



## Variáveis físicas e químicas do solo importantes na distribuição de raízes finas em um povoamento de *Pinus taeda* L. no nordeste do Rio Grande do Sul<sup>1</sup>

Vicente Guilherme Lopes<sup>2</sup>; Mauro Valdir Schumacher<sup>3</sup>; Ivanor Müller<sup>4</sup>; Francine Neves Calil<sup>5</sup>; Rudi Witschoreck<sup>6</sup>; Edenilson Liberalesso<sup>7</sup>

**Resumo:** O objetivo do trabalho foi correlacionar o comprimento e a biomassa de raízes finas em relação aos atributos químicos e físicos do solo em um povoamento de *Pinus taeda* L., com 15 anos de idade. As amostras de raiz e solo foram obtidas no município de Cambará do Sul (RS), pela escavação de 3 monólitos com dimensões de 25 cm x 25 cm x 40 cm. As análises químicas e físicas do solo, assim como, o processamento das amostras de raízes foram realizadas no Laboratório de Ecologia Florestal da UFSM. As variáveis edáficas mensuradas foram utilizadas na Análise de Componentes Principais como variáveis explicativas sobre o comportamento da biomassa e do comprimento de raízes finas nas diferentes profundidades do solo. As variáveis químicas do solo apresentaram maior correlação com o comprimento e biomassa de raízes finas, destacando-se como principais variáveis o P>K>V>Mg>Ca. Esta maior correlação das variáveis químicas do solo se pronunciou com maior relevância na camada de até 10 cm de solo.

**Palavras-chave:** Solos florestais; análise multivariada; sistema radicular; nutrição florestal.

## Physical and chemical soil variables affecting *Pinus taeda* L. fine roots distribution in northeast of Rio Grande do Sul, Brazil

**Abstract:** This study had as objective to correlate length and fine roots biomass regarding soil chemical and physical attributes in a 15 year *Pinus taeda* L. stand. Soil and root samples were obtained in Cambará do Sul (RS) county, through three monoliths (25 cm x 25 cm x 40 cm) excavation. Chemical and physical samples, as well as, root sample processing were conducted at Forest Ecology Laboratory, Universidade Federal de Santa Maria. Measured edaphic variables were used on Principal Component Analysis as explanatory variables upon roots biomass and length behavior in different soil depths. Soil chemical variables showed higher correlation with roots length and biomass, standing out P>K>V>Mg>Ca as main variables. This higher soil chemical variables correlation is more evidenced in the layer until 10 cm of soil.

**Keywords:** Forest soils; multivariate analysis; root system; forest nutrition.

<sup>1</sup> Recebido em 10.04.2012 e aceito para publicação em 01.11.2012.

<sup>2</sup> Engenheiro Florestal, M.Sc., Prof. do Departamento de Ciências Florestais e Doutorado do Programa de Pós-graduação em Engenharia Florestal, Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, Cidade Universitária “Prof. Mariano da Rocha Filho”, Av. Roraima, 1000, Prédio 44, Sala 5268, Bairro Camobi, CEP 97015-900, Santa Maria (RS). E-mail: <viguilopes@yahoo.com.br>.

<sup>3</sup> Engenheiro Florestal, Prof. Dr. nat. techn. do Departamento de Ciências Florestais – CCR – UFSM. E-mail: <mvschumacher@gmail.com>.

<sup>4</sup> Engenheiro Florestal, Prof. Dr. do Departamento de Estatística – CCNE – UFSM. E-mail: <ivanormuller@smail.ufsm.br>.

<sup>5</sup> Engenheira Florestal, Prof. Dra. da Universidade Federal de Goiás – Escola de Agronomia e Engenharia de Alimentos – EAEA/UFG. E-mail: <francine.calil@terra.com.br>.

<sup>6</sup> Engenheiro Florestal, M.Sc., Doutorado do Programa de Pós-graduação em Engenharia Florestal – CCR – UFSM. E-mail <rwitschoreck@yahoo.com>.

<sup>7</sup> Graduando do Curso de Engenharia Florestal – CCR – UFSM. E-mail: <edeliberalesso@gmail.com>

## Introdução

As condições edáficas podem ser limitantes ao crescimento das plantas e, nesse sentido, a necessidade de caracterização dos solos e aspectos relacionados à autoecologia dos plantios com pinus torna-se premente. O conhecimento de aspectos relativos à espécie, quanto à exportação e ciclagem de nutrientes, morfologia e química dos horizontes orgânicos, as relações dos povoamentos com o ambiente natural, a produção de biomassa acima e abaixo do solo, entre outros, se fazem necessários visando entender o comportamento da espécie e suas inter-relações com os demais elementos naturais.

Segundo Gonçalves e Mello (2005), o conhecimento das características do sistema radicular das plantas (quantidade, distribuição e interação com o solo), principalmente do das raízes finas, é fundamental para a definição e tomada de decisões sobre práticas de preparo do solo e fertilização (local e época de aplicação). Ao lado dessas aplicações práticas, o conhecimento da configuração do sistema radicular é imprescindível como fonte de subsídios para explicar processos ecofisiológicos básicos, principalmente relacionados com a nutrição mineral e balanço hídrico das árvores.

O desenvolvimento radicular é um processo muito complexo, controlado por características inerentes à própria planta e ao ambiente no qual ela se insere. As condições de um habitat, relativo a diversas variáveis, como as relacionadas ao solo, luminosidade, etc., selecionam as espécies vegetais que possuem maior tolerância às condições específicas de desenvolvimento (ANDRAE, 1978). O principal fator envolvido na distribuição das raízes no solo é o genótipo da espécie, porém ele pode ser influenciado por outros fatores que estão ligados ao solo, tais como, fertilidade, densidade, disponibilidade de oxigênio, efeito do pH, textura, temperatura e pelas circunstâncias nas quais a espécie se desenvolve, por exemplo, competição entre árvores (GONÇALVES e MELLO, 2005).

Diversas características do solo e da forma como é manejado afetam o desenvolvimento

radicular. Destacam-se a diminuição da porosidade devido ao adensamento natural formado por processos pedológicos ou por compactação devido ao manejo, a toxicidade de alguns elementos químicos, a falta de nutrientes e o excesso ou falta de água (DEMATTE, 1981). As características físicas do solo, como textura e porosidade, e sua influência nas atividades químicas do solo interferem na qualidade do sítio para o desenvolvimento de espécies do gênero *Pinus*. Algumas espécies arbóreas apresentam crescimento vigoroso em solos de baixa fertilidade, o que provavelmente é devido ao extenso sistema radicular que desenvolvem, explorando grande volume de solo (PRITCHETT, 1990). Tal aspecto também pode ser atribuído à eficiência das espécies na utilização dos nutrientes disponíveis. A umidade do solo, provavelmente, seja a característica que apresenta maior influência sobre o desenvolvimento e distribuição do sistema radicular (PRITCHETT, 1990; REICHERT et al., 2007).

Os procedimentos estatísticos para análise de dados estão dispostos em dois grupos: um deles trata da estatística, que analisa as variáveis de maneira isolada – a estatística univariada, e outro, que analisa as variáveis de forma conjunta – a estatística multivariada (SOUZA e VICINI, 2005).

A Análise Multivariada, através de múltiplos métodos e técnicas, proporciona ao pesquisador uma interpretação teórica de um conjunto de medições das diversas variáveis obtidas, mesmo quando apresentam-se em grande número. A proposta inicial da análise de componentes principais é descrever, se possível, a covariância dos relacionamentos entre muitas variáveis, em termos de poucas variáveis fundamentais, chamadas de *fatores*. Supõe-se que variáveis possam ser agrupadas por suas correlações, isto é, todas as variáveis dentro de um grupo particular são altamente correlacionadas entre si, mas com correlações relativamente baixas ou negligenciáveis com as variáveis de um grupo diferente. É admissível que cada grupo de variáveis represente um fator, que é responsável pelas correlações observadas (LONGHI, 1997). A análise de componentes principais, em sua

aplicação, engloba uma variedade de técnicas e algoritmos cujo objetivo é encontrar e separar objetos em grupos similares. Esse método determina quais variáveis pertencem a quais fatores e o quanto cada variável explica cada fator. Em alguns estudos, torna-se necessário conhecer algumas características de um determinado grupo de um conjunto de elementos amostrais, principalmente quando é resultante de uma ou mais variáveis. Quando se obtém mensuração de diferente natureza, pode-se observar se há similaridades no conjunto de dados (SOUZA e VICINI, 2005). A razão de se haver adotado medidas de dispersão ao invés das medidas de localização para a análise estatística, deve-se ao fato de que as primeiras fornecem uma combinação linear com pesos diferenciados, ideal quando se têm variáveis com alto índice de correlação. Já as medidas de localização fornecem peso a todas as variáveis, sendo usadas com variáveis de baixo índice de correlação. A utilização das componentes principais justifica-se também pelas características que encerram, tornando-se muito efetiva para a avaliação das variáveis originais que maior peso exercem sobre um conjunto de amostras. Assim, podem-se adotar as primeiras componentes principais e considerá-las tão mais importantes que as demais, visto que, as principais componentes têm importância decrescente e guardam informações de todas as variáveis originais.

O presente estudo teve como objetivo correlacionar comparativamente atributos químicos e físicos do solo com a distribuição do comprimento e biomassa de raízes finas no perfil do solo, em um povoamento de *Pinus taeda* L., através da análise de componentes principais.

## Material e métodos

O estudo foi realizado na Fazenda Guabiroba (29° 04' 51,77" S e 50° 06' 27,99" W), de propriedade da empresa Cambará Celulose e Papel S.A., na região nordeste do estado do Rio Grande do Sul, com altitude média de 980 m em relação ao nível do mar. Segundo a classificação de

Köppen, o tipo de clima fundamental predominante na região é o Cfb (temperado úmido), foi registrada uma precipitação média de 159 mm mensais ou 1.906 mm bem distribuída durante o ano, a temperatura média anual é de 15,5 °C, sendo que a média das máximas é de 20,9 °C e a média das mínimas é de 10,9 °C, um extremo para as mínimas absolutas de -7,2 °C, observados na estação meteorológica de Cambará do Sul, no período de 1997-2007 (INMET, 2008).

O solo da região pertence à Unidade de Mapeamento Bom Jesus, sendo classificado como Cambissolo Húmico alumínico típico. Predominam, nessa Unidade de Mapeamento, solos profundos, moderadamente drenados, argilosos, friáveis e desenvolvidos a partir de rochas eruptivas básicas (basalto). Os solos são de cor escura, devido ao acúmulo de matéria orgânica no horizonte superficial e são fortemente ácidos, com saturação e soma de bases baixa e teores trocáveis de Al  $\geq 4$  cmol/dm<sup>3</sup> e saturação de Al  $\geq 50\%$  (STRECK et al., 2008).

O povoamento foi implantado no ano de 1993, no período de agosto e dezembro, em área de campo, com mudas de *Pinus taeda* L. produzidas em recipientes plásticos, o espaçamento utilizado foi de 3 m x 2 m. O plantio foi realizado sem adubação, após queima, coveamento e posterior coroamento manual. Foram realizados dois desbastes; o primeiro no ano de 2003, com a retirada de 120 m<sup>st</sup> ha<sup>-1</sup> e segundo em 2008, com a retirada de 130 m<sup>st</sup> ha<sup>-1</sup>, restando 710 árvores por hectare. No momento da coleta de dados, o povoamento de *Pinus* encontrava-se com 15 anos de idade.

A amostragem de raízes foi realizada em novembro de 2008, através do método de monolitos descrito por Böhm (1979), a partir da escavação manual de três monolitos de 25 cm x 25 cm x 40 cm, distribuídos aleatoriamente no interior do povoamento de *Pinus taeda* L., posicionados na diagonal entre quatro árvores. Na Tabela 1 verificam-se os valores médios da biomassa (kg ha<sup>-1</sup>) de raízes finas (com diâmetro  $\leq 2$  mm) e densidade de raízes finas (cm cm<sup>-3</sup>), encontrados por Lopes et al. (2010) na mesma área do presente estudo.

**Tabela 1** – Valores médios, desvio-padrão e coeficiente de variação da biomassa de raízes finas ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) e densidade de raízes finas ( $\text{cm cm}^{-3}$ ) nas diferentes profundidades do solo, em um povoamento de *Pinus taeda* L. com 15 anos de idade em Cambará do Sul, RS.

**Table 1** – Mean values, standard deviation and coefficient of variation of fine root biomass ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) and fine root density ( $\text{cm cm}^{-3}$ ) in different soil depths in a *Pinus taeda* L. stand with 15 years old in Cambará do Sul, RS, Brasil.

Prof. (cm)	Densidade de raízes finas ( $\text{cm cm}^{-3}$ )			Biomassa de raízes finas ( $\text{kg ha}^{-1}$ )		
	Média	Desvio-padrão	CV (%)	Média	Desvio-padrão	CV (%)
0 - 10	2,39 a	0,41	17,26	1412,23 a	290,56	20,57
10 - 20	1,28 b	0,49	38,12	621,92 b	162,52	26,13
20 - 30	0,90 b	0,14	15,86	422,95 b	62,33	14,74
30 - 40	0,58 b	0,18	30,92	268,75 b	111,71	41,57

(1) Médias nas diferentes profundidades, seguidas por mesma letra não diferem pelo teste de Tukey a um nível de 5 % de erro. Fonte: Lopes et al. (2010)

Em cada uma das 3 trincheiras abertas, logo após a coleta dos monolitos, foram retiradas amostras de solo para análise química e física, nas profundidades de 0 - 10, 10 - 20, 20 - 30 e 30 - 40 cm. Durante a coleta de solo para a análise química, também foram coletados, nos mesmos pontos amostrais, com o uso de anéis volumétricos de Kopecky (EMBRAPA, 1997), amostras para avaliação da densidade do solo (Ds). As análises químicas e físicas do solo foram realizadas no laboratório, seguindo a metodologia de Tedesco et al. (1995).

O solo apresenta como características gerais, fertilidade baixa a muito baixa, cabe salientar que grande parte dos nutrientes no povoamento de pinus, estão imobilizados na biomassa das árvores. Considerando a biomassa arbórea composta por madeira do fuste, casca do fuste, galho vivo, galho morto, acícula, madeira do ponteiro e casca do ponteiro em um plantio de *Pinus taeda* L. aos 18 anos de idade em Cambará do Sul, no mesmo local do presente estudo, o estoque de

nutrientes em  $\text{Kg ha}^{-1}$  foi de: 421,65 de N; 39,37 de P; 173,46 de K; 176,59 de Ca; 55,47 de Mg; 43,27 de S; 91,91 de Na; 0,790 de Cu; 8,83 de Fe; 27,51 de Mn e 1,06 de Zn (LOPES, 2012).

Na Tabela 2, são apresentados os valores de densidade e a caracterização textural e química do solo.

Para realização da Análise de Componentes Principais (ACP), foram utilizados os dados de densidade e biomassa de raízes (Tabela 1), e os dados referentes aos atributos físico-químicos do solo (Tabela 2).

Na Tabela 3 estão dispostos os códigos utilizados na ACP em substituição ao nome original das variáveis analisadas. Os atributos edáficos mensurados foram utilizados na Análise de Componentes Principais, como variáveis explicativas sobre a distribuição da biomassa e do comprimento de raízes finas nas diferentes profundidades do solo, usando o programa STATISTICA 7.0 (STATSOFT, 2004).

**Tabela 2** – Densidade do solo e análise textural e química de amostras de solo, obtidas no *Pinus taeda* L. em Cambará do Sul, RS.

**Table 2** – Bulk density, soil chemical and textural analysis, obtained in *Pinus taeda* L. stand in Cambará do Sul, RS, Brazil.

Atributos físicos do solo												
Profundidade cm	Areia		Silte	Argila	Classe Textural	Densidade do Solo (g cm <sup>-3</sup> )						
	Grossa	Fina					------(%)-----					
0 - 10	7,7	2,0	36,3	54,3	Argiloso	0,97						
10 - 20	8,3	2,3	35,7	53,7		1,03						
20 - 30	11,7	2,7	34,7	51,7		1,23						
30 - 40	22,3	6,0	28,0	44,3		1,39						
Atributos químicos do solo												
Profundidade cm	MO	pH	Al	H + Al	CTC efet.	CTC pH 7	P <sup>1</sup>	K <sup>1</sup>	Ca <sup>2</sup>	Mg <sup>2</sup>	m <sup>3</sup>	V <sup>4</sup>
	(%)	(H <sub>2</sub> O)	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>		cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>		mg dm <sup>-3</sup>		cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>		%	
0 - 10	4,8	4,5	6,6	33,2	7,0	33,6	3,74	44,33	0,14	0,19	94,0	1,30
10 - 20	5,1	4,5	5,7	34,5	6,0	34,7	2,19	27,00	0,06	0,13	95,7	0,73
20 - 30	5,1	4,6	5,3	32,0	5,5	32,2	2,14	22,67	0,00	0,11	96,3	0,63
30 - 40	3,2	4,6	5,6	27,5	5,8	27,6	1,78	13,33	0,05	0,08	97,3	0,50

1 – P e K disponível; 2 – Ca, Mg trocáveis; 3 – saturação de alumínio; 4 – saturação de bases. Onde: extração do solo: P e K, solução Mehlich – 1; Ca e Mg, por solução de KCl (1mol L<sup>-1</sup>).

**Tabela 3** – Números utilizados na ACP em substituição ao nome original das variáveis analisadas.

**Table 3** – Numbers used in ACP to replace the original name of the variables.

Número usado	Variável correspondente	Número usado	Variável correspondente
1	MO (%)	10	Mg (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )
2	pH (H <sub>2</sub> O)	11	m (%)
3	Al (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	12	V (%)
4	H + Al (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	13	Areia (%)
5	CTC efet. (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	14	Silte (%)
6	CTC pH 7 (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	15	Argila (%)
7	P (mg dm <sup>-3</sup> )	16	Comprimento (cm cm <sup>-3</sup> )
8	K (mg dm <sup>-3</sup> )	17	Biomassa (kg ha <sup>-1</sup> )
9	Ca (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	18	Ds (g cm <sup>-3</sup> )

## Resultados e discussão

Primeiramente verificou-se as relações entre as variáveis, definindo o grau de associação entre cada par de variáveis, tomando como base o coeficiente de correlação linear 0,7 (SOUZA e VICINI, 2005). A partir da matriz de correlação, identificou-se que ocorre um número representativo de valores superiores a 0,7, isso significa que a correlação entre as variáveis está de moderada a forte, indicando que a grande maioria das variáveis estão interligadas umas às outras. As variáveis 2

(pH), 12 (V %), 14 (silte %), 15 (argila %) e 17 (biomassa) não apresentaram correlação significativa.

Gonçalves (1994) observou em *Eucalyptus grandis* que alguns atributos da fertilidade do solo (pH, cálcio (Ca), saturação de bases e de alumínio (Al) relacionam-se com a densidade de raízes finas, acontecendo de maneira mais expressiva na camada de 0 - 10 cm do solo. O pH, Ca, saturação de bases correlacionam-se negativamente e a saturação de Al positivamente com o desenvolvimento radicular, ou seja, solos com melhor fertilidade, maior disponibilidade de bases e

menor concentração de Al, resultaram em menor densidade de raízes. As boas relações obtidas entre as variáveis na camada de 0-10 cm são atribuídas à maior atividade das raízes e à maior disponibilidade de nutrientes nessa camada do solo.

O critério de seleção das componentes principais, foi o de incluir somente aqueles componentes cujos valores próprios sejam superiores a 1. Por meio das variáveis iniciais selecionaram-se os componentes principais, que se resumiram aos quatro primeiros autovalores, representando valores iguais ou superiores a 70% da variância total observada entre os dados originais. Os demais componentes não fizeram parte do modelo, pois resultaram em pouca informação com relação à variância total. Os dois primeiros componentes resultaram em uma explicação de mais de 70% da variabilidade total

acumulada (Tabela 4).

A primeira principal componente, responde por 54,69% da variabilidade total das variáveis originais, englobando, em ordem decrescente de importância, as variáveis (>0,7):8>10>11>12>13>6>15>5>4>9>18>3>1. As variáveis formadoras do fator 1, que apresentam maior representatividade são: K, Mg, m, V. A segunda principal componente, responde por 16,63% da variabilidade total das variáveis originais, englobando a variável 14, ou seja, silte (Tabela 5).

A contribuição de cada uma das variáveis permite uma análise da relação existente entre as duas componentes principais, uma vez que ambas explicam mais de 71% da variabilidade total. Essa correlação ocorre de maneira mais expressiva nas profundidades iniciais do solo, ou seja, até 20 cm.

**Tabela 4** – Autovalores e percentual da variância explicada pelas variáveis analisadas, no povoamento de *Pinus taeda* L., em Cambará do Sul, RS.

**Table 4** – Eigenvalues and percentage of variance explained by analysed variables, in *Pinus taeda* L. stand, in em Cambará do Sul, RS.

Número de componentes	Autovalores			
	Extração dos Componentes Principais			
	Autovalor	% da variância explicada	Autovalores acumulados	% da variância explicada acumulada
1	9,84379	54,68771	9,84379	54,68771
2	2,99307	16,62814	12,83685	71,31585
3	2,12836	11,82420	14,96521	83,14005
4	1,65884	9,21577	16,62405	92,35581
5	0,59862	3,32569	17,22267	95,68150
6	0,38942	2,16344	17,61209	97,84495
7	0,19321	1,07337	17,80530	98,91831
8	0,12019	0,66774	17,92549	99,58605
9	0,05128	0,28487	17,97677	99,87093
10	0,02038	0,11324	17,99715	99,98417
11	0,00285	0,01583	18,00000	100,00000

**Tabela 5** – Proporção de variação da variável que compõe os quatro fatores considerados na análise, no povoamento de *Pinus taeda* L., no município de Cambará do Sul, RS.

**Table 5** – Proportion of variation of the variable that makes up the four factors considered in the analysis, the stand of *Pinus taeda* L., in Cambará do Sul, RS, Brazil.

Variável	Contribuição da variável no Componente Principal (>0,7)			
	Fator 1	Fator 2	Fator 3	Fator 4
1	<b>-0,7069<sup>1</sup></b>	0,2723	0,5593	0,2621
2	0,4081	-0,1646	0,1757	<b>0,7848</b>
3	<b>-0,7143</b>	0,4107	-0,4043	-0,2851
4	<b>-0,7695</b>	0,4905	0,3916	-0,0430
5	<b>-0,7697</b>	0,3605	-0,4190	-0,2168
6	<b>-0,7862</b>	0,4802	0,3723	-0,0334
7	-0,6085	-0,6526	-0,0012	-0,0240
8	<b>-0,9533</b>	-0,1471	-0,1434	0,1856
9	<b>-0,7602</b>	-0,0078	-0,5458	0,3099
10	<b>-0,9085</b>	-0,0209	-0,3124	0,2312
11	<b>0,8994</b>	0,0842	0,1764	-0,3678
12	<b>-0,8633</b>	-0,1408	-0,3955	0,2632
13	<b>0,8206</b>	0,1189	-0,5158	-0,1082
14	-0,1928	<b>-0,8332</b>	0,2787	0,1726
15	<b>-0,7856</b>	0,4136	0,4037	0,0019
16	-0,6330	-0,6001	0,1194	-0,3752
17	-0,6108	-0,6077	0,0882	-0,3986
18	<b>0,7256</b>	0,1952	-0,1463	0,3360

(1) Valores grifados maiores que 0,7. Variáveis: 1 (MO), 2 (pH), 3 (Al), 4 (H+Al), 5 (CTCef.), 6 (CTC pH 7), 7 (P), 8 (K), 9 (Ca), 10 (Mg), 11 (m), 12 (V), 13 (Areia), 14 (silte), 15 (argila), 16 (comp.), 17 (biom.) e 18 (Ds).

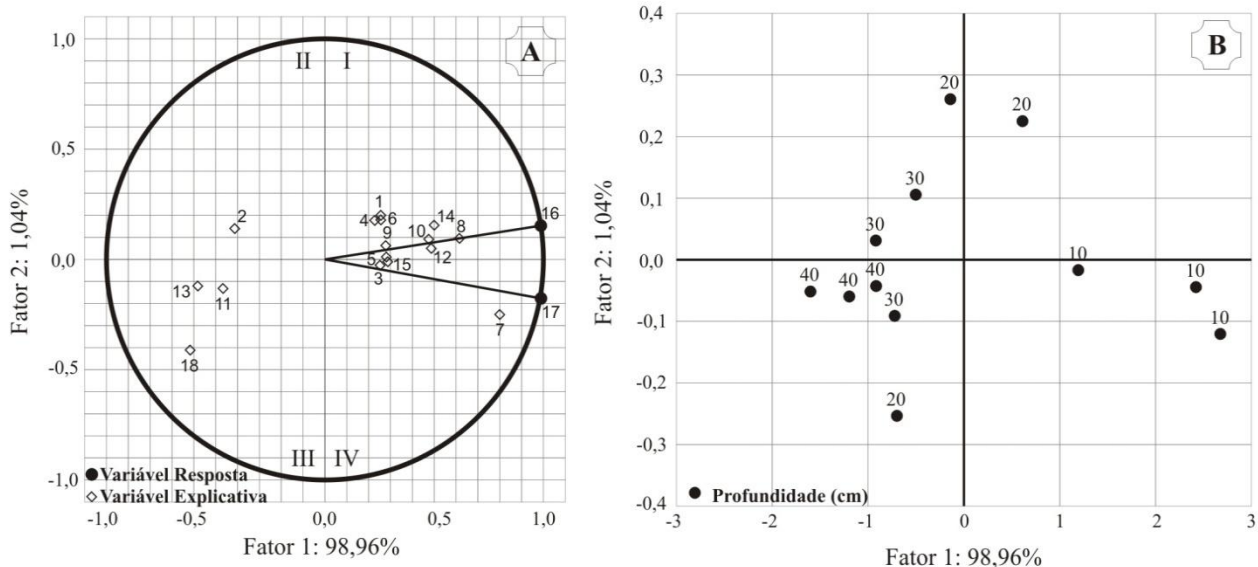
Com a análise da nuvem de variáveis, no círculo de correlações (Figura 1A e 1B), é possível verificar o comportamento das variáveis comprimento e biomassa de raízes finas do pinus e sua relação com as demais variáveis inerentes ao solo.

Variáveis sobrepostas umas às outras, demonstram possuir a mesma representatividade no gráfico. Quanto mais próximas as variáveis estão do círculo unitário, maior é a contribuição delas, em relação às variáveis que estão mais afastadas. As variáveis que estão mais correlacionadas ao comprimento e à biomassa de raízes são as que estão localizadas nos quadrantes I e IV, destacando-se principalmente as variáveis 7, 8, 12, 10 e 9 (P, K, V, Mg e Ca). Conforme a CFQS-RS/SC (2004), os níveis para todos esses componentes são considerados muito baixos.

Nos Campos de Cima da Serra, onde se situa Cambará do Sul, ocorre o predomínio de solos com baixa fertilidade natural, elevada

acidez, alto teor de alumínio e baixa disponibilidade de nutrientes, em especial do fósforo (CQFS – RS/SC, 2004). Em povoamentos de *Eucalyptus grandis*, as concentrações de N, P, K, Ca e Mg presentes nas raízes finas diminuíram das camadas superiores para as mais inferiores do solo, pronunciando assim, uma relação direta e negativa da composição química das raízes com o nível de fertilidade nas diferentes camadas do solo (GONÇALVES, 1994).

Pesquisando áreas de povoamento espontâneo de *Pinus* spp. com baixa disponibilidade de nutrientes, baixa retenção de umidade, ausência de material orgânico e altas temperaturas nas camadas iniciais do solo, Corrêa et al. (2007), verificaram que mesmo com esses aspectos desfavoráveis ao desenvolvimento radicular, a espécie apresentou um bom desenvolvimento, externando sua alta capacidade de adaptação a condições adversas e a outras espécies florestais.



**Figura 1** – Distribuição da nuvem de variáveis no círculo de correlações e sua relação entre as componentes principais 1 e 2 da análise de componentes principais (ACP), discriminando os atributos físico-químicos do solo como variáveis explicativas e o comprimento e a biomassa de raízes como variável resposta (A); e as profundidades do solo em que foram coletadas as amostras, no povoamento de pinus, no município Cambará do Sul, RS (B).

**Figure 1** – Cloud of variables distribution in the circle of correlations and the relationship between the main components 1 and 2 from the Principal Component Analysis (PCA), showing the soil physicochemical attributes as explanatory variables and length and biomass as response variable (A); and the soil depths where samples were collected in pinus stand, in Cambará do Sul, RS, Brazil (B).

Simões et al. (1978), analisando o desenvolvimento de plantas de *Pinus taeda* com 8 meses de idade, observaram que as mudas cultivadas com fertilização composta pela aplicação de 100 g de N-P-K apresentaram um aumento no peso seco 17 vezes maior do que o peso das testemunhas, cultivadas sem fertilização. O peso seco de raízes passou de 1,31 g para mais de 22 g com a utilização da fertilização.

Reis et al. (1985) e Gonçalves (1994) relatam que quanto mais produtivo for o sítio, menos desenvolvido será o sistema de raízes finas de absorção. Ao contrário, quando o sítio é pouco produtivo, as plantas, para atenderem a suas demandas nutricionais, precisam de um sistema radicular de absorção mais efetivo (maior área superficial), capaz de absorver, em quantidade e qualidade, os nutrientes do solo.

Estudos demonstram que se deve considerar a importância da fertilização e irrigação na distribuição, qualidade das raízes e no rendimento energético para seu crescimento. Isso fica claro em áreas de produção com diferentes disponibilidades de umidade, onde as plantas apresentam

respostas diferenciadas na produção de raízes finas (FREITAS et al., 2008).

Outro aspecto importante é verificado realizando-se a sobreposição das Figuras 1 A e B, percebe-se que as variáveis presentes nos quadrantes I e IV estão intimamente correlacionadas com as camadas mais superficiais do solo, principalmente de 0-10 cm de profundidade, já as variáveis presentes nos quadrantes II e III apresentam maior influência sobre as camadas mais profundas do solo (20 - 40 cm).

Morales et al. (2007), relacionando parâmetros químicos do solo em diferentes sítios com a produção de *Pinus taeda*, verificaram que os maiores coeficientes de correlação observados para a camada de 0 a 20 cm se devem à grande quantidade de raízes que crescem nessa camada e contribuem para o crescimento dessa espécie. As camadas mais profundas do solo podem exercer maior influência em períodos mais secos, quando a umidade nas camadas mais superficiais fica mais restrita. Os mesmos autores observaram a existência de relação significativa dos teores de  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{K}^+$ , da soma e saturação por bases e da saturação por alumínio com o crescimento



do *Pinus taeda*. Essa relação fica mais evidenciada nas camadas mais superficiais do solo.

### Conclusões

Os atributos químicos do solo apresentaram maior correlação com o comportamento do comprimento e biomassa de raízes finas.

Os principais atributos químicos do solo que interferem no desenvolvimento das raízes finas são: P>K>V>Mg>Ca, apresentando maior correlação na camada superficial do solo (até 10 cm de profundidade).

### Agradecimento

À Empresa CAMBARÁ S.A. pela disponibilização da área para coletas das amostras, principalmente nas pessoas dos Engenheiros Florestais Vandir Zancan, Leonir Barichello e do Técnico Agropecuário Evandro Viero e sua equipe de campo. À CAPES - Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, pelo apoio financeiro.

### Referências

- ANDRAE, F. H. **Ecologia Florestal**. Santa Maria: Imprensa Universitária da UFSM, 1978. 230 p.
- BÖHM, W. **Methods of studying roots systems**. Berlin: Springer-Verlag, 1979. 188 p.
- CORRÊA, R. S. et al. Povoamento espontâneo de *Pinus* spp. em áreas de empréstimo no Estado do Paraná – 1. Análise de solo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 31., 2007, Gramado. **Anais...** Gramado, 2007.
- CQFS – RS/SC. COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO – RS/SC. **Manual de adubação e calagem para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. 10. ed. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo/Comissão de Química e Fertilidade do Solo, 2004. 400 p.
- DEMATTE, J. L. I. Characteristics of Brazilian soils related to root growth. In: RUSSEL, R. S.; IGUE, K.; METHA, Y.R., eds. *The soil root system in relation to brazilian agriculture*. Londrina, IAPAR, 1981. p.21-41.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. Rev. atual. Rio de Janeiro, 1997. 212 p.
- FREITAS, T. A. S.; BARROSO, D. G.; CARNEIRO, J. G. A. Dinâmica de raízes de espécies arbóreas: visão da literatura. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 18, n. 1, p. 133-142, jan./mar. 2008.
- GONÇALVES, J. L. M. **Características do sistema radicular de absorção do *Eucalyptus grandis* sob diferentes condições edáficas**. Piracicaba, 1994, 84 p. (Tese livre docência).
- GONÇALVES, J. L. M.; MELLO, S. L. M. O sistema radicular das árvores. In: GONÇALVES, J. L. M.; BENEDETTI, V. (Ed.) **Nutrição e fertilização florestal**. Piracicaba: IPEF/ESALQ/USP, 2005. p.221-267.
- INMET. Instituto Nacional de Meteorologia - Oitavo Distrito de Meteorologia (8º DISME). Seção de observação e meteorologia aplicada – SEMA. Porto Alegre, Relatório nº 027/2008, protocolado sob nº 4294, 24/03/2008, 4p.
- LONGHI, S. J. **Agrupamento e análise fitossociológica de comunidades florestais na sub-bacia hidrográfica do rio Passo Fundo-RS**. 1997. 198 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

- LOPES, V. G. et al. Quantificação de raízes finas em um povoamento de *Pinus taeda* L. e uma área de campo em Cambará do Sul, RS. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 20, n. 4, p. 569-578, out.-dez., 2010
- LOPES, V. G. et al. Distribuição relativa dos nutrientes em diferentes componentes da biomassa de *Pinus taeda* L. em Cambará do Sul. In: VII SIMPÓSIO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS, 2012, Viçosa. **Anais...** Viçosa: VII SIMPÓSIO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS, 2012. 1 CD-ROM.
- MORALES, C. A. S. et al. Relação dos parâmetros químicos do solo em diferentes sítios com a produção de *Pinus taeda*, no Planalto Catarinense. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 31., 2007, Gramado. **Anais...** Gramado, 2007.
- PRITCHETT, W. L. **Suelos forestales: propiedades, conservación y mejoramiento**. Impreso no México, 1990. 634 p.
- REICHERT, J. M.; SUZUKI, L. E. A. S.; REINERT, D. J. Compactação do solo em sistemas agropecuários e florestais: identificação, efeitos, limites críticos e mitigação. In: CERETTA, C.A.; SILVA, L.S.; REICHERT, J.M. (Org.). **Tópicos em Ciência do Solo**. v.5 Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 49-134.
- REIS, M. G. F. et al. Acúmulo de biomassa em uma seqüência de idade de *Eucalyptus grandis* plantado no cerrado em duas áreas com diferentes produtividades. **Revista árvore**, Viçosa, v. 9, n. 2, p. 149-162, 1985.
- SIMÕES, J. W. et al. Adaptabilidade de espécies florestais de rápido crescimento em solo alterado pela exploração de xisto. **IPEF**, Piracicaba, n.16, p.1-15, jun. 1978.
- SOUZA, A. M.; VICINI, L. **Análise Multivariada: da Teoria à Prática**. Santa Maria: UFSM, CCNE, Caderno Didático, 2005, 215p.
- STATSOFT, Inc. (2004). STATISTICA (data analysis software system), version 7. www.statsoft.com. 2004.
- STRECK, E. V. et al. **Solos do Rio Grande do Sul**. 2. ed, revisada e ampliada, Porto alegre: EMATER/RS, UFRGS, 2008, 222 p.
- TEDESCO, M. J. et al. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. 2.ed. Porto Alegre: Departamento de Solos, UFRGS, 1995. 174p. (Boletim Técnico, 5).