

INFLUÊNCIA DOS ATRIBUTOS DO SOLO SOBRE A PRODUTIVIDADE DE *Pinus taeda*¹

Patrícia Aparecida Rigatto², Renato Antônio Dedecek³ e Jorge Luis Monteiro de Mattos²

RESUMO – O presente trabalho analisou os efeitos dos atributos do solo sobre a produtividade de *Pinus taeda*, em áreas da Klabin, em Telêmaco Borba, PR. Foram analisados oito sítios com árvores de 12 anos de idade, os quais foram selecionados pelo tipo de solo, textura e vegetação primária. Para a caracterização dos sítios foram realizadas coletas de amostras em três profundidades, sendo coletadas amostras indeformadas e amostras compostas, analisando-se as seguintes variáveis no solo: densidade global, porosidade total, macroporosidade, disponibilidade de água, fertilidade e granulometria. Selecionaram-se cinco árvores médias por sítio, nas quais foram medidas altura total, altura comercial e DAP. Os resultados foram: solos de textura argilosa, independentemente da classe a que pertencem, os quais propiciaram maiores produtividades do *Pinus taeda*. Percebeu-se, de maneira geral, que essa produtividade é afetada pelas alterações geradas nos atributos físicos e químicos do solo, o que contraria vários estudos, que confirmaram que os atributos químicos do solo só apresentavam efeitos sobre a produtividade quando considerados em conjunto.

Palavras-chave: fertilidade do solo, atributos do solo e produtividade.

INFLUENCE OF SOIL ATTRIBUTES ON *Pinus taeda* PRODUCTIVITY

ABSTRACT – The present work analyzed the effects of soil attributes on *Pinus taeda* productivity. This work was conducted at Klabin, in Telêmaco Borba-PR. Eight different sites growing twelve-year-old trees were analyzed. These sites were selected based on the soil type, texture and primary vegetation. Soil sampling at 3 depths was carried out to characterize the site. Undisturbed and bulk soil samples were collected. The studied soil variables were: bulk density, total porosity, macroporosity, water availability, fertility and particle size distribution. Five medium trees were selected per site, taking the measures total and commercial height, and DBH. The mainly found results were as follows: clay soils were more productive, regardless of soil class they belonged to. Generally, *Pinus taeda* productivity is influenced by alterations occurred in physical and chemical soil attributes. These findings contradict several reported studies that soil chemical attributes had effect on productivity only when considered in groups.

Keywords: soil fertility, soil attributes, and productivity.

¹ Recebido em 16.06.2003 e aceito para publicação em 10.08.2005.

² Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal da Universidade Federal do Paraná, Rua Lothario Meissner 3400, 80210-170 Curitiba-PR. E-mail: <patyrigatto@yahoo.com.br>; <jmatos@ufpr.br>.

³ Engenheiro-Agrônomo, Ph. D. e pesquisador do Centro Nacional de Pesquisa de Florestas – Embrapa, Estrada da Ribeira, km 111, Caixa Postal 319, 83411-000 Colombo-PR. E-mail: <dedecek@cnpf.embrapa.br>.

1. INTRODUÇÃO

Um dos maiores problemas enfrentados pela maioria das empresas florestais é a falta de informações fidedignas sobre o potencial do solo em produzir madeira. Essas informações são de elevada importância para a execução de um plano de manejo, o qual é essencial ao bom desenvolvimento de qualquer empreendimento florestal. Estudos de caracterização de sítios florestais permitem avaliações quantitativas do potencial do solo em produzir madeira. Para a pesquisa florestal, o problema restringe-se em integrar todos os fatores do sítio de maneira a estimar a sua qualidade. Esta, de maneira geral, é avaliada através de fatores que apresentam estreita correlação com o crescimento (MENEGOL, 1991).

A capacidade produtiva de um sítio florestal pode ser avaliada, para determinado local, através da medição de fatores intrínsecos ou extrínsecos à biomassa florestal. Ortega e Monteiro (1988) destacaram, como fatores intrínsecos, a altura dominante ou média, o crescimento médio máximo, o volume total no final da rotação e a interceptação. Como fatores extrínsecos do biótipo: o clima, a litologia, a edafologia e a morfologia; e da biocenose: espécies indicadoras (sociologia) e associações indicadoras (fitossociologia). Essa capacidade produtiva depende, portanto, fundamentalmente, das condições do solo e do meio ambiente. A classe de solo agrega importantes informações, destacando-se a profundidade do solo, a classe textural, os níveis de nutrientes, o teor de matéria orgânica, a atividade química da fração coloidal e a presença de camadas compactadas que poderiam restringir o crescimento das raízes e a percolação de água. Com relação ao meio ambiente, as informações se referem, principalmente, à classe de relevo, ao material de origem do solo, ao tipo de cobertura vegetal primitiva e à presença de pedregosidade e rochiosidade. Dentre esses fatores, a influência que os atributos físicos e químicos do solo exercem sobre o crescimento das árvores tem merecido atenção especial.

O solo é a característica do “habitat” que mais influencia o crescimento das plantas e, entre seus principais atributos, encontram-se: a textura, estrutura, temperatura, pH, fertilidade, umidade e aqueles relacionados com o material de origem (PRITCHETT, 1979).

Entre os atributos do solo, aqueles relacionados aos aspectos físicos, são de extrema importância, no

que diz respeito ao desenvolvimento das plantas, pelo fato de que, segundo Ferreira (1993), os constituintes sólidos do solo interagem com os fluídos água e ar; e, dependendo da forma como esses constituintes se associam, sua movimentação no sistema poroso é variável, em função do tipo de solo e, ou, das condições de manejo às quais é submetido. Assim, o conhecimento dos atributos do solo e suas implicações com o sistema água-solo-planta são básicos para o entendimento e conservação do ambiente.

Normalmente não é possível antever as conseqüências de diferentes condições edáficas no desenvolvimento das plantas. Sabe-se, porém, que essas diferenças podem resultar em perda de crescimento da floresta (FROEHLICH et al., 1985) e redução da regeneração natural, bem como prejudicar ou impedir o desenvolvimento de mudas (HILDEBRAND, 1994) e até provocar a morte de árvores adultas (HETSCH et al., 1994).

Observou-se também que, apesar de o *Pinus* ser considerado pouco exigente quanto à fertilidade do solo, níveis diferenciados de produção têm sido observados quando se plantam espécies em condições edáficas distintas (BALLONI, 1984).

De maneira geral, quanto menor a densidade global e a resistência à penetração de raízes e maiores a porosidade total, macroporosidade e disponibilidade de água, maiores são as taxas de crescimento dos sítios florestais (BRADY, 1996).

O objetivo deste trabalho foi mostrar a influência dos atributos do solo (físicos e químicos) sobre a produtividade de *Pinus taeda*.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Localização e Descrição da Área Experimental

As amostras estudadas neste trabalho são provenientes de plantios comerciais de *Pinus taeda* com 12 anos de idade, localizados na Cia. Klabin do Paraná de Celulose S/A, em Telêmaco Borba, PR, a 24° 08' latitude sul e 50° 30' longitude oeste, com altitude de 750 a 868 m.

O clima da região, segundo a classificação de Köppen, é Cfa/Cfb, subtropical úmido transicional, para temperado propriamente dito, em que a temperatura média do mês mais frio é inferior a 16 °C, com ocorrência

de geada, e a temperatura média do mês mais quente é superior a 22 °C e a precipitação média anual, 1.490 mm, com excedente hídrico de 557 mm/ano, distribuído em todos os meses.

A cobertura vegetal primitiva era representada pelo contato estepe/floresta, sendo 51% formação florestal e 49% formação campo.

2.2. Amostragem

Foram analisados oito sítios, selecionados pelo tipo de solo (latossolo e cambissolo), pela textura do solo (argilosa e média) e pela vegetação primária (campo e floresta), com base no levantamento e mapeamento de solos existente nas áreas de plantio da Cia. Klabin (Quadro 1). Os nomes dos sítios deste quadro correspondem ao nome da fazenda da empresa, onde se encontra o talhão amostrado. Esses talhões distam entre si no mínimo 500 m e no máximo 40 km. O solo correspondente a cada sítio foi classificado segundo a Embrapa (1999) (Quadro 2).

Devido à dificuldade de obter medidas fidedignas em relação aos atributos do solo, todos os fatores do sítio que influenciam o crescimento foram cuidadosamente controlados para se manterem constantes ou aproximadamente constantes.

2.2.1. Amostragem do Solo e Análise de seus Atributos

Foram coletadas amostras de três profundidades: 0-10, 10-20 e 20-30 cm, com três repetições (nas 3 linhas centrais das 50 árvores usadas para caracterizar a produtividade), sendo coletadas amostras indeformadas (através de anéis volumétricos) e amostras compostas.

Quadro 1 – Sítios selecionados para este estudo
Table 1 – Description of the selected sites

Sítio	Tipo de Solo	Textura	Vegetação Primária
Cerradinho	Latossolo	Média	Campo
Fisqueira	Latossolo	Argilosa	Campo
Mandaçaia I	Latossolo	Média	Floresta
Sete Rincões	Latossolo	Argilosa	Floresta
Mandaçaia II	Cambissolo	Média	Campo
Restingão	Cambissolo	Argilosa	Campo
Campina Alta	Cambissolo	Média	Floresta
Cirol	Cambissolo	Argilosa	Floresta



As amostras indeformadas foram utilizadas para determinar os atributos físicos do solo: densidade global, porosidade total, macroporosidade e disponibilidade de água, seguindo-se metodologia preconizada pela Embrapa (1997).

As amostras compostas foram utilizadas para determinar os atributos químicos do solo: macronutrientes, capacidade de troca de cátions e matéria orgânica; e análises granulométricas, seguindo-se a metodologia preconizada pela Embrapa (1997).

2.2.2. Amostragem das Árvores e Análise da Produtividade

Para a seleção das árvores que seriam analisadas em cada sítio, foram realizadas avaliações dendrométricas (altura e DAP) de 50 árvores por sítio e, a partir das médias obtidas nesses sítios, selecionaram-se cinco árvores medianas (com 12 anos) por sítio.

De cada árvore selecionada foram anotadas altura total, altura comercial e DAP.

2.3. Análise Estatística

Os valores observados foram submetidos à análise de variância, após realizado teste de Bartlett de homogeneidade, seguindo delineamento inteiramente casualizado. Aplicou-se o teste de Tukey no nível de 95% de probabilidade, para comparação de médias entre as variáveis estudadas. Além dos testes mencionados, foi realizada uma correlação linear simples (r) entre as variáveis estudadas e as possíveis relações entre essas variáveis. Utilizou-se para os cálculos o programa “Statística”.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Atributos Químicos do Solo

Os valores médios dos atributos químicos do solo apresentaram diferenças estatísticas significativas entre os sítios estudados (Quadro 3). Os valores destes atributos são representativos da condição natural do solo, uma vez que não houve adubação química ou orgânica em qualquer época.

Observa-se, a partir dos dados do Quadro 3, que todos os sítios incluem-se dentro das categorias de acidez alta (pH 4,4 a 5,0) e acidez muito alta (pH \leq 4,3), segundo Tomé Júnior (1997).

Quadro 2 – Descrição dos solos dos sítios selecionados**Table 2** – Description of the soil of the selected sites

Sítio	Descrição do Solo
Cerradinho	Latossolo Vermelho A mod. textura média fase campo relevo ondulado
Faisqueira	Latossolo Vermelho A mod. textura argilosa fase campo relevo suave-ondulado
Mandaçaia I	Latossolo Vermelho A mod. textura média fase floresta relevo suave-ondulado
Sete Rincões	Latossolo Vermelho A mod. textura argilosa fase floresta relevo suave-ondulado
Mandaçaia II	Cambissolo Háplico A mod. textura média fase campo relevo ondulado
Restingão	Cambissolo Háplico A mod. textura argilosa fase campo relevo ondulado
Campina Alta	Cambissolo Háplico A mod. textura média fase floresta relevo ondulado
Cirol	Cambissolo Háplico A mod. textura argilosa fase floresta relevo suave-ondulado

Quadro 3 – Valores dos atributos químicos do solo de cada sítio**Table 3** – Values of soil chemical attributes for each site

Sítio	Profundidade (cm)			Profundidade (cm)		
	0 - 10	10 - 20	20 - 30	0 - 10	10 - 20	20 - 30
	pH, em CaCl ₂			Potássio, cmol/dm ³		
Cirol	4,2 a	4,4 a	4,4 a	0,51 a	0,45 a	0,54 a
Cerradinho	4,2 a	3,9 c	3,9 d	0,12 b	0,09 c	0,06 e
Sete Rincões	4,0 b	4,0 c	3,9 d	0,06 c	0,05 dc	0,06 e
Mandaçaia II	3,9 b	3,9 c	4,0 c	0,03 d	0,02 ce	0,10 d
Restingão	3,9 bc	4,1 b	4,1 b	0,05 d	0,01 ce	0,06 e
Campina Alta	3,8 d	4,0 c	4,0 c	0,13 b	0,13 b	0,13 c
Faisqueira	3,8 d	3,9 c	4,1 b	0,06 c	0,04 c	0,03 f
Mandaçaia I	3,7 e	3,8 d	3,8 e	0,08 c	0,06 d	0,28 b
C.V. ⁽¹⁾ (%)	0,5	0,6	0,3	11,5	8,2	4,1
Sítio	Profundidade (cm)			Profundidade (cm)		
	0 - 10	10 - 20	20 - 30	0 - 10	10 - 20	20 - 30
	Ca + Mg, cmol _c /dm ³			CTC ⁽²⁾ , cmol _c /dm ³		
Cirol	4,52 a	5,34 a	6,15 a	12,99 a	12,83 a	13,56 a
Cerradinho	3,80 b	2,47 b	2,27 b	10,70 bc	9,83 c	9,92 cd
Campina Alta	3,03 c	2,37 b	1,54 d	13,37 a	12,58 ab	10,70 bc
Sete Rincões	2,43 d	2,40 b	1,53 d	10,26 c	10,32 bc	9,56 d
Mandaçaia II	1,98 d	1,26 d	0,99 e	7,72 d	6,77 d	6,32 e
Faisqueira	1,46 e	1,66 c	1,82 c	11,23 b	10,40 bc	10,02 cd
Mandaçaia I	1,28 e	0,67 e	0,72 f	6,34 e	9,91 c	11,44 b
Restingão	1,11 e	0,83 e	1,19 e	7,72 d	5,70 d	6,28 e
C.V. ⁽¹⁾ (%)	12,1	9,5	6,0	5,0	13,7	5,9
Sítio	Profundidade (cm)			Profundidade (cm)		
	0 - 10	10 - 20	20 - 30	0 - 10	10 - 20	20 - 30
	Saturação de Bases, %			Saturação por Alumínio, %		
Cirol	38,73 a	45,20 a	49,42 a	24,53 a	18,64 a	16,98 a
Cerradinho	36,60 a	26,07 b	23,64 b	23,65 a	47,27 b	49,72 b
Mandaçaia II	26,07 b	18,97 c	17,42 d	52,53 bc	62,52 d	65,86 d
Sete Rincões	24,28 bc	23,83 b	16,72 d	47,60 b	48,59 b	62,20 d
Campina Alta	23,74 bc	19,94 c	15,74 d	53,91 c	57,63 c	64,51 d
Mandaçaia I	21,70 c	8,43 e	8,82 e	69,39 e	85,60 e	81,26 e
Restingão	15,27 d	14,95 d	20,08 c	66,10 de	65,23 d	58,09 c
Faisqueira	13,54 d	16,46 cd	18,57 d	61,18 d	57,14 c	54,56 c
C.V. ⁽¹⁾ (%)	7,8	10,6	6,3	7,7	5,0	3,9
Sítio	Profundidade (cm)			Profundidade (cm)		
	0 - 10	10 - 20	20 - 30	0 - 10	10 - 20	20 - 30
	Matéria Orgânica, g/dm ³			Fósforo, mg/dm ³		
Cirol	44,78 a	37,18 a	39,13 a	9,3 a	6,1 b	6,8 a
Mandaçaia I	41,18 b	30,66 c	28,32 b	7,5 b	6,1 b	5,5 b
Sete Rincões	38,86 b	34,44 b	30,69 b	7,9 b	6,9 a	6,3 a
Cerradinho	24,81 d	15,76 e	14,22 d	2,4 e	1,8 d	1,0 d
Faisqueira	20,81 e	20,03 d	14,11 d	1,4 f	1,2 d	1,1 d
Campina Alta	20,48 e	18,45 d	14,94 d	3,1 e	1,6 d	4,2 c
Mandaçaia II	16,03 f	12,06 f	9,13 e	7,9 b	6,5 ab	5,2 b
Restingão	12,46 g	17,34 e	21,44 c	5,8 c	4,8 c	4,4 c
C.V. ⁽¹⁾ (%)	6,8	6,7	7,5	7,3	9,8	7,6

NOTAS: As médias dos atributos químicos do solo acompanhadas da mesma letra são estatisticamente iguais entre si, a 95% de probabilidade, pelo teste de Tukey. ⁽¹⁾ Coeficiente de variação. ⁽²⁾ Capacidade de troca de cátions.

Já para o K, Tomé Júnior (1997) relatou que o teor de $K \leq 0,10 \text{ cmol/dm}^3$ é baixo, de $0,11$ a $0,30 \text{ cmol/dm}^3$ é médio e $> 0,30$ é alto. Com relação a esse macronutriente, observou-se que o sítio referente ao Cambissolo de textura argilosa e vegetação primária de floresta foi o único que apresentou teores altos nas três profundidades estudadas, com a ressalva de que esse sítio apresentou até 10 vezes mais K disponível do que o sítio mais pobre (Cambissolo de textura média com vegetação primária de campo). Os demais sítios exibiram teores médios e, principalmente, teores baixos.

Segundo Bartz et al. (1995), teor de $Ca + Mg \leq 2,5 \text{ cmol/dm}^3$ é considerado baixo, entre $2,6$ e $5,0 \text{ cmol/dm}^3$ médio e $> 5,0 \text{ cmol/dm}^3$ alto. Com base nesses dados, conclui-se que os sítios estudados, com exceção do Cambissolo de textura argilosa e vegetação primária de floresta, geralmente apresentaram teores baixos e médios desses macronutrientes.

A capacidade de troca de cátions (CTC) foi baixa em todos os sítios, geralmente com os menores valores nos solos arenosos e os maiores nos solos argilosos, coincidindo com o observado por Santos Filho e Rocha (1987).

Os sítios estudados apresentaram teores médio (16 a 35%), alto (35 a 50%) e muito alto ($> 50\%$) de saturação por alumínio, segundo Tomé Júnior (1997). De acordo com esse mesmo autor, observaram-se teores baixos ($< 15 \text{ g/dm}^3$), médios (15 a 25 g/dm^3) e altos ($> 25 \text{ g/dm}^3$) de matéria orgânica nos sítios estudados.

Com relação ao P, os sítios estudados apresentaram teores muito variados desse macronutriente, apresentando teores muito baixo ($1,2$ a $2,0 \text{ mg/dm}^3$), baixo ($2,1$ a $4,0 \text{ g/dm}^3$), médio ($4,1$ a $6,0 \text{ g/dm}^3$), suficiente ($6,1$ a $8,0 \text{ g/dm}^3$) e alto ($> 8,0 \text{ g/dm}^3$), segundo Tomé Júnior (1997).

No sítio referente ao Cambissolo de textura argilosa com vegetação primária de floresta, os atributos químicos do solo demonstraram valores superiores em alguns elementos, comparativamente aos demais sítios estudados (Quadro 3). Segundo van Goor (1965), existe alta correlação entre a produtividade de *Pinus elliotti* e a soma de bases trocáveis, em especial a quantidade de $Ca + Mg$ e o teor de P. Pode-se observar, no Quadro 3, que o solo desse sítio apresenta altos teores desses nutrientes, em níveis desejáveis, até para o cultivo agrícola (MUZZILLI, 1978).

Apesar de haver diferenças estatísticas entre os sítios, as condições químicas dos solos estudados estão apropriadas ao desenvolvimento dessa espécie.

3.2. Atributos Físicos do Solo

Os valores dos atributos físicos do solo apresentaram diferenças estatísticas significativas entre os sítios estudados (Quadro 4).

Os menores valores de densidade global foram encontrados na profundidade de 0-10 cm, em todos os sítios estudados (Quadro 4). A explicação para os resultados menores na profundidade de 0-10 cm se deve à manutenção da matéria orgânica do solo, sempre maior na superfície. Mello et al. (1983) explicaram que, por ser pouco densa em relação aos minerais e por favorecer a formação de grânulos, a matéria orgânica reduz a densidade global do solo. Na profundidade de 20-30 cm, os valores da análise dessa variável, em todos os sítios estudados, de maneira geral foram sempre os maiores, o que pode dificultar a penetração de raízes e, conseqüentemente, restringir o desenvolvimento das plantas (Quadro 4). Nenhum valor de densidade global obtido nos sítios estudados se enquadrou dentro dos níveis críticos, considerados na literatura. Gent et al. (1984) consideram que, em espécies florestais de rápido crescimento, valores de $1,58 \text{ Mg/m}^3$ em solos de textura argilosa na profundidade de 0-15 cm são limitantes, ressaltando-se que, na profundidade de 10-25 cm, quando os valores se aproximam de $1,80 \text{ Mg/m}^3$, o crescimento de raízes cessa.

De maneira geral, os sítios de textura argilosa apresentaram maiores valores de porosidade total, enquanto nos solos com maiores teores de areia, em função do arranjo dessas partículas sólidas, a porosidade total mostrou-se menor (Quadro 4). A profundidade de 0-10 cm foi a que apresentou os maiores valores de porosidade total, pelo fato de ser nessa profundidade que ocorrem os menores valores de densidade global. Entretanto, os valores de porosidade total encontrados se enquadraram dentro dos descritos na literatura (PREVEDELLO, 1996).

A profundidade de 0-10 cm foi a que apresentou os maiores valores de macroporosidade (Quadro 4). De maneira geral, os sítios com textura mais arenosa tiveram maior número de macroporos e, conseqüentemente, maiores valores de macroporosidade. Nos solos argilosos, os valores de macroporosidade encontram-se, em média, em torno de 25% menores do que nos arenosos, naturalmente em função da textura.

Quadro 4 – Valores dos atributos físicos do solo de cada sítio
Table 4 – Values of soil physical attributes for each site

Sítio	Profundidade (cm)			Profundidade (cm)		
	0 - 10	10 - 20	20 - 30	0 - 10	10 - 20	20 - 30
	Densidade Global, Mg/m ³			Água Disponível, cm ³ /cm ³		
Restingão	0,941 a	1,177 a	1,204 a	0,044 b	0,038 a	0,045 ab
Cerradinho	0,972 ab	1,194 ab	1,201 a	0,059 a	0,030 abc	0,036 bc
Mandaçaia II	1,005 ab	1,258 bc	1,449 d	0,043 b	0,036 a	0,035 bc
Sete Rincões	1,009 ab	1,241 bc	1,254 abc	0,018 d	0,026 bc	0,031 c
Mandaçaia I	1,081 bc	1,364 d	1,338 bcd	0,032 c	0,023 c	0,033 c
Cirol	1,150 cd	1,141 a	1,209 ab	0,023 d	0,033 ab	0,017 d
Campina Alta	1,218 d	1,348 cd	1,384 cd	0,025 cd	0,031 abc	0,031 c
Faisqueira	1,403 e	1,295 c	1,419 cd	0,053 a	0,038 a	0,051 a
C.V. ⁽¹⁾ (%)	6,5	3,0	6,2	13,3	17,2	19,8
Sítio	Profundidade (cm)			Profundidade (cm)		
	0 - 10	10 - 20	20 - 30	0 - 10	10 - 20	20 - 30
	Porosidade Total, cm ³ /cm ³			Macroporosidade, cm ³ /cm ³		
Restingão	0,592 a	0,443 de	0,395 c	0,115 d	0,151 bc	0,122 e
Sete Rincões	0,573 a	0,493 b	0,462 a	0,199 b	0,056 e	0,023 f
Faisqueira	0,565 a	0,464 cd	0,512 a	0,136 cd	0,188 b	0,157 bce
Mandaçaia I	0,542 ab	0,373 f	0,456 ab	0,205 b	0,067 e	0,147 ce
Cirol	0,496 bc	0,490 bc	0,479 a	0,115 d	0,128 cd	0,114 e
Mandaçaia II	0,456 cd	0,525 a	0,508 a	0,182 bc	0,087 de	0,238 a
Campina Alta	0,432 d	0,428 e	0,400 bc	0,347 a	0,234 a	0,202 ab
Cerradinho	0,373 e	0,424 e	0,388 c	0,224 b	0,135 c	0,184 bc
C.V. ⁽¹⁾ (%)	6,5	3,6	7,7	15,3	21,3	21,8

NOTAS: As médias dos atributos físicos do solo acompanhadas da mesma letra são estatisticamente iguais entre si, a 95% de probabilidade, pelo teste de Tukey. ⁽¹⁾ Coeficiente de variação.

De maneira geral, a profundidade de 0-10 cm foi a que apresentou as maiores porcentagens de água disponível, fato que pode ser justificado pelos menores valores de densidade global, maior quantidade de macroporos e maior teor de matéria orgânica nessa profundidade (Quadros 3 e 4). Em um estudo feito por Correia et al. (1996) foi observado que a disponibilidade de água dos solos inter-relacionada com outras, como o relevo, a textura do solo e a quantidade de matéria orgânica, foi um dos principais fatores que limitaram o crescimento de *Pinus taeda*, influenciando a capacidade produtiva dessa espécie. Assim, o relevo, a textura do solo e a disponibilidade de água para as plantas contribuíram muito para explicar a variação de crescimento nos diferentes sítios.

3.3. Produtividade

Houve diferenças estatísticas significativas nas variáveis dendrométricas avaliadas nos diferentes sítios (Quadro 5).

Quadro 5 – Valores dendrométricos médios das árvores de cada sítio

Table 5 – Mean values of total and commercial height of the trees and DBH

Sítio	Altura Total	Altura Comercial	DAP ⁽²⁾
	m	cm	
Cirol	23,53 a	18,23 a	27,80 a
Sete Rincões	22,24 ab	16,88 b	22,80 c
Mandaçaia II	21,69 ab	16,29 b	22,70 c
Restingão	21,60 b	16,34 b	23,40 b
Faisqueira	21,60 b	16,36 b	22,60 c
Campina Alta	21,15 b	15,71 c	23,60 b
Cerradinho	20,72 bc	15,50 c	24,00 b
Mandaçaia I	19,02 c	14,12 d	23,40 b
C.V. ⁽¹⁾ (%)	4,25	4,14	1,69

NOTAS: As médias dos valores dendrométricos das árvores acompanhadas da mesma letra são estatisticamente iguais entre si, a 95% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

⁽¹⁾ Coeficiente de variação.

⁽²⁾ Diâmetro à altura do peito (1,30 m).

O sítio referente ao Cambissolo de textura argilosa e vegetação primária de floresta foi o melhor na questão de produtividade, sendo também o melhor nas variáveis analisadas. Isso pode ser decorrente da maior fertilidade desse sítio, em que os atributos químicos do solo foram muito mais importantes que os físicos. Segundo Reissmann e Wisniewski (2000), a ausência de sintomas de deficiência reforçou a expectativa de que as plantações de *Pinus* dispensariam o uso de fertilizações. No entanto, os referidos autores citaram vários trabalhos (LASO GARICOITS, 1990; MENEGOL, 1991), que apontaram que há limitações de crescimento de *Pinus taeda* relacionadas aos níveis de alguns nutrientes do solo, estando dentre os mais citados K, Ca + Mg e Zn. E são, principalmente, K e Ca + Mg os nutrientes que estão presentes em maior quantidade no sítio mais produtivo deste estudo.

De maneira geral, os solos de textura argilosa, independentemente da classe a que pertencem, propiciaram maiores crescimentos do *Pinus taeda* aos 12 anos de idade, e esses solos superaram em aproximadamente 2 m a altura obtida naqueles de textura média, na mesma idade.

O fato de os solos arenosos do presente trabalho geralmente produzirem os piores crescimentos coincide com o observado na distribuição natural da espécie (LASO GARICOITS, 1990). Santos Filho e Rocha (1987) constataram que os piores crescimentos do *Pinus taeda* estavam associados a solos arenosos, em posições da paisagem que favoreciam a alta lixiviação e a baixa capacidade de retenção de água.

3.4. Correlações Obtidas nos Sítios Estudados

Dos atributos químicos do solo analisado, as maiores correlações com as variáveis da produtividade foram obtidas entre pH, K e Ca + Mg (Quadro 6).

Em concordância com os resultados obtidos no presente estudo (Quadro 6), Cochran (1984) também encontrou correlações positivas entre o pH e o crescimento em altura de *Pinus taeda*.

Laso Garicoits (1990) e Menegol (1991) observaram que há limitações no crescimento de *Pinus taeda* relacionadas aos níveis de alguns nutrientes do solo, estando, entre os mais citados, K e Ca + Mg, o que deixa claro as correlações encontradas neste trabalho, entre esses nutrientes e a produtividade.

Quadro 6 – Coeficiente de correlação (r) entre os atributos físicos e químicos do solo e a produtividade de *Pinus taeda*

Table 6 – Correlation coefficient (r) between soil physical and chemical attributes and productivity of *Pinus taeda*

Atributos do Solo	Profundidade (cm)	r		
		Altura Total	Altura Comercial	DAP
pH	10 - 20	0,727**	0,818**	0,848**
K	10 - 20	0,534**	0,640**	0,943**
Ca + Mg	10 - 20	0,643**	0,710**	0,922**
Densidade Global	10 - 20	-0,516**		
Água Disponível	20 - 30	0,789**		
Porosidade Total	10 - 20	0,507*		0,785**

NOTAS: * = Significativo a 95% de probabilidade.

** = Significativo a 99% de probabilidade

Dos atributos físicos do solo analisados, as maiores correlações com as variáveis da produtividade foram obtidas entre a densidade global, a disponibilidade de água e a porosidade total (Quadro 6).

A densidade global correlacionou-se negativamente com o crescimento em altura (Quadro 6), indicando que o aumento dos resultados dessa variável reduz o crescimento em altura. Muitos estudos têm relatado a redução no crescimento com o grau de densidade global do solo, por exemplo os de Cochran e Brock (1985), que observaram que o crescimento de *Pinus ponderosa* correlacionava-se negativamente com o aumento da densidade global do solo.

A porosidade total correlacionou-se positivamente com o crescimento em altura (Quadro 6). Deve-se considerar que os oito sítios estudados apresentaram boa porcentagem de poros e distribuição bastante equilibrada entre eles.

A água ainda parece ser a variável mais importante entre os fatores determinantes da produção de muitas espécies de árvores. Neste estudo, a disponibilidade de água correlacionou-se positivamente com o crescimento em altura, fato já comprovado no estudo de Correia et al. (1996).

4. CONCLUSÃO

Os solos de textura mais argilosa, independentemente da classe a que pertenciam, propiciaram maiores produtividades de *Pinus taeda*.

Percebeu-se, de maneira geral, que a produtividade dessa espécie é afetada pelos atributos físicos e químicos do solo. Tal fato contraria vários estudos, segundo os quais os atributos químicos do solo só apresentavam efeitos sobre a produtividade quando considerados em conjunto.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BALLONI, E. A. **Efeitos da fertilização mineral sobre o desenvolvimento do *P. caribaea* Morelet var. *bahamensis* (Griseb) Barret et Golfari em solo de cerrado do estado de São Paulo.** 1984. 110f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 1984.
- BARTZ, H. R. et al. **Recomendações de adubação e de calagem para os estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina.** 3 ed. Passo Fundo: SBCS/ Núcleo Regional Sul, 1995. 224 p.
- BRADY, N. C. **The nature and properties of soils.** 11. ed. Upper Saddle River: Prentice Hall, 1996. 255 p.
- COCHRAN, P. H. Soils and productivity of *Pinus taeda*. In: BAUMGARTNER, D. M. (Ed.). SYMPOSIUM ON *Pinus taeda*: Management, may 1984. **Proceedings...** Spokane: [s.n.], 1984. p. 52-54.
- COCHRAN, P. H.; BROCK, T. **Bulk density and initial height growth of planted ponderosa pine.** New York: Ronald Research. 1985. 4p. (Research Note PNW-434. Pacific North West Forest and Range Experiment Station).
- CORREIA, J. R. et al. Análise de trilha ("Path analysis") no estudo do relacionamento entre características físicas e químicas do solo e a produtividade do *Pinus*. **Revista Árvore**, v. 22, n. 2, p. 161-169, 1996.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solos.** 2. ed. Rio de Janeiro: 1997. 212 p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos.** Rio de Janeiro: 1999. 412 p.
- FERREIRA, M. M. **Física do solo.** Lavras: ESAL/FAEPE, 1993. 63 p.
- FROEHLICH, H. A.; MILES, D. W. R.; ROBBINS, R. W. Soil bulk density recovery on compacted skid trails in Central Idaho. **Soil Science Society America Journal**, v.49, p. 1015-1017, 1985.
- GENT, J. A. et al. Impact of site preparation on physical properties of Piedmont forest soils. **Soil Science Society American Journal**, v. 48, p. 173-177, 1984.
- van GOOR, C. P. **Reflorestamento com coníferas no Brasil: aspectos ecológicos dos plantios na Região Sul, particularmente com *Pinus taeda* e *Araucaria angustifolia*.** [S.I.]: Ministério da Agricultura/D.R.N.R./Divisão Silvicultura/Seção de Pesquisas Florestais, 1965. Não Paginado. (Boletim, 9).
- HILDEBRAND, E. E. Medium to root growth. In: IUFRO/ECE INTERACTIVE WORKSHOP AND SEMINAR: SOIL, TREE, MACHINE INTERACTIONS, 1994, Germany. **Proceedings...** Germany: 1994. p.281-289.
- LASO GARICOITS, L. S. **Estado nutricional e fatores do solo limitantes do crescimento de *Pinus taeda* L. em Telêmaco Borba.** 1990. 128 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1990.
- MELLO, F. A .F. et al. **Fertilidade do solo.** São Paulo: Nobel, 1983. 400 p.
- MENEGOL, O. **Índice de sítio e relação entre altura dominante e teores nutricionais das acículas em povoamentos de *Pinus elliottii* var. *elliottii* no segundo planalto paranaense.** 1991. 74 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1991.

MUZILLI, O. **Análise de solos**. Londrina: Fundação IAPAR, 1978. 49 p. (Circular, 9).

ORTEGA, A.; MONTEIRO, G. Evaluación de la calidad de las estaciones forestales. **Ecologia**, n. 2, p. 155-184, 1988.

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

PRITCHETT, W. L. **Properties and management of forest soils**. New York: J. Wiley, 1979. 500 p.

REISSMANN, C. B.; WISNIEWSKI, C. Aspectos nutricionais de plantios de *Pinus*. In: GONÇALVES, J. L. M.; BENEDETTI, V. (Eds). **Nutrição e fertilização florestal**. Piracicaba: IPEF, 2000. p. 135-166.

SANTOS FILHO, A.; ROCHA, H. O. Principais características dos solos que influem no crescimento de *Pinus taeda*, no segundo planalto paranaense. **Revista do Setor de Ciências Agrárias**, v. 9, p. 107-111, 1987.

TOMÉ JÚNIOR, J. B. **Manual para interpretação de análise de solo**. Guaíba: Agropecuária, 1997. 247 p.