



RELAÇÃO ENTRE A MORFOLOGIA DE RAÍZES FINAS E MICORRIZAS ARBUSCULARES EM DIFERENTES ESTÁDIOS DA SUCESSÃO EM TELÊMACO BORBA, PARANÁ.

Artur B. L. Rondina

Ricardo A. Alves; Adrielly P. Ansanelo; Luis E. A. M. Lescano & Waldemar Zangaro.

Universidade Estadual de Londrina - Depto de Biologia Animal e Vegetal. Campus Universitário. Rod. Celso Garcia Cid, Londrina, PR. CEP: 86051 - 990. Caixa - Postal: 6001. e - mail: arturrondina@hotmail.com

INTRODUÇÃO

A sucessão vegetal é um processo contínuo que começa quando as plântulas de espécies pioneiras colonizam a área e passa, subseqüentemente, para estágios tardios nos quais a competição e tolerância ao ambiente controlam a substituição de espécies ao longo do tempo (6). As taxas de crescimento das espécies de plantas que participam deste processo diferem extremamente entre si. As espécies com crescimento rápido, quando comparadas a espécies de crescimento lento, apresentam metabolismo mais intenso, maior exigência nutricional, raízes finas com crescimento mais elevado, exploração mais rápida do solo e maior capacidade de absorção (1). Isto, junto ao comprimento específico da raiz mais elevado, permite uma exploração mais eficiente do solo (16, 25). As espécies com crescimento rápido apresentam raízes finas caracterizadas pelo pequeno diâmetro e pela baixa densidade do tecido (2), apresentam também mais pêlos absorventes e de maior comprimento (21, 23) e geralmente são altamente colonizadas pelos fungos micorrízicos arbusculares (MA) do que espécies de crescimento lento (12, 24).

O sistema de raízes finas é o principal caminho para absorção de água e nutrientes para a planta (10). Existe considerável interesse em entender como as raízes variam entre espécies de plantas tropicais em diferentes fases da sucessão e como o carbono é utilizado pelas raízes, como possíveis estratégias para aquisição dos nutrientes do solo. A grande diversidade de tipos funcionais de espécies de plantas deve influenciar a distribuição e morfologia das raízes e seus fungos simbiotes no campo (21).

As raízes finas são influenciadas pela disponibilidade dos nutrientes no solo (4, 15). As plantas que crescem em solos de baixa fertilidade geralmente apresentam alta alocação de biomassa nestas raízes, usam o carbono alocado mais eficientemente e apresentam alterações na morfologia da raiz (1, 19). As mudanças morfológicas e fisiológicas em raízes finas nos solos com níveis diferentes de fertilidade

mostram geralmente elevada plasticidade (8). Nas espécies lenhosas, a plasticidade das raízes finas é geralmente maior nas espécies de crescimento rápido do que nas espécies de crescimento lento (2, 20).

A associação entre certos fungos de solos e as raízes das plantas denomina - se micorriza. Entre esses fungos, os denominados fungos micorrízicos arbusculares (MA) são os mais importantes, pois se associam à maioria das plantas (13). Quando em associação com as plantas, os fungos MA favorecem o crescimento destas pela maior absorção de água e nutrientes, principalmente fósforo, pois as hifas externas dos fungos MA aumentam o volume do solo a ser explorado além da zona de depleção que é formada em torno das raízes absorventes (7, 17) e em troca recebem compostos de carbono da planta hospedeira. Além disso, os fungos MA podem reduzir o estresse biológico na planta hospedeira (14), aumentar a tolerância da planta à seca e melhorar a longevidade das raízes (4). Os fungos MA são predominantes nos solos tropicais (17).

Existem na literatura inúmeros trabalhos sugerindo que as plantas com sistemas de raízes absorventes menos adaptados morfológicamente à obtenção de nutrientes (raízes curtas e grossas, com pouca ocorrência de pêlos absorventes) geralmente apresentam altas taxas de colonização de suas raízes pelos fungos MA para auxiliar na captura de nutrientes do solo. É de se esperar que plantas com intensas taxas de crescimento e de absorção de nutrientes sejam mais sujeitas à formação de zona de depleção de nutrientes ao redor de suas raízes e, sob esse aspecto, seriam mais propensas à formação de micorrizas para a busca de nutrientes além dessa zona. Porém, as plantas que apresentam o sistema de raízes mais adaptado para aquisição de nutrientes são justamente aquelas que são mais colonizadas pelos fungos simbiotes, em casa de vegetação. Assim, uma lacuna na estratégia de obtenção de nutrientes pelas plantas aparece.

OBJETIVOS

Este trabalho pretende verificar a existência de provável relação entre as características morfológicas das raízes com a manutenção dos fungos MA como estratégia das plantas dos diferentes estádios da sucessão para aquisição de nutrientes do solo. Testar a hipótese que sugere diminuição da micotrofia das plantas ao longo da sucessão, com base nos dados das características morfológicas das raízes e da colonização das raízes pelos fungos micorrízicos.

MATERIAL E MÉTODOS

Área de estudo: em março de 2008, quatro áreas localizadas no Parque Ecológico da Indústria Klabin de Papel e Celulose, próximo ao município de Telêmaco Borba, estado do Paraná, foram escolhidas para a instalação do experimento. A primeira área foi um campo natural, com vegetação de porte herbácea e dominada por diversas espécies de gramíneas. A segunda área foi uma floresta secundária com aproximadamente 15 anos de abandono e regeneração espontânea. A terceira área foi uma floresta secundária com aproximadamente 50 anos de abandono. A quarta área foi uma floresta madura caracterizada como floresta ombrófila mista.

Coleta de solo e raízes no campo: quinze amostras intactas de solo em cada área de estudo foram obtidas utilizando - se um coletor de 4 cm de diâmetro e 5 cm de altura. As amostras de solo foram coletadas de 0 a 5 cm de profundidade, colocadas em sacos plásticos e guardadas em geladeira até o processamento. Para obter somente raízes finas das espécies adultas de cada área de estudo, evitou - se coletar solo nos pontos próximos a plântulas.

Amostras de solo e processamento: as amostras de solo foram separadas segundo a origem da coleta. Cada amostra de solo foi imersa em água e posteriormente passadas em peneiras com malha de 0,5 mm, para separação inicial de raízes e solo. As raízes obtidas na peneira foram cuidadosamente lavadas em água corrente para retirada de partículas de solo e material orgânico. Com ajuda de estereomicroscópio, as raízes foram manualmente separadas por classes de diâmetro em raízes finas ($< 2,0$ mm) e raízes grossas ($> 2,0$ mm). As raízes com grande potencial de absorção ($< 2,0$ mm) foram processadas para análises. Além da separação das raízes em classes de diâmetro, também foram separadas nas categorias: raízes vivas (turgescência, translucidez, elasticidade, cor, presença de raiz lateral esbranquiçada) e raízes mortas (fácil fragmentação, baixa elasticidade, não translúcida e cor apagada).

Análise das raízes: as raízes vivas foram pesadas para obtenção da biomassa fresca em cada amostra. A seguir, foi determinado o comprimento total da raiz (cm cm^{-3} de solo) pelo método de interseção de linhas, usando a fórmula $L = NA/2H$, onde L é o comprimento de raiz estimado na lâmina, H é o total do comprimento das linhas, N é o número de interseções contadas e A é a área da lâmina (18). Aproximadamente 0,2g de raízes frescas de cada amostra foi fixada em solução FAA para análise posterior da colonização pelas micorrizas arbusculares, diâmetro das raízes, incidência e comprimento dos pêlos absorventes.

Para obtenção da massa seca, as raízes vivas foram colocadas separadamente em sacos de papel e secas em estufa à 65°C, até atingirem peso constante. A densidade do tecido da raiz foi obtida dividindo a massa fresca pela massa seca. O comprimento específico da raiz foi obtido pela divisão do comprimento total da raiz pela sua biomassa seca.

As raízes frescas foram montadas em lâminas e analisadas em microscópio óptico. A incidência (%) dos pêlos absorventes foi determinada pela observação da presença ou ausência dos pêlos em 100 observações em 10 segmentos de raízes finas. O diâmetro das raízes foi determinado em quatro pontos aleatórios em 10 segmentos e foi utilizado microscópio óptico com lente micrométrica e aumento de 100x. O comprimento dos pêlos absorventes foi determinado em 100 pêlos escolhidos de maneira aleatória, em vários segmentos de raízes finas, e foi utilizado microscópio óptico com lente micrométrica e aumento de 100x. As raízes frescas foram clarificadas com KOH, acidificadas e coradas com azul de tripano. A quantificação da colonização das raízes pelas micorrizas arbusculares foi realizada com a técnica de interseção das raízes coradas com linhas na placa de Petri (5). Os esporos das micorrizas arbusculares foram extraídos das amostras peneiradas de solo para obtenção das raízes. Dez gramas de solo seco de cada amostra foram passados por peneiras de diferentes diâmetros e os esporos obtidos na peneira de menor diâmetro foram centrifugados em sacarose 60% e contados em papel de filtro quadriculado.

Análise dos dados: Correlação e análise de variância foram usados para análise dos dados, que foram testados para distribuição normal utilizando teste de Kolmogorov - Smirnov. As diferenças entre as médias foram determinadas pelo teste de Tukey a 5%.

RESULTADOS

A densidade de esporos e a colonização das raízes por fungos MA diminuíram ao longo da sucessão e houve correlação positiva entre a colonização das raízes e a densidade de esporos no solo. Esses resultados refletem o grande investimento nos fungos MA pelas espécies de plantas das fases iniciais da sucessão (espécies de crescimento rápido) do que pelas espécies das fases mais tardias da sucessão (espécies de crescimento lento). Foi encontrada baixa densidade de esporos no solo e pequena colonização das raízes por fungos MA em espécies de florestas maduras no sul do Brasil, sugerindo que as espécies de plantas com lento crescimento apresentam baixa capacidade de manter os fungos MA devido à adaptação à sombra e a baixa atividade metabólica (22).

Espécies arbóreas de rápido crescimento apresentaram níveis mais elevados de colonização da raiz por fungos MA quando comparadas a espécies de crescimento lento (20, 23). Os autores sugeriram que as espécies de rápido crescimento possuem mais fungos MA porque apresentam raízes com características morfológicas que favorecem o contato com os propágulos dos fungos MA no solo. Além disso, a alta taxa metabólica das espécies de rápido crescimento demanda muitos nutrientes para manter o elevado crescimento e, conseqüentemente, para manter mais fungos MA para suprir suas necessidades nutricionais.

A massa seca das raízes absorventes, a densidade do seu tecido e o seu diâmetro apresentaram aumento durante o avanço da sucessão. O comprimento total das raízes finas, o comprimento específico da raiz, o comprimento e a incidência dos pêlos absorventes apresentaram diminuição com o avanço da sucessão. A densidade do solo diminuiu com o progresso da sucessão. A colonização das raízes e a densidade dos esporos dos fungos MA foram diretamente relacionados com o comprimento total da raiz, comprimento específico, incidência e comprimento de pêlos absorventes, e foram inversamente relacionadas com a massa seca da raiz, densidade do tecido e diâmetro das raízes. O comprimento de raiz foi diretamente relacionado com a incidência e comprimento de pêlos absorventes e com o comprimento específico da raiz, e negativamente relacionado com o diâmetro e densidade do tecido da raiz. O comprimento específico da raiz foi diretamente relacionado com o comprimento da raiz, e comprimento dos pêlos absorventes foi negativamente relacionado com a massa seca da raiz, densidade do tecido da raiz e seu diâmetro. O comprimento e a incidência de pêlos absorventes da raiz apresentaram correlação positiva e ambos foram inversamente correlacionados com diâmetro e densidade do tecido da raiz. O diâmetro da raiz foi diretamente relacionado com a densidade do tecido da raiz e inversamente com o comprimento específico da raiz.

Neste estudo foi verificado que os diferentes grupos funcionais de plantas, que colonizam as diferentes fases da sucessão, apresentam diferenças na distribuição da raiz, nas características morfológicas de raízes finas e na associação com fungos MA. A estreita relação entre a alta colonização e esporulação dos fungos MA com o elevado comprimento total das raízes finas, o grande comprimento específico, a alta incidência de longos pêlos absorventes e o baixo diâmetro e densidade dos tecidos das raízes finas, sugere que as espécies de plantas herbáceas e espécies arbóreas da fase mais precoce da formação da floresta secundária apresentam uma máxima eficiência no uso do carbono para a construção das suas raízes finas e reflete em grande eficiência na exploração do solo, quando comparadas com espécies arbóreas das fases mais tardias da sucessão. Como um indicador da arquitetura da raiz, o comprimento específico da raiz reflete o potencial de aquisição de recursos do solo (8, 25). O diâmetro das raízes finas influencia na taxa de absorção de fósforo, uma vez que com o aumento do diâmetro da raiz ocorre uma diminuição na absorção de fósforo (3, 9). Os pêlos absorventes representam um baixo custo metabólico, tanto para sua produção como manutenção, para a planta (11), porém o custo de manutenção das hifas dos fungos MA é aproximadamente duas vezes menor do que para a construção de raízes (17). Assim, a morfologia das raízes finas e a colonização das raízes por fungos MA exibidos pelas espécies das fases iniciais da sucessão permite que as raízes destas plantas possam explorar maior volume de solo investindo menos biomassa para a construção dos tecidos das raízes finas.

Nos estágios finais de sucessão, a arquitetura das raízes absorventes muda, apresentando elevado diâmetro e densidade, baixo comprimento total e específico, baixa incidência de curtos pêlos absorventes e baixa colonização

e esporulação por fungos MA. Essas características morfológicas e o nível de colonização podem indicar menor potencial para a aquisição de recursos do solo do que pelas espécies das fases iniciais da sucessão. Diversos atributos como sombreamento, menor taxa de crescimento, menor demanda metabólica, menor interface da raiz com o solo para interceptar fungos MA, elevada fertilidade do solo e uso de maior parte do carbono fixado na fotossíntese destinado para a construção de órgãos estruturais, pode resultar em menos carboidrato disponível para os fungos na raiz e conseqüentemente menos colonização das raízes por fungos MA e menos esporulação pode ser encontrado nas florestas maduras.

CONCLUSÃO

Os resultados sugerem que as plantas apresentam raízes com diferentes estratégias para a exploração do solo e aquisição de minerais. Espécies de plantas das fases iniciais da sucessão apresentam simbiose com fungos MA e características morfológicas que melhoram a eficiência funcional para a absorção de nutrientes e ampla exploração dos recursos do solo. Nos estádios mais tardios da sucessão as plantas apresentam tanto a simbiose com fungos MA como as características das raízes finas para uma baixa taxa de proliferação no solo e reduzida capacidade de exploração do solo para adquirir nutrientes.

REFERÊNCIAS

1. Comas, L.H., Eissenstat, D.M. Linking fine root traits to maximum potential growth rate among 11 mature temperate tree species. *Functional Ecology*, 18: 388 - 397, 2004.
2. Comas, L.H., Bouma, T.J., Eissenstat, D.M. Linking root traits to potential growth rate in six temperate tree species. *Oecologia*, 132: 34 - 43, 2002.
3. Eissenstat, D.M. Costs and benefits of constructing roots of small diameter. *Journal of Plant Nutrition*, 15: 763 - 782, 1992.
4. Eissenstat, D.M., Wells, C.E., Yanai, R.D., Whitbeck J.L. Building roots in a changing environment: implications for root longevity. *New Phytologist*, 147: 33 - 42, 2000.
5. Giovannetti, M., Mosse, B. An evaluation of techniques for measuring vesicular - arbuscular mycorrhizal infections in roots. *New Phytologist*, 84: 489-500, 1980.
6. Guariguata, M.R., Ostertag, R. Neotropical secondary forest succession: changes in structural and functional characteristics. *Forest Ecology and Management*, 148: 185 - 206, 2001.
7. Hinsinger, P., Gobran G.R., Gregory, P.J., Wenzel, W.W. Rhizosphere geometry and heterogeneity arising from root-mediated physical and chemical processes. *New Phytologist*, 168: 293 - 303, 2005.
8. Hodge, A. The plastic plant: root responses to heterogeneous supplies of nutrients. *New Phytologist*, 162: 9 - 24, 2004.
9. Itoh, S., Barber, S.A. Phosphorus uptake by six plant species as related to root hairs. *Agronomy Journal*, 75: 457 - 461, 1983.

10. Jackson, R.B., Mooney, H.A., Schulze, E.D. A global budget for fine root biomass, surface area, and nutrient contents. *Proceeding of National Academy of Sciences*, 94: 7362 - 7366, 1997.
11. Linnch, J.P., Ho, M.D. Rhizoeconomics: carbon costs of phosphorus acquisition. *Plant and Soil*, 269: 45 - 46, 2005.
12. Matsumoto, L.S., Martines, A.M., Avanzi, M.A., Albino, U.B., Brasil, C.B., Saridakis, D.P., Rampazo, L.G.L., Zangaro, W., Andrade, G. Interactions among functional groups in the cycling of, carbon, nitrogen and phosphorus in the rhizosphere of three successional species of tropical woody trees. *Applied Soil Ecology*, 28: 57 - 65, 2005.
13. Moreira, F.M., Siqueira, J.O. *Microbiologia e Bioquímica do solo*. Universidade de Lavras, Lavras, 2002, 523 p.
14. Newsham, K.K., Fitter, A.H., Watkinson, A.R. (1995) Multi - functionality and biodiversity in arbuscular mycorrhizas. *Trends in Ecology and Evolution*, 10: 407 - 411, 1995.
15. 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 distance. *New Phytologist*, 165: 913 - 921, 2005.
16. Raghothama, K.G., Karthikeyan, A.S. Phosphate acquisition. *Plant and Soil*, 274: 37 - 49, 2005.
17. Smith, S.E., Read, D.J. *Mycorrhizal symbiosis*. Academic Press, London, 2008, 815p.
18. Tennant, D. A test of modified line intersect method estimating root length. *Journal of Ecology*, 63: 995 - 1001, 1975.
19. Tilman, D. Competition and biodiversity in spatially structured habitats. *Ecology*, 75: 2 - 16, 1994.
20. Zangaro, W., Andrade, G., Nogueira, M.A., Nishidate, F. R. Vandresen, J. Relation among soil fertility, arbuscular mycorrhizas and root morphology in the growth of 12 successional native woody species from the south of Brazil. *Journal of Tropical Ecology*, 23: 53 - 62, 2007.
21. Zangaro, W., Assis, R.L., Motta, A.M., Rostirola, L.V., Souza, P.B., Gonçalves, M.C., Andrade, G., Nogueira, M.A. Arbuscular mycorrhizal association and fine root traits changes during succession in southern Brazil. *Mycorrhiza*, 19: 37 - 45, 2008.
22. Zangaro, W., Bononi, V.L.R., Trufen, S.B. Mycorrhizal dependency, inoculum potential and habitat preference of native woody species in South Brazil. *Journal of Tropical Ecology*, 16: 603 - 622, 2000.
23. Zangaro, W., Nishidate, F.R., Camargo, F.R.S., Romagnoli, G.G., Vandresen, J. Relationships among arbuscular mycorrhizas, root morphology and seedling growth of tropical native woody species in southern Brazil. *Journal of Tropical Ecology*, 21: 529 - 540, 2005.
24. Zangaro, W., Nisizaki, S.M.A., Domingos, J.C.B., Nakano, E.M. Mycorrhizal response and sucessional status in 80 woody species from south Brazil. *Journal of Tropical Ecology*, 19: 315 - 324, 2003.
25. Wright, I.J., Westoby, M. (1999). Differences in seedling growth behavior among species: trait correlations across species, and trait shifts along nutrient compared to rainfall gradients. *Journal of Ecology*, 87: 85 - 97, 1999.