

BIOMASSA RADICULAR FINA EM FRAGMENTOS DA MATA ATLÂNTICA FLUMINENSE

Jorge Araújo de Sousa Lima¹, Dora Maria Villela², Braz Calderano Filho³, Daniel Vidal Pérez¹

¹Eng. Agrônomo, Dr., Embrapa Solos, Rio de Janeiro, RJ, Brasil - jorge@cnpq.embrapa.br; daniel@cnpq.embrapa.br

²Bióloga, Ph.D., UENF, Campos dos Goytacazes, RJ, Brasil - dora@uenf.br

³Geógrafo, M.Sc., Embrapa Solos, Rio de Janeiro, RJ, Brasil - braz@cnpq.embrapa.br

Recebido para publicação: 16/09/2009 – Aceito para publicação: 30/07/2010

Resumo

A escassez de estudos empíricos dos sistemas radiculares limita a precisão das predições relativas à economia de carbono, pois eles representam até 55% da biomassa florestal. Somente as raízes finas (diâmetro <2 mm) respondem por cerca de um terço da produção primária líquida dos ecossistemas terrestres. A hipótese de que a maior disponibilidade de água e nutrientes no solo reduz a alocação de biomassa nas raízes tem sido contestada na literatura científica tanto em relação às raízes finas (BRF) como a toda biomassa radicular. Avaliou-se aqui a correlação (*Pearson*) entre BRF e variáveis edáficas até 10 cm de profundidade em seis fragmentos florestais (48 amostras.fragmento.estação⁻¹) na Baixada Litorânea Fluminense, nas estações de seca e de chuvas. Os solos apresentaram diferentes níveis de fertilidade. A BRF média geral foi de 641 g.m⁻² (florestas similares = 140–1040 g.m⁻²). As médias de BRF obtidas no período chuvoso ou na várzea foram significativamente mais elevadas. Foram detectadas correlações positivas e significativas de BRF com Ca + Mg, K, P e N. Os resultados não respaldam a hipótese de redução da BRF em resposta ao aumento de água e nutrientes do solo.

Palavras-chave: Fragmentação florestal; florestas tropicais; solos florestais e trópico úmido.

Abstract

Fine roots biomass in fragments of Atlantic Forest from Rio de Janeiro's State. Despite the relative importance of roots, which may reach up to 55% of forests biomass, there is a lack of empirical data from tropical regions. Just fine roots biomass (FRB; < 2 mm) represent around one third of the net primary production of terrestrial ecosystems. The general acceptance that higher levels of water and nutrients decrease biomass allocation in roots has been contested in the literature. Six forest fragments along the Coastal Plains of Rio de Janeiro' State were taken to assess correlations (*Pearson's*) between FRB and soil variables within a depth of 10 cm. Soil and root samples were collected (N=48.fragment⁻¹.season⁻¹) in wet and dry seasons. Forest soils showed different fertility levels. Overall means of FRB was 641 g.m⁻² (other tropical forests = 140 - 1040 g.m⁻²). Humid season presented the highest average of FRB and also the hydromorphic soil of the sample. Positive and significant correlation between Ca + Mg, K, P, N with FRB were found. The hypothesis of FRB decrease in response to availability decrease of resources is not supported by obtained results.

Keywords: Forest soils; forest fragmentation; humid tropics; forest soils.

INTRODUÇÃO

Os desmatamentos e as mudanças nos sistemas de produção agropecuários nas regiões tropicais contribuíram com cerca de 60% do C atmosférico acumulado em decorrência do uso da terra desde 1850, de acordo com Houghton (2003). Desse modo, os estoques terrestres de C e seu balanço crescem em importância estratégica, o que tem incentivado a quantificação da biomassa dos remanescentes florestais de todas as latitudes (FEARNSIDE; LAURANCE, 2003).

As incertezas sobre as estimativas de biomassa se devem à carência de dados empíricos dos sistemas radiculares, que podem representar de 29 a 55% da biomassa florestal nos trópicos, de acordo com revisão recente de Mokany *et al.* (2005). Somente as raízes finas (diâmetro ≤ 2 mm), segundo Jackson *et al.* (1997), respondem em média por cerca de um terço da produção primária líquida dos

ecossistemas florestais temperados e tropicais, devido à sua vida curta e rápida reposição, embora representem apenas de 3 a 7% da biomassa total.

A obtenção de dados de campo é dificultada pela grande demanda de trabalho manual e de tempo para a limpeza de amostras e processamento de imagens. Entre os métodos mais usados, a coleta sequencial de amostras indeformadas é considerada a de maior acurácia (VOGT *et al.*, 1998) em comparação com o de câmaras de crescimento, que avaliam o crescimento radicular em covas previamente preparadas. Um método direto muito utilizado desde a década de 1980 é o uso de rizotrons (tubos transparentes para registro de imagens), dada sua praticidade e utilidade para estudos de crescimento, contudo sua precisão para mensurações de biomassa em ecossistemas florestais ainda depende do desenvolvimento de softwares (GUO *et al.*, 2004).

Embora as dificuldades metodológicas possam representar fonte de erro relevante, tem sido possível determinar que o sistema radicular das plantas esteja relacionado aos nutrientes e umidade do solo, cuja maior disponibilidade, conforme é geralmente aceito, reduz proporcionalmente a alocação de C nas raízes (NADELHOFFER *et al.*, 1985). Entretanto Hendricks *et al.* (2006) encontraram indicadores de aumento da BRF nas mesmas florestas de coníferas de Nadelhoffer *et al.* (1985), em resposta à maior oferta de água e nutrientes, sugerindo a necessidade de maior desenvolvimento metodológico para que se possa inferir conclusivamente sobre relações entre os compartimentos radiculares e variáveis ambientais.

Discrepâncias também têm sido encontradas em florestas tropicais úmidas (Amazônia e América Central), havendo estudos em que foram encontradas associações positivas da BRF com umidade do solo e nutrientes (CUEVAS; MEDINA, 1988; METCALFE *et al.*, 2008). Entretanto, em estudos no mesmo tipo florestal (SILVER *et al.*, 2000; ESPELETA; CLARK, 2007), essa correlação foi negativa.

A carência de estudos empíricos de sistemas radiculares representativos no espaço e no tempo, em ecossistemas tropicais, é exemplificada por Espeleta; Clark (2007), os quais apresentaram o único trabalho de longo prazo (7 anos) disponível na literatura sobre dinâmica de raízes finas em ecossistemas tropicais. Na faixa costeira da Mata Atlântica há somente um registro disponível em floresta natural do Sudeste brasileiro em que se quantificam raízes finas, num estudo de caracterização de formas de húmus em horizontes superficiais do solo (KINDEL; GARAY, 2001).

Portanto dados inéditos de campo irão contribuir significativamente para a precisão de predições da biomassa radicular em florestas tropicais e para ampliar conhecimento sobre relações de causa e efeito entre tal compartimento e os fatores ambientais bióticos e abióticos. Nesse sentido, o presente estudo objetivou quantificar BRF em fragmentos de Mata Atlântica na Área de Proteção Ambiental (APA) do Rio São João, na Baixa Litorânea do estado do Rio de Janeiro, e avaliar possíveis correlações desse compartimento radicular com variáveis edáficas sob a hipótese mais aceita, ou seja, o efeito negativo da maior disponibilidade de água e nutrientes do solo em relação a esse compartimento.

MATERIAIS E MÉTODOS

Área de estudo

Os fragmentos florestais selecionados para esse estudo estão localizados na Área de Proteção Ambiental (APA) do rio São João, que abrange os municípios de Casimiro de Abreu (altitude de 17 m; 22°28'50" S e 42°12'15" W), Silva Jardim (altitude de 35 m; 22°39'03" S e 42°23'30" W) e Rio Bonito (altitude de 62 m; 22°42'30" S e 42°37'34" W), situados na Baixada Litorânea Fluminense. O clima é tropical úmido (Am/As – Köppen). A temperatura média mensal varia de 19 a 26 °C e a pluviosidade anual se situa entre 1500 e 2000 mm.ano⁻¹, concentrada entre setembro e abril, com estiagem moderada de maio a agosto (SIMERJ, 2008).

Essa região pertence à Unidade Geomorfológica Colinas e Maciços Costeiros, caracterizando-se pela topografia deprimida, reduzidos valores altimétricos e relevo dominado por colinas convexas, com a forma conhecida como *meia laranja*, de altitude máxima de 150 m. As rochas predominantes são as gnáissicas do Pré-Cambriano (Complexo Paraíba do Sul) (RADAMBRASIL, 1982).

Os solos dos fragmentos estudados diferem em aspectos de pedologia expressas em diferentes classificações taxonômicas (EMBRAPA, 2006), podendo ser divididos em três níveis de fertilidade (Tabela 1): alta (Estreito – Gleissolo Háplico Eutrófico), média (Afetiva – Latossolo Amarelo Distrófico) e baixa (Rebio2300 – Latossolo Vermelho Amarelo, Rebio500 – Argissolo Vermelho Amarelo, Rio Vermelho – Latossolo Amarelo Distrófico, Vendaval – Latossolo Vermelho Amarelo).

As médias de variáveis dos solos bem drenados (Afetiva, Vendaval, Rebio500, Rebio2300 e Rio Vermelho) (Tabela 1) são consistentes em relação ao obtido em amplo levantamento em parte da Baixada Fluminense, realizado por Lumbreras *et al.* (2001). Já em relação ao solo hidromórfico de Estreito, obtiveram-se valores de pH que ocupam a faixa inferior e concentrações elevadas de Ca + Mg, todos dentro da faixa de variação verificada por Lumbreras *et al.* (2001).

A cobertura florestal, classificada como Floresta Ombrófila Densa Submontana (CARVALHO *et al.*, 2008), é composta principalmente por pequenos fragmentos secundários de até 50 ha, em meio a pastos e cultivos, onde se sobressaem as famílias botânicas das Leguminosae, Lauraceae, Rubiaceae, Bignoniaceae e Euphorbiaceae, sendo comum a elevada abundância de populações de Meliaceae da espécie *Guarea guidonea* (L.) Sleumer. e de Sapindaceae da espécie *Cupania oblongifolia* Mart. (Procópio-Oliveira *et al.*, 2008). Já nas maiores matas maduras da zona, que são as da Reserva Biológica União (2800 ha – Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade – Ministério do Meio Ambiente, dos Recursos Hídricos e da Amazônia Legal), somam-se àquelas famílias já citadas as Myrtaceae, Sapotaceae e Chrysobalanaceae, destacando-se a elevada abundância de populações do gênero *Ficus* (Moraceae) (RODRIGUES, 2004). Maiores detalhes sobre aspectos botânicos de toda essa zona podem ser obtidos em Carvalho *et al.* (2008) e Procópio-Oliveira *et al.* (2008).

Os fragmentos foram identificados por nomes pelos quais as propriedades são conhecidas localmente. Os dados respectivos de superfície total e de área basal (área relativa ao diâmetro do tronco à 1,30 de altura das árvores – DAP \geq 5 cm) são: Afetiva – área 25,5 ha e área basal 23,2 m².ha⁻¹; Estreito – área 23,3 ha e área basal 22 m².ha⁻¹; Vendaval – área 33,5 ha e área basal 13,2 m².ha⁻¹; Rio Vermelho – área 406 ha e área basal 23,7 m².ha⁻¹; Rebio500 – área 500 ha e área basal 43,2 m².ha⁻¹; e Rebio2300 – área 2300 ha e área basal 41,9 m².ha⁻¹.

Tabela 1. Médias e desvios padrão (DP) de variáveis de solos florestais da APA Rio São João (Extraído de LIMA, 2009).

Table 1. Annual means and standard deviations (DP) of forest soils variables from Rio de Janeiro's Coastal Plains. (Extracted from LIMA, 2009).

Fragmento	A. grossa	A. fina	Silte	Argila	C	N
	g.kg ⁻¹					
Estreito	375 (45)	177 (16)	221 (6)	228 (35)	17,5 (2,9)	2,2 (0,5)
Afetiva	334 (87)	63 (16)	203 (27)	400 (103)	18,2 (3,2)	2,1 (0,4)
Rebio2300	367 (101)	103 (37)	135 (7)	395 (129)	18,1 (3,8)	1,9 (0,3)
Rebio500	429 (76)	90 (37)	143 (21)	338 (97)	18 (2,8)	1,9 (0,3)
Rio Vermelho	506 (59)	99 (30)	108 (61)	287 (72)	22,8 (3,4)	2,1 (0,2)
Vendaval	299 (19)	61 (6)	201 (19)	439 (30)	20 (3,4)	2 (0,4)

Fragmento	K ⁺	Al ³⁺	Ca ⁺² + Mg ⁺²	P	pH (H ₂ O)	C:N
	cmol _c .kg ⁻¹			mg.kg ⁻¹		
Estreito	0,25 (0,02)	0,9 (0,4)	2,8 (2)	4,5 (1,2)	4,5 (0,3)	7,9 (0,6)
Afetiva	0,14 (0,02)	1,6 (0,6)	1 (0,4)	1,4 (0,2)	4,1 (0,2)	8,7 (0,5)
Rebio2300	0,09 (0,02)	1,9 (0,4)	0,6 (0,2)	1,1 (0,1)	4 (0,1)	9,7 (0,8)
Rebio500	0,11 (0,02)	1,9 (0,3)	0,7 (0,1)	1,3 (0,3)	3,9 (0,1)	9,5 (0,5)
Rio Vermelho	0,09 (0,01)	2,7 (0,4)	0,7 (0,1)	1,7 (0,9)	3,7 (0,1)	11,1 (0,6)
Vendaval	0,11 (0,02)	1,9 (0,2)	0,7 (0,3)	1,3 (0,6)	4,2 (0,2)	10 (0,4)

Areia grossa (2–0,2 mm); Areia Fina (0,2–0,05 mm); Silte (0,05–0,002 mm) e argila (<2 mm).

Estratégia amostral

Em cada fragmento foram alocadas aleatoriamente quatro parcelas por sorteio de coordenadas sobre mapa. Observou-se a distância mínima de 20 m da borda e de pelo menos 50 m entre as parcelas, que mediram 20x20 m nos fragmentos pequenos (Afetiva, Estreito e Vendaval) e 20x50 m nos maiores (Rebio2300, Rebio500 e Rio Vermelho), visando cobrir diferenças de heterogeneidade estrutural entre os fragmentos para outros estudos de biomassa acima do solo descritos com mais detalhes em Lima (2009).

As raízes finas foram coletadas em volume de solo indeformado com um cilindro de aço (diâmetro interno de 5 cm) conectado a um trado na profundidade de 0–10 cm. Para gerar o valor médio de cada parcela, as coletas foram em número de 12 por parcela. estação⁻¹ em cada um dos seis fragmentos

estudados. As coletas foram efetuadas no período seco (25/07/2005–05/08/2005) e no chuvoso (30/01/2006–08/02/2006).

As amostras de solo com as raízes foram congeladas (até o máximo de 45 dias). Logo após foram lavadas em água corrente através de peneiras (mesh = 2 mm) e secas a 80 °C até peso constante, para a obtenção do peso seco das raízes vivas (claras e flexíveis), descartando-se as mortas (escuras e rígidas), de acordo com Hendricks *et al.* (2006). A biomassa radicular fina (BRF) é representada pelo volume em 100 dm³ (1 m² x 10 cm de profundidade).

Os atributos de solo de cada fragmento florestal foram obtidos a partir da coleta de três amostras de solo compostas, cada uma, de três tradagens misturadas da camada de 0–10 cm nos períodos seco e úmido (LIMA, 2009). Os parâmetros texturais foram analisados somente uma vez, utilizando-se as amostras do período seco. Na área central de cada fragmento abriu-se uma trincheira para classificação do solo através do exame dos horizontes pedológicos, conforme o Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos (EMBRAPA, 2006). As análises laboratoriais foram todas realizadas no Centro Nacional de Pesquisa de Solos (EMBRAPA SOLOS).

As análises de solo seguiram os métodos da EMBRAPA (1997), sumariamente descritos a seguir:

- Análises físicas: a análise granulométrica baseia-se na velocidade da queda das partículas do solo dispersas em água com soda. A argila é determinada pipetando-se um volume determinado da suspensão para posterior secagem e pesagem. As frações grosseiras (areia fina e grossa) são determinadas por tamização, secagem em estufa e pesagem. O silte é determinado por diferença em relação ao peso total da amostra, descontados os valores de areia e argila.
- Análises químicas: o pH se fez em uma mistura de solo com água destilada na proporção de 1:2 após uma hora de repouso. Fósforo trocável foi extraído pela solução duplo ácida (Mehlich) e determinado por colorimetria; cálcio, magnésio e alumínio por solução 1M de KCl; potássio por solução de H₂SO₄ 0,0125M + HCl 0,05M e alumínio por solução de acetato de cálcio 0,5M de pH 7,0, sendo a determinação por colorimetria. O carbono total foi estimado a partir da sua oxidação pelo dicromato. O nitrogênio total foi determinado empregando a digestão, em meio ácido (H₂SO₄), com aquecimento, adicionando, ainda, Na₂SO₄ para aumentar a temperatura de digestão e CuSO₄ para acelerar a reação.

Análise de dados

O valor de BRF ou de variável de solo atribuído a cada fragmento resulta da média obtida pelas 4 parcelas de cada sítio. A normalidade da distribuição dos dados de BRF foi aceita devido aos resultados obtidos pelo teste de Shapiro-Wilk (SAS INSTITUTE, 1999), dos períodos seco e chuvoso, respectivamente: $W = 0,95$ e $0,94$ (não significativos a $p = 0,01$).

A comparação das médias de BRF entre épocas foi antecedida pelo teste F de igualdade entre variâncias de Steel; Torrie (1988). Quando iguais, as médias foram comparadas a partir da razão da diferença entre as médias amostrais e seu erro padrão, mas quando diferentes utilizou-se a ponderação de Cochran; Cox (1978). Já as comparações múltiplas entre os fragmentos se fizeram com delineamento hierarquizado Anova (*Nested Design*), tendo a parcela como variável aleatória e o fragmento como fixa (ZAR, 1984). Os coeficientes de correlação de *Pearson* foram determinados utilizando-se as médias por parcela das variáveis de BRF e do solo.

As análises de dados foram realizadas com uso do programa SAS 8.2 (SAS INSTITUTE INC., 1999).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Biomassa radicular fina

As quantidades médias de BRF obtidas (Tabela 2) são próximas àquelas encontradas em outros estudos da faixa costeira atlântica tropical (KINDEL; GARAY, 2001) e subtropical estacional (BRUN *et al.*, 2006), e intermediária à faixa de valores encontrada em florestas tropicais úmidas montanas e pré-montanas de vários biomas (GREEN *et al.*, 2005) (Tabela 3).

Diferenças metodológicas podem influenciar os resultados de estimativas de BRF (HENDRICKS *et al.*, 2006) (Tabela 3). Nesse sentido, Kindel; Garay (2001) e Jaramillo *et al.* (2003)

realizaram extração de raízes por meio de catação manual, que possivelmente minimiza perdas de material. Power *et al.* (2005) utilizaram coletores, Yavitt; Wright (2001) usaram câmaras de crescimento, enquanto Espeletta; Clark (2007) utilizaram amostras indeformadas com extração úmida.

A comparação de resultados obtidos por métodos diferentes realizada por Hendricks *et al.* (2006) gerou estimativas significativamente menores entre amostras indeformadas e câmaras de crescimento de 81 e 54%, respectivamente, em relação às estimativas de minirrizotrons. Contrariamente, Powers *et al.* (2005) encontraram tendência a se obter quantitativos mais altos de BRF pelo método coleta sequencial de amostras indeformadas em relação a outros trabalhos com uso de câmaras de crescimento e rizotrons. Green *et al.* (2005), utilizando o método de amostras indeformadas para quantificar BRF e minirrizotrons para avaliar aspectos morfométricos em floresta tropical da Ásia, obtiveram valores abaixo de outros resultados da mesma região com os mesmos métodos.

Diferentes metodologias continuam a ser utilizadas devido à pequena quantidade de estudos empíricos, o que dificulta um consenso sobre o método mais adequado para as estimativas de BRF para cada objetivo, seja este o crescimento ou o estoque de biomassa entre os principais. Ainda que a proximidade de resultados aqui obtidos (Tabela 2) em relação ao de Kindel; Garay, (2001), ambos na Costa Atlântica do Sudeste Brasileiro, possa sugerir certa representatividade regional das médias de BRF no terço médio ao superior das faixas obtidas para regiões tropicais (Tabela 3), são necessários mais dados de campo para cobrir a imensa variação edafoclimática da Mata Atlântica.

Interações com o clima

A média geral de BRF foi significativamente maior no período chuvoso do que na estação seca (Tabela 2), refletindo principalmente o peso das variações das médias dos fragmentos Estreito, Rebio500 e Vendaval, que registraram aumentos significativos de BRF no período chuvoso. Essa variação está de acordo com o obtido por Cuevas; Medina (1988) e Metcalfe *et al.* (2008), em florestas tropicais úmidas da Venezuela e da Amazônia Brasileira, e com Green *et al.* (2005), em floresta tropical da Ásia, mas contrastam com o obtido na Costa Rica (ESPELETA; CLARK, 2007) e em outro ponto da Amazônia brasileira (SILVER *et al.*, 2000), onde foram encontradas correlações negativas e significativas entre a umidade do solo e BRF.

Tabela 2. Valores médios⁽¹⁾ da biomassa radicular fina (N = 4 parcelas.ha⁻¹; g.m⁻²) da camada de 10 cm de profundidade em seis fragmentos florestais da APA Rio São João, RJ (Extraído de LIMA, 2009).

Table 2. Averages⁽¹⁾ of fine root biomass (N = 4 plots.ha⁻¹; g.m⁻²) from 10 cm depth in six forest fragments of São João River Basin (Extracted from LIMA, 2009).

Fragmento	Período seco	Período chuvoso	Média anual
Afetiva	650 (63) ABa	570 (107) Ba	610 (85) B
Estreito	747 (103) Ab	934 (74) Aa	841 (92) A
Rebio2300	570 (50) BCa	578 (28) Ba	574 (33) B
Rebio500	512 (84) Cb	906 (274) Aa	709 (203) AB
Rio Vermelho	555 (117) Ca	656 (216) Ba	606 (148) B
Vendaval	511 (41) Cb	705 (36) Ba	608 (88) B
Média	591 (60) b	725 (231) a	641 (149)

(1) Letras maiúsculas iguais no sentido das colunas representam médias estatisticamente iguais entre fragmentos florestais (ANOVA – *Nested Design/Tukey*, $p \leq 0,05$). Idem com letras minúsculas iguais no sentido das linhas entre estação (Teste $t_{0,05}$). Desvios padrão entre parênteses.

Afetiva foi o único fragmento que apresentou tendência, ainda que não significativa, à redução de BRF no período chuvoso (Tabela 2). Lima *et al.* (2007) detectaram uma possível resposta fisiológica ao *veranico* de janeiro de 2006 (Figura 1), devido à baixa cota altimétrica desse fragmento e à proximidade geográfica e florística com a várzea de Estreito, onde prevalece a adaptação em condições de elevada umidade o ano inteiro. Essa condição é corroborada pelas médias significativamente mais altas de BRF obtidas em Estreito e em Afetiva do que nos demais sítios no período seco (Tabela 2). Já no período chuvoso, além do Rebio500, Estreito também apresentou médias mais altas que os demais fragmentos.

Portanto reiterou-se o efeito positivo da umidade do solo sobre BRF, devido à maior umidade característica do solo hidromórfico de Estreito.

Tabela 3. Biomassa de raízes finas em peso seco em florestas tropicais úmidas.

Table 3. Dry weigh (g.m^{-2}) of fine root biomass from surface layer in tropical humid forests.

Local	Formação fitoecológica	BRF g.m^{-2}	Prof cm	Pp. anual (mm)	Autor
Vários Biomas	Várias	140 - 1040	10	1200 - 4000	Green <i>et al.</i> (2005)
Brasil – M. Atlântica	Ombrofila Densa	591 - 725	10	2000	Este estudo
Brasil – M. Atlântica	Estacional Semidecidual	684 - 843	10	1200	Kindel; Garay (2001)
Brasil – M. Atlântica	Subtropical Estacional	284 - 793	10	1200	Brun <i>et al.</i> (2006)
Brasil – Amazônia	Ombrofila Densa	190 - 450	10	1600	Silver (2000)
Brasil, Peru –Amazônia	Ombrofila Densa	222 - 426	10	2165 - 2650	Powers <i>et al.</i> (2005)
Panamá – Costa Rica	Ombrofila Densa	76 - 144	10	2600 - 4000	Powers <i>et al.</i> (2005)
Panamá	Ombrofila Densa	286 - 372	30	2620	Yavitt; Wright (2001)
México	Ombrofila Densa	120 - 260	10	>4000	Jaramillo (2003)
Malásia	Ombrofila Densa	130 - 260	15	2800	Green <i>et al.</i> (2005)

A interação com o clima é decorrência da absorção de água, que dita o regime fenológico (foliar e radicular) e a taxa de respiração (GOWER, 2003). De acordo com Markesteijn; Poorter (2009), o estoque de C em ecossistemas terrestres se define a partir das relações hídricas, como precipitação anual, duração de período seco e acumulação de déficit hídrico. Esses autores ponderam que a menor precipitação não necessariamente reduz a biomassa radicular total porque favorece o investimento em profundidade, pois as plantas maximizam a absorção de água através de longos e bem ramificados sistemas radiculares. Como os valores aqui apresentados se referem à camada superficial de 10 cm, não se excluem outras variações importantes em maiores profundidades.

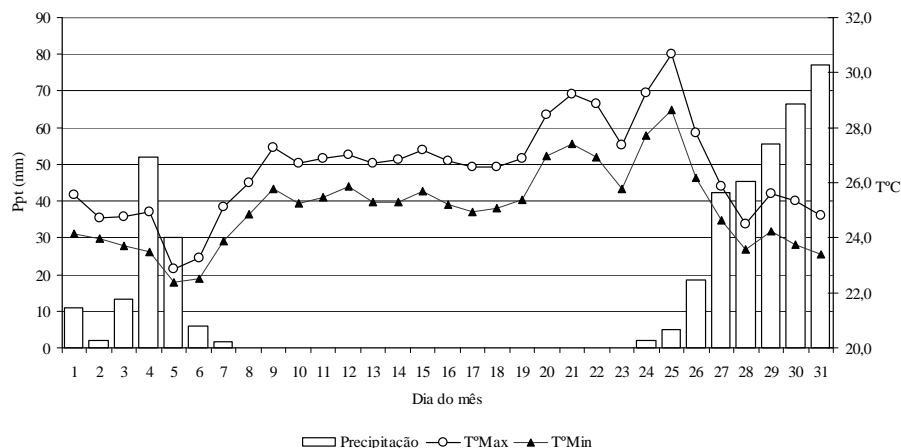


Figura 1. Totais diários de pluviometria (mm) e médias diárias das temperaturas (°C) máximas e mínimas de Silva Jardim em janeiro de 2006. (Fonte: SIMERJ, 2008). Distância máxima entre fragmentos = 57 km no sentido SW–NE.

Figure 1. Daily total of pluviometry (mm) and daily means of maximum and minimum temperatures (°C) in Silva Jardim city during January, 2006. Maximum distance between forest fragments = 57 km from SW to NE.

Em Porto Rico, McGroddy; Silver (2000) demonstraram, através de gradiente altitudinal, que as variações nos totais edáficos de C no ambiente florestal dependem das taxas de respiração, mas também são influenciadas pelo gradiente climático e pelo histórico de saturação de umidade do solo. Portanto as relações hídricas, taxas de fotossíntese e desenvolvimento (composição e estrutura) dos ecossistemas envolvem as estratégias da tolerância (metabolismo funcional sob níveis críticos de umidade) e o atraso

do processo de estresse (deciduidade fenológica) (ENGELBRECHT; KURSAR, 2003). Neste caso, a variação positiva de BRF em relação à precipitação está de acordo com o mecanismo de descarte fenológico de raízes sob limitação de água (VOGT; BLOOMFIELD, 1991).

É provável que contrastes entre os resultados possam decorrer parcialmente das diferenças entre métodos de coletas, mas também outros fatores relacionados às reservas edáficas de água, como a profundidade do solo, a presença e profundidade da camada adensada e porosidade (BOUMA; BRYLA, 2000), ou relacionados à nutrição das plantas, como as taxas de decomposição da serapilheira (VILLELA; PROCTOR, 2002) e de difusão de nutrientes (NIETFELD, 2001), podem ter importância variável, de acordo com a sazonalidade climática. Todavia os resultados indicam conclusivamente que, no compartimento avaliado, a maior disponibilidade de umidade da estação chuvosa favorece o aumento de BRF.

Relações entre BRF e fatores do solo

A maioria das variáveis químicas do solo analisadas apresentaram correlação significativa com BRF no período seco (Tabela 4). Foi significativa e positivamente correlacionada com areia fina, silte, N, P, K, Ca + Mg e P, e negativamente com pH, C:N e Al (Tabela 4). Tais correlações se refletiram nas médias anuais dos coeficientes de correlação entre BRF e areia fina, Ca + Mg e P. Já a ausência de correlações com variáveis químicas no período chuvoso (Tabela 4) sugere a existência de processos que minimizam as limitações nutricionais relacionados à umidade do solo, como a mais rápida mineralização de nutrientes por decomposição da serapilheira (VILLELA; PROCTOR, 2002).

A correlação significativa e positiva de BRF com areia fina (Tabela 4) na estação chuvosa parece indicar um possível mecanismo de interação solo-clima, pois a elevada condutividade hidráulica dessa partícula (PUCKETT *et al.*, 1985) favorece a taxa de difusão de nutrientes na rizosfera sob maior pressão de umidade, conforme verificado por Nietfeld (2001) com espécies florestais em condições de laboratório. Já no período seco, apenas silte, entre os componentes texturais, apresentou correlação significativa e positiva, possivelmente decorrente da relação positiva dessa partícula com a porosidade do solo, o que favorece o crescimento radicular (BOUMA; BRYLA, 2000).

O aumento de BRF em resposta à maior disponibilidade de nutrientes no período seco (Tabela 4) deve resultar de limitações locais, conforme também encontrado por Cuevas; Medina (1988) e Metcalfe *et al.* (2008) em florestas tropicais, tendo estes últimos sugerido que o crescimento da BRF pode ser um meio para as árvores aumentarem a absorção de água e nutrientes. Essa hipótese, entretanto, não esclarece a tendência observada em alguns estudos nos quais, ao contrário, a BRF aumentou em resposta à menor disponibilidade de nutrientes e umidade do solo, tanto em florestas neotropicais (SILVER *et al.*, 2000; POWER *et al.*, 2005; ESPELETA; CLARK, 2007) como em temperadas (HENDRICKS *et al.*, 2006).

A correlação significativa e negativa entre BRF e a razão C:N podem sugerir alguma importância da atividade microbiana, especialmente em relação ao ciclo de N e de P, já que esses nutrientes apresentaram correlação significativa e positiva no período seco, quando a atividade microbiana tende a ser menor, conforme indicado por Killham (1994). Nesse caso, a redução da atividade decompositora determinaria menor absorção dos demais nutrientes, por limitar a mineralização e a disponibilidade de N.

A correlação significativa e negativa entre BRF e alumínio trocável é determinada pelo efeito negativo desse cátion sobre a absorção de cálcio e de magnésio. Afinal, a absorção de nutrientes depende de relações estequiométricas sobre as membranas externas das células radiculares, pois a composição do plasmalema é muito influenciada pelos processos de troca catiônica que ocorre principalmente com as moléculas negativamente carregadas das paredes celulares (MARSCHNER, 1995). Há algumas evidências de que a ligação de Al no apoplasto implica a expressão da toxidez, porque Ca e Mg são deslocados dos sítios de troca (KELTJENS, 1995), favorecendo deformações na membrana.

Discrepâncias entre os resultados apresentados com outros estudos sobre relações entre BRF e variáveis do solo relatados podem decorrer de diferentes metodologias e níveis de representação dos ecossistemas, como apontaram Hendricks *et al.* (2006). Ainda que a tendência encontrada no sentido da média mais alta de BRF no solo de várzea de Estreito sinalize o efeito positivo dos recursos sobre a BRF (Tabela 2), cabe considerar que a capacidade das plantas de converter nutrientes em biomassa é variável e que diferenças florísticas podem influir sobre a BRF, em consequência de plasticidade morfológica, eficiência de uso da água, longevidade das raízes, associações com microorganismos de solo e capacidade competitiva (CASPER; JACKSON, 1997).

Tabela 4. Coeficientes de correlação de *Pearson* (*r*) entre a biomassa de raízes finas e variáveis edáficas nas estações de chuvas e seca na Bacia Hidrográfica Rio São João.

Table 4. Correlations coefficients (Pearson's *r*) between fine root biomass and soil variables along São João River Basin.

Variável	Seco	Chuvas	Média anual
Areia Grossa	-0,253	0,039	-0,083
Areia fina	0,096	0,576**	0,601*
Silte	0,461*	0,135	0,351
Argila	-0,041	-0,336	-0,343
pH(H ₂ O)	-0,440*	0,222	0,289
Ca ⁺² + Mg ⁺²	0,489*	0,279	0,527*
K ⁺	0,674**	0,132	0,497*
Na ⁺	-0,231	0,003	0,331
Al ³⁺	-0,362	-0,068	-0,258
P	0,469*	0,182	0,457*
N	0,514*	0,198	0,396
C	0,230	0,208	0,227
C:N	-0,478*	0,102	-0,198

Obs.: *($p \leq 0,05$); **($p \leq 0,01$); Areia Grossa (2–0,2 mm), Areia Fina (0,2–0,05 mm), Silte (0,05–0,002 mm) e Argila (<0,02 mm).

A maior biomassa radicular não necessariamente implica a capacidade de alocar raízes em sítios ricos em nutrientes, mas pode haver uma troca entre a capacidade de explorar grandes volumes de solo e a de explorar sítios mais ricos com menos consumo de carboidratos (CAMPBELL *et al.*, 1991). Desse modo, as plantas que apresentam mais enzimas de transporte de nutrientes estarão em vantagem competitiva mesmo com menor biomassa radicular (CAMPBELL *et al.*, 1991). Por outro lado, o baixo suprimento de nutrientes pode aumentar a proporção de carboidratos consumidos nas raízes. Em níveis mais altos de oferta de nutrientes, as plantas respiram até 40% do carboidrato enviado às raízes, mas sob alta diluição de nutrientes esse valor pode chegar a 80%, pois aumenta o consumo de energia para a absorção de nutrientes contra o gradiente de concentração da solução do solo (HANSON *et al.*, 2000), influenciando no balanço entre alocação e consumo de C nesse compartimento.

Os aspectos relativos à bioquímica no microambiente da rizosfera, como as significativas diferenças de pH e Al em relação à solução do solo (GÖTTLEIN *et al.*, 1999; CHENG *et al.*, 2004), merecem ser avaliados com maior precisão, pois se os parâmetros químicos da solução do solo são alterados nessa microrregião, então é possível que as análises de solo não representem exatamente as condições encontradas pelas raízes das populações arbóreas, o que pode afetar significativamente a interpretação de resultados.

Portanto a natureza multifatorial da fertilidade do solo e interações com a umidade do solo, conforme indicaram Espeleta; Clark (2007), além de cíclicas, são de tal maneira complexas que ainda não é possível estabelecer relações claras de causa e efeito relacionadas a variações de BRF. Observa-se ainda que a correlação significativa e positiva entre BRF e N sugere que a menor limitação de N em relação a P em florestas tropicais em geral, conforme sugerido por Vitousek; Sanford (1986), possa vir a ser mais bem dimensionada diante de mais dados empíricos sobre alocação de biomassa em compartimentos hipógeos.

CONCLUSÕES

- As médias de biomassa radicular finas obtidas nos fragmentos da Bacia do Rio São João são similares àquelas apresentadas em outros estudos da zona costeira atlântica e se incluem na faixa de variação das florestas tropicais úmidas.
- As médias gerais mais altas de BRF no período de chuvas do que no período seco, assim como no solo de várzea do fragmento Estreito em relação aos demais estudados, indicam o efeito positivo da umidade do solo sobre a BRF, contrastando com a hipótese formulada da maior alocação de biomassa radicular associada à menor disponibilidade de umidade no solo.
- O hipotético aumento da biomassa radicular fina em resposta à menor disponibilidade de nutrientes do solo não é respaldada pelos resultados aqui obtidos, dadas as correlações positivas e significativas entre BRF e a disponibilidade de Ca, Mg, K, P, N.

AGRADECIMENTOS

Ao Ministério do Meio Ambiente (via FNMA), ao CEPF, à FAPERJ (Projeto E-26/170.825/2005) e ao CNPq (Projeto Universal Processo nº 472529/2007-2), pelo suporte financeiro aos projetos de pesquisa concedidos para a segunda autora, nos quais este estudo está inserido. À EMBRAPA Solos e ao Laboratório de Ciências Ambientais da Universidade Estadual do Norte Fluminense (UENF), pelo suporte financeiro e logístico. Aos funcionários da Reserva Biológica União (Instituto Chico Mendes), pelo licenciamento da pesquisa e apoio logístico. À Associação Mico-Leão-Dourado, pela parceria e apoio logístico. Aos proprietários dos imóveis rurais, pela permissão de trabalho nos fragmentos. Aos técnicos do Laboratório de Ciências Ambientais da UENF: Gerson Rocha da Purificação, Helmo Siqueira Carvalho e José Wanderley Nascimento Degel, pela ajuda nos trabalhos de campo.

REFERÊNCIAS

- BOUMA, T. J.; BRYLA, D. R. On the assessment of root and soil respiration for soils of different textures: interactions with soil moisture contents and soil CO₂ concentrations. **Plant and Soil**. 227: 215-221, 2000.
- BRUN, E. J.; SCHUMACHER, M. V.; CORREA, R. S.; VACCARO, S.; BRUN, F. G. K. Biomassa de raízes em duas fases sucessionais de uma Floresta Estacional Decidual, Santa Tereza, RS, Brasil. In: **12das Jornadas Tecnicas Forestales Y Ambientales**. Montecarlo, Misiones/ARG: INTA, 2006.
- CAMPBELL, B. D.; GRIME, J. P.; MACKEY, J. M. L. A trade-off between scale and precision in resource foraging. **Oecologia**, v. 87, n. 4, p. 532-538, 1991.
- CARVALHO, F. A.; NASCIMENTO, M. T.; OLIVEIRA FILHO, A. T. Composição, riqueza e heterogeneidade da flora arbórea da Bacia do Rio São João, RJ, Brasil. **Acta Botânica Brasílica** 22(4): 929-940, 2008.
- CASPER, B. B.; JACKSON, R. B. Plant competition underground. **Annual Review of Ecology and Systematics**, 28, 545-570, 1997.
- CHENG, Y.; HOWIESON, J. G.; O'HARA, G. W.; WATKIN, E. L. J.; SOUCHE, G.; JAILLARD, B.; HINSINGER, P. Proton release by roots of *Medicago murex* and *Medicago sativa* growing in acidic conditions, and implications for rhizosphere pH changes and nodulation at low pH. **Soil Biol Biochem**. 36:1357-1365, 2004.
- COCHRAN, W. G.; COX, G. M. **Diseños Experimentales**. México: Edit. Trillas, 1978. 661 p.
- CUEVAS, E.; MEDINA, E. Nutrient dynamics within amazonian forests II. Fine root growth, nutrient availability and leaf litter decomposition. **Oecologia**, v. 76, p. 222-235, 1988.
- EMBRAPA. 1997. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Manual de métodos de análise de Solo**. 2. ed. rev. atual. Rio de Janeiro, 1997. 212 p.
- EMBRAPA. 2006. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306 p.
- ENGELBRECHT, B. M. J.; KURSAR, T. A. Comparative drought-resistance of seedlings of 28 species of co-occurring tropical woody plants. **Oecologia**, v. 136, n. 3, p. 383-393, 2003.
- ESPELETA, J. F.; CLARK, D. A. Multi-scale variation in fine-root biomass in a tropical rain forest: a seven years study. **Ecological Monographs**, v. 77(3), p. 377-404, 2007.
- FEARNSIDE, P. M.; LAURANCE, W. F. Comment on determination of deforestation rates of the world's humid tropical forests. **Science**, 299, p. 10-15, 2003.
- GÖTTLEIN, A.; HEIM, A.; MATZNER, E. Mobilization of aluminium in the rhizosphere soil solution of growing tree roots in an acidic soil. **Plant Soil**, v. 211, 41-49. 1999.

GOWER, S. T. Relations between mineral nutrient availability and fine root biomass in two Costa Rican tropical wet forests: a hypothesis. **Biotropica**, v. 19, p. 71-75, 1987.

_____. Patterns and mechanisms of the forest carbon cycle. **Annu. Rev. Environ. Resour.** 28. p. 169-204. 2003.

GREEN, J. J.; DAWSON, L. A.; PROCTOR, J.; DUFF, E. I.; ELSTON, D. A. Fine root dynamics in a tropical rain forest is influenced by rainfall. **Plant and Soil**, 276: 23-32, 2005.

GUO, D. L.; MITCHELL, R. J.; HENDRICKS, J. J. H. Fine root branch orders respond differentially to carbon source-sink manipulations in a long-leaf pine forest. **Oecologia**, 140, p. 450-457, 2004.

HANSON, P. J.; EDWARDS, N. T.; GARTEN, C. T.; ANDREWS, J. A. 2000. Separating root and soil microbial contributions to soil respiration: a review of methods and observations. **Biogeochemistry**, 48: 115-146, 2000.

HENDRICKS, J. J.; HENDRICK, R. L.; WILSON, C. A.; MITCHELL, R. J.; PECOT, S.; GUO, D. L. Assessing the patterns and controls of fine root dynamics: an empirical test and methodological review. **Journal of Ecology**, v. 94, p. 40-57, 2006.

HOUGHTON, R. A. Revised estimates of the annual net flux of carbon to the atmosphere from changes in land use and land management 1850–2000. **Tellus**, v. 55B, p. 378-390, 2003.

JACKSON, R. B.; MOONEY, H. A.; SCHULZE, E. D. A global budget for fine root biomass, surface area, and nutrient contents. **Proceedings of the National Academy of Sciences**. v. 94, p. 7362-7366, 1997.

JARAMILLO, V. J.; AHEDO-HERNANDEZ, R; KAUFFMAN, J. B. Root biomass and carbon in a tropical evergreen forest of Mexico: changes with secondary succession and forest conversion to pasture. **Journal of Tropical Ecology** (2003), v. 19, p. 457-464, 2003.

KELTJENS, W. G. 1995. Magnesium uptake by Al-stressed maize plants with special emphasis on cation interactions at root exchange sites. **Plant and Soil**, 171, 141-146.

KILLHAM, K. **Soil ecology**. Cambridge: Cambridge University Press, 1994. 242 p.

KINDEL, A.; GARAY, I. Caracterização de ecossistemas da Mata Atlântica de Tabuleiros por meio das formas de húmus. **Revista Brasileira da Ciência do Solo**, v. 25, p. 551-563, 2001.

LIMA, J. A. S.; VILLELA, D. M.; PÉREZ, D. V.; CALDERANO FILHO, B.; NASCIMENTO, M. T. Avaliação da biomassa radicular fina em fragmentos florestais da Planície Costeira Fluminense. **Revista Brasileira de Biociências**, Porto Alegre, v. 5, supl. 1, p. 450-452, 2007.

LIMA, J. A. S. **Biomassa arbórea e estoques de nutrientes em fragmentos florestais da Baixada Litorânea Fluminense**: o efeito da fragmentação da Mata Atlântica. Campos dos Goytacazes, UENF. Laboratório de Ciências Ambientais. Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Recursos Naturais. Tese de Doutorado. 196 p. 2009. Disponível em: <http://www.uenf.br/Uenf/Downloads/pgecologia_5718_1264793591.pdf>.

LUMBRERAS, J. F.; CARVALHO FILHO, A.; CALDERANO FILHO, B.; SANTOS, R. D. 2001. **Levantamento pedológico, vulnerabilidade e potencialidade ao uso das terras quadrículas de Silva Jardim e Rio das Ostras, Estado do Rio de Janeiro**. Rio de Janeiro (Embrapa Solos, Boletim de Pesquisa, 23). 221 p.

MARKESTEIJN, L.; POORTER, L. Seedling root morphology and biomass allocation of 62 tropical tree species in relation to drought- and shade-tolerance **Journal of Ecology**, 97, 311-325 doi: 10.1111/j.1365-2745, 2008.

MARSCHNER H. **Mineral nutrition of higher plants**, 2nd edition. London, UK: Academic Press. 1995.

McGRODDY, M.; SILVER, W. Variations in belowground carbon storage and soil CO₂ flux rates along a wet tropical climate gradient. **Biotropica**, 32(4), p. 614-624, 2000.

- METCALFE, D. B.; MEIR, P.; ARAGÃO, L. E. O. C.; COSTA, A. C. L.; BRAGA, A. P.; GONÇALVES, P. H. L.; SILVA JR., J. A.; ALMEIDA, S. S.; DAWSON, L. A.; MALHI, Y.; WILLIAMS, M. The effects of water availability on root growth and morphology in an Amazon rainforest. **Plant and Soil**, v. 311, p. 189-199, 2008.
- MOKANY, R. J.; RAISON D. S.; PROKUSHKIN, A. S. Critical analysis of root: shoot ratios in terrestrial biomes. **Global Change Biology**, v. 11, p. 1-13, 2005.
- NADELHOFFER, K. J.; ABER, J. D.; MELILLO, J. M. Fine roots, net primary production, and soil N availability: a new hypothesis. **Ecology**, v. 66, p. 1377-1390, 1985.
- NIETFELD, H. W. F. Modeling the dynamics of the rhizosphere Aluminum chemistry in acid forest soils. In: Gobran, G. R.; Wenzel, W. W.; Lombi, E. (Eds.) **Trace elements in the rhizosphere**. Boca Raton: CRC, p. 253-307, 2001.
- POWERS, J. S.; TRESEDER, K. K.; LERDAU, M. T. Fine roots, arbuscular mycorrhizal hyphae and soil nutrients in four neotropical rain forests: patterns across large geographic distances **New Phytologist**, 165: 913-921, 2005.
- PROCÓPIO-OLIVEIRA, P. P.; NASCIMENTO, M. T.; CARVALHO, F. A.; VILLELA, D. M.; KIERULFF, M. C. M.; VERULI, V. P.; LAPENTA, M. J.; SILVA, A. P. Qualidade do habitat na área de ocorrência do mico-leão-dourado. In: Procópio-Oliveira, P. P.; Gratiol, A. D.; Miranda, C. R. R. (Eds.). Campos dos Goytacazes – UENF. **Conservação do mico-leão-dourado: enfrentando os desafios de uma paisagem fragmentada**. p. 14-39. 2008. Disponível em: <http://www.micoleao.org.br/ptg/como_trabalhamos/divulgando/livros/conservacao_mico_leao_dourado.pdf>.
- PUCKETT, W. E.; DANE, J. H.; HAJEK, B. F. Physical and mineralogical data to determine soil hydraulic properties. **Soil Science Society of America Journal**, SSSJD4, v. 49, n. 4, p. 831-836, 1985.
- RADAMBRASIL. **Levantamento de recursos naturais**, vol. 32, folha SF. Rio de Janeiro/Vitória. Ministério das Minas e Energia, Rio de Janeiro. 1982.
- RODRIGUES, P. J. F. P. **A vegetação da Reserva Biológica União e os efeitos de borda na Mata Atlântica fragmentada**. Tese (Doutorado). Universidade Estadual do Norte Fluminense, Campos dos Goytacazes. 121 p. 2004.
- SAS INSTITUTE INC. **SAS OnlineDoc®, Version 8**. Cary, NC, 1 CD ROM. 1999.
- SILVER, W. L.; NEFF, J.; MCGRODDY, M.; VELDKAMP, E.; KELLER, M.; COSME, R. Effects of soil texture on belowground carbon and nutrient storage in a lowland Amazonian Forest ecosystem. **Ecosystems**, v. 3, p. 193-209, 2000.
- SIMERJ. Sistema de Meteorologia do Estado do Rio de Janeiro. Secretaria de Ciência e Tecnologia. **Governo do Estado do Rio de Janeiro**. Disponível em <<http://www.simerj.com/>>. Acesso em 07/06/2008.
- STEEL, R. G. D.; TORRIE, J. H. **Bioestadística: principios y procedimientos**. Primera Edición. Mexico: McGraw-Hill Book Co., 1980.
- VILLELA, D. M.; PROCTOR, J. Leaf litter decomposition and monodominance in the Peltogyne Forest of Maracá Island, Brazil. **Biotropica**, v. 34(3), p. 334-347, 2002.
- VITOUSEK, P. M.; SANFORD JR., R. L. Nutrient cycling in moist tropical forest. **Annual Review of Ecology and Systematics**, v. 17, p. 137-167, 1986.
- VOGT, K. A.; VOGT, D. J.; BLOOMFIELD, J. Analysis of some direct and indirect methods for estimating root biomass and production of forests at an ecosystem level. **Plant and Soil**, 200: 71-89, 1998.
- VOGT, K. A.; PERSSON, H. Root methods. In: **Techniques and approaches in forest tree ecophysiology**. Eds. J P Lassoie and T M Hinckley. p. 477-502. Boca Raton, Florida: CRC Press, 1991.

VOGT, K. A.; BLOOMFIELD, J. Root turnover and senescence. In: WAISEL, Y.; ESCHEL, A.; KAFKAFI, U. (Eds.). **Plant roots**: the hidden half. p. 287-306. New York: Marcel Dekker Inc., 1991.

YAVITT, J. B.; WRIGHT, J. S. Drought and irrigation effects on fine root dynamics in a tropical moist forest, Panamá. **Biotropica**, 33(3): 421-434, 2001.

ZAR, J. H. **Biostatistical analysis**. 2. ed. Prentice Hall International, Inc. New Jersey: Englewood Cliffs, 1984.