

## Carbono orgânico e atributos químicos do solo em florestas de *Pinus taeda*.

C.A. S. Morales<sup>1</sup>, J. A. Albuquerque<sup>2</sup>, J. A. Sampietro<sup>1</sup> B. P. Morales<sup>3</sup>  
J. A. de Almeida<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal da Universidade Federal de Santa Maria, CEP 97105-900, Santa Maria - RS.

<sup>2</sup> Departamento de Solos, UDESC-CAV, Universidade do Estado de Santa Catarina, CEP: 88.520-000, Lages – SC.

[cedinarasm@gmail.com](mailto:cedinarasm@gmail.com)

(Recebido em 20 de novembro de 2011; aceito 20 de fevereiro de 2012)

---

A demanda por árvores no setor de celulose e papel é muito grande e o reflorestamento é a principal fonte deste recurso renovável. O presente estudo teve como objetivo estimar a quantidade de carbono orgânico no solo, atributos químicos do solo sob povoamentos de *Pinus taeda* e avaliar a relação destes com parâmetros dendrométricos e produtividade de *Pinus taeda*. O estudo foi realizado no Planalto Catarinense, em sítios localizados em quatro fazendas distribuídas em cinco municípios. Os tipos de solos foram Nitossolo Vermelho alumínico húmico, Neossolo Litólico húmico típico, Cambissolo Húmico alumínico típico, Cambissolo Háplico alítico típico, Gleissolo Háplico alítico típico e Cambissolo Húmico distrófico típico. Em cada sítio foram analisados perfis até o substrato rochoso ou no máximo até 2 m de profundidade. Foram separados os horizontes pedogenéticos, realizada a descrição geral e coletadas as amostras para as análises químicas, determinação da densidade e de carbono orgânico do solo. Os estoques de carbono orgânico do solo, nos diferentes sítios foram diferentes entre os sítios. As maiores quantidades de carbono orgânico foram encontradas nas camadas de 0-20 cm de profundidade, diminuindo a profundidade.

O crescimento das árvores foi afetado pelas concentrações de K, Ca e Mg e a soma de bases.

Palavras chave: sítio florestal; atributos químicos do solo; manejo florestal.

The demand for trees in the pulp and paper industry is very large and reforestation is the main source of this renewable resource. This study aimed to estimate the amount of soil organic carbon, soil chemical properties under *Pinus taeda* and evaluate the relationship of these parameters with dendrometric and productivity of *Pinus taeda*. The study was conducted at the Santa Catarina Plateau, on farms located in four sites across five cities. The soil types were Red Nitosol, Litholic Neosol, Aluminic Humic Cambisol, Haplic Cambisol, Haplic Gleisol and Dystrophic Humic Cambisol. At each site were analyzed profiles to the bedrock or up to 2 m deep. Pedogenetic horizons were separated, and held a general description of the collected samples for chemical analysis, determination of density and soil organic carbon. Stocks of soil organic carbon in the different sites were different between sites. The largest amounts of organic carbon were found at 0-20 cm depth, decreasing the depth. Tree growth was affected by concentrations of K, Ca and Mg and sum of bases.

Keywords: site forest; chemical properties of soil; Forest management.

---

### 1. INTRODUÇÃO

O plantio de espécies florestais, especialmente de *Pinus taeda*, para produção de madeira e celulose é uma das atividades agroflorestais que mais têm crescido nos últimos anos na região do Planalto Sul Catarinense [1]. No período 2005-2010, as áreas de plantios florestais cresceram cerca de 23,0%, ou seja, 3,5% ao ano [2].

Um dos desafios das empresas florestais do Brasil é aumentar a oferta de produtos para suprir às demandas do mercado nacional e internacional.

No sul do Brasil encontram-se uma das mais extensas áreas de florestas plantadas de *Pinus* sp. do país [3]. Atualmente a área plantada de *Pinus* sp. no Brasil, atinge cerca de 1.756.359 ha [2]. Segundo [4], o potencial produtivo de um sítio é influenciado especialmente pelos aspectos físicos, químicos e biológicos do solo.

Do ponto de vista edáfico, as alterações no uso da terra têm estreita relação com a dinâmica da matéria orgânica e com o ciclo biogeoquímico dos elementos, modificando a capacidade produtiva desses ambientes, naturalmente ligados a condições de solos ácidos e intemperizados. Nesses locais, o suprimento de nutrientes nas formações vegetais é dependente, em grande parte, da contribuição das substâncias orgânicas, uma vez que a reserva de elementos provenientes dos minerais é reduzida [5].

Diante dessa realidade, com a valorização da madeira de *Pinus* sp. e a crescente necessidade de expansão da área plantada, a avaliação dos atributos do solo e das técnicas de manejo são pré-requisitos indispensáveis para melhorar a produtividade florestal e preservar a qualidade do meio ambiente.

O presente estudo objetiva estimar a quantidade de carbono orgânico no solo, bem como os atributos químicos do solo sob povoamentos de *Pinus taeda* e avaliar a relação destes com parâmetros dendrométricos e produtividade de *Pinus taeda*.

## 2. 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 (perfil 1 e 2), Bocaina do Sul (perfil 3 e 4), Palmeira - Ponte Alta (perfil 5 e 6) e Alfredo Wagner (perfil 7 e 8). 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 seis anos (idade das florestas). Em todos os sítios o plantio atual representa a terceira rotação de *Pinus taeda*.

Nas fazendas Céu e Condessa foi realizada uma adubação com 120 kg ha<sup>-1</sup> de superfosfato triplo (SPT) na ocasião do plantio. Na fazenda Salto foi realizada uma adubação com 160 kg ha<sup>-1</sup> de N-P-K na formulação 5-30-6. Estas adubações foram calculadas em resultados de experimentos implantados nos últimos anos e em observações locais da textura do solo, topografia e produtividade da rotação anterior.

Tabela 1: Descrição dos sítios selecionados.

Perfil	Solo	Produção-m <sup>3</sup> /ha
1	Nitossolo Vermelho alumínico húmico - NVah	149
2	Neossolo Litólico húmico típico NLht	115
3	Cambissolo Húmico alumínico típico - Chat	76
4	Cambissolo Húmico alumínico típico - Chat	88
5	Cambissolo Húmico alumínico típico - Chat	122
6	Cambissolo Háplico alítico típico - CXalts (Sômbrico)	86
7	Gleissolo Háplico alítico típico GXalt (Cripto gleissolo)	80
8	Cambissolo Húmico distrófico típico -CHdt	125

### 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 ( $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$ ) de cada sítio em que se definiram os sítios de alta e baixa produtividade (respectivamente superiores e inferiores a  $100 \text{m}^3 \text{ha}^{-1}$ ).

Para a escolha do local onde foram abertas as trincheiras, em cada sítio de estudo, foram realizadas tradagens com a finalidade de escolher um perfil modal representativo. Posteriormente foram abertas trincheiras de 1x2 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 realizada a descrição geral e a morfológica do solo. A classificação dos solos foi realizada conforme critérios preconizados no Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos [6].

Em cada horizonte foram coletadas amostras compostas, oriundas de duas amostras simples, com estrutura alterada e duplicatas de amostras com estrutura preservada.

As amostras de estrutura alterada foram secas em estufa a  $105^\circ\text{C}$ , destorroadas e moídas. As análises químicas foram feitas na fração TFSA (passadas em peneira de 2 mm).

As determinações de pH em  $\text{H}_2\text{O}$  foram realizadas conforme [7]. O carbono orgânico (CO) foi determinado pelo método de Walkley & Black modificado por [7]. O N total do solo, P extraível, K, Ca, Mg e Al trocáveis e a acidez total (H + Al) foram determinados seguindo-se metodologia preconizada por [7]. Com essas determinações foi calculada a saturação por Al (m), soma de bases (SB), saturação por bases (V) e capacidade de troca de cátions a pH 7,0 ( $\text{CTC}_{\text{pH}7,0}$ ).

As amostras de solo com estrutura preservada foram coletadas em anéis volumétricos de 5 cm usados para determinar a densidade do solo.

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 ( $>100 \text{m}^3 \text{ha}^{-1}$ ) e baixo ( $<100 \text{m}^3 \text{ha}^{-1}$ ). 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. Os valores médios foram correlacionados com diâmetro a altura do peito (DAP), altura total e volume das árvores.

### 3.RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### Atributos químicos do solo

Os teores médios dos atributos químicos calculados para camadas de 0-20, 0-40, 0-60 e 0-100 cm e para os horizontes A e A mais B estão na Tabela 2.

O  $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$  variou de 3,8 a 4,6, classificado como fortemente ácidos (4,3 a 5,3) e extremamente ácidos ( $<4,3$ ) para a maioria das camadas, independente do sítio [6]. Segundo [8], esses valores de pH estão dentro dos limites aceitáveis para o crescimento de *Pinus taeda* e não prejudica o crescimento da espécie, pois segundo [9], o *Pinus* sp. além de ser pouco sensível à acidez, tolera altos níveis de  $\text{Al}^{+3}$  e  $\text{Mn}^{+2}$  do solo.

Quanto aos teores de nutrientes no solo, observam-se concentrações elevadas de N nos horizontes superficiais devido ao alto teor de matéria orgânica presente no solo. De uma maneira geral observa-se que nas camadas de 0 a 40 cm os teores de nutrientes são mais elevados, provavelmente devido à decomposição da serapilheira e conseqüente liberação dos nutrientes no solo.

Com relação aos teores de P verificou-se que em todos os sítios estão muito baixos e variaram de  $0,1$  a  $3,9 \text{mg dm}^{-3}$ , com maiores teores nos horizontes superficiais dos perfis 1 (NVah), 2 (NLht), 5 (CHat), 6 (CXalts) e 7 (GXalt). No perfil 3 (CHat) existe variação entre os horizontes independente da seqüência de horizontes. No perfil 4 (CHat) os teores são semelhantes entre os horizontes com média próxima de  $3,5 \text{mg dm}^{-3}$ .

No perfil 8 (CHdt) os teores de P são maiores nos horizontes mais profundos como pode ser observado no horizonte B1 ( $1,6 \text{mg dm}^{-3}$ ). Segundo [10] os teores de P são classificados como muito baixos.

Os teores de K variaram de  $0,02$  a  $0,20 \text{cmolc dm}^{-3}$ , com maiores teores nos horizontes superficiais em quase todos os perfis exceto no perfil 1 (NVah) com teores semelhantes entre os

horizontes. A maioria dos perfis tem teores muito baixos de K. No entanto, o perfil 2 (NLht) apresenta teores médios de K, entre 0,16 a 0,20 cmolc dm<sup>-3</sup>. Segundo [10] os teores de K são classificados como muito baixo (menor que 0,08 cmolc dm<sup>-3</sup>), baixo (0,09 a 0,15 cmolc dm<sup>-3</sup>), médio (0,16 a 0,23 cmolc dm<sup>-3</sup>), alto (0,24 a 0,46 cmolc dm<sup>-3</sup>) e muito alto (maior que 0,46 cmolc dm<sup>-3</sup>) para solos com CTC acima de 15 cmolc kg<sup>-1</sup>, a qual é observada na maioria dos horizontes dos solos avaliados.

Quanto aos teores de Ca trocável, conforme a classificação proposta pela [10], eles são considerados baixos (<2,0 cmolc dm<sup>-3</sup>) para todos os perfis.

Tabela 2. Resultado da análise estatística do pH (H<sub>2</sub>O), dos teores médios de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), alumínio (Al), acidez potencial (H+Al), hidrogênio (H), soma de bases (SB), saturação por alumínio(m), saturação por sódio (ST) e cálcio mais magnésio (Ca+Mg) nas camadas de 0 a 20, 0 a 40, 0 a 60 e 0 a 100 cm, horizonte A e Solum (A+B) nos solos P1 (NVah), P2 (NLht), P3 (CHat), P4 (CHat), P5 (CHat), P6 (CXalts), P7 (GXalt) e no P8 (CHdt).

Camada/ Horizonte	Produtividade	pH H <sub>2</sub> O	N g kg <sup>-1</sup>	P mg dm <sup>-3</sup>	K <sup>(1)</sup>	Ca <sup>(1)</sup>	Mg	Ca+Mg	Al cmolc	H+Al	SB <sup>(1)</sup> dm <sup>-3</sup>	m	ST %
0-20	Alta	4,4a	2,5a	1,5a	0,10a	0,20a	0,03a	0,23a	7,4a	17,8a	0,37a	95a	0,2a
	Baixa	4,1a	1,9a	1,9a	0,04a	0,07a	0,03a	0,10a	8,1a	15,9a	0,16a	98a	0,2a
	CV	5	15	70	70	82	23	66	25	8	22	2	22
0-40	Alta	4,1a	2,1a	1,0a	0,09a	0,15a	0,03a	0,18a	7,2a	17,4a	0,30a	96a	0,2a
	Baixa	4,2a	1,7b	1,7a	0,03a	0,06a	0,03a	0,09a	7,9a	16,1a	0,10b	98a	0,2a
	CV	2	5	89	88	88	27	73	24	6	20	1	47
0-60	Alta	4,0a	1,7a	0,8a	0,09a	0,12a	0,03a	0,15a	6,6a	16,1a	0,27a	93a	0,2a
	Baixa	4,2a	1,6a	1,7a	0,03a	0,05a	0,03a	0,08a	7,5a	15,0a	0,14b	97a	0,1a
	CV	5	5	94	62	85	25	63	18	8	21	4	33
0-100	Alta	4,4a	1,4a	0,8a	0,09a	0,09a	0,03a	0,12a	6,6a	14,7a	0,24a	99a	0,2a
	Baixa	4,3a	1,2a	11,6a	0,03a	0,04a	0,02a	0,06a	7,1a	12,9b	0,13b	95a	0,2a
	CV	7	14	100	50	55	12	39	19	5	7	7	21
A	Alta	4,2a	1,9a	0,9b	0,09a	0,11a	0,02b	0,13a	7,0a	16,7a	0,30a	96a	0,2a
	Baixa	3,9b	1,7a	1,6a	0,03a	0,06a	0,03a	0,09a	5,8a	13,7b	0,10b	89b	0,2a
	CV	1	10	2	71	72	1	57	33	2	7	2	38
A+B	Alta	4,2a	1,3a	0,9a	0,09a	0,07a	0,02a	0,09a	6,5a	13,6a	0,25a	93a	0,2a
	Baixa	4,2a	1,0a	1,3a	0,03a	0,04b	0,02a	0,06b	5,5a	10,5a	0,13a	81b	0,2a
	CV	5	41	85	94	23	30	19	36	21	43	6	19

<sup>(1)</sup> ANOVA e teste de médias realizadas com a variável transformada  $K=\log(\text{valor})$ ,  $Ca=\log(\text{valor})$ ,  $Mg=\log(\text{valor})$ ,  $SB=\log(\text{valor})$ . CV = coeficiente de variação.

Os teores de Ca variaram de 0,01 a 0,60 cmolc dm<sup>-3</sup>, com maiores teores nos horizontes superficiais em quase todos os perfis exceto nos perfis 6 (CXalts) e 7 (GXalt). Quanto ao Mg trocável e o Ca mais Mg, estes são classificados como baixos (<0,5 e <2,5 cmolc dm<sup>-3</sup>, respectivamente) em todos os horizontes, independente do sítio. Observa-se que os teores de Mg variaram de 0,01 a 0,05 cmolc dm<sup>-3</sup>, com maiores teores nos horizontes superficiais nos perfis 1 (NVah), 2 (NLht), 3 (CHat), 4 (CHat), 5 (CHat), 6 (CXalts) e 7 (GXalt). Em todos os perfis existe variação entre os horizontes independente da seqüência de horizontes, exceto no perfil 2 (NLht) o qual tem teores semelhantes entre os horizontes com média de 0,04 cmolc dm<sup>-3</sup>. [11] trabalhou com *Pinus caribaea* var. *hondurensis* em Latossolos Vermelho distrófico psamítico e Neossolo Quartzarênico órtico glêico e [8] trabalhou com *Pinus taeda* em Latossolos e Cambissolos de textura média e argilosa, observaram teores de Ca e Mg geralmente baixos a médios nos sítios de estudo.

Em um Cambissolo Húmico alumínico léptico na região Lages (SC), [12] avaliaram os sistemas de uso e preparo do solo e constataram que os teores de Al<sup>+3</sup> trocável, bem como a acidez potencial (H + Al), foram altos no campo nativo, entre 5,0 a 7,6 cmolc kg<sup>-1</sup> e 13,7 a 16,8 cmolc kg<sup>-1</sup>, respectivamente. Estes teores foram compatíveis com a acidez do solo (pH entre 4,6

a 4,7) e teores de Ca (0,1 a 0,7 cmolc kg<sup>-1</sup>) e Mg (0,2 a 0,7 cmolc kg<sup>-1</sup>) com decréscimo em profundidade. [13] estudaram um Cambissolo Húmico de textura franca argilosa no município de Bocaína do Sul – SC e também observaram baixos valores de pH (4,4 a 4,7), de Ca (0,5 a 1,7 cmolc kg<sup>-1</sup>) e teores médios de Mg (0,3 a 0,9 cmolc kg<sup>-1</sup>) com decréscimo em profundidade. Estes estudos, utilizados como comparações com os resultados aqui observados para os solos da mesma região permitem afirmar que os teores de Ca e Mg nos oito sítios avaliados estão bem inferiores aos do campo nativo. Isso indica que já na terceira rotação do *Pinus taeda* houve um decréscimo acentuado nos teores desses elementos no solo. Portanto, para a manutenção da capacidade produtiva do solo é necessária a reposição dos nutrientes exportados.

A capacidade de troca de cátions (CTC<sub>pH7</sub>) foi média em todos os sítios, geralmente tendo os maiores valores nos solos mais argilosos (Figura 1a), coincidindo com o observado por [14] e [15]. A CTC foi, geralmente, maior nos horizontes superficiais (até 50 cm), possivelmente, devido à contribuição da matéria orgânica à CTC total. Neste solos, os valores médios de CTC<sub>pH7</sub> pode ser devido à presença de polímeros amorfos de hidróxidos de Al<sup>+3</sup> nas entrecamadas de argilominerais 2:1 [16], os quais são fortemente sorvidos sobre a superfície das argilas, reduzindo a carga negativa superficial.

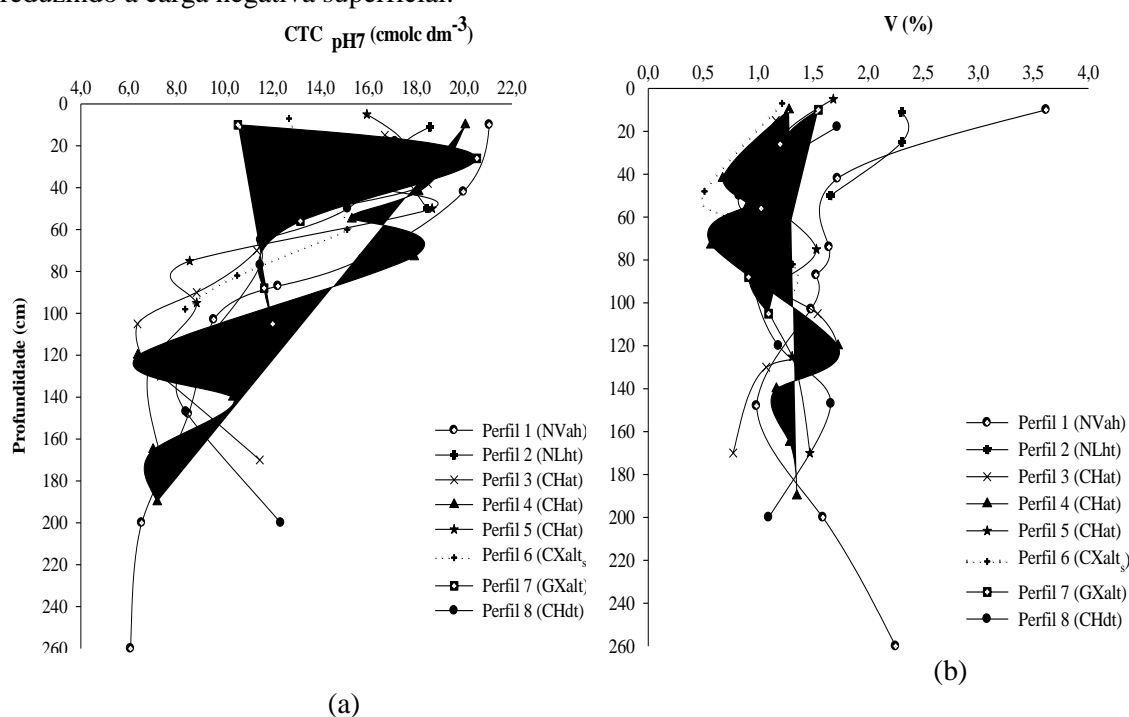


Figura 1. Capacidade de troca de cátions (CTC<sub>pH7</sub>) e saturação por bases (V) em cada horizonte dos solos P1 (NVah), P2 (NLht), P3 (CHat), P4 (CHat), P5 (CHat), P6 (CXalt<sub>s</sub>), P7 (GXalt) e P8 (CHdt).

Os sítios estudados possuem teores alto (35 a 50 %) e muito alto (> 50 %) de saturação por Al<sup>+3</sup>, com média de 96 %. Com isso, somado aos teores baixos de cátions trocáveis, resulta em muito baixa saturação por bases. (Figura 1b). Isso está relacionado com a quantidade de bases no material de origem, ao intenso processo de intemperismo que ocorre na região, à retirada de nutrientes pelas árvores e sua exportação por ocasião da colheita.

Em um estudo comparativo das características químicas e físicas de um solo de campo nativo e uma floresta de *Pinus elliottii* em um Argissolo Vermelho distrófico arênico, [17] verificaram que os teores de Ca, K e Mg foram menores no solo utilizado com *Pinus* comparado ao campo. Comentam que a falta de Ca e Mg pode se manifestar nos solos ácidos onde a reserva desses elementos é pequena. Naquele estudo, a saturação por bases no campo nativo, na camada de 0 a 20 cm, foi de 34 % e diminuiu com a profundidade. No entanto, no povoamento com *Pinus* a saturação por bases foi de 5 % mas com um aumento em profundidade.

Os teores médios de nutrientes foram muito baixos em praticamente todos os perfis e horizontes avaliados. Esperava-se que nos perfis com teores maiores de nutrientes, a produtividade fosse maior. No entanto, isso não foi observado, possivelmente devido ao elevado

coeficiente de variação, o que prejudica a comparação de médias. Além disso, nos perfis com maior produtividade, as quantidades de K e Ca chegam a ser o dobro das quantidades dos sítios com baixa produtividade, enquanto as quantidades de Mg e P foram maiores nos sítios menos produtivos. Quando é observada a soma das bases, geralmente os maiores teores foram observados nos sítios mais produtivos, como exemplificado na camada de 0-40 cm com SB de  $0,30 \text{ cmolc dm}^{-3}$  na média dos sítios mais produtivos e de  $0,10 \text{ cmolc dm}^{-3}$  na média dos sítios menos produtivos.

Essas relações, aparentemente de difícil explicação, podem ser devido às restrições físicas que ocorreram em alguns perfis de maior fertilidade química. Assim, são mais férteis quimicamente, mas são menos produtivos.

A quantidade total de Ca e K são dependentes da espessura dos horizontes em que a planta consegue crescimento radicular, da concentração de nutrientes e da densidade do solo. No entanto, as quantidades de Mg nas camadas de 0 a 20, 0 a 40 e 0 a 60 cm foram superiores nos sítios de baixa produtividade o que poderia ser um indicativo que o nutriente Mg sozinho não estaria influenciando a produtividade.

O P teve um comportamento parecido com o Mg, com quantidades maiores nos sítios de baixa produtividade em quase todos os horizontes (Tabela 3).

As quantidades de Al foram maiores nos sítios de baixa produtividade nas camadas de 0 a 20 cm, 0 a 40 cm, 0 a 60 cm e 0 a 100 cm.

Tabela 3. Resultado da análise estatística das quantidades médias de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), e alumínio (Al) nas camadas de 0 a 20 cm; 0 a 40 cm; 0 a 60 cm, 0 a 100 cm, no horizonte A e Solum (A+B) no P1 (NVah), P2 (NLht), P3 (CHat), P4 (CHat), P5 (CHat), P6 (CXalts), P7 (GXalt) e no P8 (CHdt).

Camada /		N	P	K <sup>(1)</sup>	Ca <sup>(1)</sup>	Mg <sup>(1)</sup>	Al
Horizontes	Produtividade	Mg ha <sup>-1</sup>	kg ha <sup>-1</sup>				Mg ha <sup>-1</sup>
0-20	Alta	4,1a	2,1a	61,8a	67,7a	7,2a	1,2a
	Baixa	4,8a	5,2a	36,5a	25,4a	9,2a	1,9a
CV		34	104	8	14	11	46
0-40	Alta	4,7a	1,8a	73,6a	64,2a	8,7a	1,5a
	Baixa	5,4a	6,0a	41,7a	27,2a	10,4a	2,2a
CV		41	122	10	18	15	53
0-60	Alta	4,3a	1,6a	79,0a	52,4a	8,2a	1,5a
	Baixa	4,7a	5,1a	38,7b	24,4a	9,2a	2,1a
CV		35	116	6	20	14	38
0-100	Alta	3,6a	4,8a	45,6a	41,7a	8,3a	1,5a
	Baixa	3,7a	4,5a	35,5a	22,3a	7,6a	1,9a
CV		31	125	95	73	26	15
A	Alta	4,5a	1,5a	87,2a	49,8a	8,3a	1,5a
	Baixa	3,9a	3,8a	23,8a	21,9a	6,8a	0,8b
CV		26	154	8	18	11	9
A+B	Alta	3,4a	2,5a	45,3a	33,4a	9,1a	1,8a
	Baixa	2,9a	3,7a	26,2a	14,9b	6,1a	1,4a
CV		45	123	71	6	25	70

NOTAS: <sup>(1)</sup> ANOVA e teste de médias realizadas com variável transformada  $K = \log(\text{valor})$ ,  $Ca = \log(\text{valor})$ ,  $Mg = \log(\text{valor})$ ,  $SB = \log(\text{valor})$ . CV = coeficiente de variação, %.

### Carbono orgânico do solo

Verifica-se que os teores e quantidades de carbono orgânico no solo (Tabela 4) sob plantio de *Pinus taeda* aos 6 anos de idade, diminuem na medida em que aumenta a profundidade do solo, sendo este fato atribuído a menor quantidade de raízes e a maior adição de resíduos na superfície do solo.

Tabela 4. Densidade do solo, teores e quantidades de carbono orgânico o solo por camada nos Sítios 1 (NVah), sítio 2 (NLht), sítio 3 (CHat), sítio 4 (CHat), sítio 5 (CHat), sítio 6 (CXalts), sítio 7 (GXalt) e sítio 8 (CHdt).

Local	Solo			
	Prof	Ds g cm <sup>-3</sup>	Carbono Orgânico no solo	
			g kg <sup>-1</sup>	Mg ha <sup>-1</sup>
Sítio 1 (NVah)	0-20	1,14	46,8	106,9
	20-40	1,23	28,7	70,3
	40-60	1,14	22,6	51,8
	60-80	1,22	21,0	51,2
	80-100	1,41	17,4	49,1
<b>Total</b>				<b>329,3</b>
Sítio 2 (NLht)	0-20	1,37	30,3	82,9
	20-40	1,28	23,4	59,9
	40-60	1,24	24,5	61,0
	60-80	1,24	24,5	61,0
	80-100	1,24	24,5	61,0
<b>Total</b>				<b>325,8</b>
Sítio 3 (CHat)	0-20	0,91	48,2	87,5
	20-40	1,12	34,5	77,0
	40-60	1,2	21,3	51,0
	60-80	1,29	17,4	44,9
	80-100	1,45	12,8	37,2
<b>Total</b>				<b>297,6</b>
Sítio 4 (CHat)	0-20	1,25	35,7	89,1
	20-40	1,32	34,1	90,0
	40-60	1,28	23,5	60,1
	60-80	1,39	17,4	48,6
	80-100	1,42	14,9	42,2
<b>Total</b>				<b>330</b>
Sítio 5 (CHat)	0-20	1,05	41,4	87,1
	20-40	1,05	24,8	52,1
	40-60	1,22	17,9	43,6
	60-80	1,3	14,6	38,0
	80-100	1,52	12,2	37,1
<b>Total</b>				<b>258</b>
Sítio 6 (CXalts)	0-20	1,65	18,7	62,0
	20-40	1,65	14,9	49,3
	40-60	1,51	15,1	45,5
	60-80	1,46	13,0	38,0
	80-100	1,44	8,9	25,6
<b>Total</b>				<b>220,3</b>
Sítio 7 (GXalt)	0-20	1,38	21,4	59,2
	20-40	1,39	16,4	45,5
	40-60	1,37	15,3	42,0
	60-80	1,61	11,3	36,4
	80-100	1,61	11,7	37,8
<b>Total</b>				<b>220,9</b>
Sítio 8	0-20	0,82	52,8	86,6
	20-40	1,13	29,3	66,0
	40-60	1,22	24,0	58,2

(CHdt)	60-80	1,35	15,5	41,8
	80-100	1,23	14,1	34,8
<b>Total</b>				<b>287,4</b>

As maiores quantidades de carbono orgânico foram observadas nas camadas de 0-20 cm nos diferentes sítios. Segundo [18], em florestas de pinus da região Sul do Brasil, tem-se observado maior acúmulo de resíduos orgânicos na superfície do solo em relação às florestas nativas em razão, principalmente, da dificuldade de decomposição da fitomassa. Conforme [19] os teores de carbono orgânico do solo em regiões frias são normalmente altos, devido à lenta decomposição do material.

O carbono orgânico total no solo até 100 cm de profundidade, nos diferentes sítios, variou de 220 Mg ha<sup>-1</sup> no Sítio 6 (CXalts) a 330 Mg ha<sup>-1</sup> no Sítio 4 (CHat). [1] estudando o carbono orgânico e atributos químicos do solo em campo nativo, reflorestamento de pinus com 12 e 20 anos e reflorestamento de araucária com 18 anos de idade, verificou que os estoques de carbono orgânico de 0,0 a 0,4 m de profundidade totalizaram de 12,5 a 14,2 kg m<sup>-2</sup>, com maior estoque no reflorestamento de pinus com 20 anos de idade, não diferindo do campo nativo e da mata nativa.

[19], [20] e [21], em florestas de *Pinus taeda* com 5, 15 e 20 anos de idade, onde o carbono orgânico até 100 cm de profundidade foram calculados em 228; 246 e 190 Mg ha<sup>-1</sup> respectivamente, nos dá uma noção sobre a variabilidade e capacidade de cada solo de armazenar carbono.

#### 4. CONCLUSÕES

Em decorrência das condições de desenvolvimento das árvores de *Pinus taeda*, aos 6 anos de idade, conclui-se que:

As análises químicas indicam que existe deficiência de nutrientes no solo.

A quantidade de K e Ca e a soma de bases tiveram relação positiva com a produtividade, evidenciando a importância dos nutrientes para o crescimento do *Pinus taeda*.

Os estoques de carbono orgânico contidos no solo, nos diferentes sítios considerados, variaram em função dos sítios florestais.

As maiores quantidades de carbono orgânico, aproximadamente 30% do total, foram encontradas nas camadas de 0-20 cm de profundidade, nos diferentes sítios, diminuindo com o aumento da profundidade.

Para elevar a produtividade da floresta, deve ser melhorada a qualidade do solo como um todo, para evitar que um fator isolado restrinja o potencial produtivo da floresta.

- 
1. MAFRA, A.L.; FIGUEIREDO GUEDES, S. F.; KLAUBERG FILHO, O.; PIRES SANTOS, J.C.; ALMEIDA, J. A.; DALLA ROSA, J. Carbono orgânico e atributos químicos do solo em áreas florestais. *Revista Árvore*, Viçosa-MG, v.32, n.2, março-abril, p.217-224, 2008 .
  2. ABRAF. Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas. Anuário estatístico- ABRAF: Ano base 2010. Brasília, 2011.
  3. REISSMANN, C.B.; WISNIEWSKI, C. Aspectos nutricionais de plantios de *Pinus*. In: GONÇALVES, J. L. M.; BENEDETTI, V. (4 Eds.). *Nutrição e fertilização florestal*. Piracicaba: IPEF, p. 135-166, 2005.
  4. SCHNEIDER, P.R. & SCHNEIDER, P.S.P. *Introdução ao manejo florestal*. 2ª Edição. Santa Maria, RS. FACOS-UFSM, 2008.
  5. BROWN, S. et al. Soil biological processes in tropical ecosystems. In: WOOPER, P. L.; SWIFT, M. J. (Eds.) *The biological management of tropical soil fertility*. Chichester: John Wiley & Sons, 1994. p.15-46.
  6. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. EMBRAPA. *Sistema Brasileiro de Classificação de Solos*. 2ª ed. Rio de Janeiro, 2006.
  7. TEDESCO, M.J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C.A.; BOHNEN, H. & VOLKWEISS, S. *Análise de solo, plantas e outros materiais*. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995. 174p.



8. RIGATTO, P.A. Influência dos Atributos do Solo sobre a Produtividade e a Qualidade da Madeira de *Pinus taeda* para Produção de Celulose Kraft. Curitiba, 2002. 120 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.
9. GONÇALVES, J.L.M. Recomendações de adubação para *Eucalyptus*, *Pinus* e espécies típicas da Mata Atlântica. ESALQ/USP. Documentos Florestais, v. 15, p.1-23. 1995.
10. COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO –RS/SC. Manual de adubação e de calagem para os estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina. 10. ed. Passo Fundo: SBSC- Núcleo Regional Sul, 2004, 400p.
11. CORRÊA, R. S. Efeito dos atributos do solo na produtividade e qualidade da madeira de *Pinus caribaea* var. *hondurensis*. Curitiba, 2007. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.
12. ALMEIDA, J. A.; BERTOL, I.; LEITE, D.; ANDRE JÚLIO DO AMARAL, A. J. DO. ZOLDAN JÚNIOR, W.A. Propriedades químicas de um cambissolo húmico sob preparo convencional e semeadura direta após seis anos de cultivo. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.29, p.437-445, 2005.
13. ALBERTON, A.; ALBUQUERQUE, J. A.; NEVES, C.U.; LUNARDI, A.; MACEDO, A. F. Utilização de resíduos alcalinos da indústria de celulose para melhorias de parâmetros do solo em área de Pinus. In: XXVII Reunião Brasileira de Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas, 2006, Bonito, 2006.
14. SANTOS FILHO, A. Capacidade de troca de cátions das frações orgânica e mineral em solos do Estado do Paraná. Revista do Setor de Ciências Agrárias, Curitiba, v. 7, p. 43-46, 1985.
15. SANTOS FILHO, A.G.; ROCHA, H.O. Principais características dos solos que influem no crescimento de *Pinus taeda* L. no segundo planalto paranaense. Revista Setor de Ciências Agrárias, Curitiba, v. 9, n. 1/2, p. 107-111. 1987.
16. CAMPOS, M.L.; ALMEIDA, J.A. & SOUZA, L.S. Avaliação de três áreas de solo construído após mineração de carvão a céu aberto em Lauro Müller, Santa Catarina. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.27, p.1123-1137, 2003.
17. ROSA, S. F., BARBIERI, J., PISSININ, L. Z., ROSA, C.M., STANGARLIN, M., SCHUMACHER, M.V. Estudo comparativo das características químicas e físicas do solo em campo nativo e floresta de *Pinus elliottii* ENGELM. XXXI Congresso Brasileiro de Ciência do Solo. Gramado-RS, 2007.
18. TREVISAN, E.; REISSMANN, C.B.; KOEHLER, C.W.; LIMA, J.M.J.C. Morfologia dos horizontes orgânicos acumulados sob povoamento de *Pinus taeda* L. em três sítios distintos. Revista do Setor de Ciências Agrárias, Curitiba, v.9, n.1/2, p.59-62, 1987.
19. BALBINOT, R.; SCHUMACHER, M.V.; HERNANDES, J. I. Carbono orgânico em uma floresta de *Pinus taeda* na Região de Cambará do Sul - RS. In: Anais do Sexto Congresso e Exposição Internacional Sobre Florestas. Porto Seguro - BA. 2000a, p. 56.
20. BALBINOT, R.; SCHUMACHER, M.V.; HERNANDES, J.I.; SUTILI, F.J. Quantificação do carbono orgânico em uma floresta de *Pinus taeda* na Região dos Campos de Cima da Serra, Rio Grande do Sul. In: Anais do Sexto Congresso e Exposição Internacional Sobre Florestas, 2000, Porto Seguro-BA, 2000b, p. 176.99
21. BALBINOT, R.; SCHUMACHER, M.V.; WATZLAWICK, L.F. Inventário do carbono orgânico em um plantio de *Pinus taeda* aos 5 anos de idade no Rio Grande do Sul. Revista Ciências Exatas e Naturais, Vol. 5, no 1, Jan/Jun 2003.