



**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL**

**AVALIAÇÃO DO ESTADO DE COMPACTAÇÃO DO SOLO EM ÁREA
DE AGRICULTURA E DE FLORESTA DE EUCALIPTO**

Acadêmica: Fernanda Rita Correia

Matrícula: 09/46559

Orientador: Prof. Dr. Alcides Gatto

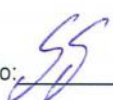
Monografia apresentada como requisito
para conclusão do curso de Engenharia
Florestal da Universidade de Brasília.

**Brasília-DF
2014**

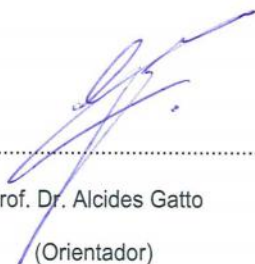
UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL

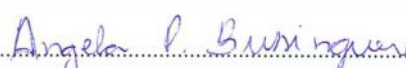
**AVALIAÇÃO DO ESTADO DE COMPACTAÇÃO DO SOLO EM ÁREA
DE AGRICULTURA E DE FLORESTA DE EUCALIPTO**

Estudante: Fernanda Rita Correia, matrícula 09/46559

Menção: 

Aprovada por:


.....
Prof. Dr. Alcides Gatto
(Orientador)


.....
MSc. Angela Pereira Bussinguer
(Membro da Banca)


.....
Prof. Dr. Eraldo Aparecido Trondoli Matricardi
(Membro da Banca)

Brasília, 03 de Julho de 2014

“Todas as vitórias ocultam uma abdicação”
Simone de Beauvoir

“O conhecimento nos faz responsáveis”
Che Guevara

*“A verdadeira viagem de descobrimento não consiste em procurar
novas paisagens, mas em ter novos olhos”*
Marcel Proust

Agradecimentos

Agradeço em primeiro lugar a Deus que iluminou o meu caminho durante esta caminhada.

Aos meus pais, irmãos, namorado, amigos e a toda minha família que, com muito carinho e apoio, não mediram esforços para que eu chegasse até esta etapa de minha vida.

Ao Prof. Dr. Alcides Gatto pela paciência na orientação e incentivo que tornaram possível a conclusão desta monografia.

RESUMO

O presente trabalho buscou analisar e comparar as propriedades físicas do solo em dois diferentes ambientes, sob três diferentes profundidades de solo (0-20, 20-40 e 40-60 cm). O trabalho foi conduzido na Fazenda Água Limpa, localizada no Distrito Federal, distando 20 km ao sul da cidade de Brasília, e teve como área de estudo fitofisionomias da área de agricultura e de plantio de *Eucaliptus sp.* Para a avaliação do grau de compactação do solo nos diferentes ambientes foram analisadas as seguintes propriedades físicas do solo: resistência à penetração do solo, umidade e densidade do solo. Os dados de densidade foram obtidos pelo método do anel volumétrico e os dados de resistência do solo à penetração por um penetrômetro de impacto modelo IAA/Planasulcar-Stolf. Para avaliar a resistência à penetração, foi observada diferença entre as áreas estudadas, sendo os maiores valores para a área de agricultura, visto que os valores apresentados para esta área foram superiores a 2,0 MPa, considerado como limite crítico para culturas anuais. Quanto à área de plantio de *Eucaliptus sp.* os valores de resistência à penetração foram considerados significativos nas profundidades de 45-60 cm, sendo que para solos florestais, o limite crítico de resistência à penetração é de 3,0 MPa. Não houve discrepância acentuada entre os valores de densidade dos solos (0,61 até 0,69 g/cm³) e em função da variabilidade dos dados de resistência à penetração e similaridade entre a densidade das áreas, não houve uma tendência em função da profundidade do solo sobre qual das duas áreas proporcionou maior nível de compactação. Quanto ao manejo das áreas, as maiores alterações ocorrem nas propriedades físicas quando há o aumento da umidade do solo.

Palavras-chave: propriedades físicas do solo; compactação; resistência à penetração; umidade; densidade.

ÍNDICE DE TABELAS E FIGURAS

Tabela 1. Valores de densidade (DS) e umidade volumétrica (Uv) do solo sob diferentes profundidades, em área de agricultura e de plantio de eucalipto estudadas na Fazenda Água Limpa - FAL/UnB.	15
Tabela 2. Resistência à penetração do solo em área de agricultura e de plantio de eucalipto estudadas na Fazenda Água Limpa - FAL/UnB.	17
Figura 1. Vista geral da área de agricultura (a) e de plantio de eucalipto (b) estudadas na Fazenda Água Limpa - FAL/UnB.	12
Figura 2. Resistência à penetração da área de agricultura e de plantio de eucalipto, na profundidade de até 60 cm, estudadas na Fazenda Água Limpa - FAL/UnB.	18

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	4
2 OBJETIVOS	6
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	6
3.1 Compactação do solo.....	6
3.2 Caracterização das propriedades físicas do solo	8
3.2.1 Resistência à penetração	8
3.2.2 Umidade do solo	9
3.2.3 Densidade do solo.....	10
4 MATERIAIS E MÉTODOS	10
4.1 Caracterização da área de estudo	11
4.2 Avaliação das propriedades físicas do solo.....	12
4.2.1 Resistência do solo à penetração	12
4.2.2 Umidade e Densidade do solo	13
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	15
5.1 Características Físicas	15
6 CONCLUSÕES	20
7 REFERÊNCIAS	21

1 INTRODUÇÃO

O solo é a porção superficial da crosta terrestre que fornece as condições necessárias para a vida. Conhecido por sua função de fornecer nutrientes e água para a sustentação dos ecossistemas naturais, na produção de alimentos e na recarga de água subterrânea, como fonte de materiais de construção e outras atividades econômicas. De modo geral, ao conjunto de solos denomina-se de pedosfera, sendo que cada solo é constituído de três fases distintas, sólida, líquida e a gasosa onde ocorre a maioria das interações físico-químicas e bioquímicas entre a superfície da terra, as águas subterrâneas e a atmosfera. Por exemplo, o carbono orgânico é reciclado da atmosfera para o solo e cerca de 25% do carbono atmosférico vem de reações de oxidação biológica na pedosfera, a qual contém duas vezes mais carbono que a atmosfera e três vezes mais carbono que toda a vegetação (WILDING; LIN, 2006).

A qualidade física do solo e o desenvolvimento de plantas estão relacionados à compactação do solo (STRUDLEY et al., 2008). Alterações na estrutura do solo devido à compactação por pressão de máquinas (LIMA et al., 2006; BOTTA et al., 2008) influenciam o fluxo de gases, de água e de calor, na resistência do solo à penetração, no crescimento radicular e a produtividade das culturas (BOTTA et al., 2006).

O comportamento físico do solo está relacionado com características de seu espaço poroso, especialmente no que se refere à distribuição do tamanho dos poros, sua continuidade no perfil do solo e sua estabilidade no tempo. A distribuição do tamanho dos poros e sua continuidade no perfil são determinadas, basicamente, pela textura e pela estrutura do solo, ao passo que a estabilidade está relacionada com a consistência do solo (REICHERT et al., 2007).

A resistência à penetração tem sido um dos atributos físicos frequentemente utilizados na quantificação da qualidade estrutural adequada ao crescimento de plantas (PRINGLE; LARK, 2007; SUZUKI et al., 2007) em solo sob semeadura direta e convencional (DE VITA et al., 2007).

Em áreas agrícolas a compactação do solo tem sido estudada, tendo a planta como resposta (SUZUKI et al., 2007; REICHERT et al., 2009). Quando se

consideram áreas florestais, a resposta das plantas à compactação não é tão simples, pois, diferentemente das culturas anuais, as árvores apresentam um ciclo de colheita mais longo, estando sujeitas às variações climáticas e à ação antrópica durante vários anos (SUZUKI et al., 2007; REICHERT et al., 2007; REINERT et al.; 2007).

Seja em áreas agrícolas ou florestais, a mecanização, é a principal causa da compactação dos solos (REICHERT et al., 2007), determinando as relações entre ar, água e temperatura do solo, que influenciam diretamente na germinação e na emergência das plantas, no crescimento e no desenvolvimento das raízes e plantas (LETEY, 1985).

A mecanização tem sido a responsável pela intensa deterioração das condições físicas do solo, pois o tráfego excessivo, em condições de umidade excessiva, contribui para a compactação ocasionada por forças mecânicas, tanto pelo exagerado número de operações, como pelo tráfego de máquinas e implementos sobre o solo (BELTRAME; TAYLOR, 1980), quando a carga aplicada for superior à capacidade de suporte do solo (VEIGA et al., 2007).

A colheita da madeira é a atividade silvicultural que mais promove compactação do solo, pois refere-se a um conjunto de operações de corte, arraste e/ou transporte das árvores para as unidades de estocagem ou processamento. Tais operações podem afetar várias propriedades do solo, acarretando danos como a compactação, favorecendo a ocorrência de erosão e redução do crescimento das plantas, pois modifica o meio físico em diferentes escalas de intensidade (MARTINS et al., 1998).

A compactação do solo tem sido constatada nos diferentes sistemas de manejo: plantio direto (GENRO JUNIOR et al., 2004), plantio convencional (ALVES ; SUZUKI, 2004), pastagem intensiva (LANZANOVA et al., 2007) e silvicultura (FERNANDES; SOUZA, 2003). Em áreas agrícolas esse problema tem sido extensivamente estudado, mas em áreas sob silvicultura ainda há poucas informações (FERNANDES; SOUZA, 2001).

Em áreas de reflorestamento a compactação do solo atua de modo diferenciado aos demais tipos de manejo e cultura, pois o sistema radicular das árvores são maiores, de raízes grossas e aplicam forças mecânicas por longos períodos de tempo. As operações mecanizadas de preparo do solo e de colheita

florestal, principalmente, promovem a compactação aliada à derrubada das árvores e impõem carga sobre o solo, com máquinas pesadas na colheita e, combinadas com o arraste e levantamento dos troncos, podem exercer grandes pressões no solo, podendo alterá-lo e afetar a quantidade e a qualidade da água (GREACEN; SANDS, 1980), pelo favorecimento da erosão hídrica do solo. Somado a isso, os solos (SILVA et al., 2006; SUZUKI et al., 2007) e as culturas (FOLONI et al., 2006; REICHERT et al., 2009) respondem diferentemente à compactação.

2 OBJETIVOS

- Avaliar os impactos no solo causados pelas atividades agrícolas e florestais em áreas de cerrado;
- Inferir se o manejo aplicado ao solo resulta na degradação das suas propriedades físicas.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Compactação do solo

O termo compactação do solo refere-se à compressão do solo não saturado durante a qual existe um aumento de sua densidade em consequência da redução de seu volume (GUPTA; ALLMARAS, 1987; GUPTA et al., 1989), resultante da expulsão de ar dos poros do solo. HILLEL (1998) afirma que a compactação do solo pode ser considerada do ponto de vista da Engenharia Civil ou da Agronomia. Para este último, a compactação é uma consequência indesejada da mecanização que reduz a produtividade biológica do solo e, em casos extremos, o torna inadequado ao crescimento das plantas.

Naturalmente, o solo pode tornar-se adensado como consequência da sua composição textural, regime hídrico e da gênese de sua formação. O selamento superficial do solo pode ser formado pela exposição do solo à ação das gotas de chuva, impactando e dispersando o solo, seguido de secagem e endurecimento da camada superficial, constituindo uma fina crosta superficial que fecha os poros

superficiais e dificulta as trocas gasosas do ar do solo com o ar atmosférico e a infiltração de água (REICHERT; CABEDA, 1992).

O aumento da densidade do solo também ocorre pela eluviação de argilas para as camadas mais profundas causando o adensamento do solo, sendo um processo natural não causado pelo tráfego de máquinas e animais, destacado por (DENARDIN et al., 2001).

Em relação à questão antrópica, vários fatores podem contribuir para a compactação do solo, principalmente o uso de máquinas e implementos agrícolas, e também pelo pisoteio de animais em condições de tráfego ou pisoteio excessivo. As forças causadoras da compactação atuantes no solo podem ser classificadas em externas e internas. O tráfego de veículos, animais ou pessoas e o crescimento de raízes que aproximam as partículas do solo para sua passagem, são responsáveis pelas forças externas. Os ciclos de umedecimento e secagem, congelamento e degelo e expansão e contração da massa do solo respondem pelas forças internas (CAMARGO; ALLEONI, 1997).

Embora a mecanização tenha contribuído para facilitar e agilizar o trabalho do homem no campo, associado a essa técnica, tem-se, em muitas situações a compactação do solo. A mecanização agrícola e florestal tem aumentado nas últimas décadas, sendo a produtividade muitas vezes comprometida pelo excesso e pela inadequação de práticas a que o solo é submetido, desde o seu preparo até à colheita da cultura que nele se estabeleceu (CENTURION; DEMATTÊ, 1992).

A compactação do solo tem sido intensificada com a modernização da agricultura, principalmente pelo uso de máquinas cada vez maiores e mais pesadas. A compactação em áreas agrícolas e em pastagens ocorre, geralmente, na camada de 20-30 cm, enquanto, em áreas florestais, a compactação pode atingir maiores profundidades. Em solos cultivados com revolvimento periódico a camada compactada era rompida pelos implementos de preparo do solo, transferindo a compactação para maiores profundidades pelo tráfego e contato dos implementos com o solo subsuperficial (SUZUKI et al., 2007; REICHERT et al., 2007; REINERT et al., 2007).

Em áreas florestais, é possível que a profundidade de compactação seja maior do que em áreas agrícolas. Isso ocorre porque o peso das máquinas é maior, o tráfego durante a colheita é mais intenso e há possibilidade de maior umidade do solo graças ao sombreamento causado pela espécie florestal e ao maior acúmulo de resíduos vegetais e de matéria orgânica no solo (SUZUKI et al., 2007; REICHERT et al., 2007; REINERT et al., 2007).

3.2 Caracterização das propriedades físicas do solo

A física do solo estuda e define, qualitativa e quantitativamente, as propriedades físicas, bem como sua medição, predição e controle, com o objetivo principal de entender os mecanismos que governam a funcionalidade dos solos e seu papel na biosfera. A importância prática de se entender o comportamento físico do solo está associada ao seu uso e manejo adequado, ou seja, orientar irrigação, drenagem, preparo e conservação de solo e água (REICHERT; REINERT, 2006).

A definição de um solo fisicamente ideal é difícil devido ao tipo e natureza das variações físicas dos solos que ocorrem em profundidade e das interações com as propriedades químicas e biológicas que ocorrem concomitantes e ao longo do tempo. Um exemplo dessas variações refere-se ao suprimento de água e ar que variam continuamente junto com os ciclos de umedecimento e secagem do solo, que ocorrem com a alternância de períodos chuvosos e secos, entretanto, do ponto de vista edáfico, para cultivo de plantas o solo é considerado fisicamente ideal quando apresenta boa capacidade de retenção de água, arejamento, suprimento de calor e pouca resistência mecânica ao crescimento radicular (REICHERT; REINERT, 2006).

3.2.1 Resistência do solo à penetração

O conhecimento da variabilidade espacial das propriedades físicas do solo pode contribuir na definição de melhores estratégias para o manejo sustentável do solo (SCHAFFRATH et al., 2008). Neste sentido, torna-se relevante estudar os indicadores de qualidade física do solo. Segundo BOTTEGA et al. (2011) tais indicadores devem se relacionar diretamente à produção das culturas e que sejam suficientemente capazes de medir a capacidade do solo de fornecer adequada

aeração e quantidade de água para o crescimento e expansão do sistema radicular, da mesma forma que devem medir a magnitude com a qual a matriz do solo resiste à deformação. Dentre os principais indicadores, destaca-se a resistência do solo à penetração.

A resistência do solo à penetração tem sido adotada como indicativo da compactação do solo, por apresentar relações diretas com o desenvolvimento das plantas e por ser mais eficiente na identificação de estados de compactação comparada à densidade do solo (SILVA et al., 2003).

A resistência do solo à penetração é uma das propriedades físicas do solo diretamente relacionada com o crescimento das plantas (LETEY, 1985) e modificada pelos sistemas de preparo do solo. O crescimento das raízes pode causar a deformação do solo numa zona próxima à ponta das raízes e a pressão exercida contra as partículas e/ou agregados deve ser suficiente para propiciar a penetração e o alongamento das raízes (BENNIE, 1996).

A resistência do solo à penetração pode ser avaliada por meio de penetrógrafos ou penetrômetros automáticos (REINERT et al., 2007), de anel dinamométrico ou de impacto (STOLF et al., 1983). O uso de penetrômetro é uma maneira rápida e fácil de medir a resistência à penetração em várias profundidades e o aparelho é muito utilizado para relacionar fatores de resistência do solo à elongação radicular. O princípio do penetrômetro é baseado na resistência do solo à penetração de uma haste, quando na parte superior desta, é exercida uma força, por uma distância conhecida, normalmente de 40 cm (CAMARGO; ALLEONI, 1997).

3.2.2 Umidade do solo

A água na forma líquida apresenta uma série de propriedades de fundamental importância em seu comportamento no solo. De acordo com TIMM et al. (2006), a umidade influencia importantes processos no solo e na planta tais como: movimento de água, compactação do solo, aeração do solo e desenvolvimento radicular. Baseado neste fato, questões referentes à variabilidade espacial e temporal de umidade para diferentes períodos do ano e diferentes fases de desenvolvimento de uma dada cultura tornam-se de extremo interesse.

O solo armazena a água temporariamente, podendo fornecê-la às plantas à medida de suas necessidades. Como a recarga deste reservatório é inconstante, o volume disponível às plantas é variável. O esgotamento deste reservatório por uma cultura exige sua recarga artificial, que se dá através da irrigação (REICHARDT, 1985).

A água no solo é retida por capilaridade e adsorção. Além desses mecanismos, a textura e a estrutura do solo também têm grande importância, pois definem a área superficial de contato da fase sólida do solo, seu espaço poroso, fatores esses associados ao armazenamento e disponibilidade da água nos solos, assim como na habilidade dos solos de deixar passar a água e se infiltrar para as camadas mais profundas do perfil do solo (REICHERT; REINERT, 2006).

3.2.3 Densidade do solo

A densidade do solo é uma característica física muito importante na avaliação da qualidade dos solos e está associada à estrutura, à densidade das partículas e à porosidade do solo, podendo ser usada como uma indicadora de processos de degradação ou conservação da estrutura do solo, influenciado pelo uso e manejo inadequado. A medição da densidade de solo é usada 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, principalmente na avaliação do estado de compactação do solo (COSTA et al. 2003).

A densidade do solo é afetada naturalmente pela textura e teor de matéria orgânica do solo e antropicamente pelos sistemas de manejo e pelo grau de compactação atingido. Solos compactados caracterizam-se pelo aumento da densidade e redução na porosidade, principalmente nos macroporos. A densidade do solo pode se tornar crítica com a flutuação nos teores de umidade do solo, de forma que com baixos teores de umidade a resistência à penetração ou a disponibilidade de água tornam-se limitantes, e em condições de alta umidade a aeração do solo passa a ser limitante (TORMENA et al., 1998).

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Caracterização da área de estudo

O estudo foi realizado na Fazenda Água Limpa (FAL), com coordenadas 15°56' a 15°59' S e 47°55' a 47°58' W no Distrito Federal, distando 20 km ao sul da cidade de Brasília (LIBANO; FELFILI, 2006). É uma Fazenda Experimental e Estação Ecológica da Universidade de Brasília, em conjunto com a Reserva Ecológica do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística e o Jardim Botânico de Brasília totalizam 9000 ha, formando parte da Área de Proteção Ambiental (APA) Gama Cabeça de Veado. A fitofisionomia predominante na FAL é o Cerrado *sensu stricto* e grandes áreas de Campo sujo e Campo limpo. Esta área faz parte do sistema “Terras Altas da Superfície Pratinha” e da Reserva da Biosfera do Cerrado do Distrito Federal (FELFILI et al., 2000).

A altitude média da região é de 1100 m e conforme a classificação de Köpen o clima da região é do tipo Aw, sendo caracterizado por duas estações bem definidas, uma quente e chuvosa, que ocorre de outubro a abril, e outra fria e seca de maio a setembro (NIMER, 1989). A temperatura média é de 22,1°C, segundo dados meteorológicos da estação climatológica da Reserva Ecológica do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (Recor-IBGE), que é contígua a área de estudo. O solo predominante na área é o Latossolo Vermelho e o Latossolo Vermelho Amarelo (FELFILI et al., 2000).

O trabalho de pesquisa foi conduzido entre os períodos de março a maio de 2014, obtendo dessa forma os valores de densidade e umidade. Os valores referentes à resistência à penetração foram obtidos no 1º semestre de 2013, mais precisamente no dia 30 de julho. As áreas avaliadas estão ilustradas nas figuras 1.

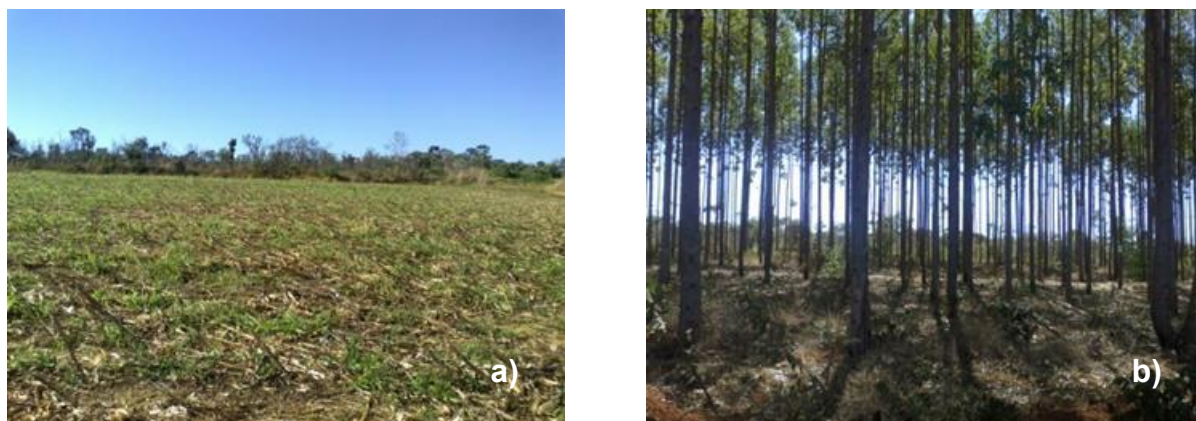


Figura 1. Vista geral da área de agricultura (a) e de plantio de eucalipto (b) estudadas na Fazenda Água Limpa - FAL/UnB.

O experimento foi conduzido em uma área de 1,2 ha, plantada com um híbrido de *Eucalyptus urophylla* x *E. grandis* no espaçamento 3 x 2 m, com idade de 60 meses, densidade média do povoamento de 1.300 indivíduos por hectare e Latossolo Vermelho.

A área de agricultura vem sendo utilizada para o cultivo de milho há cerca de oito anos. Adota-se o plantio direto, ou seja, faz-se a dessecação da vegetação com herbicida e, em seguida, faz-se o plantio do milho. A adubação tem consistido basicamente de 300 a 350 kg/ha do formulado NPK 04:30:16 no plantio, mais 200 kg de ureia em cobertura, em duas aplicações. O milho é cultivado para produção de silagem para alimentação animal, portanto, ele é colhido ainda verde. O solo predominante na área é o Latossolo Vermelho Amarelo.

4.2 Avaliação das propriedades físicas do solo

Para avaliar o grau de compactação do solo em sistemas de agricultura e floresta plantada, foi analisada a resistência à penetração, a umidade e a densidade do solo.

4.2.1 Resistência à penetração

Para o experimento em análise foi utilizado um penetrômetro de impacto, modelo IAA/Planasulcar- Stolf, seguindo as recomendações descritas por (STOLF et al., 1983).

Verificou-se a resistência à penetração em locais escolhidos aleatoriamente dentro de um hectare de cada unidade de um arranjo de solo. Foram avaliados cinco transectos, espaçados na entrelinha da área de eucalipto e cinco transectos de forma aleatória na área de agricultura, ambos com 5 pontos cada, amostrando um total de 25 pontos amostrais diferentes em cada área.

Os dados coletados no campo foram expressos em impactos/dm, sendo posteriormente transformados em Resistência à Penetração (RP = Kgf/cm²). Para o cálculo da RP foi utilizada a seguinte equação descrita por STOLF (1991), conforme equação 1:

$$RP \text{ (Kgf/cm}^2\text{)} = 5,6 + 6,89 \times N \quad (\text{Eq. 1})$$

Onde:

$$N \text{ (impactos/dm)} = [\text{N}^\circ \text{ de impactos} / \text{Penetração (cm)}] \times 10$$

Em seguida, os valores de RP (Kg/cm²) foram convertidos para mega pascal (MPa), que é a unidade internacional de medida utilizando-se a seguinte equação 2:

$$RP \text{ (MPa)} = 0,0980665 \times \text{Kgf/cm}^2 \quad (\text{Eq. 2})$$

Para melhor visualização e interpretação dos resultados obtidos, foi elaborado um gráfico de resistência à penetração do solo com a profundidade para cada área de estudo e interpretado os valores obtidos.

4.2.2 Umidade e Densidade do solo

Foi utilizado um anel volumétrico de aço, modelo Kopecky, de bordas cortantes com volume interno conhecido de 80,38 cm³ para a coleta de amostras de solos.

Para a determinação da umidade e densidade foram coletadas amostras de solos em cinco trincheiras abertas previamente com 60 cm de profundidade em cada ambiente com o uso de ferramentas manuais, tais como a “boca de lobo”, pá

de corte e enxadão, com dimensões aproximadas de 40 cm de largura para 60 cm de profundidade. Na parede frontal da trincheira, foi coletada amostras de solo em três profundidades: 10-20; 20-40 e 40-60 cm.

Após a retirada do anel da trincheira, em cada profundidade, tomou-se o cuidado de retirar o excesso de solo aderido às bordas do anel com uma faca ou espátula, sendo o solo transferido para as latas de alumínio que foram identificadas e lacradas com fita adesiva para evitar a perda de solo e umidade e encaminhadas para o laboratório. No laboratório, as latas de alumínio juntamente com o solo, foram pesadas em uma balança de precisão para obtenção do peso úmido do solo. As latas com amostras foram colocadas em estufa de circulação forçada de ar a +/- 105°C, durante 48 horas, até obter o peso constante do solo para posterior determinação do teor de umidade e da densidade do solo.

Com os dados do solo úmido e seco foi calculada a umidade volumétrica de água no solo pela seguinte equação 3:

$$\text{Umidade Volumétrica (\%)} = (P_u - P_s) \times 100 / V \quad (\text{Eq. 3})$$

Onde:

P_u = peso da amostra úmida (g);

P_s = peso da amostra seca (g); e

V = volume do anel volumétrico (cm³)

A densidade do solo (DS) foi obtida através da relação existente entre a massa de solo seca e o volume do anel através da equação 4:

$$DS \text{ (g/cm}^3\text{)} = P_s / V \quad (\text{Eq. 4})$$

Onde:

P_s = peso da amostra seca (g); e

V = volume do anel volumétrico (cm³).

Posteriormente a obtenção da umidade e da densidade do solo, os dados foram interpretados para cada área de estudo do solo a fim de definir o estado de compactação desses solos.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Características Físicas

A tabela 1 apresenta os valores de densidade e de umidade volumétrica do solo em área de cultivo de milho e sob floresta de eucalipto na Fazenda Água Limpa.

Tabela 1. Valores de densidade (DS) e umidade volumétrica (Uv) do solo sob diferentes profundidades, em área de agricultura e de plantio de eucalipto estudadas na Fazenda Água Limpa - FAL/UnB.

Prof. (cm)	Solo Agrícola		Solo sob Floresta	
	DS (g/cm ³)	Uv (%)	DS (g/cm ³)	Uv (%)
0 - 20	0,63	22,1	0,64	16,93
20 - 40	0,64	22,0	0,69	20,7
40 - 60	0,61	19,8	0,65	22,9

Os dados mostram que a densidade do solo (DS) são similares entre as áreas, que não configuram-se como solos compactados, com densidade do solo (DS) menor que 0,69 g/cm³ para todas as camadas avaliadas, não sendo restritivo ao crescimento radicular das plantas.

Os valores da densidade do solo, nas duas áreas estudadas (solo agrícola e solo sob floresta) encontram-se abaixo daqueles relatados como limitantes ou com potencial de causar dificuldades ao crescimento radicular e, conseqüentemente, ao pleno desenvolvimento das culturas, pois o limite indicado como nível crítico para solos argilosos é acima de 1,3 g/cm³ (CAMARGO; ALLEONI, 1997).

De acordo com ARSHAD et al. (1996) para solos argilosos (> 35% argila) a densidade do solo considerada como crítica situa-se entre 1,30 a 1,40 g/cm³, para solos de textura média entre 1,40 a 1,50 g/cm³ e para solos de textura arenosa de 1,70 a 1,80 g/cm³. A densidade do solo é influenciada pela textura, solos arenosos apresentam densidade superior ao solo argiloso, enquanto que os solos siltosos

apresentam comportamento intermediário (BUENO; VILAR, 1998; REICHARDT; TIMM, 2004; LIBARDI, 2005).

Quanto à baixa densidade encontrada em ambos os solos, pode-se levar em consideração a condição do clima, principalmente do regime de distribuição de chuvas, visto que as coletas realizadas para avaliar a densidade e umidade dos solos foram realizadas em período chuvoso, entre os meses de março a maio deste ano.

Com relação à umidade volumétrica apresentada na tabela 1, observa-se que a área de agricultura foi onde se registrou maior umidade, sendo devido à precipitação direta sobre o solo estocando mais água do que em área florestal, já que a copa intercepta cerca de 20% de águas das chuvas, sendo uma parte desta evaporada antes de chegar ao solo.

Quanto maior o grau de selamento ou encrostamento da superfície do solo, maior é a obstrução parcial de seus poros, o que implica em menores taxas de infiltração de água. Além disso, a cobertura morta reduz a evaporação da água do solo, pela diminuição da temperatura, elevando a disponibilidade hídrica (EMBRAPA, 1998).

Os dados de resistência à penetração sob diferentes profundidades (0-20, 20-40 e 40-60 cm) foram registrados em área de agricultura e povoamento de eucalipto e são apresentados na tabela 2 e auxiliado pela figura 3.

Conforme indicado na tabela 2, a camada de 0 a 40 cm do solo agrícola possui valores de resistência à penetração (RP) acima de 2,0 MPa para o solo de agricultura, valor este considerado crítico para o crescimento de culturas anuais sendo os valores acima de 4 MPa, considerado muito alto com relação à resistência do solo para esta mesma área supracitada. Para KLEIN et al., (1998), pequenas reduções na umidade proporcionam incrementos acentuados da resistência do solo à penetração.

Ainda com relação à tabela 2, há uma grande faixa de resistência à penetração na profundidade de 45 a 60 cm em povoamento de eucalipto, valor este crítico à partir de 3 MPa espécies arbóreas esse valor é crítico, a qual começa haver restrições ao crescimento radicular, limitando a absorção de nutrientes e consequente redução do crescimento e produtividade (USDA, 1993).

Tabela 2. Resistência à penetração do solo em área de agricultura e de plantio de eucalipto estudadas na Fazenda Água Limpa - FAL/UnB.

Prof.	Solo Agrícola	Solo sob Floresta
cm	----- MPa -----	
0-5	2,88	1,01
5-10	4,98	0,98
10-15	4,58	0,91
15-20	4,74	0,87
20-25	4,23	0,82
25-30	4,56	0,88
30-35	3,41	0,93
35-40	3,04	1,27
40-45	2,51	2,65
45-50	2,65	3,05
50-55	2,48	3,64
55-60	2,15	3,96

Deve-se considerar que a resistência à penetração possui relação potencial com a umidade do solo segundo BUSSCHER (1997), o que pode explicar em partes os maiores valores de resistência à penetração encontrados nas camadas de 0 a 40 cm em solos agrícolas e de 45 a 60 em solos de povoamento de eucalipto, devido à baixa umidade (Tabela 2). CASTRO (2001) também afirma que estudos experimentais têm mostrado que resistência à penetração aumenta com a elevação da densidade e diminui com a elevação do teor de água do solo.

A resistência à penetração é uma das propriedades físicas mais importantes para o manejo e estudo da qualidade física dos solos, uma vez que essa propriedade apresenta-se relacionada a diversos atributos do solo indicadores do nível de compactação. A densidade do solo apresenta relação direta com a resistência do solo à penetração, enquanto o conteúdo de água no solo influi inversamente na resistência (BUSSCHER, 1990).

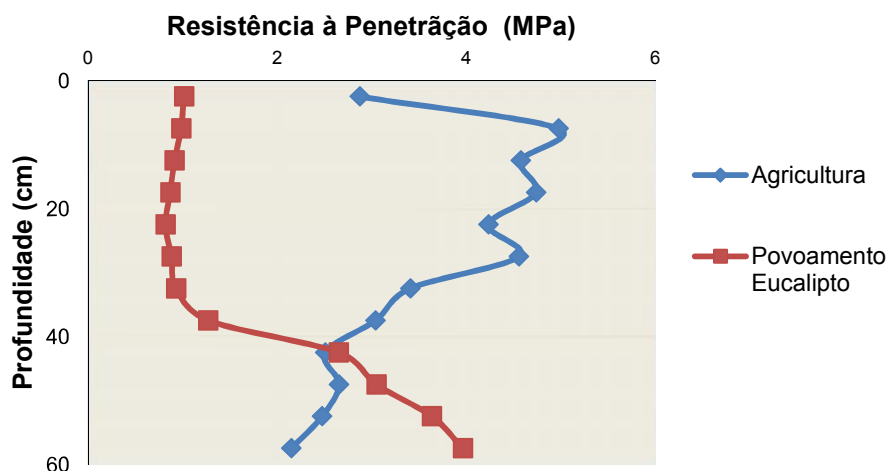


Figura 2. Resistência à penetração da área de agricultura e de plantio de eucalipto, na profundidade de até 60 cm, estudadas na Fazenda Água Limpa - FAL/UnB.

Devido à grande variabilidade de fatores que afetam a compactação do solo, entender as relações entre as variáveis que explicam esse processo é muito dificultado. Isso é tratado em diversas pesquisas, as quais vêm indicando que essas relações não são tão simples, principalmente, em condições de campo (RIBON ; TAVARES FILHO, 2004). Desta forma, podemos listar alguns pontos importantes que podem afetar o resultado da resistência à penetração em campo, segundo (CAMARGO; ALLEONI, 1997):

- A resistência ao penetrômetro é influenciada pela textura do solo;
- A utilidade do penetrômetro de impacto na medida da compactação do solo é limitada a medidas feitas com relação à umidade. Quanto mais seco estiver o solo, maior será sua resistência à penetração. Portanto, maior será o número de impactos necessários para que a haste aprofunde na camada compactada PIRES et al., (1991).
- Desta forma, como a realização da coleta dos dados para resistência à penetração foi realizada em Julho de 2013 e a coleta do solo para análise da densidade e umidade foram realizadas entre os meses de março a maio de 2014, a questão da umidade pode estar relacionada à baixa densidade encontrada na área de agricultura e a alta resistência à penetração encontrada nesta mesma área e entre as profundidades de 45 a 60 cm na área de povoamento de eucalipto e entre 0 a 40 cm na área de agricultura;

- A maioria dos penetrômetros de impacto tem diâmetro maior que as porções das raízes que estão se alongando;
- A resistência real exercida pelo solo à penetração radicular é, geralmente, menor que a resistência medida pelo penetrômetro, já que as raízes procuram os espaços de maior fraqueza durante seu crescimento (PEARSON, 1966). Há evidências de que o penetrômetro superestima o valor da resistência de duas a oito vezes, dependendo do tipo de solo (SHIERLAW; ALSTON, 1984; VEEN; BOONE, 1990), por isso, recomenda-se cuidados na interpretação dos resultados e sempre que possível estarem associados à densidade;
- Deve-se tomar muito cuidado ao usar o penetrômetro em solos pedregosos, pois apenas um fragmento de rocha pode invalidar a leitura;
- Erros gerados pela metodologia de execução do experimento no campo podem induzir a posteriores erros na interpretação do resultado;
- Quantidade insuficiente de número de amostras, levam à erros amostrais.

Com relação às características físicas encontradas para ambos os solos, fica difícil estabelecer se os valores de densidade ou de resistência do solo, estão comprometendo a produtividade das culturas, pois estão envolvidos no crescimento e produção vegetal e estes variam a uma dada condição de compactação do solo de ano para ano (EMBRAPA, 1998).

As condições do solo, tais como a umidade, textura e matéria orgânica, faz com que um mesmo tipo de solo, mantido num mesmo nível de compactação, apresente a cada ano, condições diferentes de resistência, trocas gasosas, temperatura, armazenamento de água etc., que podem ou não prejudicar o desenvolvimento das culturas. Dessa maneira, um nível de compactação crítico em determinado ano, pode não ser no outro, principalmente se o nível de compactação estiver no limite determinante de aparecimento de problemas (EMBRAPA, 1998).

Nas camadas mais críticas de valores de resistência à penetração foi observada diferença entre as áreas avaliadas, porém, os maiores valores foram para a área de agricultura. Acredita-se que essas discrepâncias entre as duas áreas sejam devido a grande variabilidade espacial dos dados de resistência à penetração obtida na área de estudo, entre outros fatores acima citados.

Percebe-se que não houve uma correlação muito clara entre resistência à penetração e densidade do solo para as áreas avaliadas. Segundo LARSON et al.,

(1984), a ausência de correlação entre essas duas variáveis deve-se ao fato de que a densidade do solo não é uma medida direta da resistência do solo à penetração, pois não mede o tamanho dos poros e rigidez do solo.

Quanto ao manejo da área, em relação à descompactação, esta deve ser feita preferencialmente quando o solo estiver tendendo a seco ou com baixo teor de umidade. Nessas condições, a eficiência do equipamento para romper a camada compactada é maior. A operação de descompactação do solo pode ser feita após a cultura que deixe pouco volume de palha sobre a superfície do terreno, e antes da semeadura de outra cultura pouco exigente para germinar (EMBRAPA, 1998).

Segundo MAKKONEN (1989) os maiores incrementos na compactação do solo ocorrem em situações onde o solo apresenta maior umidade, refletindo a influência da umidade do solo em reestruturar as partículas; o mesmo autor afirma também que o tráfego das máquinas sobre camadas de resíduos florestais também contribui para a redução do nível de compactação do solo.

6 CONCLUSÕES

As seguintes conclusões puderam ser extraídas do trabalho:

- Não foi verificada discrepância acentuada entre as áreas de agricultura e floresta de eucalipto em relação a densidade do solo;
- O solo da área de agricultura apresentou maiores valores de resistência à penetração em comparação com o solo de povoamento de eucalipto, sendo que para este, os valores críticos foram encontrados apenas na profundidade de 45 a 60 cm;
- Com relação à umidade volumétrica do solo, a área de agricultura foi onde se registrou maior umidade, sendo devido à precipitação direta sobre o solo estocando mais água do que em área florestal.

7 REFERÊNCIAS

- ALVES, M.C.; SUZUKI, L.E.A.S. Influência de diferentes sistemas de manejo do solo na recuperação de suas propriedades físicas. **Acta Scientiarum**, v.26, p.27-34, 2004.
- 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, n.3, p.197-204, 2000.
- ARSHAD, M.A.; LOWERY, B.; GROSSMAN, B. Physical tests for monitoring soil quality. In: DORAN, J.W.; JONES, A.J. (Eds.) **Methods for assessing soil quality**. Madison: Soil Science Society of America, 1996. p.123-141.
- BARNES, K.K; CARLETON, W.M.; THROCKMORTON, R.I.; BERG, G.E.van den. **Compaction of agricultural soils**, St.Joseph, American Society Agricultural Engeneering Monograph, 1971. 471p.
- BAVER, L.D.; GARDNER, W.H; GARDNER, W.R. Soil structure: classification and genesis. In: Baver, L. D.; Gardner, W. H.; Gardner, W.R. **Soil Physics**. New York, John Wiley, v.4, p. 130-177. 1972.
- BENNIE, A.T.P. Growth and mechanical impedance. In: WAISEL, Y.; ESHEL, A.; KAFKAFI, U. (Eds.) **Plant roots: the hidden half**. 2. ed. New York:Marcel Dekker, 1996. p.453-470.
- BERTOL, I. Degradação física do solo sob a cultura do alho. **Revista Agropecuária Catarinense**, Florianópolis, v.2, n.2, p.47-50, 1989.
- BOONE, F.R.; VEEN, B.W. **Mechanisms of crops responses to soil compaction**. In: SOANE, B.D.; VAN OUWERKWRK, C. **Soil compaction in crop production**. Amsterdam: Elsevier, 1994. p.237-264.
- BOTTA, G.F.; JORAJURIA, D.; ROSATTO, H.; FERRERO, C. Light tractor traffi c frequency on soil compaction in the Rolling Pampa region of Argentina. **Soil and Tillage Research**, v.86, p.9-14, 2006.
- BOTTA, G.F.; RIVERO, D.; TOURN, M.; BELLORA MELCON, F.; POZZOLO, O.; NARDON, G.; BALBUENA, R.; TOLON BECERRA, A.; ROSSATTO, H.; STADLER, S. Soil compaction produced by tractor with radial and cross-ply tyres in two tillage regimes. **Soil and Tillage Research**, v.101, p.44-51, 2008.
- BOTTEGA, E.L.; BOTTEGA, S.P.; SILVA, S.A.; QUEIROZ, D.M.; SOUZA, C.M.A.; RAFULL, L.Z.L. Variabilidade espacial da resistência do solo à penetração em um Latossolo Vermelho distroférico. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v.6, n.2, p.331-336, 2011.
- BRADY, N.C.; WEIL, R.R. **The nature and properties of soils**. 14th ed. New Jersey: Prentice Hall, 2008. 975p.

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, n.4, p.605-614, 2006.

BUENO, B.S.; VILAR, O.M. **Mecânica dos solos**. São Carlos: USP/EESC, 1998.

BUSSCHER, W.J. Adjustment of flat-tipped penetrometer resistance data to a common water content. **Transactions of the American Society of Agriculture Engineering**, v.3, p.519-524, 1990.

BUSSCHER, W.J.; BAUER, P.J.; CAMP, C.R.; SOJKA, R.E. Correction of cone index for soil water content differences in a coastal plain soil. **Soil Till. Res.**, 43:205-217, 1997.

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

CASTRO, A. R. **Resistência à penetração do solo em sistema grossilvipastoril, na região de cerrado do noroeste de Minas Gerais**. Lavras, UFLA, 2001, 47p.

CENTURION, J.F.; DEMATTÊ, J.L.I. Sistemas de preparo de solos de cerrado: Efeitos nas propriedades físicas e na cultura do milho. **Pesq. Agropec. Bras.**, 27:315-324, 1992.

COSTA, A.M.; SOUZA, M.A.S.; SILVA JUNIOR, A.M.; FALQUETO, R.J.; BORGES, E.N. Influência da cobertura vegetal na densidade de três solos do cerrado. In: **Anais. II Simpósio Regional de Geografia**. Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia – MG. 2003.

DE VITA, P.; DI PAOLO, E.; FECONDO, G.; DI FONZO, N.; PISANTE, M. No-tillage and conventional tillage effects on durum wheat yield, grain quality and soil moisture content in southern Italy. **Soil and Tillage Research**, v.92, p.69-78, 2007.

DIENARDIN, J.E.; KOCHHANN, R.A.; DENARDIN, N.D. Considerações sobre adensamento e compactação em manejo de Latossolos. In: CINTRA, F.L.D.; ANJOS, J.L.; IVO, W.M.P.M., (Eds.) **WORKSHOP COESÃO EM SOLOS DOS TABULEIROS COSTEIROS**, Aracaju, 2001. **Anais**. Aracaju, Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2001. p. 317-325.

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA, 1998
<http://www.cpa.embrapa.br/publicacoes>. Acessado em 21 de junho de 2014.

FELFILI, J.M.; REZENDE, A.V.; SILVA JÚNIOR, M.C.; SILVA, M.A. 2000. Changes in the floristic composition of Cerrado sensu stricto in Brazil over a nine-year period. **Journal of Tropical Ecology** 16: 579-590

FERNANDES, H.C.; SOUZA, A.P. Compactação de solos florestais: uma questão para estudo. **Revista Árvore**, v.25, p.387-392, 2001.

FERNANDES, H.C.; SOUZA, A.P. Compactação de um Latossolo Vermelho causada pelo tráfego do "Forwarder". **Revista Árvore**, v.27, p.279-284, 2003.

FOLONI, J.S.S.; LIMA, S.L.; BÜL, L.T. Crescimento aéreo e radicular da soja e de plantas de cobertura em camadas compactadas de solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.30, p.49-57, 2006.

GENRO JUNIOR, S.A.; REINERT, D.J.; REICHERT, J.M. Variabilidade temporal da Ci. Fl., v. 22, n. 4, out.-dez., 2012 resistência à penetração de um Latossolo argiloso sob semeadura direta com rotação de culturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.28, p.477-484, 2004.

GUPTA, S.C; ALLMARAS; R.R. Models to assess the susceptibility of soil to excessive compaction. *Adv. Soil Sci. Soc*, 6:65-100, 1987.

HILLEL, D. **Environmental soil physics**. San Diego, Academic Press, 1998. 771p.

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

LANZANOVA, M.E. et al. Atributos físicos do solo em sistema de integração lavoura-pecuária sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.31, p.1131-1140, 2007.

LARSON, W.E.; GUPTA, S.C. ; USECHE, R.A. Compression of agricultural soils from eight soil orders. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, 44:450-457, 1984.

IBANO, A.M. ; FELFILI, J.M. 2006. Mudanças temporais na composição florística e na diversidade de um Cerrado sensu stricto do Brasil Central em um período de 18 anos (1985-2003). **Acta Botanica Brasilica**, 20:927-936.

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

LIMA, C.L.R.; REINERT, D.J.; REICHERT, J.M.; SUZUKI, L.E.A.S. Compressibilidade de um Argissolo sob plantio direto escarificado e compactado. **Ciência Rural**, v.36, p.1765-1772, 2006.

MAKKONEN, I. Choosing a wheeled shortwood forwarder. **FERIC Technical Note**, n.136, p.1-12, 1989.

MARTINS, S. S. Impactos da exploração madeireira em florestas nativas sobre alguns atributos físicos do solo. **Revista Árvore**, v.22, p.69-76, 1998.

PEARSON, R.W. Soil environment and root development. In: PIERRE, W.H.; KKIRKHAM, D.; PESEK, S.; SHAW, R., (Eds.). *Plant environment and efficient water use*. Madison, **American Society of Agronomy**, 1966. p.95-126.

PIRES, R.C.M.; ARRUDA, F.B.; FUJIWARA, M.; SAKAI, E.; BORTOLETTO, N. **Profundidade do sistema radicular das culturas de feijão e trigo sob pivô central**. *Bragantia*, Campinas, 50:153-162, 1991.

PRINGLE, M.J.; LARK, R.M. Scale- and location-dependent correlations of soil strength and the yield of wheat. **Soil and Tillage Research**, v.95, p.47-60, 2007.

REICHARDT, K. **Processos de transferência no sistema solo-planta-atmosfera**. 4ª. ed. Campinas, Fundação Cargil, 1985. 466p.

REICHARDT, K. **A água em sistemas agrícolas**. São Paulo, 1987.188p.

REICHERT, J.M.; CABEDA, M.S.V. Salpico de partículas e selamento superficial em solos do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 16:389-396, 1992.

REICHERT, J. M. Tópicos em Ciência do Solo, Viçosa: **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, 2007. p.49-134.

REICHERT, J.M. et al. Reference bulk density and critical degree-of-compactness for no-till crop production in subtropical highly weathered soils. **Soil; Tillage Research**, v.102, p.242-254, 2009.

REINERT, D.J.; COLLARES, G.L.; REICHERT, J.M. Penetrômetro de cone com taxa constant de penetração no solo: Desenvolvimento e teste de funcionalidade. **Engenharia Agrícola**, 27:304-316, 2007.

RIBON, A.A.; TAVARES FILHO, J. Model propositions for the estimation of the physical quality of a Yellow Red Latosol (Oxisol) under pasture. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v.47, p.25-31, 2004.

SCHAFFRATH, V. R.; TORMENA, C.A.; FIDALSKI, J.; ANDRADE GONÇALVES, A. C. Variabilidade e correlação espacial de propriedades físicas de solo sob plantio direto e preparo convencional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.32, n.4, p.1369-1377, 2008.

SCHULTZ, L.A. **Manual de plantio direto – Técnicas e perspectivas**. Porto Alegre, Agropecuária, 1978. 84p.

SHIERLAW, J.; ALSTON, A.M. Effect of soil compaction on root and uptake of phosphorus. **Plant Soil**, The Hague, 77:15-28, 1984.

SILVA, E.A.A.; URIBE-OPAZO, M.A.; ROCHA, J.V.; SOUZA, E.G. Um Estimador robusto e o semivariograma cruzado na análise de variabilidade espacial de atributos do solo e planta. **Acta Scientiarum**, Maringá, v.25, n.2, p.365-371, 2003.

SILVA, S. R.; BARROS, N.F.; VILAS BOAS, J.E.B. Crescimento e nutrição de eucalipto em resposta à compactação de latossolos com diferentes umidades. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.30, p.759-768, 2006.

STOLF, R.; FERNANDES, J. ; FURLANI NETO, V. **Recomendação para uso do penetrômetro de impacto modelo IAA/Planasulcar-Stolf**. R. STAB – Açúcar, Álcool e Subpr., 1:18-23, 1963.

STRUDLEY, M.W.; GREEN, T.R.; ASCOUGH, J.C. Tillage effects on soil hydraulic properties in space and time: state of the science. **Soil and Tillage Research**, v. 99, p.4-48, 2008.

SUZUKI, L.E.A.S.; REICHERT, J.M.; REINERT, D.J.; LIMA, C.L.R. de. Grau de compactação, propriedades físicas e rendimento de culturas em Latossolo e Argissolo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.42, p.1159-1167, 2007.

TIMM, L.C.; PIRES, L.F.; ROVERATTI, R.; ARTHUR, R.C.J.; REICHARDT, K.; OLIVEIRA, J.C.M.; BACCHI, O.O.S. Field spatial and temporal patterns of soil water content and bulk density changes. **Sci. agric.** 2006, vol. 63, n.1, p.55-64.

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**, 22:573-581, 1998.

USDA. Soil Survey Division Staff. **Soil survey manual**. Washington, DC, USA, 1993. 437p. (Handbook, 18).

VEEN, B.W.; BOONE, F.R. The influence of mechanical resistance and soil water on the growth of seminal roots of maize. **Soil Till. Res.**, Amsterdam, 16:219-226, 1990.

WILDING, L.P.; LIN, H. Advancing the frontiers of soil science towards a geosciences. **Geoderma**, Amsterdam, v.131, n.3-4, p. 257-274, 2006.