

Biomassa radicular, densidade do solo e análise química do solo de um povoamento de *Pinus sp.*

Root biomass, soil density and soil chemical analysis in a *Pinus sp.* plantation

Gerson Luiz Selle¹
Elisabete Vuaden²
Augusto Bolson Murari³
Cristiano Hack⁴
Jorge Antonio Farias⁵
Rodrigo Thomas⁶

Resumo

O sistema radicular é responsável direto pelo crescimento e sustentação das plantas, em especial das espécies florestais. As raízes finas (<2 mm), por sua vez, são as principais responsáveis pela absorção dos nutrientes necessários para o desenvolvimento e crescimento da planta. O gênero *Pinus* tem crescido em importância nos últimos anos em função de sua adaptabilidade a condições adversas do local, bem como sua grande versatilidade no que diz respeito à comercialização de sua madeira e demais produtos. O presente estudo teve como objetivo quantificar a biomassa de raízes finas e analisar alguns parâmetros edáficos em um povoamento de *Pinus sp.* plantado em Santa Maria (RS). A biomassa radicular e a densidade do solo foram avaliadas em seis profundidades de solo (0-10, 10-20, 20-30, 30-40, 40-50 e 50-60 cm) e três posições: na linha de plantio; na entre linha de plantio; entre quatro plantas, em um povoamento de *Pinus sp.*, com idade de sete anos, localizado em uma área pertencente à Universidade Federal de Santa Maria. A densidade do solo não apresentou diferença significativa ao longo do perfil do solo, não tendo

-
- 1 Dr.; Engenheiro Florestal; Professor do Departamento de Ciências Florestais da Universidade Federal de Santa Maria, UFSM; E-mail: gerson.lisboa@gmail.com
 - 2 MSc.; Engenheira Florestal; Doutoranda em Engenharia Florestal na Universidade Federal de Santa Maria, UFSM; E-mail: elisabetevuaden@yahoo.com.br
 - 3 MSc.; Engenheiro Florestal; Doutorando em Engenharia Florestal na Universidade Federal de Santa Maria, UFSM; E-mail: gutomurari@yahoo.com.br
 - 4 Engenheiro Florestal; Mestrando em Engenharia Florestal na Universidade Federal de Santa Maria, UFSM; E-mail: cristianohack@yahoo.com.br
 - 5 MSc.; Engenheiro Florestal; Doutorando em Engenharia Florestal na Universidade Federal de Santa Maria, UFSM; E-mail: farias@afubra.com.br
 - 6 Engenheiro Florestal; Mestrando em Engenharia Florestal na Universidade Federal de Santa Maria, UFSM; E-mail: thomas@mail.ufsm.br

Recebido para publicação em 20/11/2007 e aceito em 05/05/2010

portanto, influência sobre os resultados de biomassa nas diferentes profundidades. A biomassa radicular encontrada no povoamento foi de 1606,3 kg ha⁻¹ sendo que, 40,6% estavam nos primeiros dez centímetros do solo, diminuindo como o aumento da profundidade. Essa mesma tendência foi registrada para o teor de matéria orgânica, saturação por bases, bem como a quantidade de nutrientes, fatores estes que apresentaram estreita correlação com a quantidade de biomassa. Teor de alumínio e soma de bases aumentaram conforme o aumento da profundidade, mas apresentaram também uma estreita correlação com a biomassa. Os diferentes locais de coleta não diferiram estatisticamente entre si.

Palavras-chave: sistema radicular; solo florestal; biomassa; *Pinus sp.*

Abstract

The root system is directly responsible for the growth and support of the plants, especially for the forests species. The fine roots (< 2 mm) are main responsible ones for absorption of the nutrients necessary for the development and growth of the plant. The *Pinus* species has become more important in recent years due to its adaptability to the local different conditions as well as the great versatility of its wood and other products for commercialization. The present study aimed at quantifying the biomass of fine roots and analyzing some parameters of the soil in a settlement of *Pinus sp.* Planted in the Federal University of Santa Maria, RS, Brazil. The biomass of roots and soil density had been evaluated in 6 layers of ground (0-10, 10-20, 20-30, 30-40, 40-50 and 50-60 cm) and three position: in the plantation line, in the between line of plantation and between four trees, in a *Pinus sp.* plantation located in Santa Maria. The density of soil did not present significant difference throughout the profile of the ground, therefore there was no influence on the results of biomass in the different depths. The biomass of roots found in plantation was of 1606.3 Kg/ha, being 40.6% in the first 10 cm of ground, reducing as the the depth increased. This same trend was registered for organic matter, base saturation and amount of nutrients. This factors presented narrow correlation with the amount of biomass. The Al content and sum of bases had inverse tendency, increasing as the increase of the depth, but they had also presented a narrow correlation with the biomass. The different places of collection had not differed between each other.

Key words: system of roots; forest soil; biomass; *Pinus sp.*

Introdução

O gênero *Pinus*, principalmente as espécies *Pinus taeda* e *P. elliottii*, vem difundindo-se amplamente no Brasil desde a década de 60, em função dos incentivos fiscais

para florestamento e reflorestamento e das normas de reposição florestal obrigatória. O Brasil possui aproximadamente 4,6 milhões de hectares de florestas plantadas, sendo 1,7 milhões representados pelo gênero *Pinus*, o qual equivale a 37% da área de

reflorestamentos existentes. Isso se deve ao fato de o *Pinus* ter se tornado uma espécie bastante expressiva, principalmente, pela qualidade da madeira e rápido crescimento e, dessa forma, vem suprindo as necessidades do setor industrial madeireiro (SBS, 2006).

As raízes desempenham funções vitais em uma planta, sendo responsáveis pela absorção e transporte de nutrientes e água, bem como meio de fixação da planta ao solo (PRITCHETT, 1986). O sistema radicular é dividido em raízes grossas e finas, pois as mesmas têm funções diferenciadas. As primeiras são responsáveis pela fixação das plantas ao solo, enquanto as raízes finas têm a função de absorção. As raízes finas representam entre 90 e 95% do comprimento total do sistema radicular e são as principais estruturas com as frações líquidas e sólidas do solo (GAITÁN et al., 2005).

Segundo Gaitán et al. (2005), o sistema radicular é responsável diretamente pelo crescimento das plantas que, por sua vez, depende das características edáficas do local. O volume de solo disponível para as raízes, determinado pela profundidade do solo e impedimento físico, são um dos principais fatores que influenciam no crescimento das árvores, afetando a disponibilidade de água e nutrientes. Portanto, um melhor conhecimento sobre a densidade e distribuição em profundidade das raízes e sua relação com as propriedades edáficas do solo, pode constituir uma importante fonte de informações para entender como ocorre o crescimento das plantas em um determinado local.

O estudo dos fatores que influenciam no crescimento, em função das raízes, tem sido restrito a plântulas, principalmente anuais, crescendo em laboratórios que, muitas vezes, não podem ser aplicados diretamente

no nível de campo. A disposição do sistema radicular, que está relacionado com a forma, direção e distribuição das raízes grossas tende a estar ligado à genética das plantas. Porém, a intensidade do sistema radicular está associada com a distribuição de raízes finas, tende a estar mais correlacionada com as condições do solo sobre o qual está fixada a planta (MAKKONEN; HELMISAARI, 1998).

Segundo Gonçalves e Mello (2000), o que determina a distribuição das raízes no solo é o genótipo da espécie, mas pode sofrer ainda, influência de outros fatores inerentes ao solo, como fertilidade, densidade, disponibilidade de oxigênio, textura, temperatura e, também, pelas circunstâncias em que se encontra o meio onde a espécie se desenvolve, tais como competição e espaçamento entre árvores.

Conforme Larcher (2000), a distribuição e a densidade de raiz dependem em primeira instância do tipo de sistema radicular e variam no decorrer do ano, isto é, ocorre maior propagação na primavera ou em épocas chuvosas e a morte ou diminuição ocorre no final do período de crescimento.

O conhecimento das características do sistema radicular (quantidade, distribuição em profundidade e interação com o solo), principalmente de raízes finas, ajuda na definição das práticas de manejo da floresta, ou seja, práticas de preparo de solo e fertilização (local e época de aplicação), além de fornecer subsídios para explicar processos ecofisiológicos básicos do povoamento, relacionados principalmente com a nutrição mineral e o balanço hídrico das árvores (GONÇALVES; MELLO, 2000).

Estudos sobre o desenvolvimento do sistema radicular permitem ampliar o conhecimento sobre a capacidade de exploração de raízes e interação solo-planta, favorecendo subsídios para as técnicas

de manejo que vêm sendo empregadas (FRANÇA; MACEDO, 1984).

Objetivando caracterizar a distribuição do sistema radicular de espécies florestais, vários autores verificaram que a concentração de raízes finas é maior nas primeiras camadas de solo, diminuindo conforme se alcança maior profundidade. Krapfenbauer e Andrade (1983), verificaram que *Araucaria angustifolia* apresenta uma concentração máxima de raízes nos primeiros cinco centímetros de solo, enquanto que *Podocarpus lambertii* possui grandes quantidades também nas profundidades de cinco a dez centímetros. Abaixo de dez centímetros a ocorrência de raízes finas se torna mínima para as duas espécies. Os autores comentam que a diminuição de intensidade de enraizamento está de acordo com o teor de matéria orgânica média dos horizontes correspondentes do solo. Gonçalves (1999), observaram que mais de 80% de raízes finas estavam na profundidade de zero a vinte centímetros de em povoamentos de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus urophylla* aos seis anos de idade.

A dominância e importância de uma espécie podem ser expressa em percentagem total de biomassa, pois esta funciona como um indicador da produtividade de um local, podendo sofrer variação com a precipitação, temperatura, latitude e altitude. O desenvolvimento pleno de qualquer espécie envolve o crescimento da parte aérea e do sistema radicular (FREITAG et al., 2003).

Segundo Odum (1986), a biomassa é o peso de matéria seca por unidade de área; já a produtividade é a taxa de biomassa por unidade de tempo ou peso de matéria seca existente num dado momento da vida de um povoamento ou da floresta (FRANCO, 1996).

Conforme Schumacher e Hoppe (1997), a biomassa armazenada tanto acima quanto abaixo da superfície do solo é de suma

importância para a compreensão da manutenção do equilíbrio do ciclo biogeoquímico, pois a planta absorve nutrientes do solo para a produção de biomassa e, posteriormente, devolve ao solo na forma de serapilheira, sendo novamente absorvidos pelas raízes. Para Sanqueta e Balbinot (2004), biomassa quer dizer massa de matéria de origem biológica, viva ou morta, animal ou vegetal.

Ainda segundo Sanqueta e Balbinot (2004), no desenvolvimento inicial de uma floresta, grande parte dos carboidratos é utilizada para produção de biomassa da copa. Após a floresta crescer ocorrerá redução gradual da biomassa da copa e simultaneamente um aumento na proporção da biomassa de madeira e casca, representando em média, mais de 80% da biomassa acima do solo em um povoamento maduro (SCHUMACHER; HOPPE, 1997).

A serapilheira, ao se decompor, libera nutrientes nas camadas superficiais do solo, enquanto as raízes finas, tendo um teor de nutrientes próximo aos encontrados nas folhas, ao se decomporem, formam no solo microrregiões mais férteis, sendo ocupadas posteriormente por novas raízes (GONÇALVES; MELLO, 2000).

Esse trabalho teve como objetivo quantificar a biomassa de raízes finas e analisar alguns parâmetros edáficos em um povoamento de *Pinus sp.*, plantado em Santa Maria (RS).

Material e Métodos

Descrição do local

O presente trabalho foi realizado na região de Santa Maria, Depressão Central do estado do Rio Grande do Sul, em uma área de plantio de *Pinus sp.*, com idade de sete anos e espaçamento de 3 x 2 m, localizado no *campus* da Universidade Federal de Santa Maria.

Quanto ao solo, objeto do estudo, está localizado sob a unidade de mapeamento São Pedro, classificado como Argissolo Vermelho distrófico arênico (STRECK et al., 2008).

As coordenadas geográficas aproximadas do local são: latitude 29°40' (S) e longitude 54°10' (W), com uma altitude média de 115 m.

Segundo a classificação de Köppen, a região apresenta clima do tipo subtropical Cfa (MORENO, 1961). Quanto ao regime pluviométrico, a precipitação média anual entre 1970 e 1996 foi de 1.739 mm. Já a temperatura média anual foi de 19,4°C. No período da pesquisa, a temperatura média do mês mais frio (junho) foi de 13,6°C e a do mês mais quente (janeiro) de 25°C (SPATHELF et al., 2000).

Os dados climáticos foram obtidos na estação meteorológica da Universidade Federal de Santa Maria, que faz parte do 8º Distrito de Meteorologia do Rio Grande do Sul e da rede nacional do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Foram levantados dados de temperaturas e precipitações médias mensais.

Coleta das Amostras

As amostras do solo foram coletadas no segundo semestre de 2005, sendo que a biomassa radicular e a densidade do solo foram avaliadas em seis profundidades de

solo (0-10, 10-20, 20-30, 30-40, 40-50 e 50-60 cm) e três posições: 1 = na linha de plantio; 2 = na entre linha de plantio; 3 = entre quatro plantas (Figura 1).

Para avaliação da biomassa radicular do *Pinus sp.* foram coletados monólitos com dimensões de trinta centímetros de largura por trinta centímetros de comprimento por dez centímetros de profundidade. Os monólitos foram armazenados em sacos plásticos e encaminhados ao viveiro florestal da Universidade Federal de Santa Maria, onde as raízes foram lavadas e separadas do solo, utilizado um conjunto de duas peneiras sobrepostas; a superior com malha de dois milímetros e a inferior de um milímetro.

Na sequência, o solo foi depositado na peneira superior, em pequenas porções, e mediante jatos d'água e com o auxílio de uma espátula ia sendo retirado, permanecendo somente as raízes. Quase a totalidade das raízes ficava depositada na peneira de dois milímetros, somente uma pequena fração destas, as mais finas, era encontrada na segunda peneira de um milímetro de malha.

Em seguida encaminhadas à estufa com temperatura de 60°-70°C até atingir um peso constante, sendo que, para esse fim, foi utilizada uma balança com três casas decimais.

A densidade do solo foi determinada pelo método do anel volumétrico, sendo as amostras coletadas nas mesmas profundidades descritas

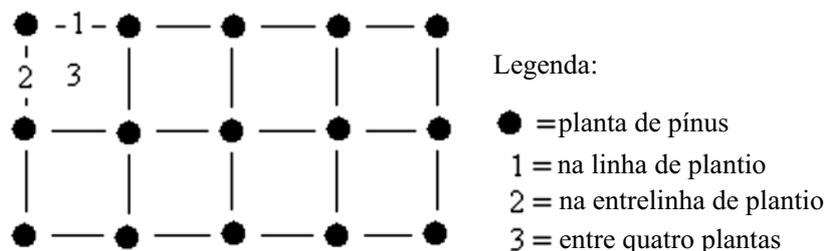


Figura 1. Esquema de amostragem da coleta de solo e do sistema radicular

anteriormente, com estrutura preservada em cilindros de 6,05 cm de diâmetro e três centímetros de altura que, após coletadas, foram levadas até o Laboratório de Física do Solo da Universidade Federal de Santa Maria e analisadas através do método descrito por Camargo et al. (1986) e Blake e Hartge (1986).

As análises químicas referentes ao solo coletado foram feitas no Laboratório de Ecologia Florestal do Departamento de Ciências Florestais da UFSM. Inicialmente as amostras foram secas em estufa por 72 horas e, após, moídas em moinho tipo "Willey", com peneira de 30 *mesh* (nº malhas/cm²). As amostras sofreram digestão obedecendo o método de digestão com H₂O₂ e H₂SO₄, descrito por Tedesco et al. (1995).

Os resultados obtidos foram submetidos à análise de correlação de Pearson considerando o nível de 5% de significância e análise de regressão linear e não linear.

Resultados e Discussão

A biomassa radicular apresentou valor elevado de coeficiente de variação, fato que pode estar associado à grande variação da biomassa entre as camadas do solo. A faixa de densidade do solo obtida (1,26-1,43 Mg m⁻³)

não é considerada restritiva ao crescimento radicular para esse tipo de solo ou para esta espécie (Tabela 1).

A análise de correlação de Pearson foi significativa entre biomassa radicular e profundidade de solo, enquanto que, para as demais correlações, não houve significância (Tabela 2). Isso demonstra que tanto a posição de coleta quanto a densidade de solo não influenciaram na quantidade de biomassa radicular, ao contrário do que ocorre com a profundidade de solo, como pode ser verificado mais detalhadamente na tabela 3.

A maior quantidade de biomassa de raízes finas encontra-se na camada superficial do solo (0 a 10 cm), apresentando 651,6 Kg ha⁻¹, ou seja, 40,6% do total de biomassa de raízes (Tabela 3). Schumacher et al. (1999), estudando a distribuição de raízes em *Acacia mearnsii* também encontrou maior densidade de raízes finas na camada de zero a dez centímetros de profundidade, apresentando em média 66% da massa seca e do comprimento de raízes finas.

Segundo Freitag et al. (2003), a maior quantidade de raízes nas camadas superficiais do solo está associada à fonte de nutrientes advinda da camada orgânica resultante da decomposição dos resíduos vegetais. Além

Tabela 1. Valores médios, desvio padrão, coeficiente de variação (%), valores máximo e mínimo para biomassa radicular de *Pinus* (g) e densidade do solo (Mg m⁻³)

Variável	Média	Desvio padrão	CV	Máximo	Mínimo
Biomassa radicular	1,72	1,47	85,33	5,10	0,25
Densidade do solo	1,32	0,04	3,44	1,43	1,26

Tabela 2. Correlação de Pearson entre as variáveis biomassa radicular, posição de coleta, camada de solo e densidade do solo

Variável	Biomassa radicular	Posição de coleta	Camada de solo
Posição de coleta	0,1597 ns	-	-
Profundidade de solo	-0,8100 **	-	-
Densidade do solo	0,2947 ns	0,2614 ns	-0,4080 ns

Nota: Em que: ns = não significativo; ** = significativo a 1%.

Tabela 3. Valores médios de biomassa (kg ha^{-1}) de raízes finas ($< 2\text{mm}$) de *Pinus sp.* nas diferentes profundidades do solo

Profundidade cm	Biomassa de raízes	
	Kg ha^{-1}	%
0-10	651,6	40,6
10-20	463,7	28,8
20-30	141,2	8,8
30-40	138,0	8,6
40-50	120,0	7,5
50-60	91,8	5,7
Total	1.606,3	100,0

disso, a presença da serapilheira funciona como um isolante térmico, que controla a temperatura e a umidade, contribuindo para o enraizamento superficial.

Não houve um padrão de comportamento entre os diferentes locais de coleta de biomassa radicular de *Pinus* (Figura 2). Isso é um indicativo de que não houve, no momento do plantio do povoamento, uma adubação diferenciada na linha ou entre linhas, além de que a ciclagem de nutrientes através da decomposição da serapilheira e outros materiais orgânicos ocorre de maneira aleatória entre estes três locais.

A biomassa radicular em função da profundidade de solo apresentou um comportamento decrescente com aumento

da profundidade do solo (Figura 3). Até a profundidade de trinta centímetros houve um decréscimo acentuado da biomassa radicular, tendendo a ficar praticamente constante para as camadas inferiores. A equação obtida para explicar tal comportamento ($y = 4,4607x^{-1,705}$, onde: y = biomassa radicular em gramas; x = profundidade em cm) foi linearizada, resultando na equação: $\log(y) = 1,4953 - 1,1705(x)$, com um coeficiente de determinação de 72% e altamente significativa ($P < 0,0001$). Mello e Gonçalves (2008) estudando equações para estimar a biomassa da parte aérea e do sistema radicular em povoamentos de *Eucalyptus grandis* em sítios com produtividades distintas definiram como o melhor modelo para estimar a

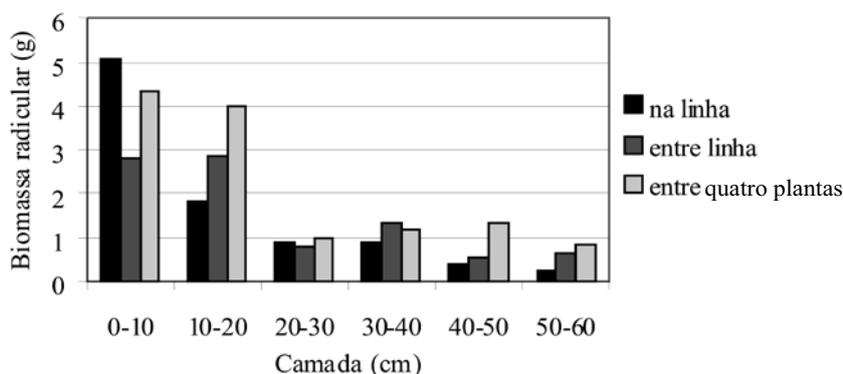


Figura 2. Biomassa radicular para as profundidades de solo nas diferentes profundidades e posições de coleta

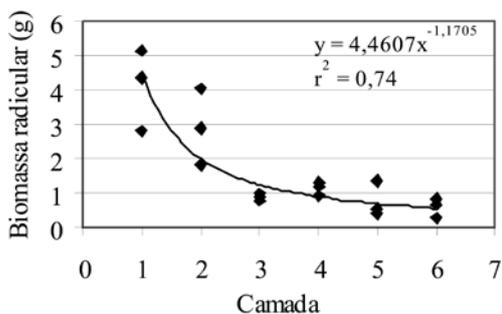


Figura 3. Biomassa radicular em função das camadas de solo em estudo (Camada: 1 = 0-10; 2 = 10-20; 3 = 20-30; 4 = 30-40; 5 = 40-50; 6 = 50-60)

biomassa radicular (finas e grossas), em função da profundidade, um modelo linear logaritmicado onde a função teve um coeficiente de determinação de 97 e 98%, respectivamente, para raízes finas e grossas.

A maior concentração de raízes na camada superior do solo pode ser explicada pela concentração de folhas e galhos em decomposição na superfície do solo, disponibilizando nutrientes minerais e orgânicos, permitindo um ambiente favorável ao desenvolvimento de raízes nessa camada. Essa quantidade de material orgânico tende a ser menor nas camadas mais inferiores em um

perfil de solo, conforme pode ser observado na figura 4, e nas tabelas 4, 5 e 6.

Esse mesmo padrão observado, onde as raízes finas apresentam maior concentração nas camadas mais superficiais do solo, foi encontrado por Hoppe (2003), em estudo realizado com *Platanus x Acerifolia*, Witschoreck et al. (2003), para *Eucalyptus urophylla* com 10 anos de idade e por Schumacher et al. (2003) para *Eucalyptus spp.* Dessa forma, e considerando o comportamento da matéria orgânica ao longo do perfil do solo, pode ser estimado um modelo matemático que descreve o comportamento diretamente proporcional da quantidade de biomassa em relação ao teor de matéria orgânica do solo (Figura 5). Essa tendência também pode ser observada na tabela 7, onde a análise de correlação de Pearson mostra uma correlação positiva de 0,835 entre estas variáveis a um nível de significância de 99%. Um modelo que tem demonstrado ser uma importante ferramenta no estudo da dinâmica da matéria orgânica do solo, evidenciando razoável congruência entre valores observados e simulados, é o modelo de simulação Century (r^2 de 0,75 a 0,93; PARTON et al., 1994). De forma geral, o modelo Century estabelece as quantidades de carbono e nutrientes em resíduos vegetais

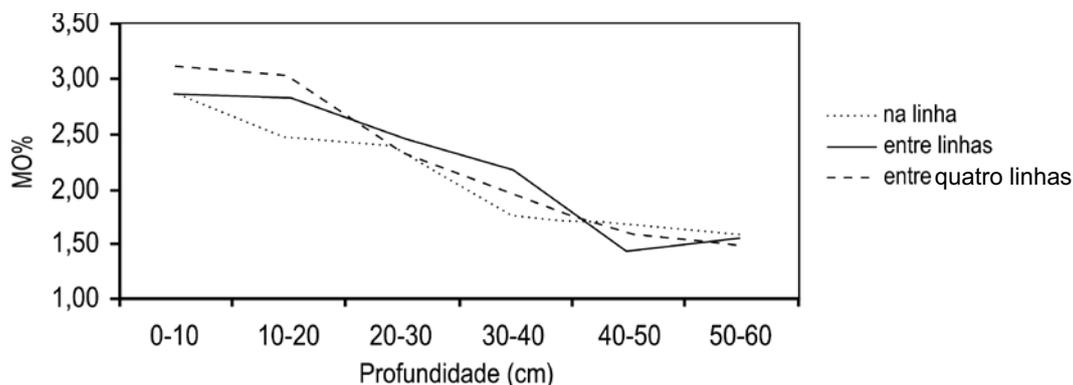


Figura 4. Teor de matéria orgânica nos três locais de amostragem para diferentes profundidades

Tabela 4. Análise química do solo na linha de plantio em um povoamento de *Pinus sp.* com sete anos localizado no *Campus* da Universidade Federal de Santa Maria (RS)

Identificação	MO	pH (H ₂ O)	índice SMP	Al	H + Al	CTC efet.	CTC pH 7	Argila	Textura	P	K	Ca	Mg	M	V
	g/kg														
0-10 na linha	28,9	4,88	4,90	1,21	15,42	6,18	20,39	300	3	5,78	25,60	2,72	2,18	19,60	24,36
10-20 na linha	24,6	4,88	4,86	1,06	16,15	5,76	20,84	280	3	2,93	24,00	3,12	1,52	18,46	22,52
20-30 na linha	23,7	4,90	4,65	1,50	20,55	5,81	24,87	310	3	2,61	27,00	2,92	1,33	25,74	17,36
30-40 na linha	17,3	4,85	4,47	1,90	25,27	5,90	29,27	350	3	1,96	28,00	2,69	1,24	32,16	13,67
40-50 na linha	16,6	4,83	4,28	2,06	31,43	6,32	35,69	440	2	1,96	33,00	2,87	1,30	32,62	11,93
50-60 na linha	15,8	4,81	4,21	2,51	34,06	7,31	38,86	510	2	1,96	37,00	3,36	1,35	34,34	12,35

Nota: Em que: MO = matéria orgânica; M = soma de bases; V = saturação por bases.

Tabela 5. Análise química do solo na entre linha em um plantio de *Pinus sp.* com sete anos localizado no *Campus* da Universidade Federal de Santa Maria (RS)

Identificação	MO	pH (H ₂ O)	índice SMP	Al	H + Al	CTC efet.	CTC pH 7	Argila	Textura	P	K	Ca	Mg	M	V
	g/kg														
0-10 entre linha	28,7	4,82	5,06	0,95	12,83	6,48	18,36	260	3	4,42	40,00	3,31	2,11	14,69	30,10
10-20 entre linha	28,2	4,84	4,95	1,07	14,56	6,99	20,48	290	3	3,74	48,00	3,68	2,11	15,33	28,89
20-30 entre linha	24,5	4,90	4,76	1,28	18,11	6,10	22,93	310	3	2,77	28,00	3,25	1,50	20,98	21,02
30-40 entre linha	21,6	4,79	4,43	1,80	26,46	5,60	30,26	350	3	2,28	28,00	2,54	1,20	32,07	12,58
40-50 entre linha	14,3	4,75	4,38	2,05	28,02	6,02	31,99	200	4	2,12	30,00	2,64	1,26	34,00	12,41
50-60 entre linha	15,6	4,77	4,13	2,57	37,34	6,68	41,45	380	3	2,12	36,00	2,93	1,09	38,44	9,92

Nota: Em que: MO = matéria orgânica; M = soma de bases; V = saturação de bases.

Tabela 6. Análise química do solo entre quatro plantas em um plantio de *Pinus sp.* com sete anos localizado no *Campus* da Universidade Federal de Santa Maria (RS)

Identificação	MO	pH (H ₂ O)	índice SMP	Al	H + Al	CTC efet.	CTC pH 7	Argila	Textura	P	K	Ca	Mg	M	V
	g/kg														
0-10 entre 4 plantas	31,1	4,91	5,09	0,93	12,40	6,82	18,29	310	3	4,08	67,00	3,30	2,42	13,65	32,22
10-20 entre 4 plantas	30,2	4,85	5,13	0,90	11,84	7,10	18,05	310	3	4,08	87,00	3,78	2,20	12,62	34,39
20-30 entre 4 plantas	23,3	4,87	4,64	1,38	20,79	5,71	25,11	310	3	2,12	25,00	2,86	1,40	24,24	17,23
30-40 entre 4 plantas	19,4	4,88	4,47	1,66	25,27	5,73	29,34	360	3	1,79	28,00	2,76	1,24	29,04	13,87
40-50 entre 4 plantas	16,0	4,90	4,42	1,85	26,76	5,81	30,72	380	3	1,96	30,00	2,67	1,22	31,82	12,90
50-60 entre 4 plantas	14,7	4,86	4,21	2,32	34,06	7,05	38,78	320	3	2,45	34,00	3,18	1,46	32,93	12,19

Nota: Em que: MO = matéria orgânica; M = soma de bases; V = saturação de bases.

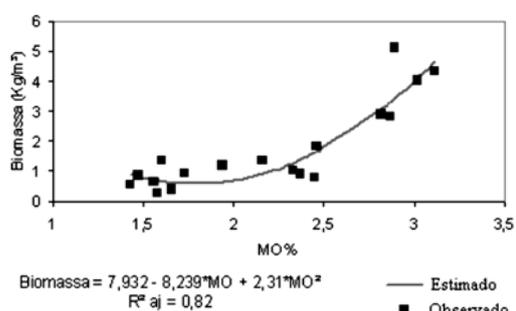


Figura 5. Biomassa de raízes finas (< 2 mm) em função do teor de matéria orgânica do solo

vinte centímetros de profundidade do solo diminuindo a medida que a profundidade do solo aumentou, havendo pouca variação após os trinta centímetros de profundidade e, 76,1% do comprimento das raízes finas encontram-se nos primeiros trinta centímetros de profundidade de solo. Os valores de comprimento e biomassa de raízes encontrados por Witschoreck et al. (2003) são um pouco menores que os encontrados neste estudo. Isso pode ser uma

Tabela 7. Correlação de Pearson para as variáveis profundidade, matéria orgânica (MO), saturação de bases (V), soma de bases (M), biomassa e teores de Al, P, K, Ca e Mg

	Prof.	MO	V	Biomassa	Al	P	K	Ca	Mg	M
Prof.	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MO	-0,955(**)	1	-	-	-	-	-	-	-	-
V	-0,885(**)	0,935(**)	1	-	-	-	-	-	-	-
Biomassa	-0,810(**)	0,835(**)	0,839(**)	1	-	-	-	-	-	-
Al	0,960(**)	-0,930(**)	-0,896(**)	-0,736(**)	1	-	-	-	-	-
P	-0,812(**)	0,826(**)	0,820(**)	0,924(**)	-0,703(**)	1	-	-	-	-
K	-0,331ns	0,503(*)	0,687(**)	0,567(*)	-0,392 ns	0,418 ns	1	-	-	-
Ca	-0,350ns	0,523(*)	0,699(**)	0,374 ns	-0,423 ns	0,414 ns	0,727(**)	1	-	-
Mg	-0,813(**)	0,865(**)	0,938(**)	0,910(**)	-0,766(**)	0,902(**)	0,668(**)	0,643(**)	1	-
M	0,932(**)	-0,953(**)	-0,972(**)	-0,787(**)	0,960(**)	-0,782(**)	-0,537(*)	-0,633(**)	-0,883(**)	1

Nota: Em que: (**) a correlação é significativa a 1% e (*) a correlação é significativa a 5% de probabilidade de erro.

e compartimentos de matéria orgânica do solo e seus fluxos (LEITE; MENDONÇA, 2003).

A biomassa radicular não apresentou relação com a densidade do solo, talvez associado ao fato de esses valores de densidade não serem restritivos ao crescimento radicular para esse tipo de solo, e não apresentar diferença significativa entre as diferentes profundidades.

Witschoreck et al. (2003), ao analisarem a biomassa de raízes finas (< 2 mm) para *Eucalyptus urophylla* com dez anos de idade, obtiveram valor de 1.451,6 kg/ha, até a profundidade de sessenta centímetros de solo. Aproximadamente 57,9% da densidade de raízes finas foi encontrada nos primeiros

característica intrínseca de a espécie possuir um sistema radicular menos desenvolvido ou condicionado por fatores edáficos. Para Barber (1995), a proliferação de raízes em ambientes com menor concentração de nutrientes é um comportamento adaptativo bem conhecido. A produção de raízes longas e finas são, também, características desejáveis para aumentar a eficiência de absorção de nutrientes de baixa mobilidade no solo.

Análise de solo

A análise do pH em H₂O mostrou ser este um solo com elevada acidez, e com pouca variação desta característica ao longo do perfil, bem como entre os diferentes locais

de amostragem, como pode ser observado nas tabelas 4, 5 e 6.

Segundo CQFS RS/SC (2004), solos com pH (H₂O) menor que 5,0 estão classificados como muito baixo. Nota-se que, apesar disso, os valores encontrados para biomassa radicular são semelhantes aos encontrados por pesquisadores (HOPPE, 2003; WITSCHORECK et al., 2003; SCHUMACHER et al., 2003) em seus experimentos com outras espécies, o que comprova que o gênero *Pinus* adapta-se bem à acidez do solo.

Observa-se também que os valores máximos de saturação por bases nas tabelas 4, 5 e 6 foram 24,36; 30,10 e 34,39 % respectivamente. De acordo com CQFS RS/SC (2004), valores de saturação por bases menores que 45% podem ser considerados muito baixos, caracterizando solos com muito baixa fertilidade. Assim, a restrição nutricional proporcionada por este solo pode ter influenciado a formação de raízes para aumentar a capacidade de absorção dos nutrientes, confirmando os relatos de Gonçalves (1994), Gonçalves e Melo (2000) e Martins et al. (2004).

A análise de correlação de Pearson para as variáveis químicas inerentes ao solo (Tabela 7), mostra que há uma grande correlação entre esses fatores. A biomassa radicular apresentou correlação positiva com a matéria orgânica, saturação por bases, P e Mg, e correlação negativa com a profundidade do solo, teor de Al e soma de bases. A correlação positiva indica uma relação diretamente proporcional entre as variáveis, ou seja, à

medida que aumenta a proporção desses fatores, aumenta também a quantidade de biomassa radicular. O inverso pode ser dito para a correlação negativa, de forma que, aumentando a profundidade do solo, o teor de alumínio e a soma de bases, a quantidade de biomassa radicular diminui. De forma geral, pode-se dizer que a maior quantidade de biomassa radicular encontra-se nos locais onde existe maior oferta de nutrientes.

Conclusões

A faixa de densidade do solo obtida (1,26-1,43 Mg m⁻³) não é considerada restritiva ao crescimento radicular para esse tipo de solo e, portanto, não influenciou na quantidade de biomassa radicular.

Apesar do baixo teor de nutrientes de nutrientes, e do baixo pH do solo, a quantidade de biomassa radicular (1.606,3 Kg/ha) é semelhante ao encontrado por outros autores para outras espécies florestais, comprovando a plasticidade do gênero *Pinus*.

A quantidade de biomassa radicular não foi diferente entre os diferentes locais de coleta.

A biomassa radicular foi maior na camada superficial do solo (zero a dez centímetros), diminuindo com a profundidade.

A quantidade de biomassa radicular apresenta correlação com o teor de matéria orgânica, oferta de nutrientes e saturação de bases.

O teor de alumínio e a soma de bases diminuem a quantidade de biomassa radicular.

Referências

- BARBER, S. A. **Soil nutrient bioavailability: a mechanistic approach**. New York: J. Willey, 1995. 414 p.
- BLAKE, G. R.; HARTGE, K. H. Bulk Density. In: KLUTE, A. (Ed.). **Methods of soil analysis: Physical and Mineralogical Methods**. Part 1. Madison: American Society of Agronomy, 1986. p. 363-375.
- CAMARGO, O. A.; MONIZ, A. C.; JORGE, J. A.; VALADARES, J. M. A. S. **Métodos de análise química, mineralógica e física de solos do Instituto Agrônomo de Campinas**. Campinas: Instituto Agrônomo, 1986. 94p. (Boletim Técnico nº 106)
- COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO - CQFS 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, 2004. 400 p.
- FRANÇA, F. S.; MACEDO, P. R. O. **Estudo do sistema radicular de *Eucalyptus saligna* em diferentes condições de "SITE"**. Piracicaba: ESALQ, 1984.
- FRANCO, E. J. **Estudo dos métodos estimativos de volume, biomassa e níveis de produtividade para *Eucalyptus camaldulensis***. Lavras, 1996. 103 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade de Lavras, Lavras, 1996.
- FREITAG, A. S.; VARGAS, C. O.; ZAGO, C. C.; HACK, C.; SCHUMACHER, M. V. Estimativa da biomassa e comprimento de raízes finas em *Euterpe edulis* Mart. no município de Santa Maria-RS. In: CONGRESSO FLORESTAL ESTADUAL DO RIO GRANDE DO SUL, 9., 2003, Nova Prata. **Anais...** Nova Prata: n. 1, 2003.
- GAITÁN, J. J.; PENÓN, E. A.; COSTA, M. C. Distribución de raízes finas de *Eucalyptus globulus* ssp. *maidenii* y su relación com algunas propiedades del suelo. **Ciência Florestal**, v. 15, n. 1, p. 33-41. 2005.
- GONÇALVES, J. L. M. Plantações clonais do híbrido *Eucalyptus grandis* X *Eucalyptus urophylla*. I. Configurações do sistema radicular. In: SIMPÓSIO DE FERTILIZAÇÃO E NUTRIÇÃO FLORESTAL, 1999. **Resumos expandidos...** Piracicaba: 1999. 1 CD - ROM.
- GONÇALVES, J. L. M.; MELLO, S. L. M. O sistema radicular das árvores. In: GONÇALVES, J. L. M.; BENEDETTI, V. (Ed.). **Nutrição e Fertilidade Florestal**. Piracicaba: IPEF, 2000. p. 219-267.
- GONÇALVES, J. L. M. **Características do sistema radicular de absorção do *Eucalyptus grandis* sob diferentes condições edáficas**. Piracicaba, 1994. 84 f. Tese (Livre Docência). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1994.

- HOPPE, J. M. **Biomassa e nutrientes em *Platanus x Acerifolia (aiton) willd.* estabelecido no município de Dom Feliciano – RS.** Santa Maria, 2003. 143 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2003.
- KRAPFENBAUER, A.; ANDRADE, H. F. Distribuição de raízes finas do pinheiro bravo (*Podocarpus lambertii*) e do pinheiro brasileiro (*Araucaria angustifolia*). In: PESQUISAS AUSTRO-BRASILEIRAS (1973 - 1982). **Anais...** Santa Maria, 1983. p. 56-67.
- LARCHER, W. **Ecofisiologia Vegetal.** São Carlos: Rima Artes e Textos, 2000. 529p.
- LEITE, L. F. C.; MENDONÇA, E. S. Modelo century de dinâmica da matéria orgânica do solo: Equações e pressupostos. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 33, n. 4, p. 679-686, 2003.
- MAKKONEN, K.; HELMISAARI, H. Seasonal and yearly variations of fine-root biomass and necromass in a scots pine (*Pinus sylvestris* L.) stand. **Forest Ecology and Management**, v. 102, issues 2-3, p. 283-290, 1998.
- MARTINS, L. F. S.; POGGIANI, F.; OLIVEIRA, R. F.; GUEDES, M. C.; GONÇALVES, J. L. M. Características do sistema radicular das árvores de *Eucalyptus grandis* em resposta à aplicação de doses crescentes de bio sólido. **Scientia Florestalis**, Piracicaba, n. 65, p. 207-218, 2004.
- MELLO, S. L. M.; GONÇALVES, J. L. M. Equações para estimar a biomassa da parte aérea e do sistema radicular em povoamentos de *Eucalyptus grandis* em sítios com produtividades distintas. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 32, n. 1, p. 101-111. 2008.
- MORENO, J. A. **Clima do Rio Grande do Sul.** Porto Alegre: Secretaria da Agricultura, RS. 1961. 41p.
- ODUM, E. P. **Ecologia.** Rio de Janeiro: Guanabara, 1986. 434p.
- PARTON, W. J.; WOOMER, P. L.; MARTIN, A. Modeling soil organic matter dynamics and plant productivity in tropical ecosystems. In: WOOMER, P. L.; SWIFT, M. J. (Eds). **The biological management of tropical soil fertility.** Chichester: John Wiley & Sons, 1994. p. 171-188.
- PRITCHETT, W. L. **Suelos foresatales: propiedades, conservación y mejoramient.** Noriega: Ed. Limusa, 1986. 643p.
- SANQUETA, C. R.; BALBINOT, R. Metodologia para determinação de biomassa florestal. In: Fixação de carbono: Atualidades, Projetos e Pesquisas. SIMPÓSIO LATINO AMERICANOSOBRE FIXAÇÃO DE CARBONO. 2., **Anais...** Curitiba, 2004. p. 77-93.
- SOCIEDADE BRASILEIRA DE SILVICULTURA - SBS. **Estatísticas.** 2006. Disponível em: <<http://www.sbs.org.br/estatisticas.htm>>. Acesso em: 14. nov. 2006.

SCHUMACHER, M. V.; HOPPE, J. M. **A complexidade dos ecossistemas**. Porto Alegre: Pallotti, 1997. 50p.

_____; WITSCHORECK, R.; SALVADEGO, M.; FARIAS, J. A. **Quantificação do carbono e dos nutrientes em florestas de eucalipto de diferentes idades**. Santa Maria: CEPEF/UFSM, 2003. 112p. (Relatório Técnico).

SCHUMACHER, M. V.; COPETTI, L.; CAPRA, A.; HERNANDES, J. I.; SUTILLI, F. J.; BALBINOT, R. Quantificação da biomassa e o comprimento de raízes finas em um povoamento de *Acacia mearnsii* de Wild. no município de Butiá-RS. 1999, In: CICLO DE ATUALIZAÇÃO FLORESTAL DO CONE-SUL, 1., 1999, Santa Maria. **Anais...** Santa Maria, RS: [s.n], 1999, p. 213-217.

SPATHELF, P.; FLEIG, F. D.; VACCARO, S.; ESBER, L. M. Análise dendroecológica de *Ocotea pulchella* Nees et Mart. Ex Nees (Canela-lageana) na Serra Geral de Santa Maria, RS, Brasil. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 10, n. 1. p. 97-110, 2000.

STRECK, E. V.; KÄMPF, N.; DALMOLIN, R. S. D.; KLAMT, E.; NASCIMENTO, P. C.; SCHNEIDER, P.; GIASSON, E.; PINTO, L. F. S. **Solos do Rio Grande do Sul**. 2 Ed. Porto Alegre: EMATER/RS, 2008. 222p.

TEDESCO, M. J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C. A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S. J. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. Porto Alegre. 2. ed. Departamento de Solos/ UFRGS, 174 p. 1995. (Boletim Técnico, 5)

WITSCHORECK, R.; SCHUMACHER, M. V.; CALDEIRA, M. V. W. Estimativa da biomassa e do comprimento de raízes finas em *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake no município de Santa Maria-RS. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 27, n. 2, p. 177-183. 2003.