

## QUALIDADE DO SOLO E PRODUTIVIDADE DE *Pinus taeda* NO PLANALTO CATARINENSE

### SOIL QUALITY AND YIELD OF *Pinus taeda* IN THE PLANALTO CATARINENSE REGION

Cedinara Arruda Santana Morales<sup>1</sup> Jackson Adriano Albuquerque<sup>2</sup> Jaime Antonio de Almeida<sup>2</sup>  
Jacson Marcelo Marangoni<sup>3</sup> James Stahl<sup>4</sup> Djalma Miler Chaves<sup>5</sup>

#### RESUMO

Em áreas florestais, o uso contínuo do solo altera seus atributos físicos e geralmente deteriora sua qualidade, em decorrência do tráfego de máquinas nas operações florestais, com redução da produtividade das culturas. Diante disso, avaliou-se a relação entre a qualidade do solo em diferentes sítios com a produção de *Pinus taeda*, em solos do Planalto Catarinense. Foram utilizadas quatro fazendas, com dois sítios em cada uma delas, escolhidos pelo tipo de solo e produtividade da floresta (alta e baixa produtividade). Foi descrita a morfologia e amostras de solo foram coletadas em cada horizonte pedogenético para análises físicas e químicas. Existe grande variação nas características físicas dos perfis, especialmente na sequência e espessura dos horizontes. Foi constatada compactação na camada superficial dos perfis mais rasos, evidenciada pela maior densidade e/ou, resistência à penetração do solo, nos quais, a produtividade foi reduzida entre 14 a 36 %, comparados aos perfis mais profundos e com menor grau de compactação.

**Palavras-chave:** sítio florestal; atributos físicos e químicos do solo; manejo florestal.

#### ABSTRACT

In forest areas, the continual use of the soil alters its physical attributes and deteriorates its quality, in consequence of the traffic of machines used in forest operations, resulting in lower yields of crops. The relationship between soil quality at different sites and the production of *Pinus taeda* was evaluated in soils of the Planalto Catarinense region. Four farms were used, with two sites on each farm, chosen for the soil type and yield of the forest. The soil morphology was described and samples were collected in each pedogenetic horizon for physical and chemical analyses. Great variation exists in the physical attributes of the profiles, especially in the sequence and thickness of the horizons. Compaction was verified in the surface layer of the shallow profiles, evidenced by the higher bulk density and, or, soil resistance to penetration. In these profiles, the yield was reduced by between 14 and 36%, compared to the deeper profiles with a smaller degree of compaction.

**Keywords:** forest sites; soil physical and chemical attributes; forest management.

#### INTRODUÇÃO

O *Pinus taeda* é uma das mais importantes espécies florestais em uso no sul do Brasil. A boa

produtividade e a qualidade da madeira da espécie têm feito com que ela seja uma das mais utilizadas para plantios (PALUDZYSZYN FILHO et al., 2001). Por muitos anos, teve como objetivo inicial

1. Engenheiro Florestal, Doutoranda do Programa de Pós-graduação em Engenharia Florestal, Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, Av. Roraima, 1000, CEP 97105-900, Santa Maria (RS). cedinarasm@mail.ufsm.br
2. Engenheiro Agrônomo, Dr. Professor do Departamento de Solos, Centro de Ciências Agroveterinárias, Universidade do Estado de Santa Catarina, Av. Luiz de Camões, 2090, CEP 88520-000, Lages (SC). Pesquisador CNPQ. Jackson.irai@gmail.com
3. Engenheiro Florestal, Centro de Ciências Agroveterinárias, Universidade do Estado de Santa Catarina, Av. Luiz de Camões, 2090, CEP 88520-000, Lages (SC). jacsonlight@yahoo.com.br
4. Engenheiro Florestal, M.Sc., Técnico da Empresa Klabin S.A., Av. Olinkraft, 6602, Bairro Igaras, CEP 88540-000, Otacílio Costa (SC). jstahl@klabin.com.br
5. Engenheiro Agrônomo, Dr., Consultor da Empresa Klabin S.A., Av. Olinkraft, 6602, Bairro Igaras, CEP 88540-000, Otacílio Costa (SC). dmchaves@klabin.com.br

Recebido para publicação em 20/05/2009 e aceito em 01/06/2010

suprir o setor de papel e celulose. Entretanto, com a crescente demanda de madeira e a forte pressão pela preservação das florestas nativas, sua produção também atende à demanda de madeira serrada e para laminação (MORO, 2005).

Atualmente, a área plantada de *Pinus* sp. no Brasil, atinge cerca de 1.808.336 ha, e os principais produtores são os estados do Paraná e Santa Catarina (ABRAF, 2008).

Numerosos estudos têm sido conduzidos para verificar as relações existentes entre o crescimento das florestas e os atributos físicos, químicos e biológicos dos solos, principais responsáveis pelo potencial produtivo de um sítio (SCHNEIDER e SCHNEIDER, 2008). O tráfego de máquinas na ocasião do plantio e na colheita ocasiona impactos contínuos e intensos no solo com redução de sua qualidade. Segundo DEDECEK e GAVA (2005), o impacto mais significativo nos atributos físicos do solo sob florestas ocorre em associação com operações de colheita, baldeio e subsequente preparo do solo e plantio do ciclo seguinte ou rebrota. Essas atividades alteram a estrutura e os atributos físico-hídricos do solo, dificultam o crescimento e a distribuição das raízes no solo e, conseqüentemente, o desenvolvimento das florestas.

Esses impactos ocasionados no solo resultam em preocupações com sua qualidade e com sua capacidade de manter uma produção de modo sustentável. No entanto, quantificar a qualidade do solo não é tarefa fácil; a dificuldade advém do fato de que a qualidade do solo depende de suas propriedades intrínsecas, de suas interações com o ecossistema e, ainda, de prioridades de uso, influenciadas inclusive, por aspectos socioeconômicos e políticos (COSTA et al., 2006).

Assim, o conhecimento da qualidade do solo de sítios florestais são fatores básicos na escolha de área para plantios de florestas, uma vez que a qualidade do solo interfere diretamente na produtividade de determinada área ou região.

O presente estudo objetivou relacionar a qualidade do solo em diferentes sítios de crescimento com a produção de *Pinus taeda*.

## MATERIAL E MÉTODOS

### Caracterização das áreas em estudo

O estudo foi realizado nas áreas da Empresa Klabin S.A., localizadas no Planalto Catarinense. O

clima é temperado, úmido, com chuvas distribuídas durante todo o ano, enquadrado como Cfb pela classificação de Köppen.

Os sítios estão localizados em quatro fazendas distribuídas em cinco municípios: Otacílio Costa, Bocaina do Sul, Palmeira, Ponte Alta e Alfredo Wagner. Em cada uma das quatro fazendas foram selecionados dois sítios, considerando-se a variação na produtividade da floresta e a classe de solo (Tabela 1). Assim, foram avaliados oito sítios, sendo quatro com produtividade superiores e quatro inferiores a 100 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>, acumulada no período de 6 anos (idade das florestas). Em todos os sítios, o plantio atual representa a terceira rotação de *Pinus taeda*. As colheitas das rotações anteriores foram feitas com o uso de Feller buncher, Harvesters e Skidders.

### Amostragem

O inventário florestal foi realizado em parcelas de 600 m<sup>2</sup> (20 m x 30 m) onde foram mensurados os diâmetros a altura do peito (DAPs) de todas as árvores e a altura (h) das dez primeiras árvores da primeira fileira e de seis árvores dominantes. Posteriormente foi calculado o volume (m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>) de cada sítio em que se definiram os sítios de alta e baixa produtividade (respectivamente superiores e inferiores a 100 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>).

Para a escolha do local onde foram abertas as trincheiras, em cada sítio de estudo, realizaram-se tradagens com a finalidade de escolher um perfil modal representativo. Posteriormente foram abertas trincheiras de 1 x 2 metros e profundidade até o substrato rochoso ou no máximo 2 metros de profundidade, quando o substrato rochoso não fosse encontrado.

Em cada perfil, foram separados os horizontes pedogenéticos, e realizadas a descrição geral e a morfológica do solo. Em cada horizonte, foram coletadas amostras compostas, oriundas de duas amostras simples, com estrutura alterada e duplicatas de amostras com estrutura preservada (anéis volumétricos com dimensões de 2,5cm de raio e altura de 2,5 e 5 cm) sendo os anéis de 2,5 cm de altura usados para realizar a curva de retenção de água no solo e os de 5 cm usados para densidade e porosidade por serem mais representativos em razão do maior volume.

No momento da coleta das amostras, foi determinada a resistência à penetração com penetrômetro analógico da marca Humboldt com

TABELA 1: Descrição dos sítios selecionados.

TABLE 1: Description of the selected sites.

Fazenda	Perfil	Coordenadas	Solo	Produção-m <sup>3</sup> /ha
Salto	1	27°27'28,3" S 50°14'19,3" W	Nitossolo Vermelho aluminico húmico - NVah	149
	2	27° 27'3,5" S 50°12'58,9" W	Neossolo Litólico húmico típico NLht	115
Figueiredo	3	27°39'10,3" S 49°51'1,6" W	Cambissolo Húmico aluminico típico - Chat	76
	4	27° 39'4,9" S 49°51'12,8" W	Cambissolo Húmico aluminico típico - Chat	88
Condessa	5	27° 27'25,2" S 50°09'27,2" W	Cambissolo Húmico aluminico típico - Chat	122
	6	27°26'7,8"S 50°8'4,1" W	Cambissolo Háplico alítico típico CXalts (Sômbrico)	86
Do Céu	7	27°36'7,8" S 49°18'21,4" W	Gleissolo Háplico alítico típico GXalt (Cripto gleissolo)	80
	8	27° 36'5,7" S 49°18'50,1" W	Cambissolo Húmico distrófico típico -CHdt	125
Fazenda	Perfil	Descrição do solo		
Salto	1	Muito profundo, <i>solum</i> superior a 2 m, situado no terço superior de encosta, sequência de horizontes A-B, pouca diferenciação entre os horizontes subjacentes, transições difusas ou graduais e bem a moderadamente drenado.		
	2	Pouco profundo, espessura do <i>solum</i> de 0,60 m, situado no terço superior de encosta (topo de elevação), sequência de horizontes A-R, pouca diferenciação entre os horizontes, transições abrupta e irregulares, bem a moderadamente drenado e com rochosidade presente a partir dos 0,45 a 0,60 m de profundidade.		
Figueiredo	3	Profundo, <i>solum</i> superior a 1,3 m, situado no terço superior de encosta, sequência de horizontes A-Bi-C, boa diferenciação entre os horizontes e transições claras, solo moderadamente drenado, com um horizonte Cg fortemente gleizado com mosqueados abundantes e estrutura maciça.		
	4	Muito profundo, <i>solum</i> superior a 2 m, situado no terço superior de encosta, sequência de horizontes A-Bi-C, pequena diferenciação entre os horizontes e transições abruptas e onduladas e moderadamente drenado.		
Condessa	5	Pouco profundo, <i>solum</i> inferior a 1 m, situado no terço superior de encosta sequência de horizontes A-Bi-BC-C, com diferenciação entre os horizontes e transição clara e plana e moderadamente drenado.		
	6	Pouco profundo, <i>solum</i> inferior a 1 m, situada no topo de elevação, não possui horizonte A provavelmente em razão das ações antrópicas. Têm sequência de horizontes B-C, diferenciação entre os horizontes e transições predominantemente claras e planas. Moderadamente drenado.		
Do Céu	7	Solo raso, <i>solum</i> de aproximadamente 0,15 m, situado no topo de elevação, sequência de horizontes A-C, diferenciação entre os horizontes e transições abrupta e ondulada e mal a imperfeitamente drenado.		
	8	Muito profundo, <i>solum</i> superior a 2 m, situado no terço superior de elevação, sequência de horizontes A-B, média diferenciação entre os horizontes e transições clara e ondulada e bem a moderadamente drenado.		

escala de 0 a 5 kg cm<sup>-2</sup>, e coleta de amostras para a determinação da umidade gravimétrica do solo.

A classificação dos solos foi realizada conforme critérios preconizados no Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos (EMBRAPA, 2006).

Amostras para determinação da estabilidade de agregados foram peneiradas entre 8,0 e 4,75 mm segundo o método de KEMPER e CHEPIL (1965) e os resultados foram expressos pelo diâmetro médio geométrico (DMG) pela equação:

$$DMG = EXP \left[ \sum_{i=1}^n \left( \frac{m_{Agr_i} - m_i \times \ln c_i}{T_{Agr} - m_i T} \right) \right]$$

Em que:  $m_{Agr_i}$  = massa de agregados em cada classe (g);  $m_i$  = massa de material não agregado, como cascalho e areia, em cada classe (g);  $T_{Agr}$  = massa de agregados da amostra inicial (g);  $m_i T$  = massa de material não agregado (cascalho e areia) em todas as classes (g);  $c_i$  = diâmetro médio da classe de agregados  $i$  (mm);  $\ln$  = logaritmo neperiano.

Trinta gramas de agregados foram colocados sobre a peneira com malha de 4,75 mm, imersos em água por 10 minutos e agitados com um curso vertical (sobe e desce) de 3,7 cm com 42 rotações por minuto. Após, foram retirados da água e os agregados de cada peneira foram passados para latas de alumínio, as quais foram levadas em estufa a 105° C até peso constante. As peneiras utilizadas para agitação em água foram as de tamiz: 4,75, 2,00, 1,00 e 0,25 mm.

A distribuição do tamanho de partículas foi determinada pelo método da pipeta (GEE e BAUDER, 1986), usando-se uma solução de hidróxido de Na (NaOH) como dispersante químico e em outra amostra apenas a água destilada para determinação da argila dispersa em água. Foram pesadas 50 g de solo, colocado em frasco de 150 mL, mais 70 mL de solução e duas esferas de acrílico. Os frascos foram agitados a 150 rpm por 2 horas. A fração areia foi separada por tamisamento em peneira de 0,053 mm. As frações silte (0,002 a 0,053 mm) e argila (< 0,002 mm) foram separadas por sedimentação e posterior pipetagem da argila em suspensão. As frações argila e areia foram calculadas após pesagem do material seco em estufa a 105°C e o silte foi calculado por diferença.

Com esses resultados foi obtido o teor de argila total (AT) e de argila dispersa em água (ADi)

e calculado o grau de floculação da argila:

$$GF = \frac{AT - ADi}{AT}$$

As amostras de solo com estrutura preservada foram coletadas em anéis volumétricos, acondicionadas em latas de alumínio, vedadas e levadas ao laboratório, para a determinação de: porosidade total (PT), macro e microporosidade em coluna de areia (faixa de tensão de 0 a 100 hPa) conforme descrito por REINERT e REICHERT (2006); densidade do solo ( $D_s$ ) pelo método do anel volumétrico; densidade de partículas ( $D_p$ ) pelo método do balão modificado (GUBIANI et al., 2006); a PT foi calculada utilizando-se a fórmula:

$$PT = 1 - \left( \frac{D_s}{D_p} \right) \text{ (BLAKE e HARTGE, 1986).}$$

Foi determinada a curva de retenção de água nas tensões de 6 kPa na coluna de areia e a 10, 33, 50, 100 e 1500 kPa na Câmara de Richards (KLUTE, 1986). A água disponível (AD) foi calculada pela diferença entre a água retida a 10 e 1500 kPa.

Foi realizada a análise da variância no delineamento de blocos ao acaso, sendo o fator principal os dois níveis de produtividade do *Pinus taeda*: alto (>100 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>) e baixo (<100 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>). Quando houve diferença significativa foram realizados testes de comparação de médias (Tukey a 5%).

Os atributos dos solos foram calculados, considerando a média ponderada por camadas (0 a 0,2; 0 a 0,4; 0 a 0,6 e 0 a 1 m) e também para os horizontes A e A + B.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A densidade do solo variou de 0,82 a 1,65 g cm<sup>-3</sup>, com mudanças significativas relacionadas às diferenças na textura e na estrutura do solo. Observou-se, na maioria dos perfis, menor densidade do solo na camada de 0 a 0,2 m (Figura 1), pois, nessa camada, o teor de matéria orgânica é maior, o que diminui a densidade, por efeito direto da menor densidade da matéria orgânica e pelo efeito indireto relacionado à maior agregação proporcionada pela matéria orgânica (MELLO et al., 1983). Além disso, ocorre intenso crescimento de raízes as quais melhoram a estabilidade dos agregados e aumentam a porosidade do solo após a senescência destas (CARPENEDO e MIELNICZUK, 1990).

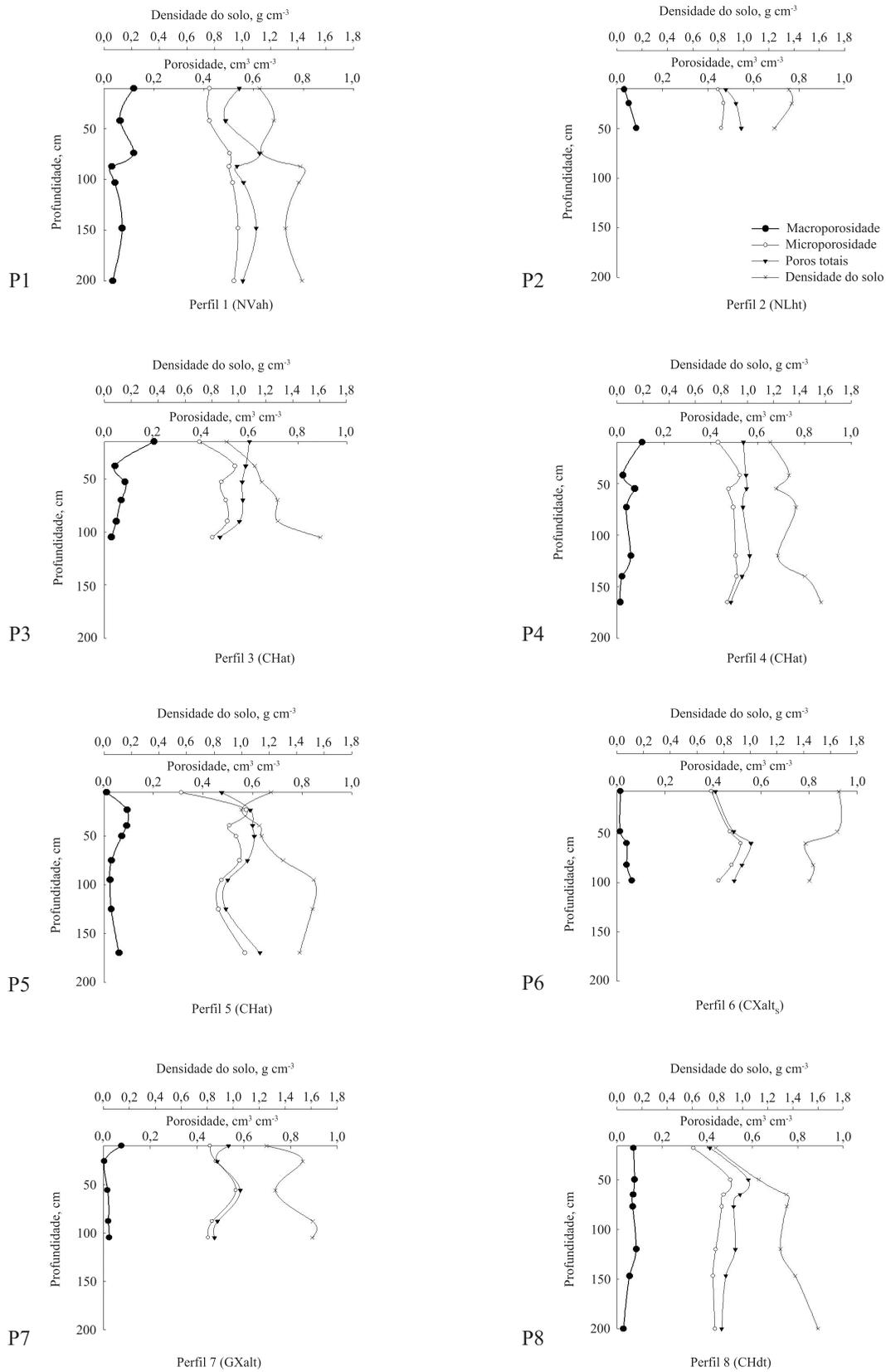


FIGURA 1: Densidade do solo, macro e microporosidade e porosidade total em cada horizonte dos perfis P1 (NVah), P2 (NLht), P3 (CHat), P4 (CHat), P5 (CHat), P6 (CXalt<sub>s</sub>), P7(GXalt) e P8 (CHdt).

FIGURE 1: Bulk density, macro and microporosity and total porosity in each horizon in the profiles P1 (NVah), P2 (NLht), P3 (CHat), P4 (CHat), P5 (CHat), P6 (CXalt<sub>s</sub>), P7(GXalt) and P8 (CHdt).

Nos perfis 3 (CHat), 5 (CHat) e 8 (CHdt), foi observado aumento sensível da densidade do solo em profundidade (Figura 1), atribuído aos processos pedogenéticos naturais. Porém, nos perfis 2 (NLht) e 6 (CXalts), a densidade foi maior nas camadas mais superficiais, o que pode estar relacionado com o menor teor de areia nos horizontes superficiais, mas também devido a pressão de máquinas que transitam sobre a superfície do solo. Em solos menos espessos, como no perfil 2 (NLht), as pressões das máquinas agrícolas proporcionam uma compactação maior, ou seja, toda a carga incide no perfil, e este, com menos espessura, não transfere a pressão para camadas mais profundas, resultando em camadas mais compactadas na superfície do solo. Nestes casos a qualidade do solo é baixa e os processos de trocas de gases e água ficam comprometidos. Nos perfis 6 (CXalts) e 7 (GXalt) (Figura 1) constatou-se as maiores densidades do solo, com valores considerados críticos para as plantas até a profundidade de 0,6 m (REICHERT e REINERT, 2003). Observou-se baixo volume de macroporos, próximo de  $0,04 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ , considerado crítico para o desenvolvimento e crescimento radicular, pois em grande parte do ano, a porosidade de aeração limita as trocas gasosas e prejudica as plantas.

Em um estudo com *Pinus ponderosa* de 17 anos, no sudeste do estado do Oregon, EUA, o aumento na densidade do solo em 26% foi associado a uma redução de 17% do crescimento em altura e 48% em volume de tronco; no estado de Washington, EUA, o aumento na densidade do solo foi associado a uma redução de 13% no crescimento em altura e de 33% em volume de tronco (SEIXAS, 2002).

Os valores críticos de densidade do solo para solos de textura franco-argilosa a argilosa estão em torno de  $1,50 \text{ g cm}^{-3}$  enquanto que para solos arenosos a franco arenosos por volta de  $1,85 \text{ g cm}^{-3}$  (CAMARGO, 1997), podendo ocorrer restrição ao desenvolvimento radicular por resistência mecânica e stress hídrico em períodos de menor umidade e por deficiência de aeração em períodos mais úmidos.

Para espécies florestais de rápido crescimento, GENT et al. (1984) consideram que valores de  $1,58 \text{ g cm}^{-3}$  em solos de textura argilosa na camada de 0 a 0,15 m são limitantes, sendo que, para a camada de 0,1 a 0,25 m quando os valores se aproximam de  $1,80 \text{ g cm}^{-3}$  o crescimento de raízes cessa. Embora exista uma dificuldade para definir e, conseqüentemente, adotar um valor crítico para a densidade do solo, REICHERT et al. (2003) por meio

de estudos com cultivo de ciclo curto, propuseram limites críticos de densidade estabelecidos conforme a classe textural do solo. Tais limites são de  $1,45 \text{ g cm}^{-3}$  para solos com textura argilosa ( $> 55 \text{ g } 100\text{g}^{-1}$  de argila),  $1,55 \text{ g cm}^{-3}$  para textura média ( $20 \text{ a } 55 \text{ g } 100\text{g}^{-1}$  de argila) e  $1,65 \text{ g cm}^{-3}$  para textura arenosa ( $< 20 \text{ g } 100\text{g}^{-1}$  de argila).

Nos perfis e camadas com maior densidade, geralmente, a porosidade total foi menor. Os perfis com maior restrição física em relação à porosidade do solo foram o perfil 2 (NLht) e o perfil 6 (CXalts) (Figura 1), sobretudo nas camadas superficiais.

A porosidade total nos diferentes sítios variou de  $0,42$  a  $0,60 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ . De acordo com PREVEDELLO (1996), a porosidade total, para a maioria dos solos, está dentro da faixa adequada, embora esta possa ter variações em função da textura, teor de matéria orgânica e compactação do solo. Segundo o mesmo autor, embora exista uma grande variação em relação à porosidade total dos solos, em solos arenosos, varia entre  $0,35$  a  $0,50 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ , enquanto para solos argilosos, varia entre  $0,40$  a  $0,65 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ .

Em seu estudo, com *Pinus taeda* em sítios com latossolos e cambissolos de textura média a argilosos, RIGATTO et al. (2005) verificaram que a camada de 0 a 0,1 m foi a que teve a maior porosidade total, uma vez que nesta a densidade do solo foi menor.

O volume de macroporos variou de  $0,01$  (camada 0-0,4 m no perfil 6 (CXalt)) a  $0,20 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$  (camada 0-0,2 m no perfil 3 - CHat) (Figura 1). A maioria dos horizontes tem volume de macroporos abaixo do limite crítico, com exceção dos horizontes Ap do perfil 1 (NVah), Ap do perfil 3 (CHat) e A<sub>1</sub> do perfil 4 (CHat). Os perfis 2 (NLht), 6 (CXalts) e 7 (GXalt) tiveram, em quase todos os horizontes, macroporosidade abaixo do limite crítico.

O volume de macroporos, nos perfis avaliados, é baixo em relação à quantidade de microporos, pois um solo ideal segundo PREVEDELLO (1996) deveria ter 1/3 de macroporos e 2/3 de microporos, além disso, deve ter volume de poros de aeração superior a  $0,10 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$  (TAYLOR e ASCROFT, 1972; HILLEL, 1998).

Na avaliação da estabilidade de agregados (Tabela 3), foi observado que, nos perfis com alta produtividade (acima de  $100 \text{ m}^3/\text{ha}$ ) o DMG, foi superior a 4 mm até a profundidade de 0,4 m. A maior estabilidade dos agregados foi nas camadas de 0,2 e 0,4 m, com médias de 4,9 e 4,5 mm respectivamente. Houve redução da estabilidade com a profundidade,

TABELA 2: Análise estatística dos teores médios de areia, silte, argila, grau de floculação (GF), silte/argila, densidade do solo (Ds) e resistência à penetração (RP) nas camadas de 0 a 0,2 m; 0 a 0,4 m; 0 a 0,6 m, 0 a 1 m, Horiz. A e Solum (A+B) nos perfis P1 (NVah), P2 (NLht), P3 (CHat), P4 (CHat), P5 (CHat), P6 (CXalts), P7 (GXalt) e P8 (CHdt).

TABLE 2: Statistical analysis of the average contents of sand, silt and clay, flocculation degree (GF), silt/clay, bulk (Ds) and resistance to penetration (RP) in the layers from 0 to 0.2 m; 0 to 0.4 m; 0 to 0.6 m, 0 to 1 m, A horizon and A + B horizon (Solum) in the profiles P1 (NVah), P2 (NLht), P3 (CHat), P4 (CHat), P5 (CHat), P6 (CXalts), P7 (GXalt) and P8 (CHdt).

Profundidade (m)	Produtividade	Areia	Silte	Argila	GF	Silt/Arg	Ds	RP
		g 100g <sup>-1</sup>			%		g cm <sup>-3</sup>	kg cm <sup>-2</sup>
0,2	Alta	31 a	35 a	34 a	30 a	1,0a	1,10 a	2,6 a
	Baixa	29 a	40 a	31 a	16 a	1,5a	1,31 a	3,3 a
Coef. variação (%)		22	25	10	42	37	13	23
0,4	Alta	30 a	34 a	36 a	33 a	1,0a	1,14 a	2,4 a
	Baixa	28 a	39 a	33 a	22 a	1,3a	1,34 a	3,3 a
Coef. variação (%)		26	23	8	36	26	10	23
0,6	Alta	28 a	34 a	38 a	34 a	0,9 a	1,17 a	2,3 a
	Baixa	28 a	37 a	35 a	26 a	1,2 a	1,34 a	3,0 a
Coef. variação (%)		26	21	7	29	23	8	24
1	Alta	27 a	33 a	40 a	32 a	0,9 a	1,24 b	2,3 a
	Baixa	26 a	37 a	36 a	25 a	1,1 a	1,37 a	2,6 a
Coef. variação (%)		23	23	10	27	22	3	27
A	Alta	29 a	34 a	37 a	35 a	0,9 b	1,16 a	2,4 a
	Baixa	27 a	44 a	29 a	20 a	1,9 a	1,20 a	3,0 a
Coef. variação (%)		14	19	10	27	18	11	16
A + B	Alta	25 a	34 a	41 a	47 a	0,9 a	1,28 a	2,3 a
	Baixa	27 a	40 a	33 a	30 a	1,6 a	1,32 a	2,7 a
Coef. variação (%)		17	28	16	46	69	9	27

fato também observado no trabalho de SILVA et al. (2005) quando analisaram os indicadores físicos de qualidade do solo em relação ao cerrado nativo e diferentes sistemas de manejo (plantio convencional e direto) em um Latossolo Vermelho-Amarelo Ácrico típico, na região Campos das Vertentes, na Bacia Alto do Rio Grande em Minas Gerais. No entanto, mesmo havendo redução do DMG em profundidade, o valor médio observado até 0,6 m de profundidade foi de 4,5 mm, o que indica solos com elevada estabilidade de agregados, sugerindo por meio desse atributo a manutenção da qualidade dos solos.

A água disponível (AD), compreendida entre potenciais matriciais de -10 a -1500 kPa, variou de 0,03 a 0,20 cm<sup>3</sup> cm<sup>-3</sup> e aumentou com a profundidade nos perfis 1 (NVah), 5 (CHat) e 6

(CXaltS), e decresceu nos perfis 2 (NLht), 3 (CHat), 4 (Chat), 7 (GXalt) e 8 (CHdt) (Figura 2), fato que pode ser justificado pela variação do teor de MO, da textura, distribuição do tamanho dos poros e densidade do solo.

O maior conteúdo de água disponível foi no perfil 3 (CHat) (Figura 2), na camada mais próxima a superfície, e o menor conteúdo foi no perfil 6 (CHat). Como as camadas mais superficiais do solo são as de maior importância para o suprimento de nutrientes, especialmente em plantios de *Pinus* em solos pobres em nutrientes e com drenagem excessiva (REISSMANN e WISNIEWSKI, 2005), as camadas com mais água disponível contribuem para uma melhor absorção de nutrientes e resultam em maior crescimento das plantas.

TABELA 3: Análise estatística dos teores médios de porosidade total (PT), macroporosidade, microporosidade, diâmetro médio geométrico (DMG), água disponível (AD), umidade gravimétrica (Ug) e umidade volumétrica (Uv) nas camadas de 0 a 0,2 m; 0 a 0,4 m; 0 a 0,6 m, 0 a 1 m, Horiz. A e Solum (A+B) nos perfis P1 (NVah), P2 (NLht), P3 (CHat), P4 (CHat), P5 (CHat), P6 (CXalts), P7 (GXalt) e P8 (CHdt).

TABLE 3: Statistical analysis of the averages contents of total porosity (PT), macroporosity, microporosity, geometric mean diameter (DMG), available water (AD), gravimetric water content (Ug) and volumetric water content (Uv) in the layers from 0 to 0,2 m; 0 to 0,4 m; 0 to 0,6 m, 0 to 1 m, A horizon and A + B horizon (Solum) in the profiles P1 (NVah), P2 (NLht), P3 (CHat), P4 (CHat), P5 (CHat), P6 (CXalts), P7 (GXalt) and P8 (CHdt).

Profundidade	Produtividade	PT	Macro	Micro	DMG	AD	Ug	Uv
		cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup>			mm	g g <sup>-1</sup>		cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup>
0,2	Alta	0,50 a	0,07 a	0,43 a	4,9 a	0,09a	0,29 a	0,32 a
	Baixa	0,53 a	0,08 a	0,45 a	4,0 a	0,14a	0,24 a	0,31 a
Coef. variação (%)		11	78	15	17	34	13	14
0,4	Alta	0,53 a	0,07 a	0,45 a	4,5 a	0,10a	0,28 a	0,32 a
	Baixa	0,53 a	0,05 a	0,48 a	4,1 a	0,13a	0,24 a	0,32 a
Coef. variação (%)		8	55	9	18	29	13	11
0,6	Alta	0,54 a	0,07 a	0,47 a	4,1 a	0,11a	0,28 a	0,33 a
	Baixa	0,54 a	0,05 a	0,49 a	3,9 a	0,12a	0,24 a	0,32 a
Coef. variação (%)		7	34	7	17	15	11	9
1	Alta	0,54 a	0,07 a	0,47 a	3,9 a	0,10a	0,27 a	0,33 a
	Baixa	0,53 a	0,05 a	0,48 a	3,7 a	0,11a	0,24 a	0,33 a
Coef. variação (%)		4	26	6	13	13	10	10
A	Alta	0,54 a	0,08 a	0,47 a	4,2 a	0,10a	0,28 a	0,32 a
	Baixa	0,55 a	0,08 a	0,48 a	4,1 a	0,13a	0,25 a	0,30 a
Coef. variação (%)		4	41	2	15	17	10	7
A+B	Alta	0,54 a	0,06 a	0,48 a	3,6 a	0,10a	0,26 a	0,33 a
	Baixa	0,52 a	0,05 a	0,47 a	3,8 a	0,09a	0,23 a	0,30 a
Coef. variação (%)		10	40	8	9	22	12	5

Em seu estudo, RIGATTO et al. (2005) verificaram, de maneira geral, que a camada de 0 a 0,1 m foi a que apresentou as maiores quantidades de água disponível. Os menores incrementos de produtividade foram observados nos solos de textura arenosa e média, que possuem acentuada drenagem interna e baixa capacidade de retenção de água, portanto mais suscetíveis à deficiência hídrica (GONÇALVES, 2002).

Na maioria dos sítios, a resistência à penetração foi maior nos horizontes superficiais e

diminuiu com a profundidade, provavelmente em consequência da compactação causada pelo tráfego das máquinas na ocasião do plantio e da colheita e o menor teor de água nos horizontes mais superficiais (Figura 3). Exceção foi o perfil 8 (CHdt) no qual ocorreu o contrário, apesar de não existir diferença na textura desse perfil. Os perfis 1 (NVah), 5 (CHat), 7 (GXalt) e 8 (CHdt) tiveram, na camada mais superficial, a menor resistência à penetração, próximo de 2,5 kg cm<sup>-2</sup> enquanto que, nos demais perfis, a resistência à penetração foi próxima de 3,5 kg cm<sup>-2</sup>.

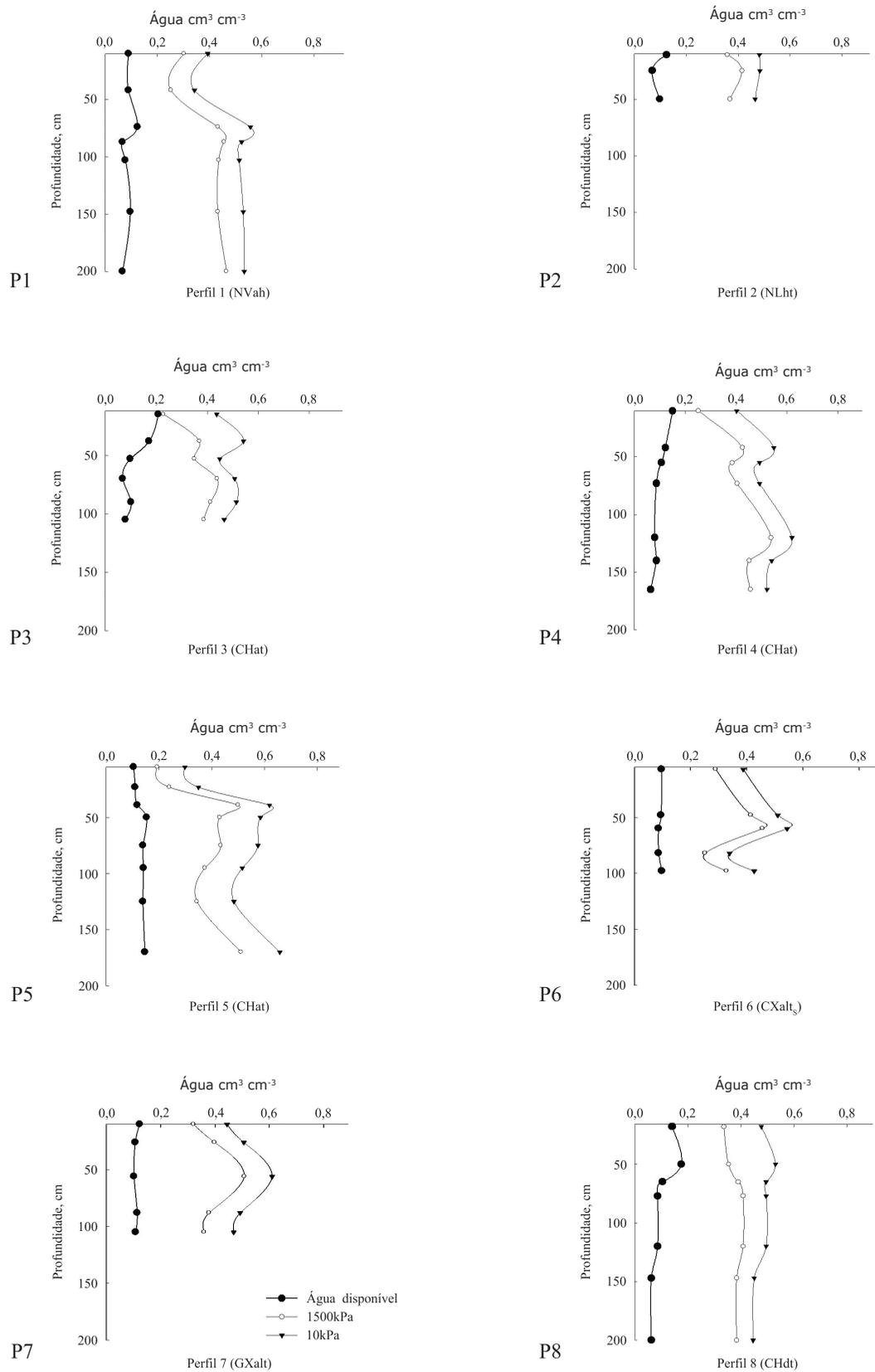


FIGURA 2: Conteúdo de água disponível em cada horizonte nos perfis P1 (NVah), P2 (NLht), P3 (CHat), P4 (CHat), P5 (CHat), P6 (CXalt<sub>s</sub>), P7 (GXalt) e P8 (CHdt).

FIGURE 2: Content of available water in each horizon in the profiles P1 (NVah), P2 (NLht), P3 (CHat), P4 (CHat), P5 (CHat), P6 (CXalt<sub>s</sub>), P7 (GXalt) and P8 (CHdt).

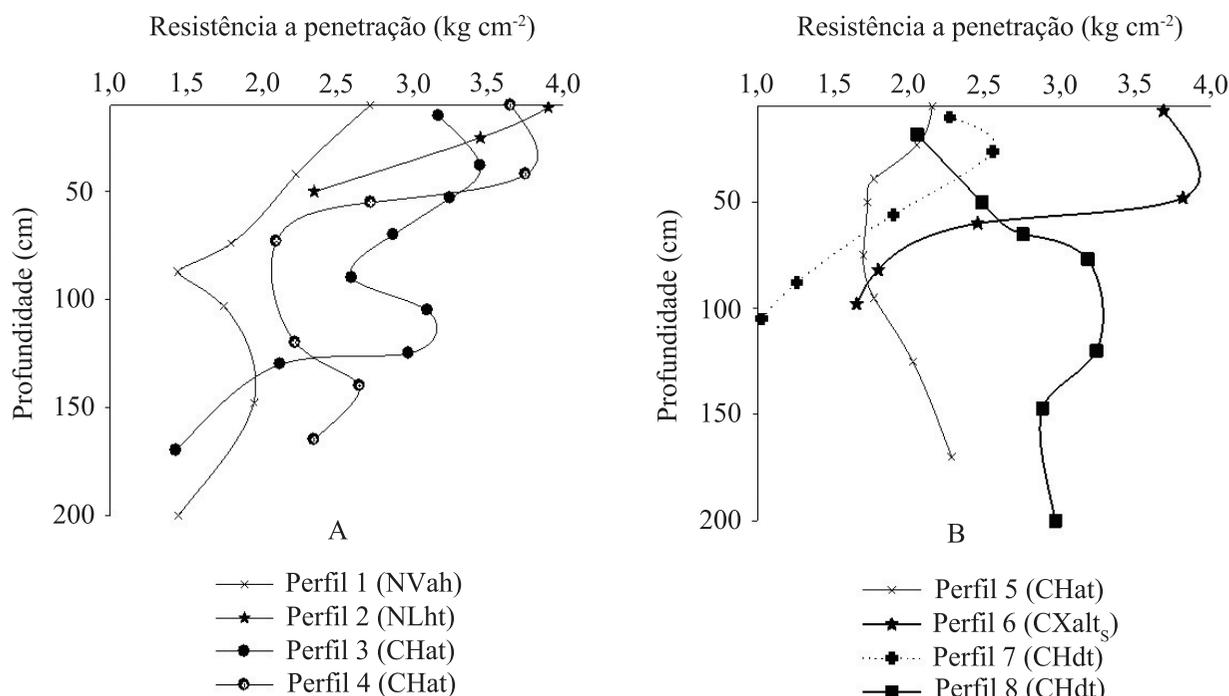


FIGURA 3: Resistência à penetração nos horizontes dos perfis P1 (NVah), P2 (NLht), P3 (CHat) e P4 (CHat) (Figura A) e P5 (CHat), P6 (CXalt<sub>s</sub>), P7 (GXalt) e P8 (CHdt) (Figura B).

FIGURE 3: Resistance to penetration in each horizon in the profiles P1 (NVah), P2 (NLht), P3 (CHat) e P4 (CHat) (Figure A) e P5 (CHat), P6 (CXalt<sub>s</sub>), P7 (GXalt) and P8 (CHdt) (Figure B).

Para um mesmo teor de água, a resistência à penetração é diretamente relacionada com a densidade do solo, sendo ambos, atributos indicadores de compactação do solo. Alguns pesquisadores sugerem que a densidade não é o mais importante fator que limita o crescimento radicular, mas, sim, a resistência que o solo oferece ao crescimento das raízes, que pode ser medida por um penetrômetro (REICHERT et al., 2003). No entanto, como existe relação da resistência à penetração com a umidade, é um atributo muito variável com o tempo, pois em um período mais seco a resistência à penetração pode ser maior que em períodos mais úmidos, enquanto que a densidade é mais estável em relação à umidade e depende mais da compactação do solo.

A resistência mecânica é dependente da umidade do solo e diminui quando a umidade aumenta. Isso ocorre porque, à medida que o solo seca, os agentes cimentantes que estão na solução se concentram próximos dos pontos de contato e as forças de coesão aumentam. Além disso, diminui o efeito lubrificante da água (SILVA et al., 2002).

Em geral se verificou que a produtividade

dos sítios foi maior nos perfis mais profundos, com menores densidade e resistência a penetração do solo, como observado no perfil 1 (NVah). Na fazenda Condessa, o Perfil 5 (Chat) foi o mais produtivo e também o mais profundo e com menor densidade comparado ao Perfil 6 (CXalt<sub>s</sub>) de menor produtividade, mais denso e com maior resistência à penetração (Figura 3). Nesse solo, observou-se nítida compactação, o que dificultou também a coleta de anéis para determinações de densidade e porosidade.

A relação silte/argila indicou teores mais altos de silte nos solos de baixa produtividade (Tabela 2). A relação silte/argila caracteriza solos com menor grau de intemperismo, geralmente com menor profundidade do perfil.

De maneira geral, nos perfis com profundidade próxima ou inferior a 1 m, a produtividade foi inferior aos correspondentes mais profundos em cada fazenda. Era esperado que, nos perfis com melhor qualidade, a produtividade fosse maior. No entanto, isso não foi observado estatisticamente, possivelmente em razão do elevado CV para algumas variáveis analisadas (Tabela 2 e 3).

## CONCLUSÃO

Ossolos dos sítios estudados possuem grande variação em seus atributos físicos, especialmente na sequência e espessura dos horizontes e na densidade do solo, com presença de compactação na camada mais superficial dos perfis mais rasos.

Em geral se verificou que a produtividade dos sítios foi maior nos perfis mais profundos, com menores densidade e resistência a penetração do solo. A estabilidade dos agregados diminuiu com a profundidade, no entanto, o valor médio observado até 0,6 m de profundidade indicam solos com elevada estabilidade de agregados. A maioria dos horizontes apresentaram volume de macroporos abaixo do limite crítico, com exceção dos horizontes Ap do perfil 1 (NVah), Ap do perfil 3 (CHat) e A<sub>1</sub> do perfil 4 (CHat). A água disponível aumentou com a profundidade em alguns perfis e decresceu em outros, fato que pode ser justificado pela variação do teor de MO, da textura, distribuição do tamanho dos poros e densidade do solo.

Diferenças na qualidade do solo influenciam a produtividade do *Pinus taeda*. Os sítios com menor espessura do Solum, com maior densidade do solo e resistência à penetração, indicativos de compactação, são menos produtivos.

## AGRADECIMENTOS

À UDESC, ao CNPq e à empresa Klabin S.A. que cedeu às áreas experimentais e forneceu recursos materiais e humanos para os trabalhos de campo.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRAF. **Anuário estatístico da ABRAF**: ano base 2007/ABRAF. Brasília, 2008. 87 p.  
BLAKE, G. R.; HARTGE, K.H. Bulk density. In: CAMARGO, O. A. **Compactação do solo e o desenvolvimento das plantas**. Piracicaba: Abril, 1997. 132 p.  
CARPENEDO, V. & MIELNICZUK, J. Estado de agregação e qualidade de agregados de Latossolo Roxo submetidos a diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 14, p. 99-105, 1990.  
COSTA, E. A. et al. Qualidade de solo submetido a sistemas de cultivo com preparo convencional e plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, n. 7, p. 1185-1191, jul. 2006.

DEDECEK, R.A.; GAVA, J.L. Influência da compactação do solo na produtividade da rebrota de eucalipto. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 29, n. 3, p. 383-390, maio/jun. 2005.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006.

GEE, G. W.; BAUDER, J. Particle-size analysis. In: KLUTE, A. **Methods of soil analysis**. 2<sup>nd</sup> ed. Madison, American Society of Agronomy, 1986. p.383-412.

GENT Jr., J.A. et al. Impact of site preparation on physical properties of Piedmont forest soils. **Soil Science Society American Journal**, Madison, v. 48, p. 173-177, 1984.

GONÇALVES, J. L. M. Conservação do solo. In: GONÇALVES, J. L. M.; STAPE, J. L. **Conservação e cultivo de solos para plantações florestais**. Piracicaba: IPEF, 2002. 498 p.

GUBIANI, P. I. et al. Método alternativo para a determinação da densidade de partículas do solo: exatidão, precisão e tempo de processamento. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 36, n. 2, p. 664-668. mar./abr. 2006.

HILLEL, D. **Environmental soil physics**. San Diego. Harcourt Brace & Company, 1998.771 p.

KEMPER, W. D.; CHEPIL, W. S. Size distribution of aggregates. In: BLACK C. A.; EVANS, D. D.; WHITE, J. L. (eds.) **Methods of soil analysis**. Madison: American Society of Agronomy 1965. p. 499-510.

KLUTE, A. Water retention: laboratory methods. In: KLUTE, A. **Methods of soil analysis**. 2nd ed. Madison, American Society of Agronomy, 1986. p. 635-662.

MELLO, F. A. F. et al. **Fertilidade do solo**. 3. ed. São Paulo, Nobel, 1983. 400 p.

MORO, L. **Exportação de nutrientes em povoamentos de *Pinus taeda* baseada em volume estimado pelo sistema SISPINUS**. 2005. 113 f. Dissertação (Doutorado em Ciências Florestais)– Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005.

PALUDZYSZYN FILHO, E. et al. Interação de genótipo de *Pinus taeda* L. com locais no sudeste do Brasil. **Revista Cerne**, vol.7, nº 01. Lavras, Brasil. p. 90-100.

PREVEDELLO, C. L. **Física do solo com problemas resolvidos**. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 1996. 446 p.

REICHERT, J. M. et al. Qualidade dos solos e sustentabilidade de sistemas agrícolas. **Ciência &**

**Ambiente**, v. 27, p. 29-48. jul./dez. 2003.

REINERT, D. J.; REICHERT, J. M. Coluna de areia para medir a retenção de água no solo – protótipo-teste. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 36, n. 6, p. 1931-1935. nov./dez. 2006.

REISSMANN, C. B.; WISNIEWSKI, C. Aspectos nutricionais de plantios de *Pinus*. In: GONÇALVES, J.L.M.; BENEDETTI, V. 4. ed. **Nutrição e fertilização florestal**. Piracicaba: IPEF, 2005. p. 135-166.

RIGATTO, P. A. et al. Influência dos atributos do solo sobre a produtividade de *Pinus taeda*. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 29, n. 5, p. 701- 709, set./out. 2005.

SCHNEIDER, P. R.; SCHNEIDER, P. S. P.

**Introdução ao manejo florestal**. 2. ed. Santa Maria: FACOS-UFSM, 2008. 566 p.

SEIXAS, F. Efeito físico da colheita mecanizada de madeira sobre o solo. In: GONÇALVES, J. L. M.; SILVA, A. P. da. et al. Avaliação da compactação de solos florestais In: GONÇALVES, J. L. M.; SILVA, R. R. et al. Atributos físicos indicadores da qualidade do solo sob sistemas de manejo na bacia do alto do Rio Grande MG. **Ciência Agrotécnica**, Lavras, v. 29, n. 4, p. 719-730, jul./ago., 2005.

TAYLOR, S.A.; ASHCROFT, G.L. **Physical edaphology - The physics of irrigated and non irrigated soils**. San Francisco, W.H. Freeman and Company, 1972. 532 p.