



Revista Brasileira de Ciência do Solo

ISSN: 0100-0683

revista@sbccs.org.br

Sociedade Brasileira de Ciência do Solo
Brasil

Costa Zaia, Francisco; Gama-Rodrigues, Antonio Carlos da; Forestieri da Gama-Rodrigues,
Emanuela; Celes Rebouça Machado, Regina
FÓSFORO ORGÂNICO EM SOLOS SOB AGROSSISTEMAS DE CACAU
Revista Brasileira de Ciência do Solo, vol. 32, núm. 5, 2008, pp. 1987-1995
Sociedade Brasileira de Ciência do Solo
Viçosa, Brasil

Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=180214065020>

- Como citar este artigo
- Número completo
- Mais artigos
- Home da revista no Redalyc

redalyc.org

Sistema de Informação Científica

Rede de Revistas Científicas da América Latina, Caribe, Espanha e Portugal
Projeto acadêmico sem fins lucrativos desenvolvido no âmbito da iniciativa Acesso Aberto

FÓSFORO ORGÂNICO EM SOLOS SOB AGROSSISTEMAS DE CACAU⁽¹⁾

Francisco Costa Zaia⁽²⁾, Antonio Carlos da Gama-Rodrigues⁽³⁾, Emanuela Forestieri da Gama-Rodrigues⁽³⁾ & Regina Celes Rebouça Machado⁽⁴⁾

RESUMO

A compreensão de parte do ciclo do P orgânico (Po) no solo poderá fornecer subsídios para o manejo eficiente da fertilização fosfatada no sistema de agricultura de baixos insumos na região tropical. O objetivo deste trabalho foi avaliar a variação de frações de Po em duas classes de solos sob diferentes agrossistemas de cacau no sul da Bahia. O Po total variou de 7,8 a 36,3 % do P total extraído, com teor médio de 193,3 mg kg⁻¹. O teor médio de Po lábil foi de 15,2 mg kg⁻¹, com variação de 33,1 a 81,9 % do P lábil total. Nos agrossistemas de cacau, o grupo de Latossolos apresentou menor teor de Po total, Po lábil e P microbiano do que o grupo de Cambissolos. No grupo de Latossolos, os solos sob agrossistemas de cacau apresentaram maior teor de Po total, P microbiano e P disponível, mas menor teor de Po lábil do que o solo sob floresta natural. O P disponível correlacionou-se positivamente com o Po (total, lábil e microbiano), e o Po total com o P microbiano. O Po lábil predominou amplamente sobre a fração inorgânica lábil, especialmente no grupo de Latossolos.

Termos de indexação: Mata Atlântica, disponibilidade de fósforo, frações lábeis de fósforo, biomassa microbiana.

⁽¹⁾ Parte da Dissertação do primeiro autor, apresentado ao Curso de Pós-Graduação em Produção Vegetal – CCTA/UENF. Recebido para publicação em outubro de 2007 e aprovado em setembro de 2008.

⁽²⁾ Doutorando do Curso de Produção Vegetal da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro – UENF. CEP 2602 Campos dos Goytacazes (RJ). E-mail zaia@uenf.br

⁽³⁾ Professor da Laboratório de Solos do Centro de Ciências e Tecnologia Agropecuária – CCTA – UENF. E-mail forestieri@uenf.br

SUMMARY: ORGANIC PHOSPHORUS IN SOILS UNDER COCOA AGROSYSTEMS

Understanding the soil organic P (Po) cycle is important to improve the P fertilization management in low-input tropical agricultural systems. The aim of this study was to evaluate Po content and labile P fractions, and microbial biomass P in soils under different cocoa agroecosystems. Mean total Po was 193 mg kg⁻¹ and accounted for 7.8 to 36.3 % of the total extracted P. Mean labile Po was 15 mg kg⁻¹ and accounted for 33.1 to 81.9 % of the total labile P. In cocoa agrosystems, the total Po, labile Po and microbial P contents were lower in the Oxisol than in the Inceptisol group. In the Oxisol group, in soils under cocoa agrosystems, the total Po, microbial P and available P contents were higher and the labile Po lower than in the soil under natural forest. Available P was positively correlated with Po (total, labile and microbial), and total Po was positively related to microbial P. The labile Po fraction was far higher in the labile inorganic fraction, especially in the Oxisol group.

Index term: Atlantic Forest, available P, labile P fraction, microbial biomass.

INTRODUÇÃO

A importância relativa do P orgânico (Po) na nutrição das plantas aumenta quando há deficiência de P, resultante dos baixos teores totais e, ou, forte adsorção de P pelos oxiídruídos de Fe e Al no solo. Nessas condições, a ciclagem de formas orgânicas mais lábeis é acelerada, sendo mais importante em solos tropicais altamente intemperizados (Silva & Mendonça, 2007). Nesses solos, o conteúdo de Po seria maior naqueles mais argilosos (Cade-Menun, 2005), com maior teor de C orgânico (Gressel & McColl, 1997; Cunha et al., 2007) e menor pH (Cunha et al., 2007).

Nos sistemas agroflorestais e florestais, por promoverem uma grande acumulação de matéria orgânica no solo, o P disponível está estreitamente associado ao Po lável (Szott & Melendez, 2001; Lehmann et al., 2001; George et al., 2002; Comerford et al., 2006). Nesses sistemas, além das formas lábeis de Po, o conteúdo de P da biomassa microbiana do solo possui também uma estreita relação com o P disponível (Grieson et al., 2004; Zaia, 2005), por constituir a fração ativa e de rápido turnover do ciclo de P no solo. Assim, ambas as frações de Po lável, e de P microbiano constituíram importantes reservatórios de P, diminuindo a capacidade de adsorção da fase mineral do solo e, consequentemente, o aumento da disponibilidade de P para as plantas.

No Brasil, o cacau, por se caracterizar como uma cultura de subbosque, seja sob floresta natural, seja sob floresta homogênea, constitui agrossistema adequado para estudos de ciclagem de nutrientes (Gama-Rodrigues, 2004). A combinação do cacaueiro com espécies não lenhosas (banana, mandioca, etc.) e espécies lenhosas (eritrina, gliricídia, etc.) seria um bom exemplo da compatibilidade e complementariedade de diferentes espécies e ao mesmo tempo de sustentabilidade do sistema de produção.

nutrientes têm sido realizados procurando dar ênfase ao ciclo da matéria orgânica (Fassbender et al., 1991; Santana et al., 1990; Fontes, 2006) ou ao hidrológico (Gama-Rodrigues & Miranda, 1991), à sua contribuição no fornecimento de nutrientes. Contudo, tem sido pouco estudado o papel do P na disponibilidade de P para a cultura do cacau (Acquaye, 1963), apesar de esse agrossistema promover uma grande acumulação de matéria orgânica no solo (Fontes, 2006), e do P ser considerado o principal fator nutricional limitante à expansão dessa cultura em solos intemperizados (Santana et al., 1988). Assim, estudos sobre Po poderiam fornecer importantes subsídios para o desenvolvimento de técnicas de manejo e fertilização fosfatada, que sejam ecológicamente economicamente sustentáveis.

O objetivo deste trabalho foi avaliar a variação das frações de Po em duas classes de solos sob diferentes agrossistemas de cacau no sul da Bahia.

MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi realizado na região cacaueira do município de Itajuípe, no sul da Bahia. A vegetação local foi classificada como Floresta Ombrófila Densa das Terras Baixas (Veloso et al., 1991). O clima da região, pela classificação de Köppen, é do tipo Af, caracterizado por uma pluviosidade média anual de 1.500 mm, estação seca definida, e a temperatura média anual de 26 °C (Estação Climatológica Almirante Centenário, Estudos de Cacau, dados não publicados).

Estudaram-se cinco agrossistemas de cacau: 1 - cacau renovado eritrina (*Erythrina glauca*); 2 - cacau renovado cabruca; 3 - cacau antigo cabruca; 4 - cacau antigo eritrina; e 5 - cacau em jardim clonal adenocarpus. A idade dos agrossistemas 1, 2 e 4 era de 30 anos nos dois primeiros e havia renovação da cultura.

FÓSFORO ORGÂNICO EM SOLOS SOB AGROSSISTEMAS DE CACAU

15 anos, respectivamente. O nível de sombreamento foi maior que 30 %, à exceção do agrossistema 5. Nos agrossistemas de 1 a 4 o espaçamento do cacauzeiro foi de 3 x 2 m. Para as árvores de sombra, o espaçamento da eritrina foi de 24 x 24 m distribuídas em quincônico, enquanto na cabruca as árvores estavam espaçadas aleatoriamente. No agrossistema 5, o espaçamento do cacauzeiro foi em linha dupla de 3 x 1,5 x 1,3 m, sob sombra de eritrina e gliricídia (*Gliricidia sepium*) em espaçamento de 30 x 30 m, em quincônico. Em todos os agrossistemas não tem havido fertilização mineral ou orgânica (30 kg ha⁻¹ de P₂O₅) há mais de 10 anos. Uma Floresta Ombrófila Densa Secundária Tardia serviu de referencial aos outros sistemas.

Neste trabalho, a cabruca foi o sistema de cultivo do cacau como sub-bosque de floresta natural. Baseou-se na substituição da vegetação rasteira e das árvores de menor porte, que ofereciam maior competitividade ao cacauzeiro, permanecendo somente aquelas que poderiam ser utilizadas como sombra provisória e, em alguma situação, até como sombra definitiva. Após esta operação, selecionaram-se árvores de copa alta e pouco densa para o sombreamento definitivo e, então, derrubaram-se as restantes.

Na floresta natural e nos agrossistemas de 1 a 3, os solos foram classificados como Latossolos Vermelho-Amarelo distróficos e, nos agrossistemas 4 e 5, como Cambissolos Háplicos Tb eutróficos, todos em relevo ondulado. Para a caracterização da fertilidade do solo e dos teores de Po lável e Po total e, de C e P da biomassa microbiana, em cada cobertura vegetal, foi delimitada uma parcela fixa de 1.500 m². Em cada parcela foram coletadas quatro amostras compostas, sendo cada uma constituída de quinze amostras simples ao acaso nas entrelínhas de plantio, na camada de 0–5 cm, em maio de 2004. A composição granulométrica e os atributos químicos foram determinados de acordo com Embrapa (1997), exceção do conteúdo de P total, estimado a partir de digestão nítrico-perclórica (Bataglia et al., 1983) e de C orgânico dosado por oxidação com K₂Cr₂O₇ 1,25 mol L⁻¹ em meio ácido (Anderson & Ingram, 1996) (Quadro 1). Foram também coletadas amostras de solo na camada de 0–10 cm para determinação dos teores das frações de Po e Pi.

A quantificação do Po total foi obtida empregando-se o método de extração seqüencial (Bowman, 1989), enquanto o Po lável pelo método de extração com NaHCO₃ 0,5 mol L⁻¹ (Bowman & Cole, 1978). O Pi foi determinado após clarificação dos extratos com carvão ativo (Guerra et al., 1996). O teor de Pi nos extratos ácidos e alcalinos foi determinado pelo método de Murphrey & Riley (1962). O método da fumigação-extrAÇÃO foi utilizado para estimar o C (Vance et al., 1987) e o P (Brookes et al., 1984) da biomassa microbiana do solo.

Em cada cobertura vegetal, na comparação entre as camadas de amostragem para os teores das frações

inteiramente casualizado com quatro repetições. Adotou-se o teste F a 5 %. Foram estabelecidas correlações de Pearson a 5 % entre as diferentes frações de P e alguns atributos químicos do solo.

Cada cobertura vegetal, foi considerada um tratamento de efeito fixo. Assim, os dados das frações de Po (total, lável e microbiano) e Pi, de P disponível (Mehlrich-1), de C orgânico e da biomassa microbiana e mais argila também foram submetidos à análise dos componentes principais (ACP) com o objetivo de sintetizar sua variação multidimensional em um diagrama, ordenando-os nos componentes, de acordo com suas similaridades em torno das variáveis utilizadas (Ter Braak, 1986). As variáveis foram padronizadas para reduzir efeitos de escala. A ACP transforma um conjunto original de variáveis em um novo conjunto de dimensão equivalente. Assim, as amostras (coberturas vegetais) e as variáveis (diferentes frações de P, C e argila) foram transformadas em coordenadas, que correspondem à sua projeção nos eixos de ordenação, ou autovetores, representando o peso de cada variável sobre cada componente (eixo). Funciona como coeficiente de correlação, que varia de -1 até +1. As variáveis com elevado autovetor no primeiro eixo tendem a ter autovetor inferior no segundo eixo. Neste trabalho, considerou-se que um autovetor < 0,7 como de baixa associação para a interpretação dos componentes principais (Wick et al., 1998). Na maioria dos estudos, como no caso desse trabalho, apenas os dois primeiros componentes são utilizados, sendo considerados suficientes para explicar os dados e facilitar a interpretação do gráfico em duas dimensões (Gomes et al., 2004).

Um ponto qualquer plotado no diagrama (representando uma dada cobertura vegetal) pode ser relacionado com cada seta (teores de P, C ou argila), por meio de uma perpendicular partindo da linha da seta até o referido ponto. A ordem nas quais os pesos se projetam na seta, da sua extremidade até a sua origem, dá uma indicação dessa relação. Coberturas vegetais com sua projeção perpendicular próxima à extremidade da ponta da seta, são mais positivamente correlacionadas e influenciadas pela variável da questão. Aqueles na extremidade oposta da seta, influenciados em menor grau. O ângulo de inclinação de cada seta com relação a cada eixo indica que o atributo mais estreitamente correlacionado está o atributo com o menor ângulo com o eixo (Alvarenga & Davide, 1999).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Cobertura vegetal

A textura e o nível de fertilidade do solo variaram amplamente entre as coberturas vegetais (Quadro 1). O grupo de Cambissolos apresentou menor aci-

menor nível de fertilidade ocorreram no solo sob floresta natural em relação aos agrossistemas de cacau. Entretanto, apenas para C orgânico praticamente não houve variação entre a floresta natural e os agrossistemas de cacau. Os maiores teores de argilas ocorreram no grupo de Latossolos, sendo o solo mais argiloso sob floresta natural. Com base na classificação proposta por Alvarez V. et al. (1999), considerando os teores de argila, os teores de P disponível (Mehlich-1) foram baixos no grupo de Latossolos, enquanto no grupo de Cambissolos variaram de médio a muito alto.

A relação (Pi + Po)/P total indica a taxa de recuperação do método em relação ao P total do solo por digestão. A taxa de recuperação variou de 40 a 169 % (Quadro 2). As taxas de recuperação encontradas por Condron et al. (1990) variaram entre 30 e 107 % do P total, por Guerra et al. (1996) entre 48 e 109 %, e por Cunha et al (2007) entre 50 e 82 %.

Os maiores teores das frações de P (inorgânico orgânico) foram encontrados no grupo de Cambissolos sob cacau antigo e eritrina e sob cacau em jardim clonal adensado (Quadro 2). O Pi predominou na composição do P total (Pi + Po) nos solos sob todas as coberturas vegetais. O Po total representou de 36,3 % do P total extraído. O Latossolo sob cacau renovado e cabruca apresentou a menor relação Pi/P total, enquanto a maior participação do Pi na composição do P total foi no Latossolo sob cacau antigo e eritrina. Cunha et al. (2007) e Zaia (2005), usando o mesmo método de determinação de Po deste trabalho, encontraram para Latossolos e Cambissolos variabilidade de Po total de 22,6 a 39,6 % em solos florestais e 14,6 a 24,1 % em solos de pastagens.

O teor médio de Po total foi de 193,3 mg kg⁻¹ para o grupo de Latossolos, o teor médio foi de 76,7 mg kg⁻¹ para o grupo de Cambissolos, enquanto no grupo de Cambissolos foi de 426,4 mg kg⁻¹. Esses teores de Po total estão dentro da faixa de variação

Quadro 1. Características físicas e químicas do solo, na camada de 0–5 cm, sob agrossistemas de cacau

| Solo | Cobertura | Areia | Silte | Argila | pH H ₂ O | Pt ⁽²⁾ | P ⁽³⁾ | Al | SB | C | | | |
|------------|--------------------------------------|-------|-------|--------|---------------------|-------------------|------------------|------|-------|------|------------------------|-------------------------|--|
| | | | | | | | | | | | — g kg ⁻¹ — | — mg kg ⁻¹ — | — mmol _c kg ⁻¹ — |
| Latossolo | Floresta natural | 300 | 110 | 590 | 3,8 | 585 | 4,3 | 19,2 | 27,0 | 41,1 | | | |
| Latossolo | Cacau ren. e eritrina ⁽¹⁾ | 410 | 280 | 310 | 4,6 | 690 | 7,7 | 2,7 | 63,7 | 39,7 | | | |
| Latossolo | Cacau ren. e cabruca | 450 | 120 | 430 | 4,9 | 715 | 6,7 | 0,8 | 83,8 | 40,1 | | | |
| Latossolo | Cacau antigo e cabruca | 440 | 230 | 330 | 5,4 | 736 | 6,8 | 0,2 | 91,0 | 39,5 | | | |
| Cambissolo | Cacau antigo e eritrina | 410 | 420 | 170 | 5,9 | 989 | 17,0 | 0,0 | 151,0 | 16,9 | | | |
| Cambissolo | Cacau jardim clonal | 540 | 340 | 120 | 6,0 | 1.289 | 73,3 | 0,0 | 192,0 | 29,2 | | | |

⁽¹⁾ Cacau renovado eritrina / Cacau renovado cabruca. ⁽²⁾ Fósforo total por digestão nitro-perclórica. ⁽³⁾ P disponível por Me

Quadro 2. Teores das frações de P inorgânico (Pi), orgânico (Po) e inorgânico + orgânico nas formas latentes do solo, na camada de 0–5 cm, sob agrossistemas de cacau

| Solo | Cobertura | Pi | | Po | | Pi + Po | |
|------------|---------------------------|-----------------------------|---------------------------|----------------------------|----------------------------|---------------------------|-------|
| | | Total | Lábil | Total | Lábil | Total | Lábil |
| | | | | | | mg kg ⁻¹ | |
| Latossolo | Floresta natural | 212,8 (82,6) ⁽¹⁾ | 3,9 (18,7) ⁽²⁾ | 44,8 (17,4) ⁽¹⁾ | 17,1 (81,3) ⁽²⁾ | 257,6 (44) ⁽³⁾ | |
| Latossolo | Cacau renovado e eritrina | 338,2 (84,8) | 6,1 (28,9) | 60,4 (15,2) | 15,1 (71,1) | 398,6 (58) | |
| Latossolo | Cacau renovado e cabruca | 262,0 (92,2) | 4,2 (24,7) | 22,3 (7,8) | 12,8 (75,3) | 284,3 (40) | |
| Latossolo | Cacau antigo e cabruca | 314,2 (63,7) | 5,8 (34,7) | 179,3 (36,3) | 10,8 (65,3) | 493,5 (67) | |
| Cambissolo | Cacau antigo e eritrina | 1207,0 (72,3) | 15,0 (47,9) | 461,8 (27,4) | 16,3 (52,1) | 1.668,8 (169) | |
| Cambissolo | Cacau jardim clonal | 881,9 (69,3) | 38,6 (66,9) | 391,0 (30,7) | 19,1 (33,1) | 1.272,9 (99) | |
| Média | | 536,0 (73,5) | 12,2 (44,5) | 193,3 (26,5) | 15,2 (55,5) | 729,3 (87) | |
| CV (%) | | 69,7 | 101,3 | 89,7 | 18,0 | 74,3 | |

FÓSFORO ORGÂNICO EM SOLOS SOB AGROSSISTEMAS DE CACAU

encontrados para Cambissolos, que variaram entre 87 e 771,5 mg kg⁻¹ (Duda, 2000; Cunha et al., 2007), e para Latossolos, que variaram entre 22 e 119,9 mg kg⁻¹ (Guerra et al., 1996; Zaia, 2005; Cunha et al., 2007).

O teor médio de Po lável foi de 15,2 mg kg⁻¹. Nos grupos de Latossolos e de Cambissolos, os teores médios desta fração foram de 14,0 e 17,7 mg kg⁻¹, respectivamente. Verifica-se, assim, que a maior diferença entre as duas classes de solos foi para o Po total. Entretanto, esta tendência não foi verificada para Pi (total e lável), e, no grupo de Latossolos, as frações de Pi corresponderam em torno de 20 % dos teores dessas frações em relação ao grupo de Cambissolos (Quadro 2).

O balanço entre Pi lável e Po lável em relação ao P lável total variou entre os tipos de solos (Quadro 2). A fração Po lável foi maior do que o Pi lável, ao contrário do balanço de Pi e Po em relação ao P total. No grupo de Latossolos, sob floresta natural 81,3 % do P lável e de 65,3 a 75,3 % sob agrossistemas de cacau foram constituídos por Po lável; entretanto, no grupo de Cambissolos a proporção do Po lável variou de 33,1 a 52,1 %. Na região norte-fluminense, a proporção de Po lável em Cambissolos sob florestas naturais foi de 86,3 e de 68,8 % em Latossolos sob eucalipto, leguminosas florestais e floresta natural (Zaia, 2005; Cunha et al., 2007).

O predomínio de Po lável em relação ao Pi lável no grupo de Latossolos (Quadro 2), encontrado também por Guerra et al. (1996), indicou que a disponibilidade de P, em curto prazo, não é completamente acessada por determinações de P disponível (Novais et al., 2007). Em solos de avançado estádio de intemperismo, o P disponível está estreitamente relacionado às frações do Po (George et al., 2002; Grierson et al., 2004).

Para o P da biomassa microbiana, a amplitude de variação foi de 3,93 mg kg⁻¹ de P, no Latossolo sob floresta natural, a 17,88 mg kg⁻¹ de P, no Cambissolo sob cacau em jardim clonal adensado (Quadro 3). O

grupo de Cambissolos apresentou valores médios microbiano 2,3 vezes superiores aos do grupo Latossolos. O C da biomassa microbiana também apresentou ampla variação entre os solos; entre os maiores valores médios foram encontrados no grupo de Latossolos (471,7 mg kg⁻¹ de C) do que no grupo de Cambissolos (305,5 mg kg⁻¹ de C).

A maior eficiência da biomassa microbiana de se mineralizar em imobilizar C (Cbm/C orgânico) e P (Pbm/Pot total) em média, foi encontrada no grupo de Latossolos (Quadro 3). A maior proporção de Po mineralizável, indicada pela relação Po lável/Po total, também ocorreu no grupo de Latossolos sob cacau renovado e cabruca (57,5 %), floresta natural (38,2 %), cacau renovado e eritrina (24,9 %) e cacau antigo e cabruca (6,0 %). No grupo de Cambissolos, a proporção de Po lável mineralizável foi de 3,5 % para cacau antigo e eritrina e de 4,9 % para cacau em jardim clonal adensado. Zaia (2005) encontrou teores de P microbiano na faixa de 1,96 a 10,54 mg kg⁻¹ em Latossolos sob pastagem leguminosa arbórea e floresta natural. Em Argissolos os valores de P microbiano estão na faixa de 1,96 a 13,7 mg kg⁻¹ sob pastagens (Guerra et al., 1996), 7,6 a 10,8 mg kg⁻¹ sob plantios de leguminosas herbáceas perenes (Duda et al., 2003) e de 1,96 a 7,5 mg kg⁻¹ sob plantios de milho (Matos et al., 2007).

Os dois primeiros componentes principais explicaram 75,8 % e o segundo 12,3 %, perfazendo 88,1 % da variância da biomassa microbiana acumulada entre os solos. A dispersão gráfica dos solos sob as diferentes coberturas (Figura 1) demonstrou dissimilaridade entre os dois grupos de solos analisados: o grupo de Latossolos localizado à esquerda do diagrama de ordenação, ao contrário do grupo de Cambissolos, que ficou localizado à direita.

Quadro 3. Teores das frações de P da biomassa microbiana (Pbm) e de C da biomassa microbiana (Cbm) e suas relações de C microbiano para C orgânico (Cbm/C) e de P microbiano para Po total (Pbm/Pot) do solo da camada de 0–5 cm, sob agrossistemas de cacau

| Solo | Cobertura | Pbm | Cbm | Cbm/C | Pbm/Pot |
|---------------------|---------------------------|-------|-------|-------|---------|
| mg kg ⁻¹ | | | | | % |
| Latossolo | Floresta natural | 3,93 | 688,3 | 1,67 | 9 |
| Latossolo | Cacau renovado e eritrina | 6,00 | 437,2 | 1,10 | 10 |
| Latossolo | Cacau renovado e cabruca | 7,86 | 453,5 | 1,13 | 36 |
| Latossolo | Cacau antigo e cabruca | 8,36 | 307,7 | 0,78 | 5 |
| Cambissolo | Cacau antigo e eritrina | 12,39 | 395,3 | 2,33 | 3 |
| Cambissolo | Cacau jardim clonal | 17,88 | 215,6 | 0,74 | 5 |
| Média | | 8,49 | 418,2 | 1,68 | 11 |

No grupo de Latossolos, verifica-se que o solo sob floresta natural apresentou alto grau de dissimilaridade em relação aos agrossistemas de cacau, porém, dentre esses agrossistemas, houve maior similaridade apenas entre o cacau renovado e a eritrina e o cacau renovado e a cabruca. No grupo de Cambissolos, houve baixa similaridade entre os dois agrossistemas de cacau.

As variáveis mais associadas ao CP1 foram as frações de P microbiano, Po total, Pi lúbil, Pi total e P disponível, nessa ordem, com autovetores positivos, e argila, C orgânico e C microbiano, com autovetores negativos (Quadro 4 e Figura 1). O CP2 serve para realçar as diferenças de Po lúbil e, até certo ponto, de C microbiano, dentre os diferentes solos. Esses resultados revelam que, das diferentes frações de P analisadas, o Po lúbil foi de pequeno significado ($< 0,70$) na distinção dos solos (Quadro 4). Observa-se uma grande sobreposição dos efeitos entre as frações de P associadas ao CP1. O P disponível correlacionou-se positivamente com Po total ($r = 0,634$; $p < 0,01$), Po lúbil ($r = 0,652$; $p < 0,01$) e P microbiano ($r = 0,901$; $p < 0,01$), e também houve correlação positiva entre Po total e P microbiano ($r = 0,837$; $p < 0,01$). Entretanto, a argila correlacionou-se negativamente com Po total ($r = -0,843$; $p < 0,01$), P microbiano ($r = -0,872$; $p < 0,01$) e P disponível ($r = -0,689$; $p < 0,01$). O C orgânico também se correlacionou negativamente com Po total ($r = -0,926^{**}$) e P microbiano ($r = -0,673$; $p < 0,01$). Ao contrário das frações de P, houve correlação positiva entre C orgânico e argila ($r = 0,738$; $p < 0,01$).

Essas correlações sugerem que a acumulação do Po nos solos estaria mais estreitamente associada aos teores de P disponível que aos teores de C orgânico e de argila. Como esperado, a acumulação de C estaria estreitamente associada à argila. Isto explica, em parte, a associação negativa encontrada entre C

Quadro 4. Cargas relativas das diferentes variáveis associadas aos componentes principais (CP) de solos, na camada de 0–5 cm, sob agrossistemas de cacau (as cargas sublinhadas foram usadas para interpretar cada componente principal)

| Variável | CP1 | CP2 |
|--------------|--------------|---------------|
| Pi total | <u>0,895</u> | -0,281 |
| Pi lúbil | <u>0,901</u> | -0,004 |
| Po total | <u>0,934</u> | -0,110 |
| Po lúbil | 0,522 | <u>-0,686</u> |
| P microbiano | <u>0,951</u> | 0,140 |
| P disponível | <u>0,836</u> | 0,052 |
| C orgânico | -0,813 | 0,347 |
| Argila | <u>0,738</u> | 0,207 |

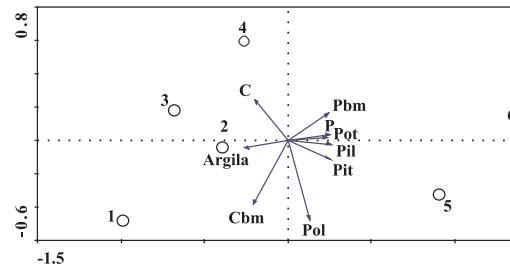


Figura 1. Diagrama de ordenação produzido pela análise de componentes principais dos atrizes do solo. Pot = Po total; Pol = Po lúbil; Pil = Pi lúbil; Pbm = P da biomassa microbiana; P = P disponível; C = C orgânico; Cbm = biomassa microbiana e argila. Grupos de Latossolos: coberturas 1 (floresta natural, cacau renovado e eritrina); 3 (cacau renovado e cabruca) e 4 (cacau antigo e cabruca). Grupos de Cambissolos: coberturas 5 (cacau antigo e eritrina) e 6 (cacau em jardim clonal adensado).

orgânico e as frações de Po (total e microbiano). Isto é de modo, constata-se um comportamento distinto de acumulação nos solos entre C orgânico e Po. Solos com elevados teores de P disponível tenderiam a ter proporcionalmente altos teores de Po. Como não houve fertilização fosfatada nos últimos dez anos, três fatores podem explicar concomitantemente a variação das diferentes formas de P nos solos estudados: o desequilíbrio de intemperismo entre os dois grupos de solos, no qual os Cambissolos são menos evoluídos, o desequilíbrio do ciclo geoquímico de P é ainda relevante, caracterizando esses solos como fonte de P. Nesse caso, com a diminuição da quantidade de Pi poderia atender parcial ou totalmente a demanda de P pelas plantas e pelos microrganismos, havendo baixas taxas de mineralização de P, proporcionando maior acumulação dessa fração de P no solo; a variação do teor de argila entre os solos, em que os mais argilosos apresentam baixos teores de P disponível devido ao elevado poder tampão e de adsorção de P; e o ciclo biogeoquímico de P, especialmente no grupo de Latossolos, onde os agrossistemas de cacau são mais eficientes que a floresta natural em manter maiores teores de P disponível. Fontes (2006), estudando a ciclagem biogeoquímica nas mesmas coberturas vegetais que este trabalho, encontrou similaridade da biomassa da serapilheira acumulada entre a floresta natural e os agrossistemas de cacau. Contudo, o conteúdo de biomassa da serapilheira dos agrossistemas de cacau foi maior que o da floresta natural. Assim, a quantidade de P pode ser incorporado ao solo, via processo de mineralização, é maior nos agrossistemas de cacau.

Na fase final da decomposição da serapilheira, uma parte do substrato é mineralizado (Pi) e outra parte é

FÓSFORO ORGÂNICO EM SOLOS SOB AGROSSISTEMAS DE CACAU

de Po fará parte do processo de acumulação de Po estável do solo, enquanto o P mineralizado pode ser imobilizado na biomassa microbiana (Pbm) e posteriormente fazer parte da fração de Po lável, ou ser adsorvido na fase mineral do solo (Pi lável) (Grierson et al., 2004). Na fase orgânica, parte do P pode ser remineralizado, retornando à solução do solo. Na fase mineral, a maior parte do P tende a ser fixada, devido às baixíssimas taxas de dessorção. Entretanto, ânions orgânicos, derivados da decomposição da serapilheira, poderiam aumentar as taxas de dessorção de P como um resultado da troca de ligantes, elevando à disponibilidade de P (Wong et al., 2004). Assim, o P disponível seria dependente do balanço dos processos de mineralização/imobilização na fase orgânica, e de adsorção/dessorção na fase mineral, em relação à taxa de transferência de P da serapilheira para o solo.

Camada de amostragem

A variação entre os teores das frações de Pi (total e lável), Po (total e lável) e P total (Pi + Po), na camada de 0–10 cm, em cada cobertura vegetal, foi semelhante ao ocorrido na camada de 0–5 cm. Contudo, os teores dessas frações de P na camada de 0–10 cm foram significativamente menores do que na camada de 0–5 cm em todas as coberturas vegetais (Quadro 5). Na camada de 0–10 cm, os teores médios de Po total e lável foram de 134,9 e 8,3 mg kg⁻¹, respectivamente.

Esses teores corresponderam a uma redução de e -45,4 %, respectivamente, em relação a camada 0–5 cm.

Estes resultados indicam que camadas amostragem superiores a 0–5 cm proporcionam “efeito de diluição” na determinação das frações de P em agrossistemas de cacau e de floresta natural. Nessas coberturas vegetais, a ciclagem biogeoquímica de P seria decorrente da deposição de resíduos da atmosfera na superfície do solo (Fontes, 2006), no qual a incorporação desses resíduos mediante o processo de decomposição ocorre predominantemente nos primeiros centímetros do perfil do solo. Além disso, na camada de 0–5 cm também ocorre uma grande quantidade de raízes finas e radicelas (Kummerow et al., 1982; Gama-Rodrigues & Cadima-Zevallos, 1998), que constituem fontes de Po e proporcionam aumento de P disponível mediante a exsudação de ácidos orgânicos em mecanismo similares aos desses mecanismos oriundos da serapilheira (Wong et al., 2004), conforme descrição supracitada.

Assim, nos agrossistemas de cacau, a serapilheira acumulada e as raízes podem proporcionar acúmulo substancial de Po na camada de 0–5 cm. Nesse caso, a quantidade média de Po lável dos solos foi de 7,6 kg ha⁻¹. O conteúdo de P nas sementes era aproximadamente 5 kg ha⁻¹ para uma produção de 1.000 kg ha⁻¹ (Gama-Rodrigues, 2004). Desse modo,

Quadro 5. Teores das frações de P inorgânico (Pi), orgânico (Po) e inorgânico + orgânico nas formas láveis total do solo, nas camadas de 0–5 e 0–10 cm, sob agrossistemas de cacau

| Camada | Pi | | Po | | Pi + Po | |
|-------------------------|-----------|--------|---------|--------|---------------------|--------|
| | Total | Lável | Total | Lável | Total | Lável |
| cm | | | | | | |
| | | | | | mg kg ⁻¹ | |
| Floresta natural | | | | | | |
| 0–5 | 212,8 a | 3,8 a | 44,8 a | 17,1 a | 257,6 a | 20,9 a |
| 0–10 | 193,4 b | 2,5 b | 29,6 b | 9,9 b | 223,0 b | 12,4 b |
| Cacau renovado eritrina | | | | | | |
| 0–5 | 338,2 a | 6,1 a | 60,4 a | 15,1 a | 398,6 a | 21,1 a |
| 0–10 | 227,7 b | 5,5 b | 39,6 b | 7,0 b | 267,3 b | 12,5 b |
| Cacau renovado cabruca | | | | | | |
| 0–5 | 262,0 a | 4,2 a | 22,3 a | 12,8 a | 284,2 a | 17,0 a |
| 0–10 | 206,6 b | 3,5 b | 16,7 b | 3,5 b | 223,9 b | 7,0 b |
| Cacau antigo cabruca | | | | | | |
| 0–5 | 314,2 a | 5,8 a | 179,3 a | 10,8 a | 493,5 a | 16,7 a |
| 0–10 | 274,3 b | 4,6 b | 121,2 b | 7,9 b | 395,4 b | 12,4 b |
| Cacau antigo eritrina | | | | | | |
| 0–5 | 1.207,0 a | 15,0 a | 461,8 a | 16,3 a | 1.668,8 a | 31,3 a |
| 0–10 | 705,7 b | 13,1 b | 390,4 b | 10,6 b | 1.096,0 b | 23,7 b |
| Cacau jardim clonal | | | | | | |
| 0–5 | 881,9 a | 38,6 a | 391,0 a | 19,1 a | 1.273,0 a | 57,7 a |

a quantidade de Po lável corresponde a 1,52 vez aquela que é exportada nas sementes. Esses resultados evidenciam que formas orgânicas de P potencialmente mineralizáveis podem constituir importantes fontes de suprimento do elemento para as plantas de cacau. Assim, estudos futuros sobre Po podem auxiliar no aperfeiçoamento do sistema de recomendação de fertilizantes fosfatados para a cultura do cacaueiro, baseado apenas na análise de P disponível (Mehlich-1) na camada de 0–20 cm (Cabala-Rosand et al., 1988).

CONCLUSÕES

1. Nos agrossistemas de cacau, os Latossolos apresentaram menor teor de Po total, Po lável e P microbiano do que os Cambissolos.
2. Nos Latossolos, os solos sob agrossistemas de cacau apresentaram maior teor de Po total, P microbiano e P disponível, mas menor teor de Po lável do que o solo sob floresta natural.
3. O P disponível correlacionou-se positivamente com o Po (total, lável e microbiano), e o Po total, com o P microbiano.
4. O Po lável predominou amplamente sobre a fração inorgânica lável, especialmente nos Latossolos.

LITERATURA CITADA

- ALVARENGA, M.I.N. & DAVIDE, A.C. Características físicas e químicas de um Latossolo Vermelho-Escuro e a sustentabilidade de agroecossistemas. R. Bras. Ci. Solo, 23:933-942, 1999.
- ALVAREZ V., V.H.; NOVAIS, R.F.; BARROS, N.F.; CANTARUTTI, R.B. & LOPES, A.S. Interpretação dos resultados das análises de solos. In: RIBEIRO, A.C.; GUIMARÃES, P.T.G. & ALVAREZ V., V.H., eds. Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais. 5^a Aproximação. Viçosa, MG, CFSEMG, 1999. 359p.
- ANDERSON, J.N. & INGRAM, J.S.I. Tropical soil biology and fertility: A handbook of methods. Wallingford, CAB International, 1996. 171p.
- ACQUAYE, D.K. Some significance of soil organic phosphorus mineralization in the phosphorus nutrition of cocoa in Ghana. Plant Soil, 19:65-80, 1963.
- BATAGLIA, O.C.; FURLANI, A.M.C.; TEIXEIRA, J.P.F.; FURLANI, P.R. & GALLO, J.R. Métodos de análise química de plantas. Campinas, Instituto Agronômico, 1983. 48p. (Boletim técnico, 78)
- BOWMAN, R.A. & COLE, C.V. Transformation of organic phosphorus substrates in soil as evaluated by NaOH extraction. Soil Sci., 125:95-101, 1978.
- BROOKS, P.C.; POWLSON, D.S. & JENKISON, D.E. Phosphorus in the soil microbial biomass. Soil Biol. Biochem., 16:169-175, 1984.
- CABALA-ROSAND, P.; SANTANA, M.B.M.; SANTANA, C.; CHEPOTE, R.E. & NAKAYAMA, L.H. Utilização de adubos e corretivos na cultura do cacau. In: MANUAZ, extensionista. Ilhéus, CEPLAC/CEPEC/, 1988. p.1-10.
- CADE-MENUN, B.J. Characterizing phosphorus in environmental and agricultural samples by ³¹P nuclear magnetic resonance spectroscopy. Talanta, 66:351-356, 2005.
- COMERFORD, N.B.; CROPPER, W.; GRIERSON, J.; ARAUJO, Q. & JOSE, S. Modeling P bioavailability and uptake in agroforestry systems. In: GAMA-RODRIGUES, A.C.; BARROS, N.F.; GAMA-RODRIGUES, FREITAS, M.S.M.; VIANA, A.P.; JASMIN, MARCIANO, C.R. & CARNEIRO, J.G.A., eds. Sistemas agroflorestais: Bases científicas para o desenvolvimento sustentável. Campos dos Goytacazes, Universidade Estadual do Norte Fluminense, 2006. p.303-315.
- CONDRON, L.M.; MOIR, J.O.; TIESSEN, H. & STEWART, J.W.B. Critical evaluation of methods for determining total organic phosphorus in tropical soils. Soil Sci. Am. J., 54:1261-1266, 1990.
- CUNHA, G.M.; GAMA-RODRIGUES, A.C.; COSTA, C.; VELLOSO, A.C.X. Fósforo orgânico em solos sob florestas montanas, pastagens e eucalipto no norte fluminense. Bras. Ci. Solo, 31:667-671, 2007.
- DUDA, G.P. Conteúdo de fósforo microbiano, orgânico e biodisponível em diferentes classes de solos. Itatiba, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 2000. (Tese de Doutorado)
- DUDA, G.P.; GUERRA, J.G.M.; MONTEIRO, M.T.; DE-PERGOLA, H. & TEIXEIRA, M.G. Perennial herbaceous legume live soil mulches and their effects on C, N and P content of microbial biomass. Sci. Agric., 60:139-147, 2003.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de métodos de análise de solo. 2.ed. Rio de Janeiro, 1997. 212p.
- FASSBENDER, H.W.; ALPÍZAR, L.; HEUVELDOP, H.; FOSTER, H. & ENRÍQUEZ, G. Modelling agroforestry systems of cacao (*Theobroma cacao*) with laurel (*Calophyllum inophyllum*) and poro (*Erythrina poeppigiana*) in Costa Rica. III. Cycles of organic matter and nutrients. Agrofor., 6:49-62, 1988.
- FONTES, A.G. Ciclagem de nutrientes em sistemas agroflorestais de cacau no sul da Bahia. Campinas, Universidade Estadual do Norte Fluminense, 2006. 71p. (Tese de Doutorado)
- GAMA-RODRIGUES, A.C. & CADIMA-ZEVALLOS, A. E.

FÓSFORO ORGÂNICO EM SOLOS SOB AGROSSISTEMAS DE CACAU

- GAMA-RODRIGUES, A.C. & MIRANDA, R.C.C. O papel da chuva no fornecimento e reciclagem de nutrientes em um agrossistema de cacau do sul da Bahia, Brasil. *Turrialba*, 41:598-606, 1991a.
- GAMA-RODRIGUES, A.C. & MIRANDA, R.C.C. Efeito da chuva na liberação de nutrientes do folhedo num agrossistema de cacau do sul da Bahia. *Pesq. Agropec. Bras.*, 26:1345-1350, 1991b.
- GAMA-RODRIGUES, A.C. Ciclagem de nutrientes em sistemas agroflorestais na região tropical: funcionalidade e sustentabilidade. In: MÜLLER, M.W.; GAMA-RODRIGUES, A.C.; BRANDÃO, I.C.S.F.L. & SERÓDIO, M.H.C.F., eds. Sistemas agroflorestais, tendência da agricultura ecológica nos trópicos: Sustento da vida e sustento de vida. Ilhéus, SBSAF/CEPLAC/UENF, 2004. p.64-84.
- GEORGE, T.S.; GREGORY, P.J.; ROBINSON, J.R.; BURESH, R.J. & JAMA, B. Utilization of soil organic P by agroforestry and crop species in the field, Western Kenya. *Plant Soil*, 246:53-63, 2002.
- GOMES, J.B.V.; CURI, N.; MOTTA, P.E.F.; KER, J.C.; MARQUES, J.J.G.S.M. & SCHULZE, D.G. Análise de componentes principais de atributos físicos, químicos e mineralógicos de solos da bioma Cerrado. *R. Bras. Ci. Solo*, 28:137-154, 2004.
- GRESSEL, N. & MCCOLL, J.G. Phosphorus mineralization and organic matter decomposition: A critical review. In: CADISCH, G. & GILLER, K.E., eds. Driven by nature: Plant litter quality and decomposition. Wallingford, CAB International, 1997. p.297-309.
- GRIERSON, P.F.; SMITHSON, P.; NZIGUHEBA, G.; RADERSMA, S. & COMERFORD, N.B. Phosphorus dynamics and mobilization by plants. In: van NOORDWISK, M.; CADISCH, G. & ONG, C.K., eds. Below-ground interactions in tropical agroecosystems: Concepts and models with multiple plant components. Wallingford, CAB International, 2004. p.127-142.
- GUERRA, J.G.M.; FONSECA, M.C.C.; ALMEIDA, D.J.; DE-POLLI, H. & FERNANDES, M.S. Conteúdo de fósforo da biomassa microbiana de um solo cultivado com *Brachiaria decumbens* Staff. *Pesq. Agropec. Bras.*, 30:543-551, 1995.
- GUERRA, J.G.M.; ALMEIDA, D.J.; SANTOS, G.A. & FERNANDES, M.S. Conteúdo de fósforo orgânico em amostras de solos. *Pesq. Agropec. Bras.*, 31:291-299, 1996.
- KUMMEROW, J.; KUMMEROW, M. & SILVA, W.S. Fine root growth dynamics in cacao (*Theobroma cacao*). *Plant Soil*, 65:193-201, 1982.
- LEHMANN, J.; GÜNTHER, D.; MOTA, M.S.; ALMEIDA, M.P.; ZECH, W. & KAISER, K. Inorganic and organic soil phosphorus and sulfur pools in an Amazonian multistrata agroforestry system. *Agrofor. Syst.*, 53:113-124, 2001.
- MATOS, E.S.; MENDONÇA, E.S.; VILLANI, E.M.A.; LEITE, L.F.C. & GALVÃO, J.C.C. Formas de fósforo no solo em sistemas de milho exclusivo e consorciado com feijão sob adubação orgânica e mineral. *R. Bras. Ci. Solo*, 30:625-632, 2006.
- MÜLLER, M.W. & GAMA-RODRIGUES, A.C. Sistemas agroflorestais com cacau. In: VALLE, R.R., ed. Ciência, tecnologia e manejo do cacau. Ilhéus, CEPLAC, 2004. p.246-271.
- MURPHY, J. & RILEY, J.P. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. *Anal. Chem. Acta*, 27:31-36, 1962.
- NOVAIS, R.F.; SMYTH, T.J. & NUNES, F.N. Fósforo no solo. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H.; FERNANDEZ, R.L.; CANTARUTTI, R.B. & NEVES, J., eds. Fertilidade do solo. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p.471-550.
- SANTANA, M.B.M.; CABALA-ROSAND, P. & SANTOS, C.J.L. Exigências nutricionais e uso de fertilizantes em sistemas de produção de cacau. Ilhéus, CEPEC/CEPLAC, 1988.
- SANTANA, M.B.M.; CABALA-ROSAND, P. & SERÓDIO, M.H.C.F. Reciclagem de nutrientes em agrossistemas de cacau. Agrotrópica, 2:68-74, 1990.
- SILVA, I.R. & MENDONÇA, E.S. Matéria orgânica do solo. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H.; FERNANDEZ, R.L.; CANTARUTTI, R.B. & NEVES, J., eds. Fertilidade do solo. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p.275-374.
- SZOTT, L.T. & MELENDEZ, G. Phosphorus availability under annual cropping, alley cropping, and multispecies agroforestry systems. *Agrofor. Syst.*, 53:125-1132, 2004.
- TER BRAAK, C.J.F. Canonical correspondence analysis: a new eigenvector technique for multivariate ordination based on gradient analysis. *Ecology*, 67:1167-1179, 1986.
- VANCE, E.D.; BROOKES, P.C. & JENKINSON, D.S. A rapid extraction method for measuring soil microbial biomass C. *Soil Biol. Biochem.*, 19:703-707, 1987.
- VELOSO, H.P.; RANGEL FILHO, A.L.R. & LIMA, E. Classificação da vegetação brasileira adaptada ao sistema universal. Rio de Janeiro, IBGE, 1991. 124p.
- WICK, B.; TIESSEN, H. & MENEZES, R. Land use changes following the conversion of the natural vegetation to silvo-pastoral systems in semi-arid NE Brazil. *Plant Soil*, 222:59-70, 1998.
- WONG, M.T.F.; HAIRIAH, K. & ALEGRE, J. Managing soil acidity and aluminium toxicity in tree-crop agroecosystems. In: van NOORDWISK, M.; CADISCH, G. & ONG, C.K., eds. Below-ground interactions in tropical agroecosystems: Concepts and models with multiple plant components. Wallingford, CAB International, 2004. p.143-156.
- ZAIA, F.C. Frações de fósforo do solo sob diferentes coberturas vegetais no norte fluminense e em plantios de cacaueiro sul da Bahia. Campos dos Goytacazes, Universidade Estadual do Norte Fluminense, 2005. 89p. (Tese de Mestrado).