

Rizosferas de árvores acumuladoras de fósforo na Amazonia Brasileira

Patrícia Chaves de Oliveira¹ Cláudio José Reis de Carvalho²

¹ Universidade Federal do Oeste do Pará - UFOPA, Laboratório de Estudos de Ecossistemas Amazônicos- LEEA
(<http://laboratoriodeestudosamazonicos.blogspot.com>), Santarém, Pará, Brasil.

² Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) - Centro de Pesquisa Agropecuária do Trópico Úmido - CPATU, Belém, Pará, Brasil.

* pchaves@ufpa.br

Recebido: 22-10-2010; Aprobado: 19-05-2011

Resumo

Objetivo. Com a finalidade de conhecer possíveis estratégias de tolerância de duas espécies acumuladoras de fósforo (P), *Neea macrophylla* e *Cecropia palmata* e uma não acumuladora de P, *Casearia arborea*, a solos deficientes em P, esta pesquisa buscou caracterizar as rizosferas dessas espécies através de Análises Multivariadas e Matrizes de Correlação quanto às concentrações de P orgânico, P disponível, Carbono (C) orgânico do solo, C orgânico da Biomassa microbiana, Atividade da Enzima fosfatase Ácida e Infecção de Raízes por fungos micorrízicos. **Materiais e métodos.** A pesquisa se desenvolveu no Município de Igarapé-Açu, no estado do Pará, Brasil, em florestas secundárias com cinco anos de regeneração, onde os parâmetros acima comentados foram monitorados. **Resultados.** Os resultados revelaram não haver diferença significativa entre as espécies quanto as características do solo próximo às rizosferas sugerindo homogeneidade de condições. A atividade enzimática foi ligeiramente superior na espécie com menor potencial em acumular P, *Casearia arborea*, sugerindo que a eficiência de utilização de P não é determinada pela atividade enzimática. O grau de correlação entre as variáveis diferiu entre as espécies, sendo que *Cecropia palmata* melhor expressou a correlação positiva entre o P orgânico e Atividade da enzima fosfatase ácida. **Conclusões.** *Neea macrophylla* apresentou um número discretamente maior de infecções micorrízicas do que as outras espécies, sinalizando ser esta uma estratégia de tolerância nestes ambientes, enquanto para *Cecropia palmata* e, sobretudo *Casearia arborea* pareceu ser a atividade enzimática a estratégia usada.

Palavras-chave: rizosfera, fosfatase ácida, Amazônia brasileira

Abstract

Rhizosphere of trees that accumulate phosphorus in the Brazilian Amazon. Objective. With the purpose of knowing the strategies of tolerance of two phosphorus-accumulating species (*Neea macrophylla* and *Cecropia palmata*) and a non-accumulating species (*Casearia arborea*) to phosphorus-deficient soils, we characterized the rhizosphere of these species using a multivariate analysis and correlation matrices in relation to the concentrations of organic phosphorus, available phosphorus, soil organic carbon, organic carbon from microbial biomass, acid phosphatase enzyme activity, and root infection by mycorrhizal fungi. **Materials and methods.** The research was carried out in the Igarapé-Açu town, state of Pará, Brazil in secondary forests with five years of regeneration, where the parameters above mentioned were monitored. **Results.** Results did not reveal significant differences between the species depending on the characteristics of the soil next to the rhizospheres, suggesting homogeneous conditions. The enzymatic activity was slightly higher in the species with less potential in accumulating P (*Casearia arborea*) suggesting that efficiency in P use is not determined by the enzymatic activity. **Conclusions.** *Neea macrophylla* presented a slightly higher number of mycorrhizal root infections in comparison to the other species, indicating that this could be a tolerance strategy in those environments, while in *Cecropia palmata* and *Casearia arborea* it seems that enzymatic activity is the strategy employed.

Key words: acid phosphatase; Brazilian Amazon; rhizosphere

Resumen

Rizósfera de árboles acumuladores de fósforo en la amazonia Brasileira. **Objetivo:** Con el propósito de conocer estrategias de tolerancia de dos especies acumuladoras de fósforo (P) (*Neea macrophylla* y *Cecropia palmate*) y una no acumuladora (*Casearia arborea*) en suelos deficientes en fósforo, se buscó caracterizar la rizosfera de estas especies con análisis multivariado y matrices de correlación en lo referente a las concentraciones de P orgánico, de P disponible, de carbono (C) orgánico del suelo, de C orgánico de la biomasa microbiana, de actividad de la enzima fosfatasa ácida y de infección de la raíz por hongos micorrícicos. **Materiales y métodos.** La investigación fue desarrollada en el municipio de Igarapé-Açu, estado de Pará, Brasil en bosques secundarios con cinco años de regeneración, donde los parámetros arriba mencionados fueron monitoreados. **Resultados.** Los resultados no revelaron diferencias significativas entre las especies en referencia a las características del suelo próximo a las rizosferas, lo que sugiere homogeneidad de condiciones. La actividad enzimática fue ligeramente superior en la especie con menor potencial en acumular P (*Casearia arborea*), sugiriendo que la eficiencia del uso del P no está determinada por la actividad enzimática. **Conclusiones.** *Neea macrophylla* presentó un número ligeramente mayor de infecciones micorrícicas en comparación con las otras especies, indicando que ésta podría ser una estrategia de tolerancia en estos ambientes, mientras que para *Cecropia palmata* y *Casearia arborea* parece ser la actividad enzimática la estrategia usada.

Palabras clave: rizosfera, fosfatasa ácida, Amazonia brasileña.

Introdução

A baixa disponibilidade de fósforo (P) em alguns solos como os do Nordeste paraense acabam por influenciar o comportamento fisiológico das espécies as quais desenvolvem estratégias ora a nível metabólico, ora a nível morfológico de adaptação a tais condições. Um aumento na exsudação de fosfatase ácida e no crescimento do sistema radicular foi observado em plantas sob condições de déficit de P, sendo estes resultados mais expressivos em genótipos tolerantes do que em sensíveis (1).

Embora o aumento na concentração de ácidos orgânicos nas raízes ocorra em ambos genótipos, parece ser a exsudação radicular dessas substâncias o parâmetro diferencial, o qual segundo os autores é maior nos genótipos tolerantes. Contudo, outros estudos (2) observaram o oposto em folhas de *Phaseolus vulgaris* quando a atividade da fosfatase-ácida (AFA) foi maior nos genótipos ineficientes ou sensíveis ao estresse de fósforo (DOR364) do que naqueles tolerantes, sugerindo que a AFA não influencia a eficiência na utilização de P em plantas de feijão. Os autores justificam tais resultados, com base na localização dos genes, que para a AFA é no grupo B03 diferentemente da localização dos genes da eficiência de utilização de P.

Espécies agroflorestais tolerantes a baixos níveis de P como *Tithonia diversifolia*, *Crotalaria grahamiana* e *Tephrosia vogelii*, exsudam quantidades expressivas de ácidos orgânicos e fosfatase o que acaba por aumentar a solubilidade do P através da liberação da banda orgânica do P (3). Considerando que a serrapilheira de espécies arbóreas pode ser utilizado como uma alternativa para o aumento dos níveis de P orgânico em ambientes agrícolas como os do Nordeste Paraense, torna-se fundamental determinar a qualidade química do mesmo, sobretudo quanto aos teores de N, C, fenol, lignina e celulose a fim de identificar as possíveis correlações

com a liberação do P orgânico, evitando de certa forma a utilização de *mulch* com baixa potencialidade em liberar o nutriente em déficit.

A densidade e o comprimento de raízes também parece ser outro fator importante na aquisição de recursos imóveis do solo, como o P. A presença de sistemas radiculares abundantes é uma vantagem na competição por P (4). Dessa forma, é de se esperar ao longo do processo de regeneração natural das vegetações secundárias que um complexo sistema radicular de múltiplas espécies esteja constantemente em disputa por P e que somente àquelas com altas taxas de crescimento radicular melhor nutrição terão.

Em algumas espécies tolerantes ao déficit de P no solo, raízes especializadas denominadas de *conglomerados de raízes*, exsudam elevadas quantidades de ácidos orgânicos, acidificando o solo e mobilizando assim o P. O malato e o citrato exsudados pelas raízes irão solubilizar a banda inorgânica do P enquanto a fosfatase ácida irá solubilizar a banda orgânica.

Dessa forma o desenvolvimento de germoplasmas que apresentem uma elevada atividade na sintase-citrato poderão ter maior acesso ao P que está no solo (5), como em *Daucus carota* crescida em meio com fóstato de alumínio. Como os solos da região do Nordeste Paraense apresentam o P quase sempre associado ao alumínio seria uma estratégia das espécies nativas de vegetações secundárias a exsudação do citrato.

Além do citrato, o tartarato e o acetato também são exsudados em altas quantidades por raízes mantidas sob déficit de P, por alguns genótipos de *Phaseolus vulgaris* cultivados em solos tropicais, dentre os quais o citrato é o mais abundante possibilitando um aumento na eficiência de aquisição do P após a liberação das bandas de Al e Fe (6).

Contudo, são as associações com fungos micorrízicos o fator primordial para o aumento da absorção de P pelas plantas, sobretudo em ambientes pobres em P. O crescimento de fungos micorrízicos (vesicular-arbuscular, ecto ou endo micorrizas) aumenta significativamente a superfície radicular, possibilitando maior absorção de P, bem como de nitrogênio (7). A diversidade desses fungos pode estar diretamente relacionada com a sustentabilidade funcional e biodiversidade dos sistemas através do aumento na eficiência do uso de P dos solos (8). Em vegetações secundárias na micro-região do Nordeste Paraense pouco ainda se sabe sobre associações de espécies arbóreas com fungos micorrízicos.

Este trabalho teve por objetivo verificar estratégias de tolerância nas rizosferas de espécies acumuladoras de P (*Neea macrophylla* e *Cecropia palmata*) e não acumuladoras de P (*Casearia arborea*) a partir da introdução de armadilhas de raízes próximo às árvores e avaliação do solo contido nas mesmas quanto às concentrações de P orgânico, P disponível, atividade da enzima Fosfatase Ácida, C orgânico do solo, C orgânico da Biomassa Microbiana e Infecção micorrízica de raízes.

Material e métodos

A pesquisa se desenvolveu em floresta secundária com aproximadamente seis anos de regeneração (sitio I), situada à 01° 07. 291' S e 47° 35. 714' WO no Município de Igarapé-Açu a Nordeste do Estado do Pará. O solo da área se caracterizava com baixa fertilidade, com 2 mg de P dm⁻³ solo, baixas porcentagens de N cerca de 0,03 %, pH ácido, na faixa de 4.5 a 5.0 e concentrações expressivas de Al, em torno de 0.5 cmol dm⁻³ solo.

Para as concentrações de P orgânico e P disponível foi usado o método proposto por Murphy & Riley (9). Foram selecionados dois grupos de árvores de cada uma das três espécies, *Neea macrophylla*, *Cecropia palmata* e *Casearia arborea* e instaladas armadilhas de raízes confeccionadas com malha de 2mm, de forma cilíndrica com 20 cm de altura e 5 cm de diâmetro a 20 cm de profundidade do solo nos eixos norte/sul e leste/oeste cujo centro era o próprio grupo de árvores. As armadilhas encontravam-se distanciadas 40 cm sendo que em cada eixo tínhamos 12 armadilhas. A partir dos resultados de espacialização da maior atividade enzimática nas rizosferas estudadas foi coletada neste ponto uma outra amostra de solo, em duas profundidades 0 a 10 e 10 a 20 cm, com as quais avaliamos as concentrações de C orgânico do solo através do método proposto por Islam & Weil (10) e C orgânico da biomassa microbiana (11) bem como as infecções micorrízicas.

A análise estatística foi multivariada, através da aplicação do teste de Hotelling para se determinar se o conjunto das variáveis estudadas e portanto o perfil da rizosfera era diferente significativamente entre as espécies bem como através da aplicação do teste de Bartlett para determinação do coeficiente de máxima verossimilhança entre as mesmas. Foram ainda construídas matrizes de correlação linear de Pearson a fim de determinar o grau de correlação entre as variáveis para cada uma das espécies. A variável Infecção Micorrízica de raízes foi estudada a partir de uma análise de variância, enquanto as concentrações de carbono (C) orgânico do solo e da biomassa microbiana foram analisadas através de um esquema fatorial 3x2, a fim de verificar o efeito da espécie e da profundidade do solo bem como de sua interação sobre as variações de C orgânico e C da biomassa microbiana. O programa estatístico utilizado foi o BIOSTAT versão 3.0 (12).

Resultados e discussões

Os resultados demonstraram que entre as rizosferas das espécies acumuladoras de P como *Neea macrophylla* e *Cecropia palmata* não houve diferenças significativas quanto às concentrações de P orgânico, P disponível, atividade da enzima fosfatase ácida, C orgânico do solo e C orgânico da biomassa microbiana conforme a análise multivariada através da aplicação do teste de Hotelling (**Tabela 1**).

As variáveis que apresentaram as maiores variâncias foram concentração de P orgânico e a atividade da fosfatase ácida no solo contido nas armadilhas de raízes, sugerindo dificuldades no trato destas variáveis sob condições naturais como na capoeira estudada acerca da compreensão do acúmulo de P em tecidos foliares, onde o entorno destas armadilhas sempre oferecerá possibilidades de troca química. Contudo, as duas rizosferas das espécies acumuladoras de P (*Neea macrophylla* e *Cecropia palmata*) diferiram significativamente, com probabilidades iguais a 0,009 e 0,02 respectivamente da rizosfera da espécie controle, isto é, não acumuladora de P (*Casearia arborea*) de acordo com as tabelas 2 e 3 quanto ao conjunto das 5 variáveis anteriormente citadas. Dessa forma, observa-se que as rizosferas de *Neea macrophylla* e *Cecropia palmata* apresentaram as maiores concentrações de P orgânico no solo do que *Casearia arborea*. Parece ser a variável Concentração de P orgânico no solo próximo às raízes das espécies estudadas que mais as tornem diferentes ou pouco semelhantes.

De acordo com o Teste de Bartlett apresentado na tabela 4 cujo coeficiente de máxima verossimilhança Phi entre as rizosferas das espécies estudadas foi em torno de 18,90

Tabela 1. Análise Multivariada através do Teste de Hotelling entre *Neea macrophylla* e *Cecropia palmata*. (médias das variáveis)

Amostra	µg P orgânico/g solo	µg P disponível/g solo	µg Fosfatase Ácida/ g solo	mg C/ g solo	mg C/g biomassa microbiana
1: <i>Neea</i>	88, 08	4, 30	682,07	1,07	0,19
2: <i>Cecropia</i>	90, 67	4, 29	721, 55	1,18	0,14
(p) =	0, 70	---	-	---	---

Tabela 2. Análise Multivariada através da aplicação do Teste de Hotelling entre *Neea macrophylla* e *Casearia arborea*.

Amostra	µg P orgânico/g solo	µg P disponível/g solo	µg Fosfatase Ácida/ g solo	mg C/ g solo	mg C/g biomassa microbiana
1: <i>Neea</i>	88, 0867	4, 3013	682, 074	1, 0789	0, 1989
2: <i>Casearia</i>	78, 6694	4, 8031	746, 5851	1, 3812	0, 2267
(p) =	0,009	---	---	---	---

Tabela 3. Análise Multivariada através do Teste de Hotelling entre *Cecropia palmata* e *Casearia arborea*.

Amostra	µg P orgânico/g solo	µg P disponível/g solo	µg Fosfatase Ácida/ g solo	mg C/ g solo	mg C/g biomassa microbiana
1: <i>Cecropia</i> média =	90, 6728	4, 2944	721, 5538	1, 1833	0, 1494
2: <i>Casearia</i> média =	78, 6694	4, 8031	746, 5851	1, 3812	0, 2267
(p) =	0, 0274	---	---	---	---

com probabilidade igual a 0,04 sugere a baixa semelhança entre as mesmas quando avaliamos o conjunto das cinco variáveis selecionadas para a compreensão da tolerância a condições de déficit por P.

A verificação de possíveis correlações, através da construção de matrizes de correlação linear de Pearson envolvendo as cinco variáveis estudadas foi diferente para cada uma das espécies. Para *Neea macrophylla* nenhuma correlação foi observada de forma significativa entre as variáveis conforme a tabela 5, embora uma discreta tendência de correlação positiva entre as concentrações de P disponível no solo e a atividade da Fosfatase ácida tenha sido observada.

Quanto à rizosfera de *Cecropia palmata* algumas correlações foram observadas (**Tabela 6**), sobretudo no que diz respeito a concentração de P orgânico e a de C orgânico do solo, cujo

coeficiente de correlação de Pearson (r) igual à 0,65 indicou que a medida que o P orgânico aumentava nos solos das armadilhas de raízes o C orgânico também aumentava com probabilidade muito baixa (0,0032) de que isto se desse ao acaso. Da mesma forma foi observada uma correlação positiva entre as concentrações de C orgânico do solo e C da biomassa microbiana com $r=0,56$ e $P=0,01$ sugerindo que quanto maior forem os estoques de C orgânico nos solos maior será a tendência de aumento das concentrações de C da biomassa microbiana. E por último foi observada uma discreta correlação positiva ($r=0,43$) entre a concentração de P orgânico e a Atividade da enzima Fosfatase ácida no solo próximo às raízes de *Cecropia palmata*, sugerindo que a disponibilização da banda orgânica do P dos solos pela ação desta enzima é favorecida.

Quanto à rizosfera de *Casearia arborea* nenhuma correlação entre as variáveis estudadas foi observada conforme

Tabela 4. Análise Multivariada através do Teste de Bartlett de determinação do coeficiente de máxima verossimilhança Phi (Φ) a partir da observação de 5 variáveis entre *Neea macrophylla*, *Cecropia palmata* e *Casearia arborea*.

VARIÁVEIS	$\mu\text{g P orgânico/g solo}$	$\mu\text{g P disponível/g solo}$	$\mu\text{g Fosfatase Ácida/ g solo}$	mg C/ g solo	$\text{mg C/g biomassa microbiana}$
Matriz T					
	45370,74	29,9075	22147,61	196,7562	13,3237
	29,9075	51,5814	1283,791	-1,8234	0,4629
	22147,61	1283,791	418368,5	640,3364	73,2361
	196,7562	-1,8234	640,3364	9,9177	0,293
	13,3237	0,4629	73,2361	0,293	0,9976
Matriz W					
	43934,03	95,0055	26982,86	226,4735	21,222
	95,0055	48,5176	1014,795	-3,3334	0,1415
	26982,86	1014,795	380287,1	468,8685	62,5987
	226,4735	-3,3334	468,8685	9,0689	0,1819
	21,222	0,1415	62,5987	0,1819	0,9425
Phi (Φ) =	18,9097	---	---	---	---
Número de variáveis=	5	---	---	---	---
(p) =	0,0414	---	---	---	---

Tabela 5. Matriz de Correlação entre cinco variáveis estudadas na rizosfera de *Neea macrophylla* nos primeiros 20 cm de profundidade.

Variáveis	Var 1 e 2	Var 1 e 3	Var 1 e 4	Var 1 e 5	Var 2 e 3	Var 2 e 4	Var 2 e 5	Var 3 e 4	Var 3 e 5	Var 4 e 5
n (pares) =	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
r (Pearson) =	-0,2858	-0,2656	-0,2096	-0,0715	0,4338	-0,1462	0,1369	-0,1558	0,0015	-0,2922
IC 95% =	-0,66 a 0,21	-0,65 a 0,23	-0,62 a 0,29	-0,52 a 0,41	-0,04 a 0,75	-0,57 a 0,34	-0,35 a 0,57	-0,58 a 0,34	-0,47 a 0,47	-0,67 a 0,20
IC 99% =	-0,74 a 0,36	-0,73 a 0,37	-0,71 a 0,42	-0,63 a 0,53	-0,20 a 0,81	-0,67 a 0,48	-0,48 a 0,67	-0,68 a 0,47	-0,58 a 0,58	-0,75 a 0,35
R ² =	0,0817	0,0705	0,0439	0,0051	0,1882	0,0214	0,0187	0,0243	0	0,0854
(p) =	0,2503	0,2867	0,4038	0,778	0,072	0,5627	0,5881	0,5371	0,9954	0,2393
Matriz de Correlação	Coluna 1	Coluna 2	Coluna 3	Coluna 4	Coluna 5					
Coluna 1	1	---	---	---	---					
Coluna 2	-0,2858	1	---	---	---					
Coluna 3	-0,2656	0,4338	1	---	---					
Coluna 4	-0,2096	-0,1462	-0,1558	1	---					
Coluna 5	-0,0715	0,1369	0,0015	-0,2922	1					

(var 1= $\mu\text{g P orgânico/g solo}$; var 2= $\mu\text{g P disponível/g solo}$; var 3= $\mu\text{g fosfatase Ácida/ g solo}$; var 4= $\text{mg C orgânico/ g solo}$ e var 5= $\text{mg C orgânico/g biomassa microbiana}$)

Tabela 6. Matriz de Correlação entre cinco variáveis na rizosfera de *Cecropia palmata* nos primeiros 20 cm

Variáveis	Var 6 e 7	Var 6 e 8	Var 6 e 9	Var. 6 e 10	Var. 7 e 8	Var. 7 e 9	Var. 7 e 10	Var. 8 e 9	Var 8 e 10	Var. 9 e 10
n (pares) =	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
r (Pearson) =	0,0073	0,4383	0,6537	0,3436	0,3666	-0,0881	0,0521	0,395	0,2313	0,5669
IC 95% =	-0,46 a 0,47	-0,04 a 0,75	0,27 a 0,86	-0,15 a 0,70	-0,12 a 0,71	-0,53 a 0,40	-0,43 a 0,51	-0,09 a 0,73	-0,26 a 0,63	0,14 a 0,82
IC 99% =	-0,58 a 0,59	-0,19 a 0,81	0,12 a 0,90	-0,30 a 0,77	-0,27 a 0,78	-0,64 a 0,52	-0,55 a 0,62	-0,24 a 0,79	-0,41 a 0,72	-0,02 a 0,86
R ² =	0,0001	0,1921	0,4274	0,1181	0,1344	0,0078	0,0027	0,156	0,0535	0,3214
(p) =	0,9771	0,0688	0,0032	0,1626	0,1345	0,7281	0,8372	0,1047	0,3558	0,0141
Matriz de Correlação	Coluna 6	Coluna 7	Coluna 8	Coluna 9	Coluna 10					
Coluna 6	1	---	---	---	---					
Coluna 7	0,0073	1	---	---	---					
Coluna 8	0,4383	0,3666	1	---	---					
Coluna 9	0,6537	-0,0881	0,395	1	---					
Coluna 10	0,3436	0,0521	0,2313	0,5669	1					

(var 6= µg P orgânico/g solo; var7= µg g Pdisponível/g solo; var 8= µg Fosfatase Ácida/ g solo; var 9= mg C orgânico/ g solo e var 10= mg C orgânico/g biomassa microbiana)

tabela 7, embora apenas uma leve correlação negativa entre a concentração de P disponível e a concentração de C orgânico no solo tenha sido notada.

Quanto à rizosfera de *Casearia arborea* nenhuma correlação entre as variáveis estudadas foi observada conforme tabela 7, embora apenas uma leve correlação negativa entre a concentração de P disponível e a concentração de C orgânico no solo tenha sido notada.

Os resultados acerca das concentrações de C orgânico nos solos dentro das armadilhas de raízes não diferiu significativamente entre as espécies e tão pouco em função da profundidade conforme a Análise Fatorial mostrada na tabela 8. Tais resultados sugerem homogeneidade nas rizoferas tanto de espécies acumuladoras como não acumuladoras de P quanto às concentrações de C orgânico dos solos indicando que a interação entre os diferentes componentes deste sistema chamado capoeira, é determinante sobre a dinâmica dos indivíduos (rizosferas das espécies).

As concentrações de C orgânico da biomassa microbiana diferiram entre as rizosferas das espécies estudadas apenas ao nível de 10% de significância, sugerindo atividades microbianas diferenciadas e talvez distintas microfaunas; no entanto não diferiram quanto à profundidade e quanto à interação (espécie profundidade) conforme mostrou a tabela 9.

O número de Infecções micorrízicas nas raízes das espécies estudadas não diferiu significativamente embora em *Neea macrophylla* tenham sido observadas 16 infecções/cm raiz enquanto em *Cecropia palmata* e *Casearia arborea*, 9,4 e 9,2 infecções respectivamente.

O gênero *Neea* apresentou uma tendência de associação micorrízica o que também pode ser comprovado por Haulg et al (13) os quais observaram a presença de ectomicorizas em duas espécies de *Neea* em floresta úmida no Equador. A importância desses resultados está no fato de que *Neea macrophylla* possa estar acumulando mais P em folhas do que *Casearia arborea* em função da maior eficiência na disponibilização do P às plantas por ocasião da presença de hifas, enquanto *Casearia arborea* estaria desenvolvendo maior atividade da enzima fosfatase ácida; estratégias distintas que nem sempre culminam com maior acúmulo de P nos tecidos foliares posto que a maior ou menor utilização deste será em função do metabolismo de síntese e degradação de P de cada espécie o qual varia com a fenologia.

Conclusões

O estudo de rizosolos de espécies acumuladoras de fósforo e não acumuladoras encontradas em florestas secundárias com solos de baixa fertilidade como forma de compreender a tolerância a tais condições de estresse,

Tabela 7. Matriz de Correlação entre cinco variáveis estudadas na rizosfera de Casearia arborea nos primeiros 20 cm de profundidade.

VARIÁVEIS	Var. 11 e 12	Var. 11 e 13	Var. 11 e 14	Var. 11 e 15	Var. 12 e 13	Var. 12 e 14	Var. 12 e 15	Var. 13 e 14	Var. 13 e 15	Var. 14 e 15
n (pares) =	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
r (Pearson) =	0,429	-0,0479	-0,2113	0,0913	-0,1222	-0,4141	-0,2119	0,2807	0,1691	0,0193
IC 95% =	-0,05 a 0,75	-0,50 a 0,43	-0,62 a 0,28	-0,39 a 0,54	-0,56 a 0,37	-0,74 a 0,07	-0,62 a 0,28	-0,21 a 0,66	-0,32 a 0,59	-0,45 a 0,48
IC 99% =	-0,20 a 0,81	-0,61 a 0,55	-0,71 a 0,42	-0,52 a 0,64	-0,66 a 0,50	-0,80 a 0,22	-0,71 a 0,42	-0,36 a 0,74	-0,46 a 0,68	-0,57 a 0,60
R2 =	0,1841	0,0023	0,0446	0,0083	0,0149	0,1715	0,0449	0,0788	0,0286	0,0004
(p) =	0,0755	0,8502	0,4	0,7186	0,6291	0,0875	0,3986	0,2591	0,5024	0,9395
Matriz de Correlação	Coluna 11	Coluna 12	Coluna 13	Coluna 14	Coluna 15					
Coluna 11	1	---	---	---	---					
Coluna 12	0,429	1	---	---	---					
Coluna 13	-0,0479	-0,1222	1	---	---					
Coluna 14	-0,2113	-0,4141	0,2807	1	---					
Coluna 15	0,0913	-0,2119	0,1691	0,0193	1					

(var 11= μg P orgânico/g solo; var 12= μg P disponível/g solo; var 13= μg Fosfatase Ácida/ g solo; var 14= mg C orgânico/ g solo e var 15= mg C orgânico/g biomassa microbiana)

Tabela 8. Análise Fatorial para determinação do efeito das rizosferas das 3 espécies estudadas, Neea macrophylla, Cecropia palmata e Casearia arborea sobre a concentração orgânico no solo em 2 profundidades (0-10 e 10-20 cm) em floresta secundária a Nordeste do Estado do Pará.

Fontes de variação	
p (Tratamentos)	0,6201
p (Blocos) =	0,3184
p (Interação) =	0,6221

Tabela 9. Análise Fatorial para determinação do efeito das rizosferas das 3 espécies estudadas, Neea macrophylla, Cecropia palmata e Casearia arborea sobre a concentração de C orgânico na biomassa microbiana em 2 profundidades (0-10 e 10-20 cm) em floresta secundária a Nordeste do Estado do Pará.

Fontes de variação	
p (Tratamentos)	0,0828
p (Blocos) =	0,6089
p (Interação) =	0,2788

revelou homogeneidade de resposta com variações quanto às concentrações de P orgânico, P disponível, Atividade da enzima Fosfatase ácida, C orgânico do solo e Infecção de raízes no solo contido nas armadilhas de raízes. O solo próximo à rizosferas de Neea macrophylla e Cecropia

palmata por apresentarem maiores concentrações de P orgânico do que em Casearia arborea pode propiciar condições mais favoráveis ao processo de absorção e conseqüente acúmulo de P em tecidos foliares como já constatamos, embora os teores de P disponível nos solos

próximo às raízes não tenham diferido entre a. A atividade da Enzima Fosfatase ácida exsudada pelo sistema radicular ou atividade microbiana como estratégia de disponibilização do P orgânico nos solos deficientes em P estudados, parece não influenciar diretamente o acúmulo deste nutriente nos tecidos foliares de *Neea*, *Cecropia* ou *Casearia*.

O C da biomassa microbiana foi um parâmetro diferencial entre as três espécies estudadas, contudo não houve o efeito da profundidade. A infecção de raízes foi um pouco maior em *Neea macrophylla* parecendo ser esta a estratégia desta espécie para tolerar ambientes com déficit em P enquanto para *Casearia arborea* e *Cecropia palmata* a atividade da enzima Fosfatase Ácida foi mais expressiva.

Financiamento

Este trabalho foi financiado pelo PROJETO SHIFT (Studies of Human Impacts on Forests and Floodplains).

Conflitos de Interesse

Não há conflitos de interesse.

Referências

1. Gaume A, Mächler F, De Leon C, Narro L, Frossard E. Low-P Tolerance by Maize (*Zea Mays* L.) Genotypes: Significance of Root Growth, and Organic Acids and Acid Phosphatase Root Exudation. *Plant and Soil*. 2001; 228 (2): 253-64.
2. Yan X, Liao H, Trull MC, Beebe SE, Lynch JP. Induction of a Major Leaf Acid Phosphatase Does not Confer Adaptation to Low Phosphorus Availability in Common Bean. *Plant Physiology*. 2001; 125: 1901-11.
3. George TS, Gregory PJ, Wood M, Read D, Buresh R.J. Phosphatase Activity and Organic Acids in the Rhizosphere of Potential Agroforestry Species and Maize. *Soil Biology and Biochemistry*. 2002; 34 (10):1487-94.
4. Bates TR, Lynch JP. Root Hairs Confer a Competitive Advantage under Low Phosphorus Availability. *Plant and Soil*. 2001; 2: 243-50.
5. Koyama H, Kawamura A, Hara T, Shibata D. Over Expression of Mitochondrial Citrate Synthase Gene Improves the Growth of Carrot Cells in Al-phosphate Medium. *Plant Cell Physiology*. 1999; 40: 482-88.
6. Shen H, Yan X, Zhao M, Zheng S, Wang X. Exudation of Organic Acids in Common Bean as Related to Mobilization of Aluminum and Iron Bound Phosphates. *Environmental and Experimental Botany*. 2002; 48 (1): 1-9.
7. Marschner H, Dell B. Nutrient Uptake in Mycorrhizal Symbiosis. *Plant Soil*. 1994; 159: 89-102.
8. Van der Heijden MGA, Klironomos JN, Ursic M, Moutoglis P, Streitwolf-Engel R, Boller T, Wiemken A. Mycorrhizal Fungal Diversity Determines Plant Biodiversity, Ecosystem Variability and Productivity. *Nature*. 1998; 396: 69-72.
9. Murphy J, Riley JP. A Modified Single Solution Method for the Determination of Phosphate in Natural Waters. *Analytica Chimica Acta*. 1962; 27: 31-36.
10. Islam KR, Weil RR. Microwave Irradiation of Soil for Routine Measurement of Microbial Biomass Carbon. *Biology and Fertility of Soils*. 1998; 27: 408-16.
11. Voroney RP, Winter JP, Gregorich EG. Microbe/Plantinteractions. In Coleman DC and Fry B, editors. *Carbon Isotope Techniques*. 1991; Academic PRESS INC. San Diego, Califórnia p. 77-99.
12. Ayres M, Ayres Junior, Ayres DL, dos Santos AS. *BioEstat 3.0. Aplicações estatísticas nas áreas das Ciências Biológicas e Médicas*. Belém, Pará, Brasil: Sociedade Civil Mamirauá/MCT-CNPQ/ Conservation International; 2003.
13. Haug IM, Weiss J, Homeier F, I Kottke. Russulaceae and Thelephoraceae form Ectomycorrhizas with Members of the Nyctaginaceae (Caryophyllales) in the Tropical Mountain Rain Forest of Southern Ecuador. *New Phytologist*. 2005; 165: 923-36.