. A. Efeitos de sistemas de preparo nas propriedades físicas de um Latossolo Vermelho distrófico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa**, v. 30, n. 1, p. 137-47, 2006.

LETEY, J. Relationship between soil physical properties and crop productions. **Advances in Soil Science**, v.1, p.277-294, 1985.

NETTO A. O. A.; NACIF P. G. S.; REZENDE J. O. Avaliação do conceito de capacidade de campo para um latossolo amarelo coeso do estado da bahia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa**, v. 23, p. 661-667, 1999

OLIVEIRA, R. A. de; RAMOS, M. M. **Manual do Irrigâmetro**. 1.ed. Viçosa: Editora UFV, 2008. 144p.

PATRÍCIA M. M.; SANDRO A.; JOSÉ J. V. R.; ARLETE C. B. **Efeito da compactação em dois solos de classes texturais diferentes na cultura do rabanete**. Caatinga (Mossoró,Brasil), v.21 n.5, p.107-112, 2008

REICHARDT, K.; TIMM, L. C. Solo, planta e atmosfera: conceitos, processos e aplicações. **Barueri: Manole**, p. 478, 2004.

TAVARES FILHO, J.; G. M. C. BARBOSA; M. F. GUIMARÃES; I. C. B. FONSECA. Resistência do solo à penetração e desenvolvimento do sistema radicular do milho (*Zea mays*) sob diferentes sistemas de manejo em um Latossolo Roxo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa**, v. 25, n. 3, p. 725-730, 2001.

TORMENA, C. A.; SILVA, A. P. Incorporação da densidade do solo no ajuste de dois modelos à curva de retenção de água no solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa**, v. 26, p. 305-314, 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, Viçosa**, v. 22, p. 573-581, 1998.



## **CAPÍTULO 1: REFERENCIAL TEÓRICO**

### **1. IRRIGAÇÃO**

O controle da irrigação via solo passa necessariamente pelo conhecimento de suas características. Assim, a densidade do solo, granulometria, declividade, taxa de infiltração básica, capacidade de água disponível, umidade de saturação, capacidade de campo, ponto de murcha permanente são propriedades que devem fazer parte do conhecimento do irrigante. A perda de condições desejáveis do solo, relacionadas com o crescimento de plantas e ambiente, tem sido considerada como degradação do solo (REINERT, 1997). Esta definição refere-se à perda de produtividade dos solos decorrentes da diminuição de quantidades de nutrientes, matéria orgânica, mudanças em atributos físicos e outras consequências adversas. Esta degradação da estrutura do solo causa perda de condições favoráveis ao desenvolvimento vegetal e predispõe o solo à erosão hídrica acelerada (ALBUQUERQUE et al., 1995).

#### **1.1. Propriedades físicas do solo**

Os solos são constituídos por uma mistura de partículas sólidas de natureza mineral e orgânica, ar e água, formando um sistema trifásico, sólido, gasoso e líquido. As partículas da fase sólida variam consideravelmente em tamanho, forma, composição química e a sua combinação nas várias configurações possíveis, formando a chamada matriz do solo (CAMARGO; ALLEONI, 1997). Considerando o solo como um corpo natural organizado, portanto ocupando dado espaço, a recíproca da matriz do solo forma a porosidade dos solos. Outro fator que interfere diretamente na porosidade dos solos refere-se à maneira como as partículas sólidas se arranjam na formação dos solos (REINERT; REICHERT, 2006).

O solo é a base fundamental dos sistemas de produção agrícola, e as alterações nas suas propriedades afetam a sustentação do crescimento vegetal, e, conseqüentemente, o rendimento das culturas, causando impactos diretos para o produtor rural. Então, é necessidade premente buscar alternativas que sejam sustentáveis ao longo do tempo, de forma que melhorem ou mantenham uma

estrutura física capaz de exercer as suas funções para o crescimento e ancoragem das raízes, bem como favorecer o suprimento de água, oxigênio e nutrientes (BLAINSKI et al., 2008). Prevedello (1996) afirma que para manter um solo produtivo, bem como adequar determinadas estratégias de manejo, é importante que sejam analisadas suas propriedades físicas como porosidade, densidade e resistênciamecânica do solo à penetração, na medida em que elas afetam a resposta das culturas.

A definição de um solo fisicamente ideal é difícil devido ao tipo e natureza das variações físicas dos solos que ocorrem ao longo da profundidade do solo, na superfície da paisagem e ao longo do tempo. Um exemplo clássico refere-se ao suprimento de água e ar que variam continuamente junto com os ciclos de umedecimento e secagem, que ocorrem com a alternância de chuva e estiagem. Um solo é considerado fisicamente ideal para o crescimento de plantas quando apresenta boa retenção de água, bom arejamento, bom suprimento de calor e pouca resistência ao crescimento radicular. Paralelamente, boa estabilidade dos agregados e boa infiltração de água no solo são condições físicas importantes para a qualidade ambiental dos ecossistemas (REINERT; REICHERT 2006).

## **1.2. Conceitos sobre alguns atributos físicos do solo**

O solo é o meio onde as plantas se desenvolvem. Sendo assim, é de grande importância que as condições desse meio sejam adequadas para esse desenvolvimento. O conhecimento das propriedades físicas do solo, em particular sua densidade, sua interação com o crescimento e desenvolvimento das plantas, representa o centro das atenções da física do solo.

A densidade do solo é uma medida da compactação do solo e é calculado como a razão da massa do solo seco por unidade de volume (GROSSMAN; REINSCH, 2002; USDA NRCS, 2008). É uma característica importante que afeta as principais funções do solo, tais como capacidade de retenção de água, infiltração, aeração e facilidade para a germinação de planta e crescimento da raiz.

Além disso, a densidade do solo é necessária para converter o peso em volume de solo, de modo que é um componente crucial de avaliação da água no solo, nutrientes e estoques de carbono ( GROSSMAN, REINSCH, 2002; LAL , KIMBLE, 2001; THROOP et al., 2012). A densidade do solo não é uma constante, porque ela

muda de acordo com a condição estrutural do solo. Por esta razão, ela varia significativamente ao longo do tempo em resposta a mudanças na cobertura e manejo do solo (BATEY, 2009; HAMZA e ANDERSON, 2005). Geralmente, a densidade do solo aumenta com a profundidade do perfil, pois as pressões exercidas pelas camadas superiores sobre as subjacentes provocam o fenômeno de compactação, reduzindo a porosidade (ANDRADE et al., 1998).

A movimentação de material fino nos horizontes superiores para inferiores, por eluviação, também concorre para reduzir os espaços porosos e aumentar a densidade dessas camadas (RABELO, 2000). É um importante parâmetro do solo diretamente relacionado a uma série de propriedades e processos do solo incluindo porosidade, umidade do solo, taxas de infiltração de água e erodibilidade (ARIA; PARIS, 1981; WISCHMEIER, 1969). Serve também para prever funções hidráulicas do solo, tais como a retenção de água, condutividade hidráulica ou escoamento superficial (RAWLS et al., 1982; WÖSTEN et al., 1999) e um parâmetro necessário para converter concentrações de elementos de peso sobre uma base e estimativa de área stocks e fluxos de elementos dentro dos ecossistemas (BERNOUX et al., 1998; GATTINGER et al., 2012).

Para Warrick e Nielsen (1980), a densidade do solo é uma propriedade que apresenta baixo coeficiente de variação (< 10%), o que pode ser atribuído ao fato de a amostra integrar zonas com maior ou menor densidade dentro da mesma amostra. Essa baixa variabilidade permite obter, com reduzido número de amostras, uma boa representatividade desse atributo do solo.

A densidade do solo depende da natureza, das dimensões e da forma como se acham dispostas as partículas do solo. Nos solos minerais, os valores da densidade do solo oscilam de 1,1 a 1,6 g cm<sup>-3</sup> e, nos solos orgânicos, a densidade é inferior, entre 0,6 a 0,9 g cm<sup>-3</sup>. A amplitude de variação situa-se dentro dos limites médios: solos argilosos, de 1,00 a 1,25 g cm<sup>-3</sup>; solos arenosos de 1,25 a 1,40 g cm<sup>-3</sup>; solos húmíferos, de 0,75 a 1,00 g cm<sup>-3</sup> e solos turfosos, de 0,20 a 0,40 g cm<sup>-3</sup> (RABELO, 2000).

O estudo realizado por Schaetzl e Anderson (2005) revelou que o valor da densidade do solo variou entre 1,0 g cm<sup>-3</sup> e 2,65 g cm<sup>-3</sup>. Um solo compactado atinge densidade superior a 2,3 g cm<sup>-3</sup>. Dependendo de alguns fatores que afetam a densidade do solo, maior valor da densidade do solo pode variar entre 1,1 g cm<sup>-3</sup> a 1,6 g cm<sup>-3</sup> (MANRIQUE; JONES, 1991).

O manejo incorreto de uma certa cultura pode provocar a compactação, alterando a estruturação e a densidade do solo. De maneira geral, pode-se afirmar que, quanto mais elevada for a densidade do solo, maior será a sua compactação, menor será a sua estruturação, menor a sua porosidade total e, conseqüentemente, maiores serão as restrições para o crescimento e desenvolvimento das plantas (RABELO, 2000).

A medição da densidade de solo é usada, por exemplo, para a conversão da umidade determinada em base gravimétrica para a umidade em base volumétrica, utilizada nos cálculos de disponibilidade de água para as plantas e determinação da necessidade de irrigação. A determinação da compactação do solo também pode ser avaliada via densidade de solo (VIANA, 2009).

Kiel(2014)aponta que as causas das alterações na densidade dos solos podem ser naturais, difíceis de serem definidas e avaliadas, agindo lentamente no solo, como, por exemplo, a eluviação de argila e as forças mecânicas originadas da pressão das forças de tração e do próprio peso das máquinas agrícolas, pela própria ação de implementos sobre o solo. O tráfego excessivo realizado indiscriminadamente sob diferentes condições de umidade do solo é o principal responsável pela compactação. A densidade do solo difere da densidade de partículas por considerar o arranjo das partículas, isto é, o espaço poroso do solo. Para um solo com a mesma densidade de partículas, quanto maior for a porosidade, menor será a densidade. A compactação do solo uma vez que aproxima as partículas sólidas, diminui o espaço poroso, aumentando, conseqüentemente, a densidade do solo.

### **1.3. Densidade de Partículas**

A densidade de partículas é definida pela relação entre a massa do solo seco por unidade de volume dos sólidos do solo, expresso em gramas por centímetro cúbico ( $\text{g cm}^{-3}$ ). Junto com a densidade do solo, a densidade de partículas é mais comumente usada na determinação da porosidade total dos solos. A densidade de partículas da maioria dos solos minerais varia dentro da estreita faixa de  $2,6 \text{ g cm}^{-3}$  a  $2,75 \text{ g cm}^{-3}$

Na ausência de dados atuais, a densidade de partículas dos solos é frequentemente assumida como igual a  $2,65 \text{ g cm}^{-3}$  (BIELDERS et al., 1990). Os solos

com alto teor de matéria orgânica têm densidade de partículas menor que  $2,65 \text{ g cm}^{-3}$ , devido à baixa massa dos sólidos orgânicos.

#### **1.4. Porosidade do solo**

O sistema de poros do solo é amplamente reconhecido como sendo responsável pela disponibilidade de água do solo e aeração, juntamente com a porosidade, que afetam o crescimento das raízes e, conseqüentemente, das culturas. Alterações na porosidade do solo são refletidas nas características de retenção de água e são extremamente importante em projetos de irrigação (NAWAZ et al., 2013).

Os poros do solo são representados por cavidades de diferentes tamanhos e formas, determinados pelo arranjo das partículas sólidas (HILLEL, 1972; MARQUES, 2000), e constituem a fração volumétrica do solo ocupada com ar e solução (água e nutrientes). Correspondem, portanto, ao espaço onde ocorrem os processos dinâmicos do ar e da solução do solo (HILLEL, 1972).

O espaço poroso do solo não ocupado por sólidos é ocupado pela água e por ar, definido como sendo a proporção entre o volume de poros e o volume total de um solo. A densidade do solo é de grande importância para o crescimento de raízes e movimento de ar, água e solutos no solo (REINERT; REICHERT, 2006).

A porosidade do solo interfere na aeração, condução e retenção de água, resistência à penetração e à ramificação das raízes no solo e, conseqüentemente, no aproveitamento de água e nutrientes disponíveis (TOGNON, 1991). O solo ideal deve apresentar um volume e dimensão dos poros adequados para a entrada, movimento e retenção de água e ar para atender às necessidades das culturas (HILLEL, 1980).

O destacado papel do espaço poroso na dinâmica da água no solo foi reconhecido por vários pesquisadores, como Amaro Filho (1982) e Anderson e Bouma (1973), que ressaltaram que para se entender melhor o comportamento do solo, a distribuição dos poros por seus tamanhos é mais importante que a porosidade total. A esse respeito, Klein (1998) e Vomocil (1965) afirmaram que para diversos objetivos, tais como o movimento e armazenamento de água e gases, fluxo e retenção de calor e desenvolvimento do sistema radicular, a determinação somente da porosidade total fornece informações de importância limitada. Deste modo, a determinação da distribuição dos poros na matriz do solo apresenta-se mais

importante, visto que, de acordo com a distribuição dos diferentes tamanhos dos poros, pode haver restrição do fluxo de água no solo.

A presença de uma rede ideal de poros no solo também exerce expressiva influência sobre a fertilidade do solo, afetando as relações entre drenagem, absorção de nutrientes, penetração de raízes, aeração e temperatura, relacionando-se diretamente com o desenvolvimento e produtividade das culturas (LETEY, 1985).

A classificação mais usual da porosidade refere-se à sua distribuição de tamanho em duas classes: micro e macroporosidade. A microporosidade é uma classe de tamanho de poros que, após ser saturada em água, a retém contra a gravidade. Os macroporos, ao contrário, após serem saturados em água não a retém, ou são esvaziados pela ação da gravidade. A funcionalidade desses poros fica evidente quando se considera que os microporos são os responsáveis pela retenção e armazenamento da água no solo e os macroporos responsáveis pela aeração e pela maior contribuição na infiltração de água no solo (REINERT; REICHERT, 2006).

Vários autores incluem nesta classificação os mesoporos como uma classe intermediária, como Luxmoore (1981), que sugeriu uma classificação na qual os microporos apresentam diâmetro menor que 0,01 mm; os mesoporos apresentam diâmetro entre 0,01 e 1,0 mm; e os macroporos, diâmetro maior que 1,0 mm. Já Klein e Libardi (2002), classificam como macroporos, os poros com diâmetro maior que 0,05 mm (que perdem a água em tensões menores que 6 kPa), microporos, aqueles com diâmetro entre 0,05 e 0,0002 mm (que são esvaziados a tensões entre 6 e 1500 kPa) e criptoporos, poros com diâmetro menor que 0,0002 mm (que perdem a água apenas para tensões maiores que 1500 kPa).

### **1.5. Solos compactados**

Os sistemas de produção agrícolas tendem a aumentar o número de cargas transportadas em veículos agrícolas, resultando em um potencial aumento da compactação do solo (Newell Price et al., 2013).

O termo compactação do solo refere-se ao processo que descreve o decréscimo do volume de poros em solos não saturados quando uma determinada pressão externa é aplicada, a qual pode ser causada pelo tráfego de máquinas agrícolas, equipamentos de transporte ou animais (LIMA, 2004). Para Kochhann et al. (2000), a compactação do solo é entendida como o aumento da sua densidade, resultante da

complexa interação entre os processos físicos, químicos e biológicos diretamente relacionados com sua massa/volume. Se a densidade do solo for excessivamente elevada, o fluxo hídrico do solo poderá ser extremamente lento, não satisfazendo a demanda de água requerida pelas plantas, e/ou poderá impor resistência ao desenvolvimento do sistema radicular das plantas, reduzindo o volume de raízes e, conseqüentemente, limitando o potencial das plantas explorarem o solo (Kochhann et al., 2000). Canillas e Salokhe (2002) apontam a compactação dos solos como sendo um dos principais causadores da degradação dos solos agrícolas.

A compactação do solo é uma das principais ameaças à manutenção da qualidade do solo na Europa (COM, 2006). Uma variedade de funções ecológicas importantes é afetado quando o solo é compactado (van Ouwerkerk e Soane, 1995; Alaoui et al., 2011). A compactação reduz a condutividade hidráulica saturada e, portanto, desencadeia o escoamento superficial e a erosão do solo pela água; pode induzir o fluxo preferencial em macroporos e, portanto, facilita o transporte de nutrientes e pesticidas para horizontes mais profundos e corpos de água com colóides adsorvidos; a compactação reduz a aeração do solo e, portanto, reduz o crescimento das raízes e induz a perda de nitrogênio e produção de gases de efeito estufa por meio da desnitrificação por processos anaeróbios. Conseqüentemente, a compactação do solo é uma das causas de um certo número de problemas ambientais e agrônômicos (inundações, erosão, lixiviação de substâncias químicas para corpos de água, perdas do rendimento das culturas) que resultam em dano econômico significativo para a sociedade e agricultura (FARIAS, 2013).

De acordo com a Comissão Europeia, a compactação do solo é reconhecida como um dos principais fatores que pode diminuir o rendimento das culturas e, portanto, tornando-se grave o problema agrícola (COMISSÃO EUROPEIA, 2006). A compactação leva a degradação da estrutura do solo, o que resulta numa deterioração das propriedades físicas do solo.

Os subsolos compactados apresentam valores de densidade iguais ou maiores que  $1,8 \text{ g cm}^{-3}$ . Altos valores de densidade do solo (maiores que  $1,6 \text{ g cm}^{-3}$ ) indicam limitada aeração, movimento de água muito lento, drenagem pobre e ocorrência de impedimento ao crescimento radicular (LETEY, 1985).

## **1.6. Fatores que afetam a densidade do solo**

### *1.6.1. Impacto da gota de chuva*

A gota de chuva é considerada uma fonte natural de compactação, pois quando cai sobre o solo descoberto poderá compactá-lo e desagregá-lo aos poucos. Conforme Bortolozzo; Sans (2001), para saber qual a amplitude dos efeitos causados pela gota de chuva, devem-se primeiro conhecer algumas de suas características (erosividade), tais como: intensidade, diâmetro médio e a velocidade final das gotas médias.

De acordo com Schaefer et al. (2002), com o impacto das gotas de chuva sobre a superfície do solo, ocorre a quebra mecânica dos agregados, resultando na formação de uma camada adensada na superfície do solo, ocorrendo o selamento superficial.

Richart et al. (2005) mostrou que a formação do selamento superficial deve-se a dois mecanismos: (1) fragmentação física dos agregados do solo e seu adensamento; (2) dispersão físico-química e migração das partículas de argila para a região de 0,1 a 0,5 mm de profundidade, onde se alojam, obstruindo os poros. O primeiro mecanismo predomina e é determinado pela energia cinética das gotas da chuva. O segundo é controlado principalmente pela concentração e composição de cátions no solo e pela aplicação de água. Os dois mecanismos atuam simultaneamente e o primeiro incrementa o segundo.

### *1.6.2. Operações de preparo do solo*

O preparo tem por objetivo melhorar as condições do solo para favorecer a germinação das sementes e o crescimento e desenvolvimento das plantas, facilitar o movimento de água e ar, controlar plantas indesejáveis e, em alguns casos, auxiliar no manejo dos resíduos culturais (LARSON; GILL, 1973 apud RICHART; ALFREDO et al., 2005). Por outro lado, também apresenta efeitos negativos, pois o preparo reduz a rugosidade da cobertura do solo (BERTOL, 1995), pulveriza a superfície e forma camadas compactadas na subsuperfície (Dalla Rosa, 1981), além de facilitar a erosão hídrica (Hernani et al., 1997; Lindstrom et al., 1998), também limitando o crescimento



das raízes e o desenvolvimento e produção das culturas (SILVA; REINERT; REICHERT, 2000 apud RICHART, ALFREDO et al., 2005).

As propriedades físicas do solo mais comumente medidos em condições de lavoura são a densidade do solo, porosidade e estrutura do solo (GILL, 2012; STRUDLEY et al., 2008). Os efeitos das práticas de preparo nas propriedades físicas do solo variam de acordo com o tipo de solo. A densidade é uma das propriedades básicas de solos afetados por práticas de manejo de lavoura (BADALÍKOVA, 2010)

O plantio direto é uma das práticas mais importantes que afetam propriedades físico-hídricas do solo (JABRO et al., 2009). Propriedades físicas do solo (densidade, porosidade total, a distribuição de tamanho de poros, resistência à penetração e estabilidade de agregados) e propriedades hidráulicas do solo (retenção de água, taxa de infiltração e condutividade hidráulica), conseqüentemente, mudam com a variação na estrutura do solo (GILL, 2012).

No sistema de preparo convencional do solo, a grade aradora tem sido o equipamento mais utilizado. Normalmente a grade trabalha o solo a pouca profundidade e apresenta alto rendimento de campo, porém o uso contínuo desse implemento pode levar à formação de camadas compactadas, chamadas “pédegrade” (SILVA, 1992). Os arados, tanto de disco como de aiveca, são equipamentos pouco utilizados, porque requerem maior tempo e energia para a sua operação (KOCHHANN; DENARDIM, 1997; KLUTHCOUSKI et al., 2000 apud RICHART; ALFREDO et al., 2005).

Hakansson, Voorhees e Riley (1988) observaram que o sistema de preparo convencional do solo ocasiona compactação subsuperficial em virtude da mobilização e descompactação mecânica da camada mobilizada, ao mesmo tempo em que a carga aplicada apresenta efeito acumulativo em subsuperfície ao longo dos anos. SAXON et al. (1988 apud Richart, Alfredo et al., 2005) estudaram a influência das práticas culturais na compactação de solos de textura franco-siltosa mecanizados superficialmente todos os anos e que passavam por ciclos de congelamento. Verificaram que as práticas culturais modificaram a densidade do solo e, conseqüentemente, a infiltração de água, especialmente nas áreas com intensa mecanização, causando impacto negativo nas condições físicas e nos processos químicos e biológicos do solo.

### 1.6.3. Tráfego de máquinas agrícolas

O tráfego de máquinas agrícolas é a principal causa da compactação do solo, que foi intensificada pela modernização da agricultura, com o aumento do peso das máquinas e equipamentos e da intensidade de uso do solo. Esse processo não foi acompanhado por um aumento proporcional do tamanho e largura dos pneus, resultando em significativas alterações nas propriedades físicas do solo (RICHART et al., 2005).

Máquinas agrícolas modernas ajudam a reduzir os custos do trabalho e melhorar a oportunidade das operações de campo. Durante as últimas décadas, o peso médio das máquinas aumentou e resultou em cargas por eixo e rodas maiores. (TIJINK; VAN DER LINDEN, 2000).

Compactação de solos aráveis por máquinas agrícolas é um fenômeno complexo e para a compreensão dos mecanismos envolvidos na deformação dos solos continua a ser limitada (KELLER et al., 2013).

Os pneus usualmente utilizados nos tratores e colhedoras comercializadas no Brasil possuem a parte lateral do pneu rígida, sendo chamados de pneus de banda diagonal. Essa rigidez impede que o pneu se molde ao solo de acordo com as irregularidades do terreno e, por isso, a sua área de contato fica reduzida, aumentando a pressão na superfície do solo (SILVA et al; 2000).

A aplicação de cargas dinâmicas por rodados e implementos agrícolas no solo produz tensões na interface solo/pneu e solo/implemento em superfície e em profundidade, respectivamente. Essas tensões compactam as diferentes camadas do solo (Horn; Lebert, 1994) e, caso este carregamento dinâmico exceda a resistência interna do solo, mudanças nas propriedades físicas das camadas mais profundas ocorrerão (HORN, 1988).

## 1.7. Métodos de determinação da densidade do solo

Como a densidade do solo é a relação entre a massa de solo seco e o volume do solo (sólidos + poros), e como a massa é determinada sempre secando-se a amostra em estufa, o que difere os diferentes métodos de determinação, basicamente, é a forma de determinar o volume da amostra coletada. A seguir são apresentados alguns métodos de determinação da densidade do solo.

### 1.7.1. Método do Anel Volumétrico (MAV)

Este método é considerado como padrão para determinação da densidade do solo (Embrapa, 2011). É descrito por Uhland (1949), que empresta o seu nome ao dispositivo utilizado para a coleta das amostras de solo. O método consiste em utilizar um extrator de amostras e cilindros volumétricos de aço inoxidável ou de alumínio. Uhland (1949) destaca que o equipamento por ele adaptado de Yoder, tem como objetivo obter amostras de solo com um mínimo de perturbação em relação a sua estrutura natural. Esta afirmação é considerada e reforça a importância da cuidadosa retirada das amostras, que, infelizmente não terão estrutura totalmente igual àquela na condição do campo. Os cilindros com solo são retirados do trado e com o devido cuidado, ajusta-se o solo ao volume do cilindro. Quando se dispõe de um grande número de cilindros, esses podem ser colocados diretamente na estufa, retirando-se o solo depois de seco. Esse procedimento facilita muito a operação de coleta no campo, evitando retirar o solo do cilindro para posterior secagem.

É preciso também um cuidado especial em relação a umidade do solo no momento da coleta, visto que o solo com umidade excessiva promove a deformação da amostra e o solo muito seco acarrete fissuras e dificuldade na retirada das amostras. É recomendada a umidade na capacidade de campo KIEL (2014). Porém, esse método pode provocar uma possível compactação do solo pelo atrito cilindro-solo durante a penetração no solo, principalmente quando o solo estiver com umidade acima do ponto de friabilidade, ou de fraturar ou cisalhar quando o solo estiver seco (BLAKE; HARTG, 1986).

### 1.7.2. Método do Torrão Parafinado (MTP)

Este método é baseado na Lei de Arquimedes, que define o empuxo ou volume de um corpo sendo igual ao peso do volume de líquido deslocado quando este é mergulhado nesse líquido.

A determinação consiste na coleta de torrões de solo de volume variável, secos ao ar, e impermeabilizado em parafina líquida. O volume dos torrões é determinado pelo volume de água deslocado quando imersos em água (KIEHL, 1979). Apresenta a desvantagem de poder segregar a amostra por ocasião da coleta dos torrões em solos de textura arenosa que foram mobilizados e não completamente

reconsolidados, desconsiderando os macroporos existentes entre os torrões (SILVA et al., 2000). O MTP é bastante útil em solos pedregosos, ou quando o solo estiver muito seco que impeça a penetração do cilindro no solo. Este método normalmente apresenta resultados um pouco superiores ao dos outros métodos de determinação da densidade do solo, o que é atribuído à pequena penetração da parafina nos interstícios do solo, ao arredondamento desse agregado, bem como a forma de obtenção desse agregado, que irá fraturar nos pontos de menor resistência (KIEHL, 1979 apud KLEIN, 2014).

### *1.7.3. Método do Tubo de PVC*

É um método novo introduzido para determinar a densidade do solo por OLIVEIRA et al (2008). Consiste em cravar um tubo de PVC no solo até que a sua borda fique rente à superfície do solo. É imprescindível o rigor no atendimento desta condição a fim de garantir a confiabilidade dos resultados de densidade a obter. Salienta-se que é comum ocorrer a compactação do solo dentro do tubo de PVC, mas isso não irá influenciar na densidade do solo, visto que, o cálculo da densidade do solo utiliza o comprimento do tubo de PVC e não a altura da amostra dentro do tubo.

Aconselha-se usar o tubo de PVC da cor marron devido a sua resistência, garantindo deste modo que a amostra não permaneça indeformada. Antes de cravar o tubo no solo é necessário biselar a sua extremidade para facilitar a penetração. O tubo de PVC é um material de fácil acesso e manuseamento, com custo relativamente baixo, e com a vantagem de maior abrangência na coleta das amostras de solo de diferentes granulometrias.

### *1.7.4. Método da Proveta*

Este é normalmente utilizado para determinar a densidade do solo de textura arenosa, segundo EMBRAPA(1979). Esta determinação exprime a relação massa/volume do solo, sendo seus resultados comparáveis aos obtidos pelo método do anel, não sendo recomendáveis para solos argilosos ou estruturados.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGASSI, M.; MORIN, J.; SHAINBERG, I. Effect of raindrop impact energy and water salinity on infiltration rates of sodic soils. *Soil Science Society of America Journal, Madison*, v.49, p.186-190. 1985.
- ALAKUKKU, L.; ELOMEN, P. Long-term effects of a single compaction by heavy field traffic on yield and nitrogen uptake of annual crops. *Soil and Tillage Research, Amsterdam*, v.36, p.141-152, 1994
- ALAOUI, A., LIPIEC, J., GERKE, H.H., 2011. A review of the changes in the soil pore system due to soil deformation: a hydrodynamic perspective. *Soil Tillage Research* 115–116, 1–15.
- ALLETTO e COQUET, L., ALLETTO, Y. COQUET. Temporal and spatial variability of soil bulk density and near-saturated hydraulic conductivity under two contrasted tillage management systems *Geoderma*, v. 152, p. 85–94, 2009
- ALVAREZ V., V. H.; ALVAREZ, G. A. M. Comparação de médias ou teste de hipóteses Contrastes! *Bol. Inf. SBCS*, v. 31, p. 24-34, 2006.
- AMARO FILHO, J. **Determinação da condutividade capilar mediante o método do perfil instantâneo**. 1982. 90 f. Dissertação (Mestrado) Universidade Federal da Paraíba, Areias, 1982.
- ANDERSON, J. L.; BOUMA, J. Relationships between saturated hydraulic conductivity and morphometric data of an argillic horizon. *Soil Science Society American Proceedings*, Madison, v. 37, n. 3, p. 408-413, 1973.
- ANDRADE, C. L. T.; COELHO, E. F.; COURO, L.; SILVA, E. L. Parâmetros de solo água para a engenharia de irrigação e ambiental. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, v. 27, 1998, Poços de Caldas, Mg. *Anais...* Manejo da irrigação. Lavras: UFLA/SBEA, p.1-132, 1998.
- ARIA, L. M.; PARIS, J. F. A physicoempirical model to predict the soil moisture characteristic from particle size distribution and bulk density data. *Soil Science Society of America Journal, Madison*, v 45, n. 6, p.1023–1030, 1981.

BADALÍKOVA, B.; BADALÍKOVA. Influence of soil tillage on soil compaction ,in: A.P. Dedousis, T. Bartzanas (Eds.), Soil Engineering, Soil Biology 20 Springer-Verlag, **Berlin Heidelberg**, p. 19–30, 2010.

BATEY, T. Soil compaction and soil management? **A review. Soil Use Manag**, v 25, p. 335–345, 2009.

BELINASSI, L., MIGUEL, M. G., DOMINGUES, L. M., FAGNANI, E., & NOUR, E. A. A. Caracterização física e química de lixiviado de aterro sanitário (chorume) antes e após a percolação em solo argiloso laterítico da região de Campinas/SP.“CD-Rom”. In XV Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica, **anais**,2010

BERNOUX, M.; ARROUAYS, D.; CERRI, C.; VOLKOV, B.; JOLIVET, C. 1998. Bulk densities of brazilian amazon soils related to other soils properties. **Soil Sci Soc Am J**, v. 62, p. 743–749, 1998.

BERTOL, I. **Comprimento crítico de declive para preparos conservacionistas de solo**. Tese. (Doutorado em Ciência do Solo) – Departamento de Solos, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS,P. 185. 1995.

BLAINSKI, E.; TORMENA, C. A.; FIDALSKI, J.; GUIMARÃES, R. M. L. Quantificação da degradação física do solo por meio da curva de resistência do solo a penetração. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.32, p.975-983, 2008.

BORTOLOZZO, A.R.; SANS, L.M.A. Selamento superficial e seus efeitos na taxa de infiltração: uma revisão. **Revista Factu Ciência**, Unaf, ano 1, n.1, p.32-42, 2001.

CAMARGO, O. A.; ALLEONI, L. R. F. **Compactação do solo e o desenvolvimento das plantas. Piracicaba**, São Paulo, 1997. 132p.

CANILLAS, E. C.; SALOKHE, V. M. A. decision support system for compaction assessment in agricultural soils. **Soil Tillage Research, Amsterdam**, v.65, n.2, p.221-230, 2002.

CARLOS, J. B.; ALBUQUERQUE; RENZO, G. V. PINHO; JOSÉ A. S.; RODRIGUES; RENATA S.; BRANT E CLAUDIO M. T. VITOR. Produtividade do Sorgo Forrageiro em Diferentes Espaçamentos entre Fileiras e Densidades de Plantas no Semi-Árido de

Minas Gerais, In: *Embrapa Milho e Sorgo-Artigo em anais de congresso (ALICE), anais*, Londrina, 2008.

CAVALIERI, K. M. V.; TORMENA, C. A.; VIDIGAL FILHO, S. P.; ANDRADE GONÇALVES, C. A.; SARAIVA DA COSTA, C. A. Efeitos de sistemas de preparo nas propriedades físicas de um Latossolo Vermelho distrófico. *Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa*, v. 30, n. 1, p. 137-47, 2006.

COM, 2006. ([http://ec.europa.eu/environment/soil/pdf/com\\_2006\\_0232\\_en.pdf](http://ec.europa.eu/environment/soil/pdf/com_2006_0232_en.pdf)).

DALLA ROSA, A. Práticas mecânicas e culturais na recuperação física de solos degradados pelo cultivo no solo Santo Ângelo (Latosolo Roxo distrófico). *Dissertação. (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS*. P, 138, 1981.

EIDT, R. C. The climatology of South America. In Biogeography and ecology in outh America (E.J. Fittkau, J. Illies, H. Klinge, G.H. Schwabe & H. Sioli, eds.). *W. Junk Publishing, The Hague*, v.1, p.54-81, 1968.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de métodos de análise de solo. *2ª edição revista. Rio de Janeiro, RJ*, 2011.

EUROPEAN COMMISSION (EC). Communication from the Commission to the Council, the European Parliament, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions. *Thematic strategy for soil protection COM Brussels, Belgium: European*. p. 231. 2006.

FARIAS, Wisley Moreira. Condutividade hidráulica de solos tropicais compactados a hidrocarbonetos da gasolina. *Dissertação (Mestrado em Geotecnia)—Universidade de Brasília, Brasília*, p. 152 . 2003.

FRIZZONE, J. A. Planejamento da irrigação com o uso de técnicas de otimização. *Revista Brasileira de Agricultura Irrigada*, v.1, p.24-49, 2007.

GATTINGER, A.; MULLER, A.; HAENI, M.; SKINNER, C.; FLIESSBACH, A.; BUCHMANN, N.; MÄDER, P.; STOLZE, M.; SMITH, P.; EL-HAGE. SCIALABBA, N.; NIGGLI, U. Enhanced top soil carbon stocks under organic farming. *P. Natl Acad Sci USA*, v. 109, p. 18226–18231, 2012.

GILL, M. GILL. Temporal variability of soil hydraulic properties under different soil management practices, **University of Guelph**, Ontario, Canada, 2012.

GROSSMAN, R. B.; REINSCH, T. G. Bulk density and linear extensibility. In: DANE J. H.; TOPP, C, Co-editors. **Method of soil analysis part 4 physical methods**, Madison, Wisconsin: **Soil Science Society of America Inc**, 2002.

HAMZA, M. A.; ANDERSON, W. K. Soil compaction in cropping systems: a review of the nature, causes and possible solutions. **Soil Tillage Res**, v. 82, p. 121–145. 2005.

HERNANI, L.C.; SALTON, J.C.; FABRÍCIO, A.C.; DEDECEK, R.; ALVES JR., M. Perdas por erosão e rendimentos de soja e de trigo em diferentes sistemas de preparo de um Latossolo Roxo de Dourados (MS). **Revista Brasileira Ciência do Solo**, Viçosa, v.21, p. 667-676, 1997.

HILLEL, D. **Fundamentals of soil physics**. New York: Academic, 1980. 413 p.

HILLEL, D. **Introduction to environmental soil physics**, 494 pp. 2004.

HILLEL, D. **Soil and water**: physical principles and processes. 3. ed. New York: Academic, 1972. 288 p.

HORN, R. Compressibility of arable land. **Catena, Jerusalém**, v.11, p.53-71, 1988.

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

JABRO J.D.; JABRO, W.B. STEVENS, R.G. EVANS, W.M. Iversen Tillage effects on physical properties in two soils of the Northern Great Plains Appl. **Eng. Agric**, v. 25 p. 377–382, 2009.

JURY, WILLIAM A.; HORTON, ROBERT; JOHN WILEY; SONS **Soil physics**, 2004.

KELLER, T.; KELLER, M.; LAMANDÉ, S.; PETH, M.; BERLI, J.Y.; DELENNE, W.; BAUMGARTEN, W.; RABEL, F.; RADJAÏ, J.; RAJCHENBACH, A.; SELVADURAI, D. OR. An interdisciplinary approach towards improved understanding of soil deformation during compaction, **Soil Tillage Res.**, 128, p. 61–80, 2013.



KIEHL, E. J. Manual de edafologia: relações solo-planta. São Paulo: **Editora Agronômica Ceres**, v. 264, 1979.

KLEIN, V. A.; LIBARDI, P. L. Condutividade hidráulica de um Latossolo Roxo, não saturado, sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 32, n. 6, p. 945-953, 2002.

KLEIN, V.A. **Propriedades físico-hídrico-mecânicas de um Latossolo Roxo, sob diferentes sistemas de uso e manejo**. 1998. 150 f. Tese (Doutorado) Escola Superior de Agricultura de Luiz de Queiroz, Piracicaba, 1998.

KLUTHCOUSKI, J.; FANCELLI, A.L.; DOURADO-NETO, D.; RIBEIRO, C.M.; FERRARO, L.A. Manejo do solo e o rendimento da soja, milho, feijão e arroz em plantio direto. **Scientia Agrícola, Piracicaba**, v.57, n.1, p.97-104, 2000.

KOCHHANN, R. A.; DENARDIN, J. E. Comportamento das culturas de trigo, soja e milho à adubação fosfatada no sistema de plantio direto e preparo convencional. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL DO SISTEMA PLANTIO DIRETO, 2., 1997, Passo Fundo. **Anais...** Passo Fundo: EMBRAPA-CNPT, p.243-246, 1997.

KOCHHANN, R. A.; DENARDIN, J. E.; BERTON, A. L. Compactação e descompactação de solos. Passo Fundo: **Embrapa Trigo RS Brazil** n. 19, p. 20, 2000.

LAL, R.; KIMBLE, J. M. Importance of soil bulk density and methods of its importance. In: LAL, R., KIMBLE, J. M.; FOLLETT, R. F.; STEWART, B. A. (Eds.), Assessment Methods for Soil Carbon. **Lewis Publishers, London**, p. 31–44, 2001.

LARSON, W. E.; GILL, W.R. Soil physical parameters for designing new tillage systems. In: NATIONAL CONSERVATION TILLAGE CONFERENCE. Ankeny. Proceedings... Ankeny: **Soil Conservation Society of America**, p. 13-22. 1973.

LETEY, J. Relationship between soil physical properties and crop productions. **Advison Soil Science**, [S.I.], v. 1, p. 277-294, 1985.

LUXMOORE, R. J. Micro, meso and macroporosity of soil. **Soil Science Society American Journal**, Madison, v. 45, p. 671-672, 1981.

MANRIQUE, L. A; JONES, C. A. Bulk density of soils in relation to soil physical and chemical properties. **Soil Sci. Soc. Am. J**, v. 55 p. 476-481, 1991.

MARQUES, J. D. de O. **Horizontes pedogenéticos e sua relação com camadas hidráulicas do solo**. 2000. 86 f. Dissertação (Mestrado) Escola Superior de Agricultura de Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2000.

Nawaz, M. F; Bourrié, G; Trolard, F. Soil compaction impact and modelling. **A review. Agron. Sustain. Dev**, v. 33, p 291–309, 2013.

NEWELL-PRICE, J. P.; WHITTINGHAM, M.. J.; CHAMBERS, B. J.; PEEL, S. Visual soil evaluation in relation to measured soil physical properties in a survey of grassland soil compaction in England and Wales. **Soil Till. Res.** v. 127, p. 65–73, 2013

PREVEDELLO, C. L. Física do solo com problemas resolvidos. Curitiba, **SAEAFS**, 1996, 446 p.

QUEIROZ, R., SOUZA, A.G., SANTANA, P., ANTUNES, F.Z. & FONTES, M. Zoneamento Agroclimático do Estado de Minas Gerais. **Secretaria da Agricultura, Belo Horizonte**, 1980.

RABELO, N. A. Método de Análise .**Cadernos Didático**. Goiânia: Ed. UCG,, 2000, 88 p.

Rawls, W. J.; Brakensiek, D. L.; Saxton, K. E. Estimation of soil water properties. **Trans. ASAE**; v. 25, p. 1316–1320, 1982.

REINERT, D. J.; REICHERT, J. M. **Propriedades física do solo**. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria/Centro de Ciências Rurais, p. 18, 2006.

REINERT, D.J.; REICHERT, J.M.; SILVA, V.R. Propriedades físicas de solos em sistema plantio direto irrigado.In: CARLESSO, R.; PETRY, M.T.; ROSA, G.M.; CERETTA, C.A., eds. **Irrigação por aspersão no Rio Grande do Sul. Santa Maria**, p. 114-133, 2001

RICHART, A., TAVARES FILHO, J., BRITO, O. R., LLANILLO, R. F., & FERREIRA, R. Compactação do solo: causas e efeitos. **Semina: Ciências Agrárias**, n. 3, v. 26, p. 321-344, 2005.

RICHART, A.; TAVARES FILHO, J.; BRITO, O. R.; LLANILLO, R. F.; FERREIRA, R. Compactação do solo: causas e efeitos. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 26, n. 3, p. 321-344, 2005.

SAXON, K. E.; McCOOL, D. K.; KENNY, J. F. Tillage and residues impacts on infiltration. In: FOK, Y. (Ed.). Infiltration principles and practices. **Water Resources Research Center**, Honolulu, p.509-513, 1988.

SCHAEFER, C.E.R.; SILVA, D.D.; PAIVA, K.W.N.; PRUSKI, F.F.; ALBUQUERQUE FILHO, M.R.; ALBUQUERQUE, M.A. Perdas de solo, nutrientes, matéria orgânica e efeitos microestruturais em Argissolo Vermelho-Amarelo sob chuva simulada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.37, n.5, p.669-678, 2002.

SCHAETZL, R. J.; ANDERSON, S. **Soils: genesis and geomorphology**. New York: Cambridge University Press; 2005

SILVA, J. G. Ordens de gradagem e sistemas de aração do solo: desempenho operacional, alterações na camada mobilizada e respostas do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.). p. 180, 1992.. **Tese (Doutorado em Agronomia)**, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, SP.

SILVA, M. L .N.; CURTI, N.; BLANCANEUX, P. Sistemas de manejo e qualidade estrutural de Latossolo Roxo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.35, p.2485- 2492, 2000.

SILVA, V. R.; REICHERT, J.M.; REINERT, D.J Susceptibilidade à compactação de um Latossolo Vermelho-Escuro e de um Podzólico Vermelho-Amarelo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.4, p.239-249, 2000.

SILVA, V. R.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M. Comparação entre métodos do cilindro e do torrão na determinação da porosidade e da densidade do solo. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 30, n. 6, p. 1065-1068, 2000. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/cr/v30n6/a25v30n6.pdf>>. Acesso em: 18 de novembro de 2015.

SOANE, B.; VAN OUWERKERK, C. Implications of soil compaction in crop production for the quality of the environment. **In: Soil Tillage Research**, v. 35, p. 5-22, 1995.

STRUDLEY, M.W.; STRUDLEY, T.R.; GREEN, J.C. Ascough II Review: tillage effects on soil hydraulic properties in space and time: state of the science, **Soil Tillage Res**, v. 99 , pp. 4–48, 2008.

THROOP, H. L.; ARCHER, S. R.; MONGER, H. C.; WALTMAN, S. When bulk density methods matter: implications for estimating soil organic carbon pools in rocky soils. **Journal of Arid Environments** v. 77, p. 66–71, 2012.

TIJINK, F.G.J.;VAN DER LINDEN, J.P. Engineering approaches to prevent subsoil compaction in cropping systems with sugar beet. In: Horn, R., van den Acker, J.J.H., Arvidsson, J. (Eds.), Subsoil Compaction, **Advances in GeoEcology**, vol. 32. Catena, Reiskirchen, Germany, pp. 442–452, 2000.

TOGNON, A. A. **Propriedades físico-hídricas do Latossolo Roxo da região de Guairá-SP sob diferentes sistemas de cultivo**. 1991. 85 f. Dissertação (Mestrado) Escola Superior de Agricultura de Luiz de Queiroz, Piracicaba, 1991.

USDA NRCS, Soil Quality indicators: Bulk Density. National Resources Conservation Service, **United States Department of Agriculture**, 2008.

VAN OUWERKERK, C., SOANE, B.D. (Eds.), Soil compaction and the environment. **Soil Tillage Research**, v. 35, p. 1–113, 1995.

VELOSO, H. P., RANGEL FILHO, A.L.R. & LIMA, J.C.A. Classificação da vegetação brasileira adaptada a um sistema universal. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**, Rio de Janeiro, 1991.

VIANA, J. H. M. Determinação da densidade de solos e de horizontes cascalhentos. **ISSN**, p.1679-0162 Sete Lagoas, MG, 2008.

VOMOCIL, J. A. **Porosity**. New York: Academic, 1965.

WISCHMEIER, W. H.; MANNERING, J. V. Relation of soil properties to its erodibility. **Soil Sci Soc Amer Proc**; v. 39, p. 131–137, 1969.

Wösten, J. H. M.; Lilly, A.; Nemes, A. Le Bas C. Development and use of a database of hydraulic properties of European soils. **Geoderma**, v. 90, p. 169–185, 1999.

## CAPÍTULO 2: ARTIGO TÉCNICO E CIENTÍFICO

### USO DE TUBO DE PVC PARA DETERMINAÇÃO DA DENSIDADE DO SOLO VISANDO O MANEJO DA IRRIGAÇÃO

#### RESUMO

MATSINHE, Daniel Zefanias, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, Fevereiro de 2016. **Uso de tubo de pvc para determinação da densidade do solo visando o manejo da irrigação.** Orientador: Silvio Bueno Pereira. Coorientadores: Rubens Alves de Oliveira e Igor Rodrigues de Assis

Em projetos de irrigação o conhecimento da densidade do solo é de grande importância visto que é possível avaliar certas propriedades como drenagem, porosidade, condutividade hidráulica, permeabilidade ao ar e à água e capacidade de armazenamento de água no solo. Este trabalho teve como objetivo determinar os valores de densidade do solo por meio de tubos de PVC e comparar com métodos convencionais como Torrão Parafinado (MTP), Anel Volumétrico (MAV), Proveta (MP) e Escavação (ME), este segundo proposto como padrão neste trabalho. Foram coletadas amostras de solo em quatro áreas com diferentes granulometrias. A primeira área foi a Estação Experimental de Irrigação e Drenagem do Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, com solo de textura muito argilosa. A segunda área está localizada a 50 km do Projeto Jaíba, no Município de Jaíba-MG, com solo de textura arenosa. A terceira área localiza-se próximo ao trevo de interseção das BRs 040 e 365, conhecido como trevo Pira-Patos (Luislândia), município de João Pinheiro-MG, com solo de textura franco arenosa. A quarta área localiza-se no município de Itabirito-MG, com solo de textura argilosa. As amostras de solo indeformadas foram obtidas com auxílio de tubos de PVC de diferentes dimensões e por anel volumétrico de aproximadamente 100 cm<sup>3</sup>. Ainda foram coletadas amostras indeformadas na forma de torrões e amostras deformadas para determinação da densidade pelo método da proveta. Para todos os métodos de amostragem foram coletadas amostras nas profundidades de 0,025 a 0,075 m; 0,050 a 0,10 m; 0,075 a 0,125 m e 0,10 a 0,150 m. Utilizou-se tubos de PVC com 0,1; 0,15;

0,20 e 0,25 m de altura e 40, 50, 60 e 75 mm de diâmetro. O método do tubo de PVC pode ser usado para coleta das amostras de solo para determinação da densidade nos quatro diâmetros avaliados, para solos com textura argilosa e muito argilosa, e para solos de textura arenosa é recomendado o uso de tubo de PVC com diâmetro de 60 a 75 mm, independente da altura, visto que diâmetros menores subestimam os resultados da densidade do solo.

## ABSTRACT

MATSINHE, Daniel Zefanias, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, February, 2016. **Pvc pipe used to determine soil density aiming irrigation management.** Adviser: Silvio Bueno Pereira. Co-Advisers: Rubens Alves de Oliveira e Igor Rodrigues de Assis.

In irrigation projects the knowledge of the density of the soil is of great importance since it is possible to evaluate certain properties as drainage, porosity, hydraulic conductivity, air and water permeability and water storage capacity of the soil. This study aimed to determine soil density values through PVC pipes and compare with conventional methods such as Clod Paraffin (CP), Volumetric Ring (VR), Test Tube (TT) and Excavation Method (ME), the latter proposed as standard in this job. Soil samples were collected in four areas with different particle sizes. The first area was in the Experimental Station of Irrigation and Drainage Department of Agricultural Engineering, at Federal University of Viçosa, with clayey soil. The second area is located 50 km from the Jaíba Project, the municipality of Jaíba-MG, with sandy soils. A third area is located near the intersection of clover BRs 040 and 365, known as Pira-Patos clover (Luislândia), municipality of João Pinheiro-MG, with soil sandy loam texture. The fourth area located in the municipality of Itabirito-MG, with clay soil. The soil samples were obtained with the aid of PVC pipes of different dimensions and volumetric ring of approximately 100 cm<sup>3</sup>. Undisturbed samples were also collected in the form of lumps and disturbed samples for density determination by the method of the test tube. For all sampling methods, samples were collected at depths from 0.025 to 0.075 m; from 0.050 to 0.10 m; 0.075 to 0.125 and 0.10 to 0.150m. PVC tubes with 0.1; 0.15; 0.20 and 0.25 m in height and 40, 50, 60 and 75 mm diameter were used. The PVC tube method can be used for collecting soil samples to determine the density in all evaluated diameters, for soils with clayey and clayey, and sandy textured soils is type recommended the use of PVC pipe with a diameter of 60 to 75 mm, regardless of height, since smaller diameters underestimate the results of soil density.

## 1. INTRODUÇÃO

Para se obter um manejo adequado da irrigação sem déficit ou excesso de água deve-se conhecer as características físico-hídricas do solo como densidade do solo, retenção e armazenamento de água.

Em experimentos, assim como na elaboração e manejo de projetos de irrigação, é fundamental o conhecimento da densidade do solo. Muitas vezes, pelas dificuldades no acesso aos laboratórios, custos altos e até negligência, não se realizam amostragens adequadas para uma caracterização mais detalhada da área irrigada, resultando em escolha inadequada do sistema de irrigação, turno de rega, lâmina de água, entre outros.

Entre os vários atributos do solo que interferem no manejo de irrigação e no crescimento vegetal, a densidade do solo pode ser considerada a principal, sendo muito importante a sua medição em projetos de irrigação e drenagem. A densidade do solo é um atributo que é afetado pela estrutura do solo, grau de compactação, manejo e tipos de cultura (AMÉRICIO, 1979).

A densidade do solo crítica é dependente principalmente de sua classe textural. Argenton et al. (2005) constataram que, em Latossolo Vermelho argiloso, a deficiência de aeração inicia-se com densidade do solo próxima de  $1,30 \text{ g cm}^{-3}$ , e Klein (2006), para mesma classe de solo, baseado no intervalo hídrico ótimo, observou que a densidade limitante foi de  $1,33$  a  $1,30 \text{ g cm}^{-3}$ . Reichert et al. (2003) propuseram densidade do solo crítica para algumas classes texturais:  $1,30$  a  $1,40 \text{ g cm}^{-3}$  para solos argilosos,  $1,40$  a  $1,50 \text{ g cm}^{-3}$  para os franco-argilosos e de  $1,70$  a  $1,80 \text{ g cm}^{-3}$  para os franco-arenosos.

São vários métodos usados na coleta das amostras para determinação da densidade do solo, dos quais os métodos do anel volumétrico e torrão parafinado são os mais conhecidos. Existem também métodos alternativos, tais como: método da Proveta e nucleares (Tomografia computadorizada, atenuação gama e sonda de superfície nêutron-gama).

Alguns métodos apresentam desvantagens na coleta das amostras de solo, devido a possível compactação do solo ocasionado pelo atrito cilindro-solo, no caso do anel volumétrico. Outra situação é apresentar resultados superiores a outros



métodos de determinação da densidade do solo, como o método do torrão parafinado que possui espaços maiores entre os agregados que não são contabilizados.

O método do tubo de PVC é uma técnica alternativa introduzida para determinar a densidade do solo. Consiste em cravar o tubo de PVC no solo até que a sua borda superior fique rente à superfície do solo, sendo imprescindível o rigor no atendimento desta condição a fim de garantir a confiabilidade dos resultados de densidade a obter. Salienta-se que é comum ocorrer a compactação do solo dentro do tubo de PVC, mas isso não irá influenciar na densidade do solo, visto que, no cálculo da densidade do solo, utiliza-se o comprimento do tubo de PVC e não a altura da amostra dentro do tubo.

Assim, o objetivo deste trabalho foi determinar a densidade do solo por meio do uso do tubo de PVC, de forma a selecionar as melhores dimensões em função da textura do solo, obtendo-se, desta forma, um método menos oneroso e de fácil utilização para o manejo de áreas irrigadas.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1. Amostragem e caracterização dos solos

As amostras de solo foram coletadas em quatro áreas com solos de diferentes granulometrias:

- Solo de textura muito argilosa (MA), coletada na área experimental de Irrigação e Drenagem do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa, localizada no município de Viçosa-MG, com coordenadas geográficas de 20°46'5,51" S e 42°51'44,84" O e altitude de 651 m. O clima da região, segundo classificação de Köppen, é do tipo "Cwa", caracterizado pelo clima tropical de altitude, com verão chuvoso e inverno seco. O solo da área experimental foi classificado como Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico (CONTIN, 2008); sob cultura do cafeeiro na fase de frutificação no momento da coleta.

- Solo de textura arenosa (AR), localizado a aproximadamente 50 km do Projeto Jaíba, no município de Mociminho-MG, nas coordenadas geográficas de 14°53'14"S e 43°55'8.29,21"W, e altitude de 456 m. O clima é tropical alternadamente seco e úmido, de acordo com a classificação de Köppen (Albuquerque et al., 2008). O solo foi classificado como Neossolo Flúvico (Da Silva et al., 2015).

- Solo de textura franco-arenosa (FA), coletado em área próximo ao trevo de interseção das BRs 040 e 365, conhecido como trevo Pira Patos (Luislândia), localizado no município de João Pinheiro-MG, com as coordenadas geográficas 18°00'43,50" S e 45°37'02" W. A vegetação predominante é de Cerrado nas suas mais diversas fases. O clima é Aw segundo a classificação de Köppen, caracterizado por estações bem definidas secas e chuvosas, com precipitações médias anuais entre 1.200 e 1.400 mm. O solo predominante na região é o Latossolo Vermelho-Amarelo distroférico, típico, A moderado (NUNES et al., 2004). Na ocasião da coleta, acabara de ser colhida a cultura da soja.

- Solo de textura argilosa (ARG), coletado no distrito de Coelhos, município de Itabirito-MG. A região possui clima do tipo Cwb, segundo classificação de Köppen, caracterizado pelo clima do tipo tropical de altitude, com precipitação média anual de 1.491mm, Latossolo Vermelho-Amarelo (Embrapa, 2013) com coordenadas: 20°17'43,38,8" S e 43°43'0,48" W, possui relevantes concentrações de chuvas no

período de novembro a janeiro, nesta área de amostragem estava em cultivo cana-de-açúcar.

Na Tabela 1 são apresentados os resultados da análise granulométrica dos solos.

**Tabela 1-** Características físicas de amostras de solo, coletadas nas diferentes áreas de estudo

Área amostrada	Areia grossa	Areia fina	kg kg <sup>-1</sup>		Classificação Textural
			Silte	Argila	
Viçosa	0,142	0,087	0,159	0,612	Muito Argilosa
Jaíba	0,526	0,367	0,052	0,055	Areia
João Pinheiro	0,437	0,396	0,035	0,132	Franco-arenosa
Itabirito	0,244	0,251	0,042	0,463	Argila

As curvas de retenção da água no solo das áreas estudadas, ajustadas pela equação de Van Genuchten utilizando o software “Soil Water Retention Curve” são apresentadas na Figura 1.

As características físicas do solo relacionadas com a condutividade hidráulica e porosidade do solo das áreas estudadas são apresentadas na Tabela 2.

**Tabela 2 -** Características físicas do solo relacionadas com a condutividade hidráulica e porosidade do solo nas áreas estudadas

Solo	Dp <sup>1</sup>	PT <sup>2</sup>	Ma <sup>3</sup>	Mi <sup>4</sup>	Ko <sup>5</sup>
	g cm <sup>-3</sup>		m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup>		cm h <sup>-1</sup>
MA	2,45	0,526	0,088	0,439	3,302
AR	2,61	0,404	0,143	0,262	7,358
FA	2,61	0,473	0,157	0,316	5,226
ARG	2,51	0,569	0,249	0,320	--

<sup>1</sup>Densidade de Partículas; <sup>2</sup>Porosidade Total (PT = 1 - Ds/Dp); <sup>3</sup>Macroporosidade; <sup>4</sup>Microporosidade; <sup>5</sup>Condutividade Hidráulica.

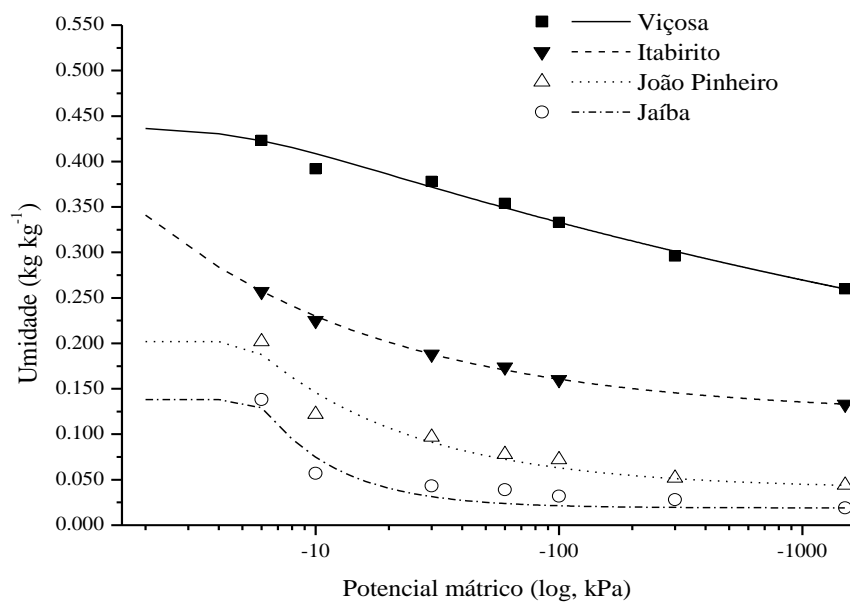


Figura 1-Curva de retenção da água no solo, sendo: ■) textura muito argilosa (Viçosa); ○) textura arenosa (Jaíba); ▼) textura argilosa (Itabirito); e △) textura franco-arenosa (João Pinheiro).

Na Tabela 3 estão apresentadas as características químicas de amostras de solo, coletadas nas áreas de estudo.

**Tabela 3** - Características químicas de amostras de solo, coletadas nas áreas de estudo

Solo	pH H <sub>2</sub> O	P	K	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Al <sup>3+</sup>	H + Al	T	m	MO	P-Rem
		-----mg dm <sup>-3</sup> -----	%	dag/kg	mg/L						
MA	5,86	44,1	39	4,29	1,10	0,00	3,9	9,39	0,00	2,96	39,3
AR	6,17	31,0	63	1,60	0,32	0,00	2,8	4,88	0,00	0,79	59,9
FA	6,42	166,0	20	1,60	0,65	0,00	3,1	5,40	0,00	1,19	52,3
ARG	4,99	0,4	64	0,31	0,25	0,70	4,1	4,82	49,3	2,58	19,5

pH em água relação 1:2,5; P - Na - K - Fe - Zn - Mn - Cu - Cd - Pb - Ni - Cr - Extrator Mehlich-1; Ca - Mg - Al - Extrator: KCl - 1mol/L; Ca<sup>2+</sup> - Mg<sup>2+</sup> - Al<sup>3+</sup> - Extrator: KCl - 1 mol/L; H + Al - Extrator Acetato de Cálcio 0,5mol/L - pH 7,0; SB = Soma de Bases Trocáveis; t - Capacidade de Troca Catiônica Efetiva; T - Capacidade de Troca Catiônica a pH 7,0; V= Índice de Saturação por Bases; m= Índice de Saturação por Alumínio (Embrapa, 2011); Mat. Org. (MO) = C.Org x 1,724 - Walkley-Black; P-rem = Fósforo Remanescente (Alvarez V.,2000)

## 2.2. Determinação da densidade do solo

A determinação da densidade do solo foi realizada por meio dos métodos do tubo de PVC (PVC), Torrão Parafinado (TP), Anel Volumétrico (AV), Escavação (ESC) e método da Proveta (PRT). Na aplicação do método do Anel Volumétrico (EMBRAPA, 2011) foram coletadas amostras de solo nas profundidades de 0,025 a 0,075 m; 0,050 a 0,100 m; 0,075 a 0,125 m. Para cada solo e para cada profundidade foram realizadas dez repetições.

Para aplicação do método do Torrão Parafinado (EMBRAPA, 2011) foram coletados torrões nas mesmas profundidades mencionadas no método anterior, também com dez repetições. É importante ressaltar que, neste trabalho, o método do Torrão Parafinado foi realizado somente nas avaliações dos solos com texturas argilosa e muito argilosa. Quando da impossibilidade do uso do método do Torrão Parafinado foi usado o método da Proveta (EMBRAPA, 2011), no caso dos solos de textura arenosa e franco-arenosa. O método da proveta é específico para solos de textura arenosa, não sendo aplicável para os outros tipos de textura, sendo essas as limitações desses métodos na coleta das amostras de solo.

Salienta-se que as profundidades definidas nos métodos do Anel Volumétrico, Torrão Parafinado, Escavação e Proveta correspondem a metade dos comprimentos utilizados para o método do tubo de PVC, considerando estrutura homogênea ao longo do perfil. A coleta das amostras para o método do tubo de PVC foi realizada com a variação da altura e do diâmetro do tubo. Utilizou-se tubos de PVC com 0,10; 0,15; 0,20 e 0,25 m de altura e 40, 50, 60 e 75 mm de diâmetro.

### 2.2.1. Procedimentos para coleta das amostras

#### 2.2.1.1. *Método do tubo de PVC*

A densidade do solo pelo método do tubo de PVC (PVC) foi obtida cravando-se o tubo até que a borda superior ficasse rente à superfície do solo. Posteriormente, tampou-se a borda do tubo de PVC com a mão e retirou-se o solo à sua volta, com uso de faca. A borda superior do tubo de PVC foi vedada com fita adesiva e escavado lateralmente permitindo o acesso à sua extremidade inferior.

Com uma espátula fez-se a limpeza em volta do tubo, retirando o solo presente nas paredes externas do tubo. Vedou-se também a parte inferior do tubo com fita adesiva e reforçada a vedação da parte superior, de maneira a evitar a perda de solo. Por fim, identificou-se as amostras.

O tubo de PVC usado é do tipo *marron*, com espessura que varia de acordo com o diâmetro, tendo usado os tubos com as espessuras internas de 5; 6,7 e 8,7 mm, para o seu uso dividiu-se o tubo nos comprimentos de 10, 15, 20 e 25 cm e biselou-se um dos lados, com uso do esmeril, para permitir a penetração fácil no solo, para coleta das amostras usou-se marreta, madeira, canivete e espátula. É necessário garantir que o solo tenha umidade na capacidade do campo para facilitar a coleta e evitar que o tubo venha quebrar-se.

No laboratório, as amostras foram transferidas dos tubos para recipientes de alumínio identificados e então levados à estufa de circulação forçada de ar, a 105<sup>o</sup>C, por 24 h. Após este período, pesou-se as amostras e procedeu-se com os cálculos da densidades do solo (Equação 1):

$$D_s = \frac{M_s}{V_T} \quad (1)$$

em que:

$D_s$  = densidade do solo (g cm<sup>-3</sup>)

$M_s$  = massa do solo seco (g)

$V_T$  = volume total do tubo (cm<sup>3</sup>)

#### 2.2.1.2. Método do Torrão Parafinado

A determinação da densidade do solo pelo método do Torrão Parafinado foi realizada por meio da coleta de torrões de volume variável, secos ao ar e impermeabilizados em parafina líquida, conforme EMBRAPA (2011). O volume dos torrões foi determinado pelo volume de água deslocado quando imersos em água. Determinou-se o fator “*f*” para correção dos resultados das análises realizadas com terra fina seca ao ar (TFSA), de forma a expressá-los em terra fina seca em estufa (TFSE). A densidade do solo foi calculada pela relação entre a massa de solo e o volume do torrão, de acordo com a equação 2:

$$D_s = \frac{M_{Solo}}{V_T} = \frac{[M_{(Torrão+UR)}]_f^{\frac{1}{f}}}{V_T} \quad (2)$$

em que:

$M_{Solo}$  = massa do solo seco (g)

$V_T$  = volume do torrão ( $\text{cm}^3$ )

$f$  = fator de correção

A densidade da parafina utilizada variou de 0,78 a 0,91g  $\text{mL}^{-1}$ , sendo o valor adotado neste trabalho de 0,845  $\text{g cm}^{-3}$ .

### 2.2.1.3. Método da Proveta

A densidade do solo pelo método da Proveta (PRT) foi obtida de acordo com a metodologia descrita pela EMBRAPA (2011). Foram retiradas amostras de solo deformadas nas profundidades acima citadas, sendo posteriormente secas ao ar e peneiradas com malha de 2,0 mm (TFSA). As amostras foram então misturadas e homogenizadas. Pesou-se uma proveta de 100 mL com aproximação de 0,1 g, acrescentou-se aproximadamente 30 a 35  $\text{cm}^3$  da TFSA, deixando cair de uma só vez. Posteriormente, o solo foi acomodado batendo a proveta cinco vezes sobre superfície de borracha, com distância de queda de aproximadamente 5 cm. Repetiu-se a operação por mais duas vezes, acrescentando solo até as marcas de 60 e 90 mL, e posteriormente a amostra foi nivelado com o traço de aferimento da proveta. A densidade do solo foi calculada pela relação entre a massa de solo seco ao ar e o volume da proveta, de acordo com a equação 3:

$$D_s = \frac{M_{Solo}}{V_T} = \frac{[M_{(TFSA+Proveta)} - M_{Proveta}]_f^{\frac{1}{f}}}{V_{Proveta}} \quad (3)$$

em que:

$D_s$  = densidade de solo ( $\text{g cm}^{-3}$ )

$M_{Solo}$  = massa do solo seco (g)

$V_{Proveta}$  = volume total da proveta ( $\text{cm}^{-3}$ )

$f$  = fator de correção



TFSA = terra fina seca ao ar (g)

$V_T$  = volume total ( $\text{cm}^{-3}$ )

#### 2.2.1.4. Método do Anel

##### Volumétrico

Para o método do anel volumétrico (AV) amostras de solo indeformadas foram coletadas com uso de anel de aço inox com diâmetro de aproximadamente 5 mm e altura e 5 cm cravado no solo com auxílio de trado de Uhland. Após a coleta, realizou-se o nivelamento das amostras com a superfície dos anéis (toailete) que, em seguida, foram levados a estufa a 105°C. A densidade do solo foi calculada pela relação entre a massa de solo seco e o volume da amostra. Este método foi considerado padrão neste trabalho.

$$D_s = \frac{M_s}{V} \quad (4)$$

#### 2.2.1.5. Método da Escavação com Anel

O método da escavação (ESC), como denominado neste trabalho, trata-se de uma adaptação do método do anel volumétrico com objetivo de obter amostras do solo com o mínimo de perturbação em relação a sua estrutura natural. Neste método, há uma minimização na deformação das amostras devido a erros de coleta, fornecendo dessa maneira, maior credibilidade em termos da acurácia dos resultados obtidos. A coleta das amostras por este método foi realizada no laboratório, após a coleta de blocos do solo (30 x 30 x 20 cm) no campo, respeitando todos os procedimentos propostos para a coleta a fim de não modificar sua estrutura. Utilizando o anel de Kopeck, com diâmetro e altura conhecidos, colocou-se sobre o bloco de solo e procedeu-se a escavação em volta do cilindro, sem exercer pressão sobre o anel, de forma a não criar compactação e ajustar o solo em todo o seu volume. Para a coleta dos blocos foram seguidos todos os procedimentos descritos na norma ABNT-NBR 9604. A forma de coleta das amostras utilizando o método da escavação está representada na Figura 2.



Figura 2 - Coleta das amostras do solo pelo método de escavação.

A densidade do solo foi calculada pela relação entre a massa de solo seco e o volume da amostra.

$$D_s = \frac{M_{ss}}{V} \quad (5)$$

### 2.3. Análise Estatística

Para comparações de médias entre os valores obtidos para o método do tubo de PVC e respectivo método padrão utilizou-se o teste “t” de student não pareado ao nível de 5% de significância.

Para fazer a comparação da densidade do solo entre os métodos de Anel volumétrico, Torção parafinado e Tubo de PVC, foi necessário coletar as amostras do solo nas profundidades de 2,5-7,5 cm para comparar com o tubo de 10 cm de altura, de 5-10 cm, de 7,5-12,5 e 10-15 cm para os tubos de 15, 20, 25 cm de altura respectivamente, entretanto considerando as camadas do solo homogêneos.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para facilitar o entendimento dos resultados obtidos neste trabalho a discussão foi apresentada em forma de tópicos entre os métodos comparados para cada tipo de solo amostrado.

#### 3.1. Comparação entre métodos para o solo de textura muito argilosa, coletado em Viçosa

Os resultados de densidade do solo obtidos por meio do método PVC com diâmetro de 40 mm (PVC40) e da escavação (ESC) nas profundidades de 0,10, 0,15 e 0,20 m, mostraram não haver diferenças significativas ( $p < 0,05$ ). O método PVC40 apresentou variação de 1,03 a 1,05  $\text{g cm}^{-3}$  nas três profundidades, enquanto que o ESC variou de 1,00 a 1,03  $\text{g cm}^{-3}$ . Para o método de escavação o coeficiente de variação foi de 0,038 e 0,042 foi a variação obtida no método de PVC40 (Figura 3a).

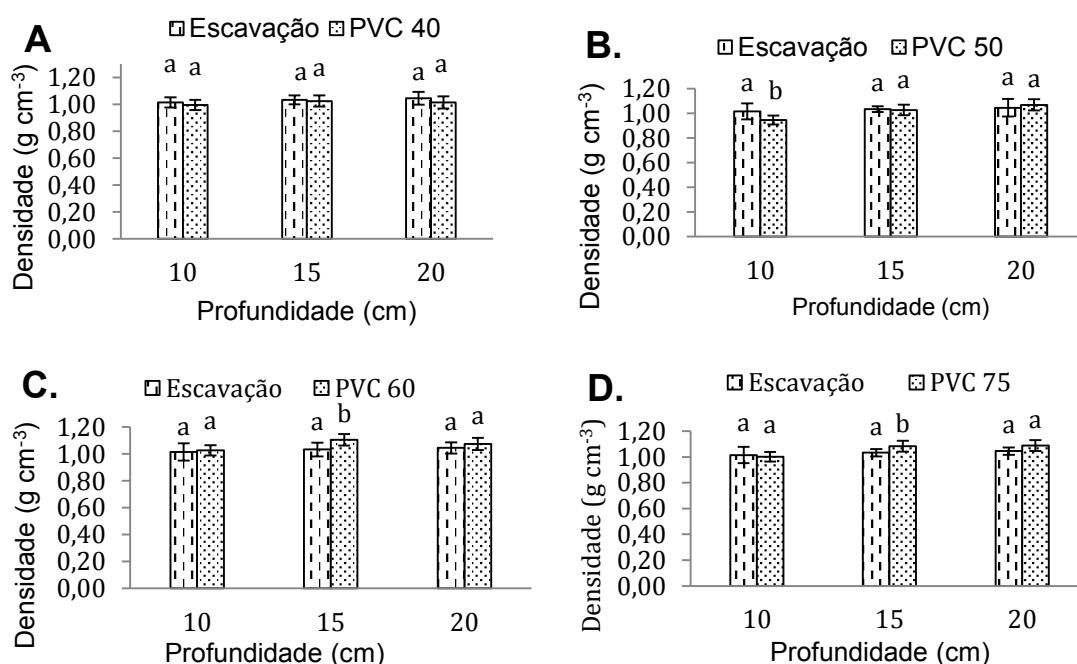


Figura 3 - Relações entre os métodos de Escavação (ESC) e tubo de PVC (PVC) para determinação da densidade do solo nas profundidades de 0,10; 0,15; e 0,20 m, sendo: a) ESC e PVC com diâmetro de 40 mm; b) ESC e PVC com diâmetro de 50 mm; c) ESC e PVC com diâmetro de 60 mm; e d) ESC e PVC com diâmetro de 75 mm.

Colunas seguidas pela mesma letra, em cada profundidade, não diferem entre si pelo teste "t"-Student ao nível de 5 % de significância.

Os resultados obtidos pelo método PVC com diâmetro de 50 mm com o ESC não apresentaram diferenças significativas ( $p < 0,05$ ) nas profundidades de 0,15 e 0,20 m. Houve diferença significativa apenas na profundidade de 0,10 m, em termos do coeficiente de variação entre os dois métodos foi de 0,065 e 0,042 para Escavação e PVC, respectivamente (Figura 3b). Já os resultados com PVC de diâmetro de 60 mm e ESC apresentaram diferenças significativas apenas na profundidade de 0,15 m (Figura 3c). Resultado semelhante foi encontrado na comparação entre os métodos ESC e PVC com diâmetro de 75 mm (Figura 3d). A variação em termos dos valores médios de densidade obtidos pelos dois métodos foi muito pequena. Com 1,5% de coeficiente de variação, mostrando a credibilidade ou o suporte de que o procedimento adotado na amostragem do solo pelo PVC exclui o efeito da compactação das amostras.

Os resultados obtidos por meio da comparação dos métodos do Anel Volumétrico e Tubo de PVC40 (tubo de PVC com 40 mm de diâmetro), nas quatro profundidades avaliadas, mostraram diferenças significativas ( $p < 0,05$ ), sendo que o método do Anel Volumétrico apresentou valores de densidades superiores nas quatro profundidades em relação ao tubo de PVC40 (Figura 4a). Embora os dois métodos tenham mostrado diferenças significativas, os valores obtidos encontram-se dentro dos valores encontrados nas literaturas para solos de textura argilosa visto que para MAV obteve-se em média  $1,13 \text{ g cm}^{-3}$  e  $1,06 \text{ g cm}^{-3}$  para ESC, comparando com os valores obtidos por Warrick e Nielsen (1980); Kiel (2014) onde os valores de densidade variou de 1,00 a  $1,25 \text{ g cm}^{-3}$ .

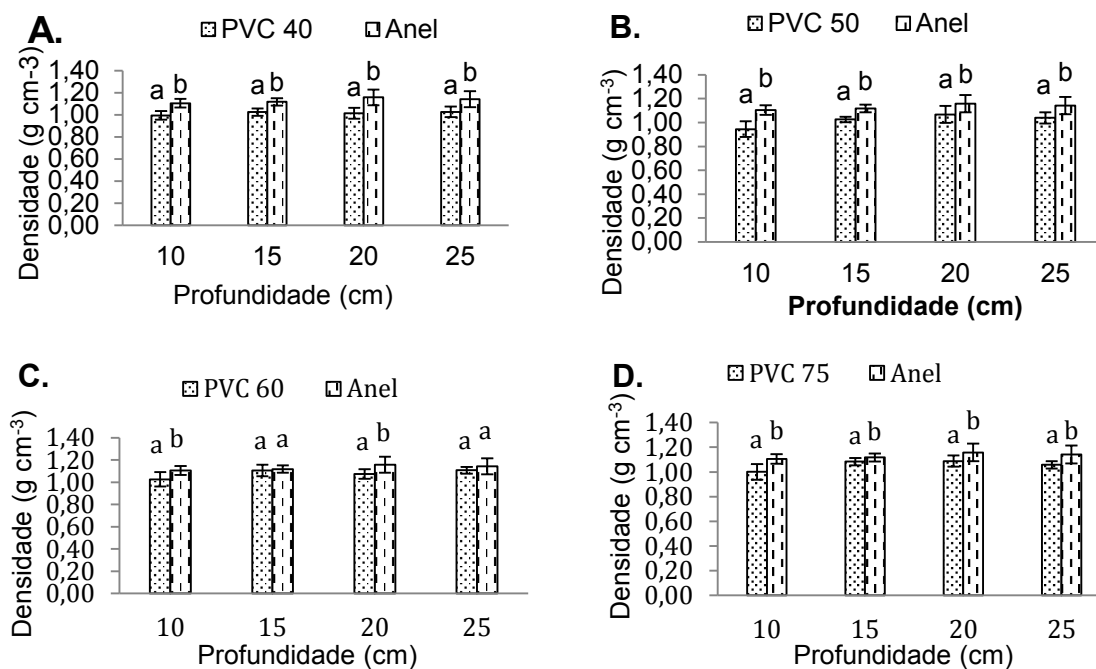


Figura 4 - Relações entre os métodos do Anel Volumétrico (AV) e do tubo de PVC (PVC) para detrminação da dencidade do solo nas profundidades de 0,10; 0,15; 0,20 e 0,25 m, sendo: a) AV e PVC com diâmetro de 40 mm; b) AV e PVC com diâmetro de 50 mm; c) AV e PVC com diâmetro de 60 mm; e d) AV e PV com diâmetro 75 mm. Colunas seguidas pela mesma letra, em cada profundidade, não diferem entre si pelo teste “t”-Student ao nível de 5 % de significância.

Os valores de densidade determinados pelo método AV foram significativamente maiores que os valores obtidos pelo método do tubo PVC com diâmetro de 50 mm (PVC50) em todas as camadas de solo avaliadas. Observa-se que os dois métodos mostraram um aumento gradual da densidade do solo até a profundidade de 20 cm (Figura 4b). Rabelo (2000) afirma que a densidade do solo geralmente aumenta com a profundidade do perfil, pois as pressões exercidas pelas camadas superiores sobre as subjacentes provocam o fenômeno de adensamento, reduzindo a porosidade. A movimentação de material mais fino, dos horizontes superiores para inferiores, por eluviação, também concorre para reduzir os espaços porosos e aumentar a densidade dessas camadas.

Os valores da densidade obtidos pelo método AV comparados com os encontrados pelo PVC60 apresentaram diferenças significativas ( $p < 0,05$ ) na primeira e terceira profundidades (0,10 m e 0,20 m). Já na segunda e quarta profundidades

(0,15 e 0,25 m) não diferiram estatisticamente, onde o PVC60 mostrou valores próximos aos valores de densidades encontrados pelo AV (Figura 4c).

Houve diferenças significativas nos valores da densidade do solo obtidos pelos métodos AV e PVC75 em todas profundidades avaliadas, onde o AV apresentou maiores valores (Figura 4d) .

De modo geral, os métodos do Anel Volumétrico e do tubo de PVC apresentaram densidades de solo dentro dos valores comumente encontrados na literatura (KIEHL 1979; CAMARGO & ALLEONI 1997; REICHARDT & TIMM 2004; GONÇALVES et al, 2013), embora tenham apresentado diferenças significativas entre eles.

Comparando método AV e o PVC com quatro diâmetros e quatro profundidades, constatou-se que em todas as profundidades o AV apresentou valores de densidades do solo superiores aos do PVC. Isto pode ser justificado devido o fato do AV poder provocar compactação do solo no processo de amostragem. Blake e Hartg (1996) confirmaram este fato afirmando a possível compactação que ocorre pelo atrito cilindro-solo durante a penetração do anel no solo.

O método PVC apresentou vantagem, visto que, mesmo podendo ocorrer a compactação, a mesma é minimizada devido a quantificação do volume para cálculo da densidade considerar o volume total do tubo de PVC e não a quantidade do solo que se encontrava dentro do tubo. Foi observado que, ao cravar o tubo, o solo no seu interior subiu até que a borda do tubo atingisse a superfície do solo (Figura 5a), fato que não aconteceu para o solo da (Figura 5b), onde claramente notou-se que o solo não preencheu o interior do tubo de PVC. Nesta situação pode-se considerar que houve compactação.

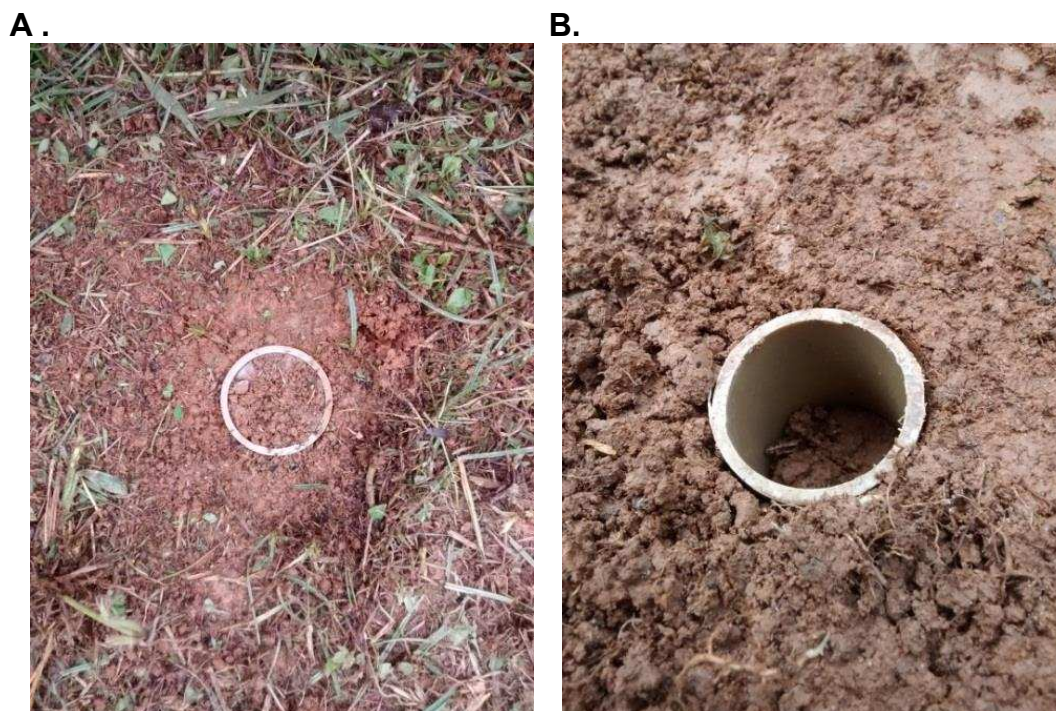


Figura 5 - Amostragem do solo por meio do método do tubo de PVC, sendo: a) solo não compactado; e b) solo compactado.

A comparação dos resultados da densidade do solo obtidos pelos métodos do Torrão Parafinado (TP) em relação ao do Tubo de PVC (PVC), mostraram haver diferenças ( $p < 0,05$ ) para todos os diâmetros e todas as profundidades (Figura 7). Como discutido anteriormente, é possível observar que o método TP superestima os resultados da densidade do solo.

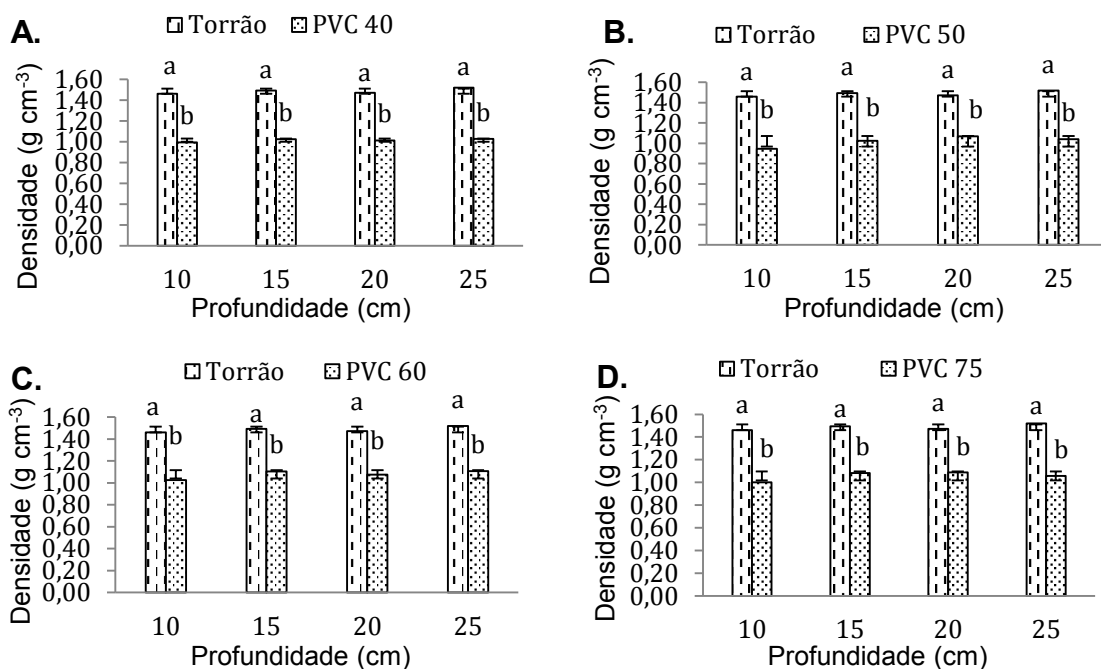


Figura 6 -Relações entre os métodos do Torrão Parafinado (TP) e do tubo de PVC (PVC) para detmrinação da dencidade do solo nas profundidades de 0,10; 0,15; 0,20 e 0,25 m, sendo: a) TP e PVC40; b) TP e PVC50; c) TP e PVC60; e d) TP e PVC75.

Colunas seguidas pela mesma letra, em cada profundidade, não diferem entre si pelo teste "t"-Student ao nível de 5 % de significância.

Observa-se ainda que, em termos dos resultados obtidos pelo método de Torrão Parafinado, estes tendem a aumentar à medida que se aumenta a profundidade do solo, assim como aconteceu com o uso do método do anel volumétrico (Figura 6).

Para solos com textura muito argilosa, os tubos de PVC que podem ser usados para coletas das amostras de solo, de acordo com o método padrão usado neste trabalho, são tubos de 40 mm de diâmetro com 10, 15 e 20 cm de altura.

Os resultados obtidos pelos métodos da Escavação (ESC) e do Anel Volumétrico (AV) nas três profundidades (Figura 7a), quando comparados, mostraram haver diferenças significativas ( $p < 0,05$ ), onde os valores obtidos pelo método AV foram superiores em relação ao ESC. Em termos de amplitude, a variação da densidade do solo no ESC foi de 5,0% (1,0 a 1,05 g cm<sup>-3</sup>), enquanto que no AV a variação foi de 4,5% (1,10 a 1,15 g cm<sup>-3</sup>).



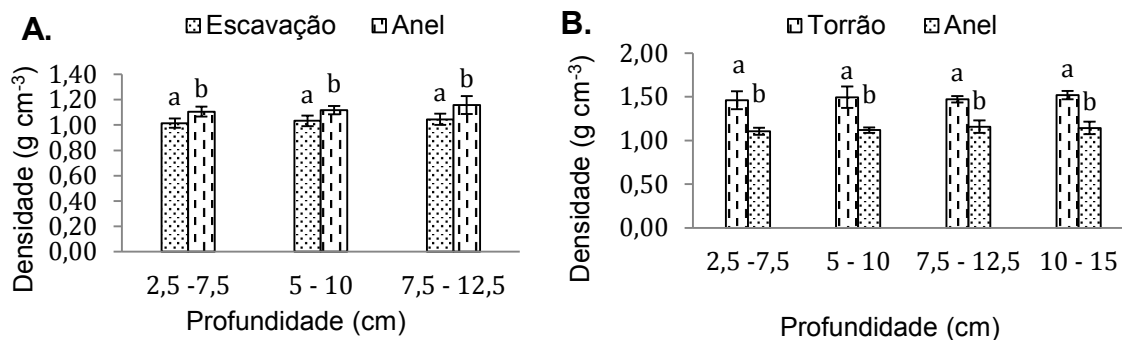


Figura 7 - Relações entre os métodos do Anel Volumétrico (AV), Escavação (ESC) e Torrão Parafinado (TP) para determinação da densidade do solo nas profundidades de 0,025 a 0,075 m; 0,050 a 0,100 m; 0,075 a 0,125 m e 0,100 a 0,150 m, sendo: a) ESC e AV; e b) TP e AV.

Colunas seguidas pela mesma letra, em cada profundidade, não diferem entre si pelo teste “t”-Student ao nível de 5 % de significância.

Os valores da densidade do solo obtidos pelo AV comparados com os obtidos pelo método TP mostraram haver diferenças significativas ao nível de 5% (Figura 5b). Os maiores valores de densidades do solo obtidos pelo método TP podem estar associados à segregação no momento da coleta dos torrões em solos que foram mobilizados, acarretando maiores valores de densidade, visto que desconsidera-se os macroporos existentes entre os torrões (BLAKE; HARTGE, 1986; SILVA et al., 2000). Pires et al. (2011) também observaram maiores valores de densidade obtidos pelo Torrão parafinado em comparação com Anel volumétrico em Nitossolo Vermelho eutrófico sob manejo convencional. Madalosso e Klein (2010) compararam métodos do Torrão Parafinado e do Anel Volumétrico em laboratório e concluíram que o método do Torrão Parafinado apresentou valores superiores aos obtidos pelo Anel Volumétrico.

Silva et al. (2000) compararam os métodos do Torrão Parafinado e Anel Volumétrico para amostras de um Argissolo Vermelho distrófico arênico coletadas na superfície do solo. Constataram diferenças de 0,14 g cm<sup>-3</sup> entre essas duas metodologias. Esses autores concluíram que devem ser evitadas as comparações entre sistemas de manejo que utilizam métodos distintos na determinação da densidade do solo. Para o Van Remortel e Shields (1993), os valores de densidade obtidos pelo método do Torrão Parafinado são geralmente de 0,07 a 0,09 g cm<sup>-3</sup>

maiores do que aqueles medidos pelo método de Anel Volumétrico. Neste estudo, os valores de densidade, em média, foram  $0,35 \text{ g cm}^{-3}$  superior para o método do Torrão Parafinado.

### 3.2. Comparação entre métodos para o solo de textura argilosa, coletado em Itabirito

Na comparação dos resultados utilizando os métodos do Anel Volumétrico (AV) e Tubo de PVC (PVC), no solo de textura argilosa, a densidade do solo obtida nas quatro profundidades, em relação ao método PVC com diâmetro de 40 mm, foram verificadas diferenças significativas ( $p < 0,05$ ) (Figura 8a). Com os demais diâmetros avaliados, somente nas profundidades de 0,15 e 0,20 m não foram verificadas diferenças significativas entre estes métodos (Figuras 8b, 8c e 8d).

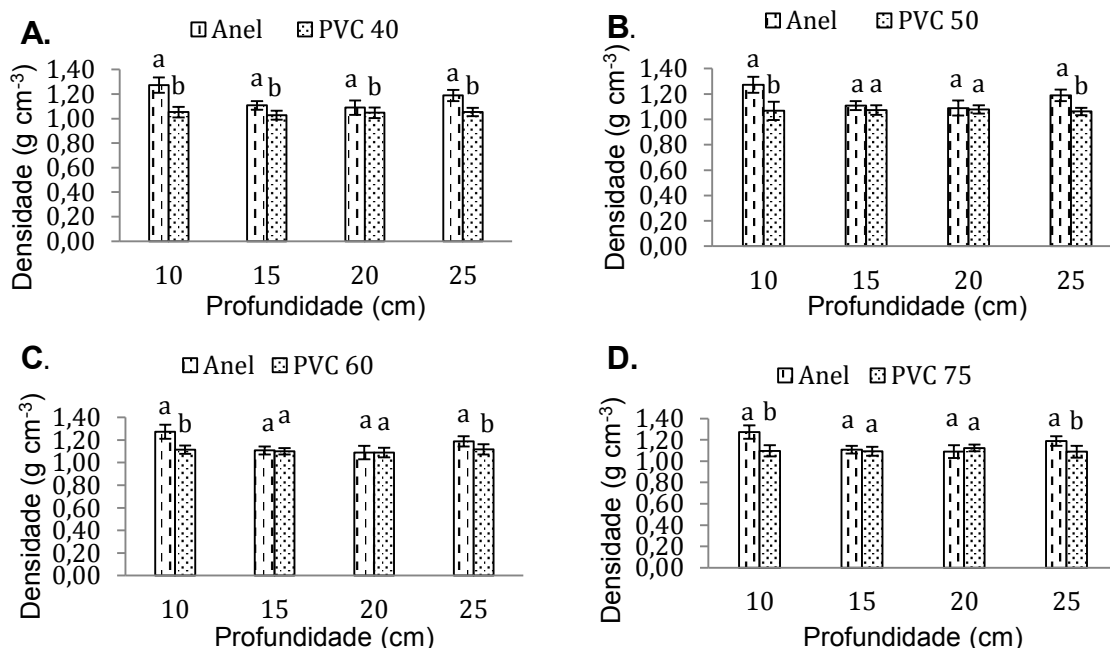


Figura 3 - Relações entre os métodos do anel volumétrico (AV) e Tubo de PVC (PVC) para detmrinação da dencidade do solo nas profundidades de 0,10; 0,15; 0,20 e 0,25 m de profundidade, sendo: a) AV e PVC40; b) AV e PVC50; c) AV e PVC60; e d) AV e PVC75.

Colunas seguidas pela mesma letra, em cada profundidade, não diferem entre si pelo teste de “t”-Student ao nível de 5 % de significância.

O método AV comparado com PVC60 e PVC75, não diferiram significativamente nas profundidades de 0,15 e 0,20 m. Entretanto, o método AV diferiu significativamente com o PVC60 e PVC75 nas profundidades de 0,10 e 0,25 m (Figuras 8c e 8d).

Com estes resultados compreende-se que, possivelmente, o método AV compactou o solo no momento da amostragem. No entanto, esta compactação não ultrapassa os valores críticos de densidade do solo para solos de textura argilosa.

Na comparação das densidades do solo obtidos pelos métodos do Torrão Parafinado (TP) e tubo de PVC com diâmetros de 40, 50, 60 e 75 mm, nas quatro profundidades, foram encontradas diferenças significativas ( $p < 0,05$ ) (Figura 9).

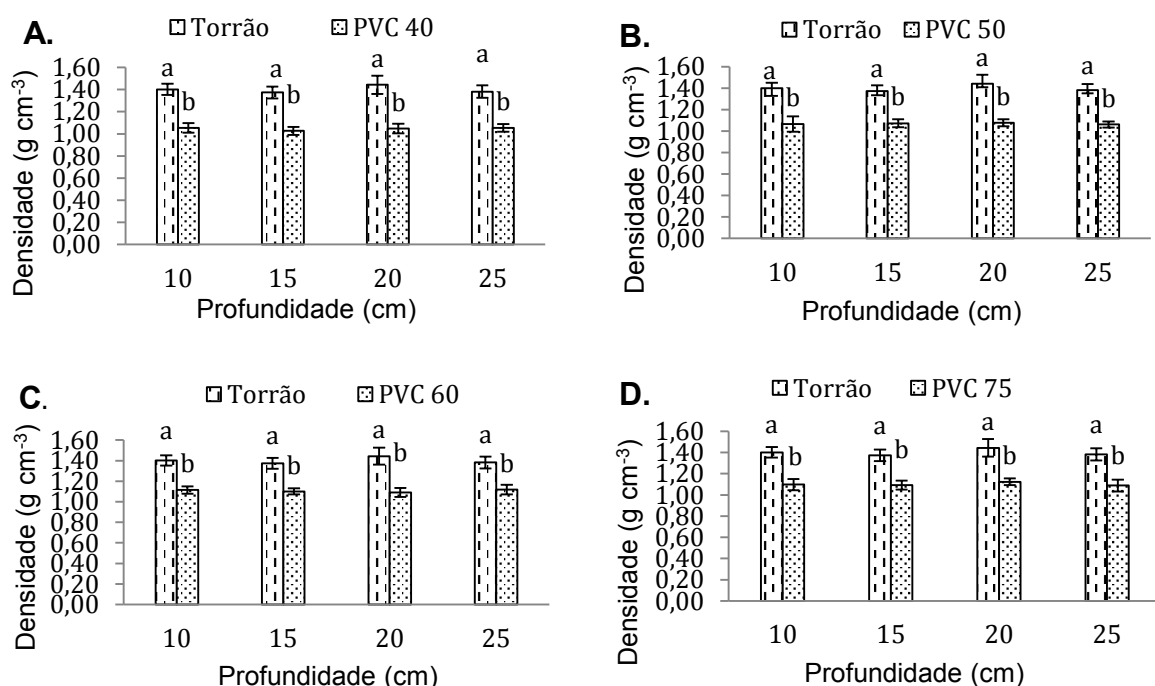


Figura 4- Relações entre os métodos do torrão parfinado (TP) e do Tubo de PVC para detmrinação da dencidade do solo nas profundidades de 0,10; 0,15; 0,20 e 0,25 m, sendo: a) TP e PVC40; b) TP e PVC50; c) TP e PVC60; e d) TP e PVC75.

Colunas seguidas pela mesma letra, em cada profundidade, não diferem entre si pelo teste de "t"-Student ao nível de 5 % de significância.

O fato do método do TP superestimar os resultados de densidade do solo já são conhecidos. Van Remortel e Shields (1993) encontraram valores maiores de

densidade do solo da textura argilosa para o método TP comparado com o AV. Kiehl (1979) obteve resultados superiores do TP comparando com outros métodos de determinação da densidade do solo. Pires et al. (2011) também observaram diferenças significativas entre os valores de densidade do solo obtidos pelo AV em relação ao TP em Nitossolo Vermelho Eutrófico, sob manejo convencional.

A densidade do solo obtida por meio do método ESC diferiu significativamente da densidade do solo obtido pelo TP em todas as profundidades avaliadas. O método TP superestimou os resultados de densidade do solo (Figura 10a).

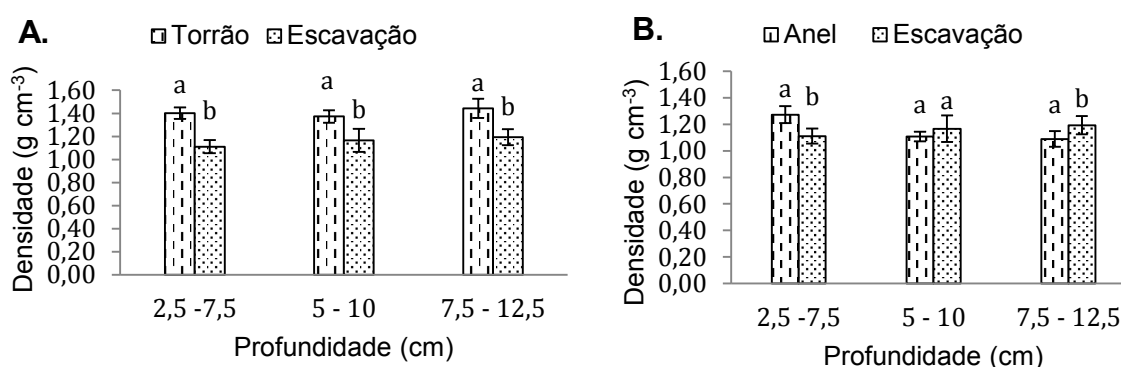


Figura 5-Relações entre os métodos do torrão parfinado (TP), anel volumétrico (AV) e escavação (ESC) para detrminação da dencidade do solo nas profundidades de 0,025 a 0,075 m; 0,05 a 0,1 m; 0,075 a 0,125 m.

Colunas seguidas pela mesma letra, em cada profundidade, não diferem entre si pelo teste de "t"-Student ao nível de 5 % de significância.

O AV apresentou valores superiores de densidade do solo na profundiadde de 0,025 a 0,075 m; entretanto, na segunda profundidade os dois métodos não apresentaram diferenças significativas ( $p < 0,05$ ). Na terceira profundidade, o método da ESC superou os valores da densidade do AV (Figura 10b).

Os resultados obtidos de densidades do solo por meio do método ESC e do PVC40 mostraram diferenças significativas ( $p < 0,05$ ) nas três profundidades avaliadas, com valores que variaram de 1,11 a 1,19 g cm<sup>-3</sup> para ESC e 1,37 a 1,44 para PVC, nas profundidades de 0,10 e 0,20 m, respectivamente (Figura 11a).

Na análise realizada para os demais diâmetros do tubo de PVC em relação ao método ESC foi encontrada diferença significativa apenas na profundidade de 0,15 e 0,20 m (Figuras 11b, 11c e 11d).

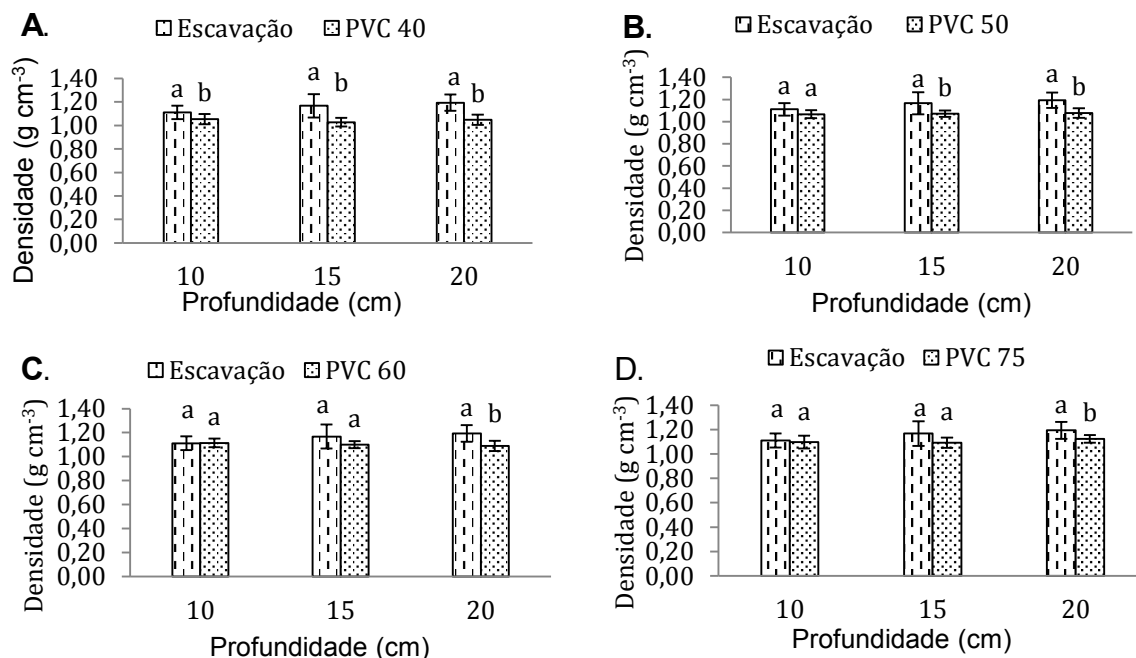


Figura 6-Relações entre os métodos de Escavação (ESC) e Tubo de PVC PVC) para detrninação da dencidade do solo nas profundidades de 0,10; 0,15; 0,20 e 0,25 m, sendo: a) ESC e PVC40; b) ESC e PVC50; c) ESC e PVC60; e d) ESC e PVC75.

Colunas seguidas pela mesma letra, em cada profundidade, não diferem entre si pelo teste de "t"-Student ao nível de 5 % de significância.

É importante ressaltar que os resultados das amostras de solos coletadas em Itabirito, de textura argilosa, apresentaram elevada variabilidade da densidade do solo. Isso pode ter ocorrido devido ao fato de as amostras terem sido coletadas em uma área cultivada com cana-de-açúcar, contendo elevada quantidade de raízes. Essas raízes, possivelmente, influenciaram essa variação, visto que os solos com maior porcentagem de matéria orgânica diminuiriam a densidade do solo. O aumento no teor de matéria orgânica no solo promove redução da densidade do solo, quer pelo efeito positivo na estabilidade estrutural do solo, quer pelo efeito do material orgânico apresentar baixa densidade, menor que dos sólidos do solo (Aragón et al. 2000; Dias Júnior; Miranda 2000 e Libardi 2005; Braidá et al. 2006). Krzic et al. (2003) determinaram o efeito do carbono orgânico na densidade do solo máxima e

concluíram que, independentemente da textura do solo, incremento de 1,0% de carbono orgânico no solo reduz em cerca de 11,0% a densidade do solo máxima.

### 3.3. Comparação entre métodos para os solos de textura média e arenosa, coletados em João Pinheiro e Jaíba

Adensidade do solo média obtida para as amostras coletadas em Jaíba, com textura arenosa, na comparação entre os métodos do Anel Volumétrico e do Tubo de PVC, apresentou grande variabilidade nos resultados encontrados (Figura 12).

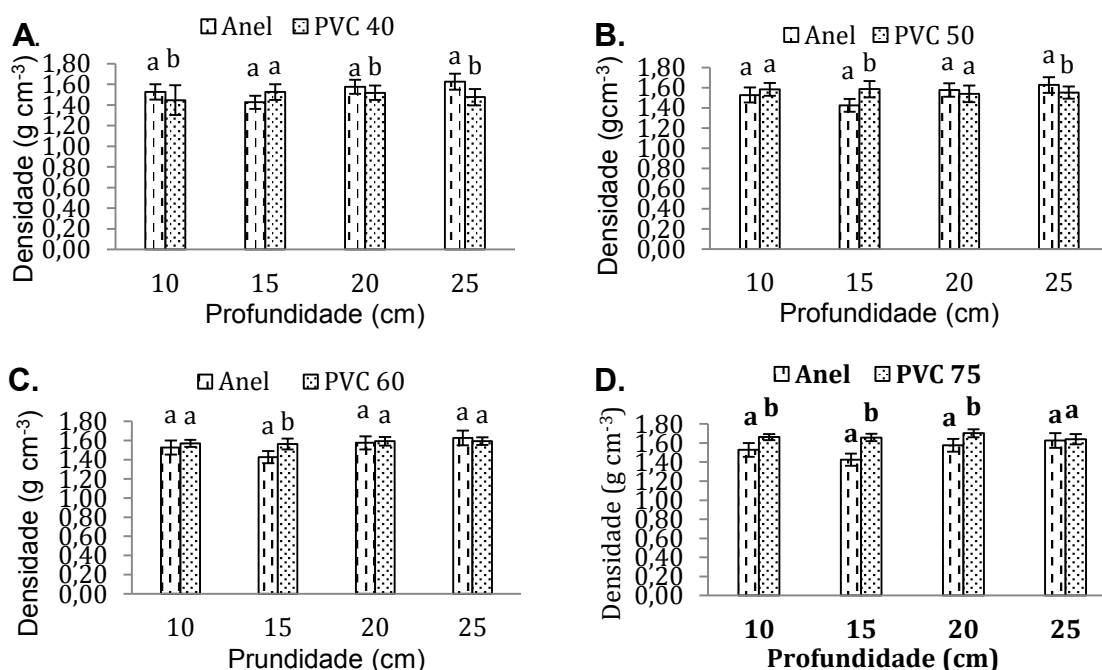


Figura 7- Relações entre os métodos do Anel Volumétrico e do tubo de PVC (PVC) para detmrinação da densidade do solo nas profundidades de 0,10; 0,15; 0,20 e 0,25 m, sendo: a) AV e PVC40; b) AV e PVC50; c) AV e PVC60; e d) AV e PVC75.

Colunas seguidas pela mesma letra, em cada profundidade, não diferem entre si pelo teste “t”-Student ao nível de 5 % de significância.

Os valores de densidade do solo, comparando estes métodos, se aproximaram mais quando do uso do PVC60, evidenciando diferença significativa somente na profundidade 0,15 m (Figura 12c). No entanto, pode-se notar um efeito expressivo no que diz respeito ao incremento no valor da densidade do solo com o aumento do

diâmetro utilizado no método PVC. Este fato não foi observado nos solos de textura argilosa.

É importante ressaltar que os maiores valores da densidade do solo encontrados pelos métodos estudados foram observados nas maiores profundidades. Isso ocorre devido à baixa concentração da matéria orgânica e pelo efeito de adensamento, como comentado anteriormente. Camargo e Alleoni (1997) afirmaram que as raízes das plantas possuem a capacidade de aumentar a quantidade de poros no solo, melhorando assim a qualidade física e influenciando diretamente na densidade e porosidade do solo.

Para o solo de João Pinheiro, caracterizado como de textura franco-arenosa, foi observado comportamento semelhante aquele do Jaíba, (Figura 13). Observa-se claramente o efeito de superestimativa do método AV na comparação do PVC40. Este efeito foi reduzido à medida que o diâmetro do tubo foi aumentado.

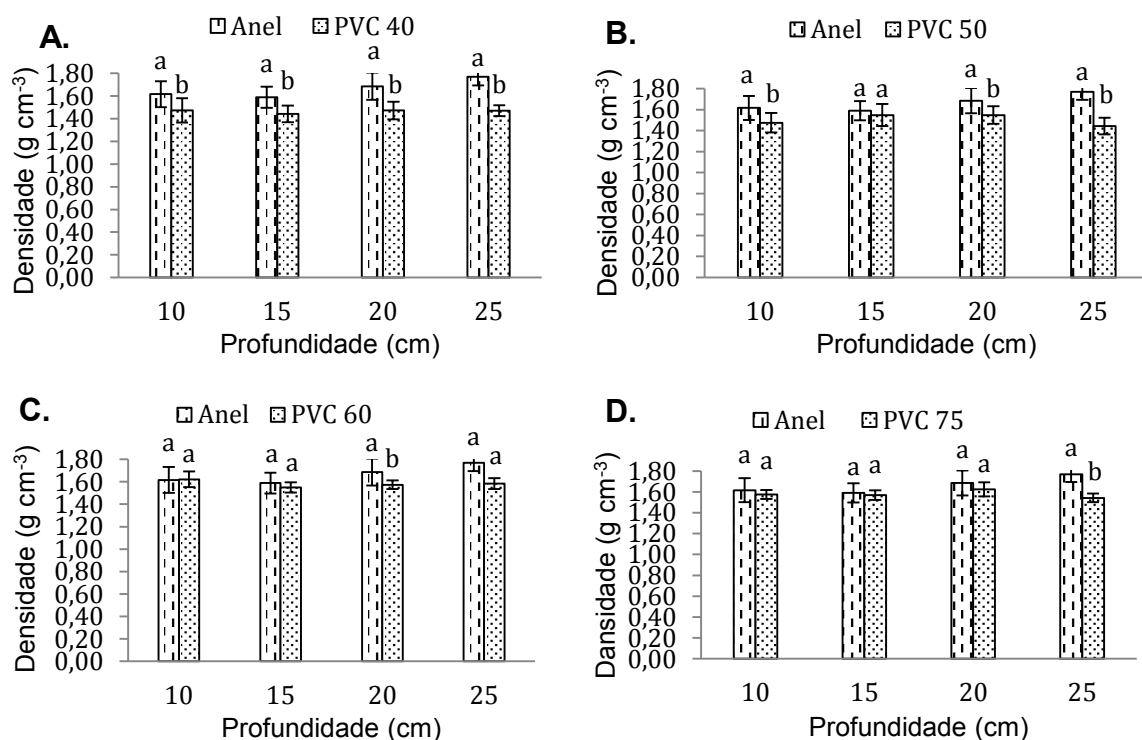


Figura 8 - Relações entre os métodos do Anel Volumétrico (AV) e tubo de PVC (PVC) para detrminação da dencidade do solo nas profundidades de 0,10; 0,15; 0,20 e 0,25 m, para o solo coletado em João Pinheiro, sendo: a) AV e PVC40; b) AV e PVC50; c) AV e PVC60 e d) AV e PVC75.

Colunas seguidas pela mesma letra, em cada profundidade, não diferem entre si pelo teste "t"-Student ao nível de 5 % de significância.

A densidade do solo obtida por meio dos métodos da Proveta e Tubo de PVC, para as amostras coletadas em Jaíba, quando do uso do diâmetro de 40 mm não foi significativo. As diferenças significativas entre os métodos ocorrem no uso do tubo de PVC com maiores diâmetros (Figura 14). Este fato ressalta que o método da proveta subestima os resultados da densidade do solo.

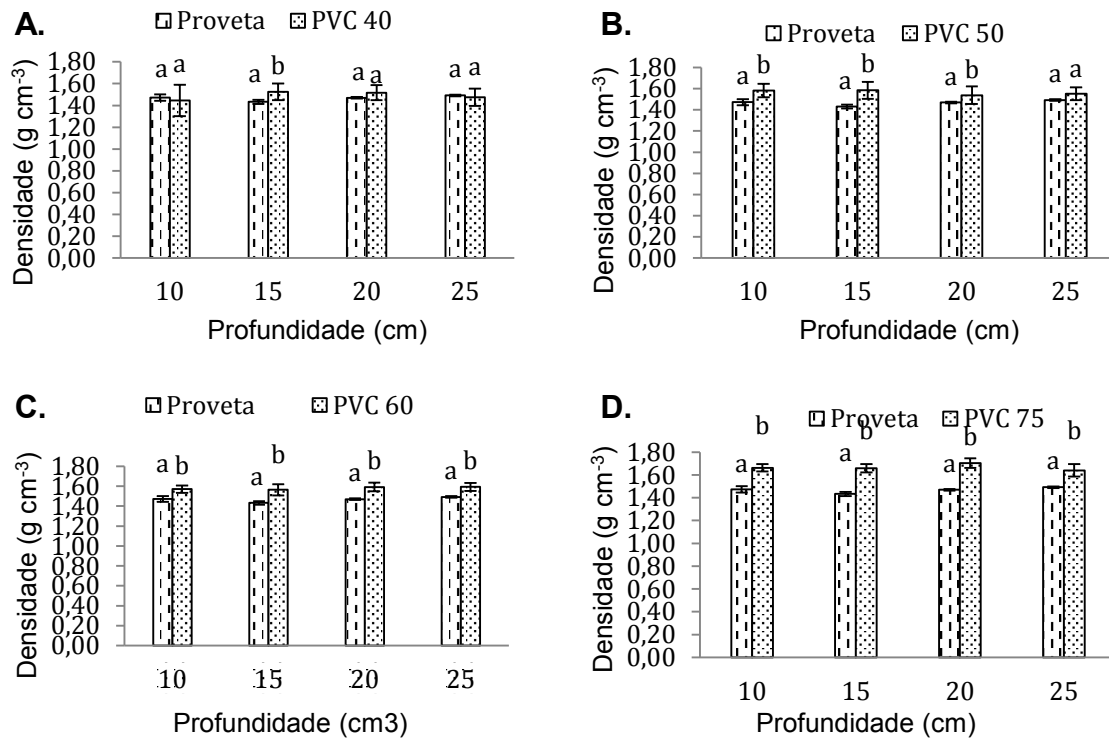


Figura 9 - Relações entre os métodos da Proveta e do tubo de PVC (PVC) para detmrinação da dencidade do solo nas profundidades de 0,10; 0,15; 0,20 e 0,25 m, sendo: a) PRT e PVC40; b) PRT e PVC50; c) PRT e PVC60; e d) PRT e PVC75.

Colunas seguidas pela mesma letra, em cada profundidade, não diferem entre si pelo teste "t"-Student ao nível de 5 % de significância.

O mesmo comportamento foi observado para as amostras de solo coletadas em João Pinheiro, de textura franco-arenosa, evidenciando, que o método da proveta subestima os resultados de densidade nos solos de textura arenosa (Figura 15).



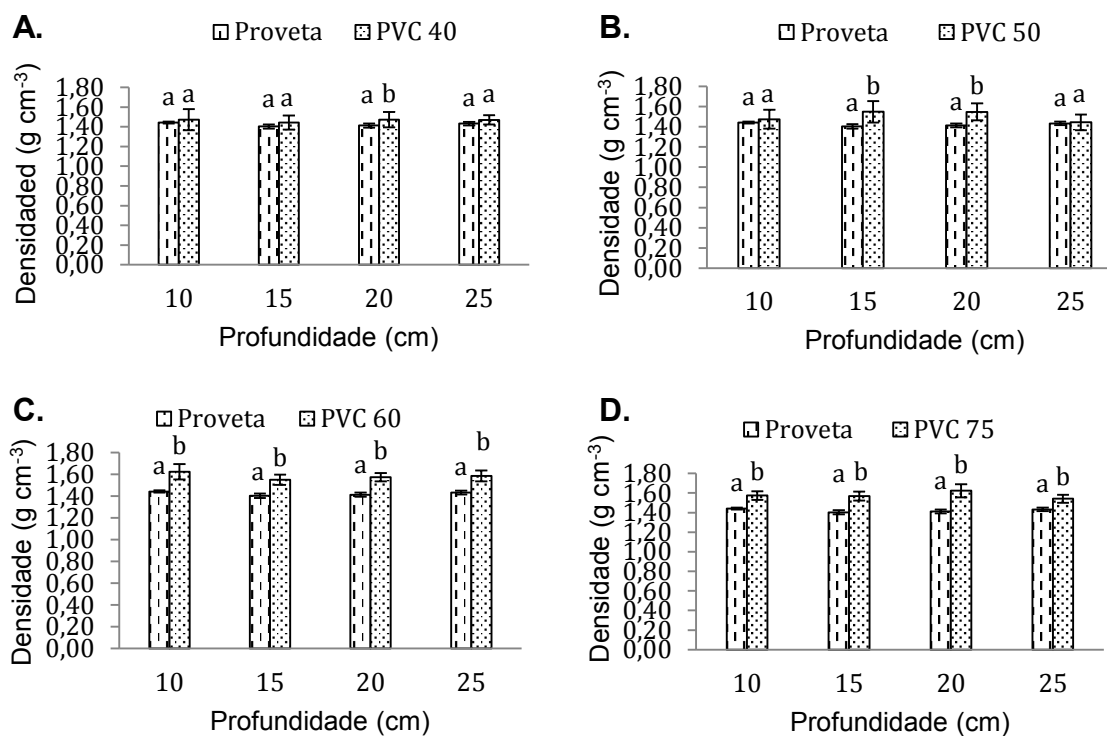


Figura 10 - Relações entre os métodos da Proveta (PRT) e tubo de PVC (PVC) para detmrinação da dencidade do solo nas profundidades de 0,10; 0,15; 0,20 e 0,25 m, para as amostras de solo coletas em João Pinheiro, sendo: a) PRT e PVC40; b) PRT e PVC50; PRT e PVC60; e d) PRT e PVC75.

Colunas seguidas pela mesma letra, em cada profundidade, não diferem entre si pelo teste “t”-Student ao nível de 5 % de significância.

Na comparação dos valores de densidade do solo obtidos pelos métodos da Proveta (PRT) e Anel Volumétrico (AV), para o solo arenoso, pode se observar que o método proveta tendeu a subestimar os valores de densidades do solo. Apenas na segunda profundidade com 0,05 a 0,10 m o que não ocorreu diferença significativa ( $p < 0,05$ ) (Figura 16).

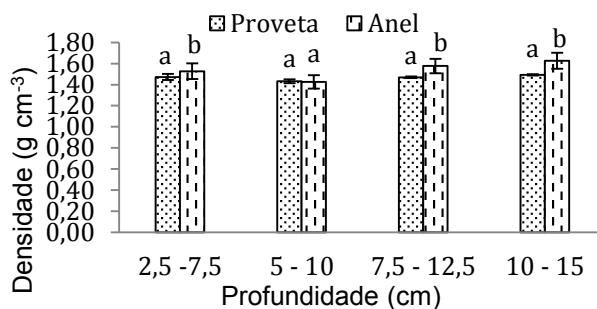


Figura 11 - Comparação entre os métodos da Proveta e Anel Volumétrico para o solo arenoso, coletado em Jaíba, para detrninação da dencidade do solo nas profundidades de 0,025 a 0,075 m; 0,050 a 0,100 m; 0,075 a 0,125 m e 0,100 a 0,150 m.

Colunas seguidas pela mesma letra, em cada profundidade, não diferem entre si pelo teste de “t”-Student ao nível de 5 % de significância.

No entanto, para o solo de textura média, comparando entre os métodos PRT e AV, foi constatado em todas profundidades avaliadas, diferenças significativas ao nível de 5%. Este fato indica que o método do Anel Volumétrico não é indicado para solos com esta textura (Figura 17).

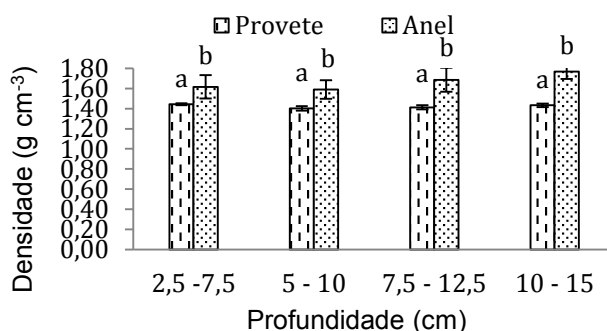


Figura 12 - Comparação entre os métodos da Proveta (PRT) e Anel Volumétrico (AV) para o solo de textura média, coletado em João Pinheiro, para detrninação da dencidade do solo nas profundidades de 0,025 a 0,075 m; 0,050 a 0,100 m; 0,075 a 0,125 m e 0,100 a 0,150 m.

Colunas seguidas pela mesma letra, em cada profundidade, não diferem entre si pelo teste de “t”-Student ao nível de 5 % de significância.

Em solos com textura média e arenosa, os tubos que mostraram melhores resultados da densidade comparando com o método de anel volumétrico considerado como padrão neste trabalho, o PVC de 60 e 75 mm de diâmetro e 0,10; 0,15; 0,20 e m de altura são os mais recomendados.

#### 4. CONCLUSÕES

Com as análises foi possível concluir que:

O tubo de PVC pode ser usado para amostragem de solo e determinação da densidade do solo, podendo ser utilizado em solos com diferentes granulometrias;

Solos da textura argilosa recomenda-se usar o tubo de PVC de 40 mm de diâmetro em 0,2 m de altura;

Para solos com textura arenosa é recomendado utilizar tubo de PVC com 40 mm de diâmetro e 0.15 m de altura;

Os tubos de PVC com maiores diâmetros e o anel volumétrico apresentam maiores valores de densidade nos solos da textura média e arenosa comparando com o método da proveta.

## 5. SUGESTÕES PARA TRABALHO FUTUROS

É importante ressaltar que neste trabalho o solo foi considerado homogêneo ao longo do perfil, no entanto é interessante realizar estudos comparando os métodos de amostragem para determinação da densidade do solo para aqueles que apresentem perfil heterogêneo, ou seja, solos com diferentes camadas;

Outro fato importante de ser analisado e não realizado neste trabalho é o estudo detalhado em relação aos custos e o tempo que cada método pode incorrer para coleta das amostras.

É importante ressaltar que em cada área seja padronizado um método de determinação da densidade do solo para facilitar o manejo de irrigação.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBUQUERQUE, Carlos JB, et al. Produtividade do Sorgo Forrageiro em Diferentes Espaçamentos entre Fileiras e Densidades de Plantas no Semi-Árido de Minas Gerais. *In: Embrapa Milho e Sorgo-Artigo em anais de congresso*, 2008.

AMÉRICO, J.L. *Características Físicas e fator de erobilidade de quatro solos representativos do município de São Mamede Paraíba-Areia*.Dissertação (Mestrado em Agronomia) Universidade Federal da Paraíba UFPB, Areia/PB, 89p. 1979.

ARAGÓN, A.; GARCIA, M. G.; FILGUEIRA, R. R.; PACHEPSKY, Y. A. Maximum compactibility of Argentine soils from the Proctor test; The relationship with organic carbon and water content. *Soil and Tillage Research.*, v.56, p. 197 – 204, 2000.

ARGENTON J.; ALBUQUERQUE, J.A.; BAYER, C. & WILDNER, L.P. Comportamento de atributos relacionados com a forma da estrutura de Latossolo Vermelho sob sistemas de preparo e plantas de cobertura. *Revista Brasileira de Ciência Solo*, v. 29, p. 425-435, 2005.

ARGENTON J.; ALBUQUERQUE, J.A.; BAYER, C. & WILDNER, L.P. Comportamento de atributos relacionados com a forma da estrutura de Latossolo Vermelho sob sistemas de preparo e plantas de cobertura. *R. Bras. Ci. Solo*, v. 29, p. 425-435, 2005.

BRAIDA, J. A.; REICHERT, J. M.; VEIGA, M.; REINERT, D. J. Resíduos vegetais na superfície e carbono orgânico do solo e suas relações com a densidade máxima obtida no ensaio de Proctor. *Revista Brasileira de Ciência do. Solo*, v. 30, p. 605 – 614, 2006.

CAMARGO, O.A. de; ALLEONI, L.R.F. *Compactação do solo e o desenvolvimento das plantas*. Piracicaba, ESALQ/USP, 132p, 1997

CINTRA, F.L.D; MIELNICZUK, J. Potencial de algumas espécies para a recuperação de solos com propriedades físicas degradadas. *Revista Brasileira de Ciência Solo*, v. 7, p. 197-201, 1983.

CONTIN, F. S. **Tecnologia do Irrigâmetro aplicada no manejo da irrigação do feijoeiro**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 52 p, 2008.

DA SILVA REIS, J. B. R., DIAS, M. S. C., DIAS, J. R., DOS SANTOS, S. R., & DA MOTA, W. F. Frequências de irrigação localizada em cultivares de morangueiro no norte de minas gerais. **Revista Caatinga**, n. 2, v. 28, p. 100-106, 2015.

DE ANDRADE, A. R. S., GUERRINI, I. A., GARCIA, C. J. B., KATEZ, I., & GUERRA, H. O. C. Variabilidade espacial da densidade do solo sob manejo da irrigação. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 29, p. 322-329, 2005.

DIAS JUNIOR, M. S.; MIRANDA, E. E. V. Comportamento da curva de compactação de cinco solos da região de Lavras (MG). **Ciência e Agrotecnologia**, v.24, p. 337 – 346, 2000.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. 2ª edição revista. Rio de Janeiro, RJ 2011.

FRAZÃO, A.(1981). **Características físicas e químicas de um latossolo vermelho amarelo submetido a diferentes sistemas de manejo**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) Universidade Federal da Paraíba UFPB, Campina Grande/PB. 87p 1981.

GONÇALVES, F. C., MARASCA, I., DE SOUZA, S. F. G., TAVARES, L. A. F., & SILVA, P. R. A. **Métodos de determinação da densidade do solo em diferentes sistemas de manejo**. Energia na Agricultura, n. 3, v. 28, p. 165-169, 2013.

Gonçalves, F. C., Marasca, I., De Souza, S. F. G., Tavares, L. A. F., & Silva, P. R. A. Métodos de determinação da densidade do solo em diferentes sistemas de manejo. **Energia na Agricultura**, nr. 28, v. 3, p. 165-169, 2013.

INMET - Instituto Nacional de Meteorologia. Relação das Estações Meteorológicas do Estado de Minas Gerais. Brasília: **Normais climatológicas**, 1992.

KLEIN, V.A. Densidade relativa - Um indicador da qualidade física de um Latossolo Vermelho. **R. Ci. Agron.**, v. 5 p. 26-32, 2006.

KRZIC, M.; BULMER, C.; TESTE, F.; RAHMAN, S.; DAMPIER, L. Relative measure of bulk density to characterize compaction of forest soils caused by harvest. **Final Report (R2003-0219) UBC** – Vancouver, 2003.45p.

LESTARININGSIH, I. D., AND K. HAIRIAH. Assessing soil compaction with two different methods of soil bulk density measurement in oil palm plantation soil, **Procedia Environmental Sciences**, v. 17, p. 172-178, 2013.

LIBARDI, P. L. **Dinâmica da água no solo**. São Paulo: EDUSP, 2005, 335p.

MIRANDA, J.; COSTA, L.M.; RUIZ, H.A. & EINLOFT, R. Composição química da solução de solo sob diferentes coberturas vegetais e análise de carbono orgânico solúvel no deflúvio de pequenos cursos de água. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, 30:633-647, 2006.

NUNES, F.N.; NOVAIS, R.F.; SILVA, I.R.; GEBRIM, F.O. & SÃO JOSÉ J. F. B, Fluxo difusivo de ferro em solos sob influência de doses de fósforo e desníveis de acidez e umidade, **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, p. 423-429, 2004.

REICHERT, J.M.; REINERT, D.J. & BRAIDA, J.A. Qualidade dos solos e sustentabilidade de sistemas agrícolas. **Ci. Amb**, v. 27, p. 29-48, 2003.

REICHERT, J.M.; REINERT, D.J. & BRAIDA, J.A. Qualidade dos solos e sustentabilidade de sistemas agrícolas. **Ci. Amb**,v, 27, p. 29-48, 2003.

ROSÁRIO, GABRIELA OLIVEIRA, **Análise espacial aplicado à determinação do risco de erosão do solo na porção Noroeste do município de / Belo Horizonte**, 2010.vi, 41 f.: il.

ROSEMBERG, N.J. **Response of plants to the physical effects of soil compaction**. Adv. Agron, v. 16, p. 181-196, 1964.

TOPP, G.C.; GALGANOV, Y.T.; WIRES, K.C.; CULLEY, J.L.B. **Non limiting water range (NLWR): an approach for assessing soil structure**. Technical report no 2 - Soil Quality Evaluation Program. Agriculture and Agri-Food Canada. 36p, 1994.

VASCONCELOS, R. F. B., SOUZA, E. R., CANTALICE, J. R., & SILVA, L. S. Qualidade física de Latossolo Amarelo de tabuleiros costeiros em diferentes sistemas



de manejo da cana-de-açúcar. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 18, p. 381-386, 2014.

WARRICK, A. W.; 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. 319-344, 1980.